



**Université**

**Bouira**

**Faculté Science de la Terre, Nature et Vie**

**Département d'Agronomie**

**Cours de:**

**Transformation Technologique des Aliments**

Cours préparé et présenté au Master 1 de Science Agroalimentaire  
et Contrôle de Qualité par:

**Chafiaa Mazri**

**Sommaire**

**Technologie de transformation des aliments d'origine animale**

**I/Technologie de transformation de la viande**

**A/ Viande**

**Introduction**

**1\* Etude de la structure des organes des animaux de boucherie**

**2\* Filière de la viande**

**1. Abattoir**

**1.1 Transport des animaux**

**1.2 Stabulation**

**1.3 Etourdissement**

**1.4 Saignée**

**2. Transformation du muscle en viande**

**2.1 Les différentes phases de transformation du muscle en viande**

**2.2 Evolutions physico-chimiques et biochimiques**

**2.3 Rétention d'eau**

**2.4 Osmolarité**

**2.5 Structure des protéines du muscle**

**2.6 Structure du tissu conjonctif**

**2.7 Evolution enzymatique**

**3\* Facteurs de variation de la maturation de la viande**

**1. Facteurs biologiques**

**2. Facteurs technologiques**

**3. Effets des promoteurs de croissance**

**4\* Mesure de la tendreté**

**1. Mesures directes**

**2. Mesures indirectes**

**5\* Méthodes d'attendrissages artificielles**

**1. Attendrissage mécanique**

**2. Attendrissage par pression:**

**3. Attendrissage par procédés biochimiques (marinades)**

**4. Attendrissage enzymatique artificiel**

**5. Attendrissage par les sels inorganiques**

**6. Autres méthodes**

**6\* Congélation et la qualité de la viande**

**1. Congélation, micro-organismes et réglementation**

**7\* Traitement thermique (fumage)**

**8\* Salaison**

**9\* Atmosphère modifiée et autres**

**1. Atmosphère non modifiée**

**2. Atmosphère modifiée**

**3. Sous vide**

**4. Procédé CAPTECH**

**5. Additifs alimentaires**

**10\* Autres procédés de conservation**

**1. Séchage**

**B/ Volaille**

**1\* Différents types d'oiseaux consommés**

**2\* Viande de volaille**

**1. Valeur nutritionnelle de la viande de volaille**

**C/ Poisson**

**1\* Principaux poissons alimentaires**

**2\* Valeur nutritionnelle**

**3\* Grande altérabilité du poisson et conservation**

**4\* Réfrigération**

**5\* Congélation**

**6\* Conserves de poisson**

**7\* Huiles et farines de poisson**

**8\* Autres procédés de conservation.**

**II/ Technologie de transformation du lait**

**1\* Définition du lait**

**2\* Composition du lait**

**1. Composition chimique**

**2. Valeur nutritives**

**3\* Lait et produits laitiers**

**1. Lait de consommation**

***1-1/ Lait pasteurisé***

***1-2/ Lait de longue conservation***

**2. Yaourt**

*2-1/ Processus d'élaboration de yaourt*

**3. Beurre**

*3-1/ Processus d'élaboration de beurre*

**4. Fromage**

*4-1/ Processus d'élaboration du fromage*

**Technologie de transformation des aliments d'origine végétale**

**I/ Céréales et dérivés**

**Introduction**

**1\* Biologie et composition du grain de blé**

**2\* Processus de la meunerie et semoulerie**

**1. Réception**

**2. Nettoyage**

**3. Préparation: mouillage/conditionnement**

**4. Mouture**

**3\* Différents types de farines**

**1. Farine fleur**

**2. Farine de deuxième qualité**

**3. Farine de troisième qualité**

**4\* Différents types de semoules**

**1. Semoule supérieure**

**2. Semoule de première catégorie**

**3. Semoule courante**

**4. Semoule de substitution**

**5\* Critères de qualités des farines et semoules**

**6\* Méthodes analytiques du contrôle de la qualité de la matière première et dérivés**

**1. Méthodes Physiques**

**2. Méthodes chimiques**

**3. Méthodes technologiques**

**7\* Qualité des semoules**

**8\* Utilisation des farines**

**1. Panification**

**2. Autres usages que la panification courante**

**9\* Utilisation de la semoule**

**1. Fabrication des pâtes**

**2. Fabrication industrielle du couscous**

**10\* Fermentation**

**11\* Cuisson**

**II/ Industrie des corps gras**

**Introduction**

**1\* Composition générale d'une huile végétale**

**2\* Fabrication des huiles végétales**

**1. Extraction des huiles végétales**

**2. Purification des huiles végétales**

*2.1/ Raffinage*

*2.2/ Traitements de modifications*

**3\* Corps gras élaborés**

**1. Margarine**

*1.1/ Adjonctions liposolubles*

*1.2/ Adjonction hydrosolubles*

**2. Procédé de fabrication de la margarine**

*2.1/ Traitement des huiles brutes*

**4\* Analyse des corps gras**

**1. Extraction de la matière grasse**

*1-1/ Extraction directe par solvant*

*1-2/ Extraction après traitement chimique*

*1-3/ Methodes physiques*

**2. Détermination des caractères physiques**

*2-1/ Masse volumique*

*2-2/ Indice de réfraction*

*2-3/ Couleur*

*2-4/ Viscosité*

*2-5/ Point de fumée - Point d'éclair*

*2-6/ Teneur en solide*

**Technologie de transformation des aliments d'origine animale****I/ Technologie de transformation de la viandes****A/ Viande****Introduction**

On appelle viande la chaire des animaux dont on a coutume de se nourrir. On inclut dans ce groupe la chaire des mammifères, des oiseaux et quelque fois des poissons.

Les viandes possèdent une valeur nutritionnelle très élevée car elles sont constituées de protéines digestes riches en acides aminés indispensables. C'est aussi une bonne source de fer et de vitamines hydrosolubles. Les impressions émotionnelles apportées par les viandes (chaleur, vigueur, bonne humeur) sont dues à leur action sur les effecteurs qui déclenchent et qui règlent le bon développement de la digestion (stimulation de l'appétit, des sécrétions digestives et des glandes endocrines). Les qualités organoleptiques de la viande sont déterminées par l'appréciation des paramètres : flaveur (gout + odeur), couleur, tendreté et jutosité.

Les viandes sont de première nécessité, cependant il s'agit de calories chères. La consommation de viandes reflète le niveau de vie d'un pays et d'une famille. Dans les pays industrialisés, la viande représente environ 10% du budget familiale soit 25% des dépenses alimentaires.

Les viandes se caractérisent par une grande hétérogénéité, elles sont principalement constituées de muscles striés squelettiques qui comportent aussi d'autres tissus en quantité variables selon l'espèce, la race, l'âge et le régime alimentaire. Ce sont surtout les tissus conjonctifs, adipeux, parfois des os et la peau.

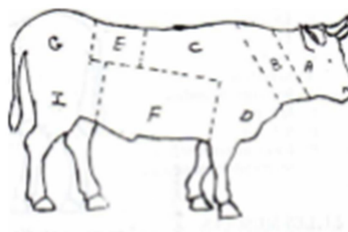
Les viandes couramment consommées proviennent des principaux cheptels

- Les productions en vue de la consommation des viandes d'animaux jeunes (veaux, agneaux, porc, poulet).
- Les productions en vue de la consommation de viande d'animaux adultes (bovins).
- Les reformes des animaux de production (viandes d'animaux adultes).
- Les gibiers (viandes d'animaux de tous les âges).

**1\* Etude de la structure des organes des animaux de boucherie****A/**

Le corps d'un animal se divise en 3 parties : la tête, le tronc, les membres et en 8 régions principales :

- a. La tête
- b. Le cou
- c. Le dos
- d. La poitrine
- e. Les reins (lombes)
- f. le ventre
- g. le bassin
- h. les membres antérieurs
- i. les membres postérieurs



**Muscles:** L'eau et les protéines sont les deux composants principaux du muscle qui est le moteur de l'organisme. Les muscles servent à mouvoir le corps, à contracter ou dilater les organes grâce à une stimulation par le système nerveux. En boucherie les muscles (partie noble) constituent la viande des quartiers, ils représentent 50 à 60% de poids vif.

**A/1 Muscle des os:** Rouges (dus à la myoglobine), viandes des quartiers en boucherie, attachés aux os par des fibres qui ne se contractent pas (les tendons), ce sont des muscles à contraction volontaire.

**A/2 Muscle des organes:** Blancs (absence de myoglobine), font progresser les aliments dans le tube digestif. Pour effectuer une maturation normale : la viande doit pouvoir s'oxygéner (respirer), et éliminer l'acide carbonique, si non elle étouffe. Le pH d'une viande est une mesure de son acidité, une viande après maturation normale a un pH de 6,0, une viande étouffée a un pH <6 (environ 5) une viande putréfiée a un pH supérieur à 6 (environ 7,5). Les trois ennemis principaux de la viande fraîche sont : la chaleur, l'humidité et le manque d'air.

**B/ Os:** la colonne vertébrale elle porte le crâne, fournit un appui aux côtes, qui forment avec le sternum la cage de la poitrine (thoracique), les membres portent le corps ; les os des membres servent d'appuis. Les os protègent d'importants organes (moelle épinière logée dans la colonne vertébrale, cerveau enfermé dans la boîte crânienne...). Ils se composent de 2/3 de substances minérales (chaux et phosphate) et 1/3 de substance organique (osséine).

**B/1 Cornes**

La gestation et particulièrement provoque une pénurie de  $\text{Ca}^{++}$ , qui se marque chaque fois sur la corne par un rétrécissement qu'on nomme sillon ou cercle. Comme la vache a chaque année un veau, il y a un sillon chaque année sur la corne. L'âge de la vache = nombre de sillons sur le corne.

**B/2 Dents**

Par leur examen on peut déterminer l'âge d'un animal. Les bovins dont l'âge est < 3-4 ans ne sont pas suffisamment gras, leur viande manque parfois de couleur, de saveur et de fermeté. Après la cinquième année, l'âge des bovins se reconnaît à l'usure des dents.

**C/ Peau**

Constituée de 04 tissus superposés comme suit : épiderme, derme, tissu sous-cutané, et muscle peaucier, Organe de protection (froid, chaleur, humidité, souillures, microbes) et d'excrétion (sueur, chaleur,  $\text{CO}_2$ , urée), et grâce à sa richesse en nerfs (dans les papilles nerveuses) elle permet à l'animal de développer le sens du toucher. Lorsque le boucher lève la peau d'une bête il fait passer le couteau dans le tissu sous-cutané. Les vaches à peau fine sont du type laitier, celle à peau épaisse sont du type à viande. Une bête en bonne santé a la peau souple et élastique, une peau dure, sèche, plaquée sur le corps est le signe d'un état maladif. Le poids relatif de la peau dépend de l'espèce, la race le type, l'âge, le sexe les soins et l'état d'embonpoint de l'animal (le prix de la peau du male > celui de la femelle, et celui des peaux légères > peaux lourdes sauf celles de chevaux achetées selon leur longueurs).

**D/ Fibre et graisse**

Les fibres forment le tissu conjonctif (ne peut pas se contracter). Le tissu conjonctif élastique est indigestible, les fibres qui lient les faisceaux musculaires sont coriaces et offrent une certaine résistance au couteau ou sous la dent.

**D/1 Viande à grain fin :** viande où les fibres conjonctifs sont plus fins et plus rares ce qui engendre la finesse des faisceaux musculaires : en passant les doigts sur une coupe, on a l'impression on ressent une impression de velouté et de finesse, cette viande est à griller ou à rôti.

**D/2 Viande à grain grossier:** viande dure, ses fibres conjonctives sont nombreuses --> faisceaux musculaires grossiers, cette viande est à bouillir, ce qui peut les rendre plus tendre.

Plus l'animal vieillit, plus le tissu conjonctif se développe et plus la viande est dure, les taureaux ont une viande de grain grossier; les faisceaux musculaires sont épais.

Les graisses peuvent s'accumuler autour des organes internes (graisses des viscères), autour des muscles (viande marbrée), dans les muscles (viande persillée), et sous la peau (graisses de couverture).

Lorsqu'un animal maigrit subitement sa graisse devient gélatineuse et humide ; cette transformation de la graisse peut-être mesuré dans la moelle osseuse (densimétrie). La graisse se compose de stéarine (fond à 69°C), de palmitine, (60°C) et d'oléine (14°C). elle se compose de stéarine (fond à 69°C, la graisse qui en est riche est ferme), de palmitine, (60°C) et d'oléine (fond, la graisse qui est riche est huileuse) : La graisse de bœuf (le suif) est ferme, fond à 41-50 °C, blanche et plus tendre (rougeâtre) au départ chez les veaux engraisés à l'étable; jaune chez les animaux âgées ou engraisés au pâturage. Celle du jeune mouton est blanche et fond à 32-52°C. La graisse de cheval est jaune, huileuse.

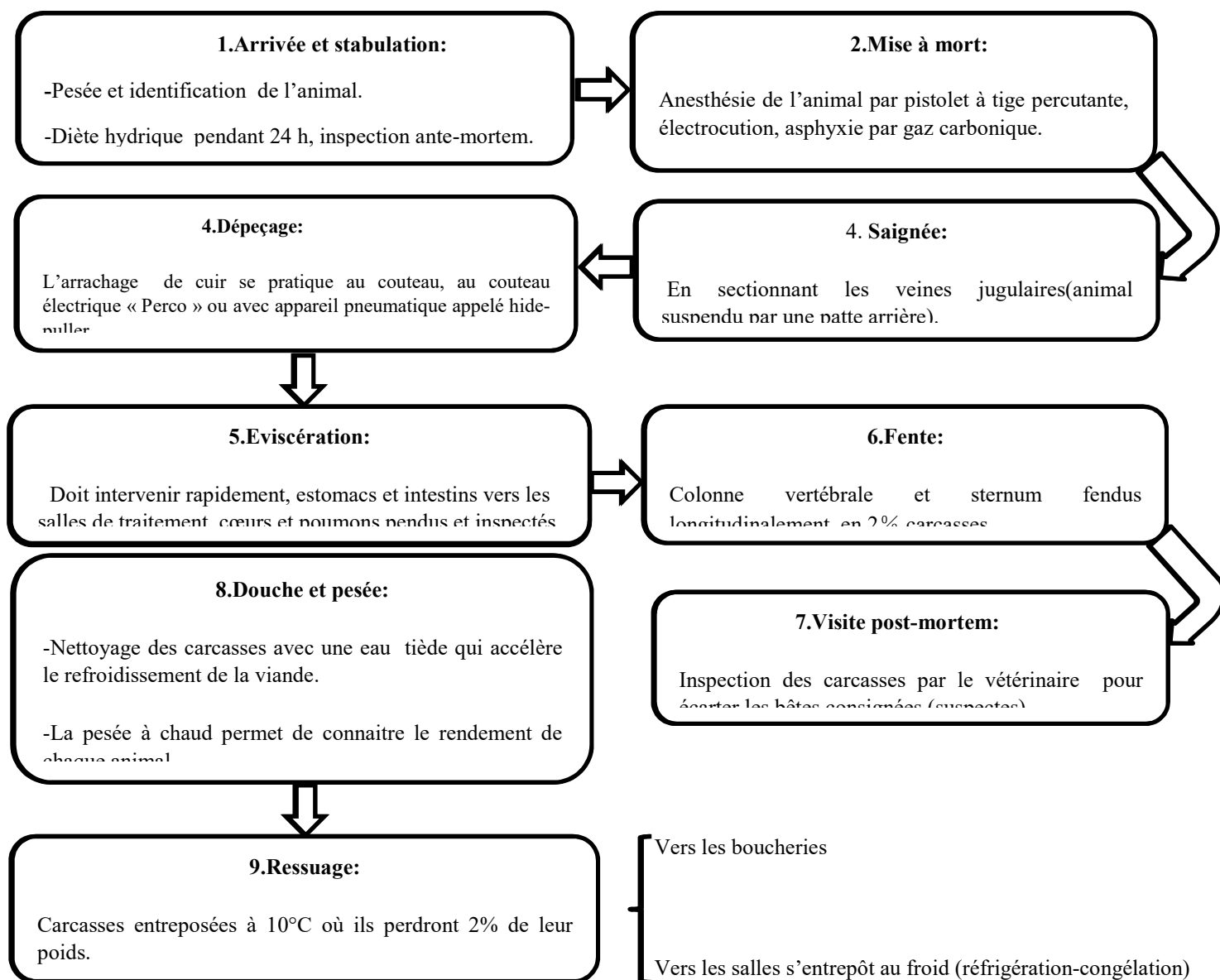
Après abattage, la graisse est gardée au frais (8-12°C), à l'ombre et au sec, elle ne doit pas être empilée après abattage (risque d'étouffement --> fermentation), la Chaleur + humidité + lumière --> Rancidité de la graisse = odeur écœurante (sexuelle, médicamenteuse, morbide, fourragère) + saveur acre/savonneuse + couleur jaune/verdâtre + acidité.

La race (lapin argenté), la jaunisse, le surmenage, ou l'alimentation peuvent donner des graisses plus jaunes que d'habitude lors de l'abattage. L'alimentation par farine de poissons, maïs, petit lait --> graisse tendre et huileuse, par lait, pomme de terre, orge, avoine --> graisse ferme.

**E/ Mamelle** Le lait récolté dans les abattoirs est inconsommable (risque de mammites). Lors de l'abattage, la mamelle doit être enlevée avant la peau avec précaution afin que le lait ne souille pas la viande et la peau. Puis l'accrocher pour que son lait s'écouler.

## 2\* Filière de la viande

La filière viande comporte la succession d'étapes au cours desquelles on réalise le passage progressif des animaux de boucherie vivants en produits alimentaires, 03 étapes indépendantes : l'abattage (l'abattoir), le découpage (l'atelier de découpe) et la transformation ultérieure (l'etal). Les insuffisances relevées au cours d'une étape ont souvent un effet extrêmement préjudiciable sur la suite des opérations cet effet peut être de nature technique, biochimique ou microbiologique.



**Figure 1:** Chaine d'abattage de bovin

### **3. Abattoir**

L'abattoir est l'établissement assurant l'abattage, le traitement et la distribution d'animaux de boucherie pour vente en détail. Pour construire un abattoir, certaines mesures doivent être respectées :

**Choix de l'emplacement:** Tenir compte, en même temps, des points d'approvisionnement et d'écoulement de la production.

**Choix de l'équipement:** Il faut tenir compte du tonnage à traiter, des possibilités de construction, adapter les postes de travail, assurer la facilité de leur nettoyage et désinfection.

**Mesures d'hygiène:** Faciliter l'approvisionnement en eau (besoins de  $1/2 \text{ m}^3$  d'eau par animal abattu). Séparer les parties propres des parties souillées de l'abattoir, soit par cloisonnement horizontal/vertical. Possibilité d'emploi du froid le plus rapidement possible après l'abattage.

#### **1.1 Transport des animaux**

Le transport des animaux avant abattage est facteur de fatigue et de stress qui a répercussion sur la qualité de la viande. Parmi les facteurs pouvant provoquer le stress on cite la température, la durée de transport et la distance parcourue (l'animal passe 3 phases: stress violent; phase d'adaptation; stress de la fatigue), les conditions de transport et les conditions physiques de l'animal. De préférence l'animal doit être à jeun, calme, on peut lui injecter des tranquillisants et du glucose.

Les conditions de confort nécessaires sont: l'espace suffisant, plancher non glissant, système de ventilation, température régulée entre 10 à 20°C, protection contre le vent; soleil et pluie, et le temps de voyage ne doit pas dépasser 2 heures.

#### **1.2 Stabulation**

La stabulation est un moyen de corriger plus ou moins les défauts du transport. Les conditions à respecter :

- Séparer les animaux par espèce et par taille,

- Le nombre limité pour qu'il puisse se coucher,
- T: 10 à 20°C,
- Locaux suffisamment aérés.

### **1.3 Etourdissement**

Pour insensibiliser l'animal afin de minimiser le stress, minimiser l'hémorragie capillaire et sécuriser le personnel. Les procédés pour l'étourdissement des animaux sont: l'électricité (électroma: bas voltage 70V/10-30s, électrochoc: haut voltage 190V5s; 300V/1-2). Enceinte de CO<sub>2</sub>: 70 % CO<sub>2</sub> /30 % air/15s, il s'agit d'un anesthésiant; il y a diminution rapide de l'influx nerveux par anoxie (décharge de catécholamine). Ondes électromagnétiques : cette méthode amène la T° du cerveau de l'animal entre 41 à 50°C pendant 10s par le moyen d'ondes électromagnétiques (f = 100 à 10000 mégacycles). Cependant, elle présente un risque élevé pour le personnel. Coup de massue, pistolet : l'étourdissement des bovins peut se faire au pistolet à tige perforante et à masse (soit pneumatique soit cartouche) placé au milieu du front. Pour ces modes d'étourdissement avant abattage, la perte de conscience n'est pas clairement établie.

### **1.4 Saignée**

Se situe immédiatement après l'étourdissement. L'opération doit être rapide pour que les activités cardiaque et respiratoires subsistent et aident à l'éjection du sang. La saignée se pratique de différente manière : gros bétails par rupture de la carotide et de la veine jugulaire. La saignée peut se faire horizontalement ou verticalement (l'animal est suspendu aux rails), soit au couteau ou au trocart. Les étapes qui suivent la saignée :

A. **Echaudage** : 60°C/5-6 min, attendrissage de la peau pour faciliter l'épilage. Se fait par action de la chaleur et de l'humidité.

B. **Epilage** : peut se faire manuellement (couteau) ou mécaniquement (machine à épiler).

C. **Flambage**

D. **Grattage** (brosse, douche)

**E. Finition**

**F. Dépouille:** a pour but de retirer le cuir ou la peau des animaux. Pendant cette étape il y a aussi ablation de la tête, des pieds et ligature du rectum.

**G. Eviscération:** est l'élaboration de tous les viscères thoraciques et abdominaux d'un animal.

**H. Emoussage:** c'est une opération de finition de la préparation des carcasses. Consiste à enlever une partie de graisses.

**I. Traitement:** effectuée dans l'heure qui suit la mort de l'animal. Le tableau 1 Comprend tous les sous-produits que donne l'abattage en dehors de la viande (cuirs, abats rouges et blancs, boyaux, sang, graisse, os...)

**J. Conservation (ressuage).**

**Tableau 1:** les sous-produits que donne l'abattage en dehors de la viande.

**IV-LE 5EME QUARTIER**

➤ Comprend tous les sous produits que donne l'abattage en dehors de la viande :

<i>Abats rouges : ne subissent pas de traitement à l'abattoir</i>	<i>Abats blancs</i>	<i>Issues</i>	<i>Glandes opothérapiques</i>
-Tête. -Cervelle [cerveau+ cervelet], riche en P. -Langue. -Ris (à la base du cou des jeunes animaux). -Basse [poumons (coures) + cœur]. -Foie 30% de la valeur du 5 <sup>ème</sup> quartier. -Rognons. -Rate. -Sang [celui du porc est battu (éviter coagulation) puis utilisé pour le boudin, fabrication d'engrais, de colles].	-Mamelle (utilisée en charcuterie). -Pieds (utilisée comme liant de sauce, ceux du bœuf donnent des huiles lubrifiants). -Estomacs. -Intestins + œsophage (utilisés en charcuterie). -crépine.	- Peau. - Poils. - Cornes. - sang. - Suif (graisses alimentaires, utilisés en savonnerie, parfumerie, tannerie). - Os. - Caillettes (extraction de la présure). - vessies (fabrication des abat-jours, colles et gélatine). - Déchets divers.	glandes de toutes natures (foie, bile, pancréas, thyroïde, thalamus...) utilisées en pharmacie ou en laboratoire.

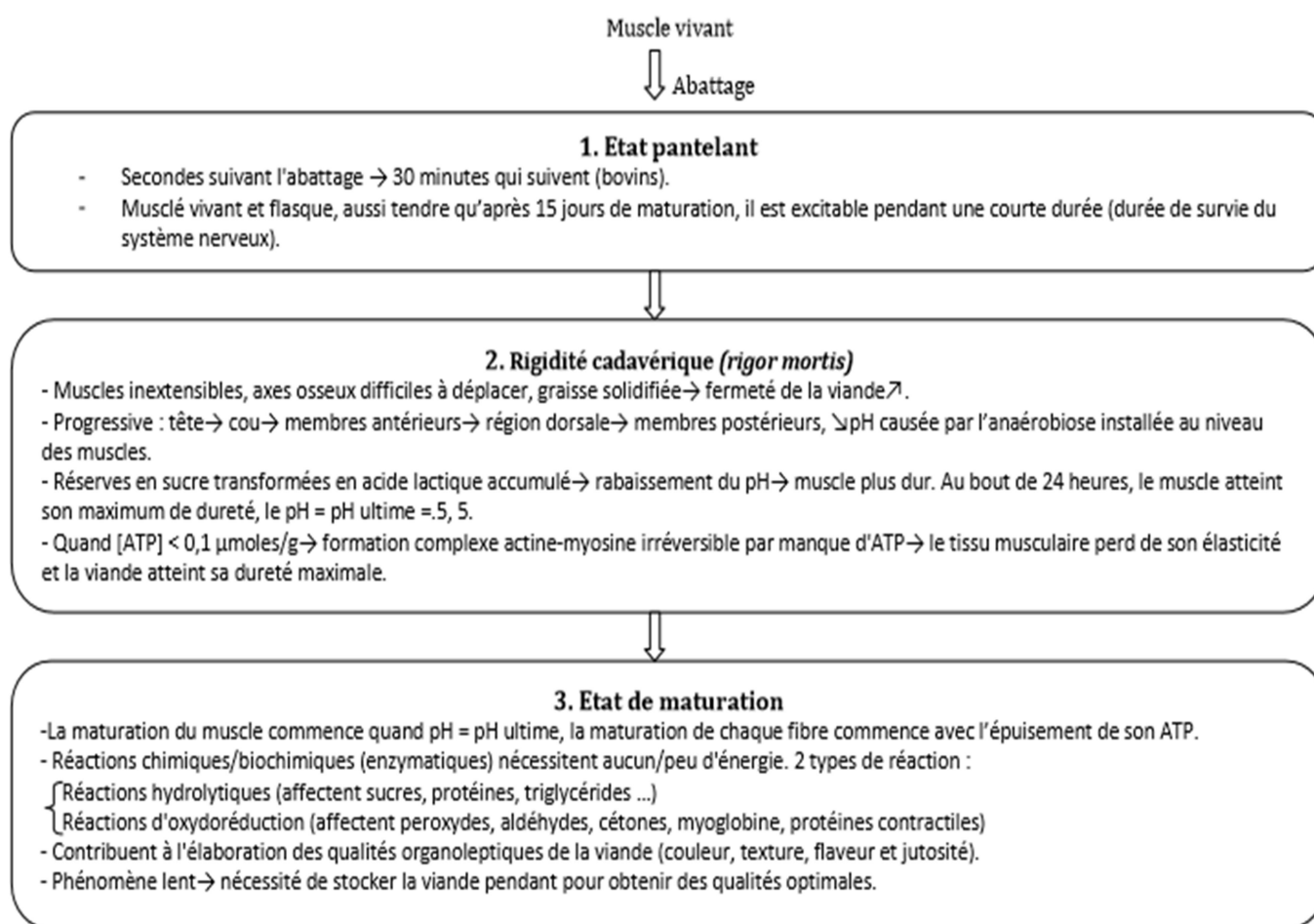
**2. Transformation du muscle en viande**

Dès la mort de l'animal, la structure myofibrillaire des muscles subit de profondes modifications qui dépendent en grande partie des caractéristiques enzymatiques et physicochimiques des fibres. La viande est le produit de l'évolution post-mortem du

muscle strié. La composition de ce dernier influe  $\pm$  directement sur les caractéristiques organoleptiques de la viande et sont très largement responsables de l'hétérogénéité observable au niveau des propriétés de la viande.

Les modifications physiques et chimiques que subissent les muscles après l'abattage dépendent de  $T^\circ$  ambiante, de HR, et de l'activité des enzymes protéolytiques endogènes. le muscle passe successivement par trois états différents.

## 2.1 Les différentes phases de transformation du muscle en viande



On distingue 4 sortes de protéines musculaires comme elles sont résumée dans le tableau 2 d'après Layminus (INATAA: cours d'Ingénieur).

**Tableau 2:** Les protéines musculaires

Localisation dans le muscle	% des protéines du muscle	Principaux constituants (% de la catégorie)
Protéines du stroma : tissu conjonctif	10-15	Collagène : 50% Elastine : 10%
Protéines sarcoplasmiques :	30-35	Solubles à des pH voisins de la neutralité et à faible force ionique contiennent principalement les enzymes du métabolisme intermédiaire et la Myoglobine : 5 %
Protéines du cytosquelette	5-40	maintiennent l'architecture myofibrillaire
Protéines myofibrillaires (actine+myosine)	55-60	Filament fins (Actine 20%+ Troponine 15% + Tropomyosine 15%) + filaments épais (myosine 50%+ protéines régulatrices)

## 2.2 Evolutions physico-chimiques et biochimiques

Les modifications physiques qu'on observe juste après la mort résident en **état pantelant**: le muscle conserve son état contractif et sensible et en **état rigide**: installation de la rigidité cadavérique, cette dernière ou Rigor Mortis intervient plusieurs heures après la mort. Il y a formation du complexe actinomyosine (irréversible) due à la diminution de la teneur en ATP (vitesse de production devient inférieure à la vitesse d'hydrolyse de l'ATP. Résultat, il y a perte d'élasticité --> raide inextensible).

Les modifications biochimiques se manifestent par l'arrêt de la circulation sanguine prive le muscle de l'O<sub>2</sub> et de l'ATP. L'installation de la glycolyse anaérobie (a. Lactique, diminution de pH 7,2 à 5,5, dénaturation ± importante des protéines musculaire).

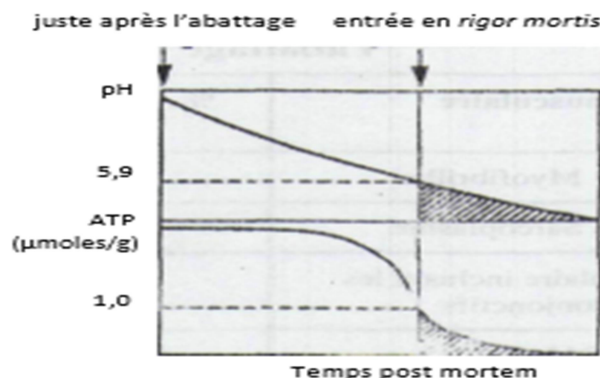
Les facteurs qui influent sur cette évolution sont:

### A/ Température

La T° physiologique de l'animal vivant (40°C pour le bœuf) chute rapidement après la mort de l'animal, suivant les carcasses et la position du muscle. La chute de T° des carcasses maigres est plus rapide pour les carcasses grasses (gras isolant). Les muscles situés en profondeur ont une cinétique de chute de T° plus lente que ceux situés à la surface.

### B/ pH

Le pH du muscle in vivo = 6,7 -7,2, à la mort de l'animal --> circulation sanguine bloquée --> métabolisme oxydatif bloqué --> conversion d'ADP en ATP, puis épuisement de phosphocréatine --> [ATP] diminue --> anaérobiose (glycogène en acide lactique) --> acidification jusqu'à l'obtention du pH ultime (Figure 2: pH = 5,8 après 24h).



**Figure 2:** évolution du pH et l'ATP du muscle de la viande

La diminution du pH est fonction de la [glycogène] présent dans le muscle au moment de l'abattage. Si cette réserve est trop faible (cas d'animal stressé, malade...) l'énergie est épuisée --> la quantité de glycogène insuffisante et ne permet pas la fabrication d'acide. On obtient alors des viandes de mauvaise qualité :

- **Viande sombre:** collante, poisseuse, fiévreuse. Cette viande est de couleur plus foncée que la normale. Sa surface est sèche et collante. Son pH > que la normale (> 6). Présente peu de saveur. C'est un défaut qui concerne la viande de bœuf qualifiée de **DFD : Dark, Firm, Dry (sombre, ferme, sèche)**;
- **Viande pâle ou exsudative :** dû à une chute trop rapide du pH qui descend à 5,1-5,2. Cette viande est plus claire que la normale. Avec un aspect mou, flasque, humide car elle a un fort pouvoir de rétention d'eau. C'est un défaut que l'on observe sur la viande de porc appelée la **viande FSE : Pale, Soft, Exsudative (pâle, molle, exsudative)**.

Le pH est un facteur qui entre en ligne de compte dans le cahier des charges des viandes dites labellisées et notamment dans celui du Bouf de Tradition Bouchère pour lequel les carcasses ayant un pH >6 sont éliminées.

### 2.3 Rétention d'eau

C'est l'eau libre qui intervient dans le pouvoir de rétention d'eau. Au niveau cellulaire, la majorité de cette eau est retenue par capillarité dans les espaces intra myofibrillaires et

le reste se trouve au niveau des espaces inter myofibrillaires et extracellulaires. La capacité de rétention d'eau des protéines myofibrillaires diminue donc avec le temps post mortem. Cette eau est expulsée dans l'espace extracellulaire. La capacité de rétention d'eau peut être estimée de différentes manières : par compression, centrifugation, gravité, capillarité ou résonance magnétique nucléaire.

## **2.4 Osmolarité**

Post mortem : Libération des ions ( $\text{Ca}^{++}$ ) dans le sarcoplasme + Accumulation des métabolites intermédiaires (acide lactique) --> augmentation de la pression osmotique parallèle à la diminution de pH.

L'osmolarité peut être estimée directement en mesurant le point de congélation ou de décongélation de l'eau intramusculaire, ou par mesure à partir du jus extrait par centrifugation ou compression de la viande.

## **2.5 Structure des protéines du muscle**

Dégradation de la troponine T et apparition d'un fragment peptidique majeur de 30 KDa au cours de la maturation de la viande bovine. L'actine et la myosine ne sont pas/très peu dégradées lors d'une conservation à 4 °C. Les deux protéines cytosquelette sont rapidement dégradées. Ce sont la nébuline et la démine respectivement impliquées dans la structure de la ligne N2 et de la strie Z.

## **2.6 Structure du tissu conjonctif**

Le collagène subit peu de modification au cours de la maturation, il représente la dureté de base. Au cours du stockage, le collagène subit une modification structurale au niveau de l'endomysium et de pérимysium ce qui participe à l'attendrissage de la viande. Le tissu conjonctif augmente la dureté de la viande à l'état cru alors qu'il la réduit considérablement à l'état cuit car il se transforme en gélatine.

## **2.7 Evolution enzymatique**

Activité protéolytique au niveau des protéines myofibrillaires et du tissu conjonctif. Il y a trois grands systèmes protéolytiques qui interviennent dans l'attendrissage de la viande (Tableau 3).

**Tableau 3:** Les systèmes protéolytiques.

Système protéolytique	Conditions	Rôle dans l'attendrissage
Calpaines : protéase cytosolique, situées au niveau du disque des muscles striés.	-Activité maximale à pH 7-7,5 et $[Ca^{++}] \nearrow$ . -A pH ultime (5,4-5,7), elles gardent un niveau d'activité suffisant pour la maturation.	-Détruit la strie Z. -Génère le fragment 30 KDa lors du stockage.
Les cathepsines : enzymes lysosomales, on distingue les cathepsines B, H et L (cystéines protéinases) et les cathepsines D (aspartates protéinases).	-pH acide+ $\nearrow T^\circ$ favorables à son activité.	-Dégrade l'actomyosine, la troponine T. -Génère le fragment 30KDa.
Les protéasomes : complexe multicatalytique à PM $\nearrow$ .	-A pH 7 à 37 C° (conditions <i>in vitro</i> ), l'activité est importante.	-Conditions post mortem défavorable à son activité.

### 3\* Facteurs de variation de la maturation de la viande

**Maturation** : développement de la qualité organoleptique de la viande. Formation de faible quantité de produits aromatisant : acétaldéhyde, di acétyl, acétone, ammoniacque. ATP --> ADP --> AMP --> lysine --> Hypoxanthine + Ribose (lysine étant un indicateur de la maturation)

#### 1. Facteurs biologiques

**A/ Facteurs liés à l'animal:** Selon l'espèce animale, la viande présente une vitesse de maturation de 1 à 10. Cette variation selon l'espèce dépend de l'équipement enzymatique, de la teneur en inhibiteurs des protéinases et de la sensibilité des protéines contractiles à ces mêmes enzymes. La race de l'animale influence le niveau de tendreté de la viande (la facilité avec laquelle la viande va se laisser mastiquer), par l'intensité de la protéolyse, et le taux de la solubilité du collagène qui varient selon les races. La tendreté de la viande diminue avec l'âge suite aux modifications de la structure du collagène (ne se fait sentir que vers 19-24<sup>ème</sup> mois). La tendreté varie selon le sexe : elle est plus importante chez les femelles et les mâles castrés que les mâles entiers. L'engraissement améliore sensiblement la tendreté de la viande.

**B/ Facteurs liés au type du muscle:** L'évolution de la maturation varie de façon significative entre muscles d'un même animal à la fois dans sa vitesse et dans son intensité : la variation de la composition en tissu conjonctif des muscles (en fonction de leur position dans les carcasses et leur rôle physiologique *in vivo*) donne une dureté de base  $\pm$  importante. La vitesse de l'attendrissage varie également en fonction du potentiel enzymatique des muscles. L'intensité de dégradation est plus importante dans le muscle de type I que dans le muscle de type II.

## **2. Facteurs technologiques**

### **A/ Influence de la T°**

La tendreté varie en fonction de la durée, la T°, et le moment d'application de la méthode de conservation. En industrie, la maturation est toujours effectuée à T° 0 - 4 C° pour des raisons d'hygiène. L'abaissement trop rapide de la T° après la mort (provoque une variation de la vitesse et de l'intensité du processus de maturation) + la réfrigération hétérogène de la carcasse due à sa masse (réfrigération des muscles périphériques plus rapide que celle des muscles profonds) peut altérer irréversiblement certaines qualités organoleptiques de la viande et plus particulièrement sa tendreté.

**B/ Cryo-choc (cold shortening):** Phénomène de contracture au froid qui apparaît lorsque 3 conditions sont réunies (T° des muscles <10° -12°C. + pH > 6.0 + Présence d'ATP « viande ante rigor »). Suite à ce phénomène, il y a altération irréversible de la tendreté de la viande après maturation.

Le stockage à l'état congelé augmente la durée de conservation. Une viande ante-rigor (présence d'ATP) congelée provoque un cold shortening. L'hydrolyse de l'ATP résiduel, dès que la T° redevient positive provoque une contraction brutale qui peut s'accompagner d'une exsudation d'autant plus forte que le muscle est libre de se contracter. S'en suit une détérioration de la tendreté de la viande. Pour des viandes congelées au cours de la 3ème phase de maturation, la nature et l'étendue des altérations de la structure contractile dépendent étroitement de la taille et de la localisation, au sein du tissu musculaire, des cristaux de glace qui se forment. Plus ils sont de petite taille et localisés à l'intérieur de la cellule plus la congélation est rapide. Pour avoir une localisation intracellulaire des cristaux, le temps de congélation (temps nécessaire pour que la T° du morceau de viande passe de -1° C au début de la congélation de l'eau à -

7°C, température à laquelle 80% de l'eau est congelée) doit être inférieur ou égale à 10 minutes, condition difficile à réaliser dans la pratique.

### **3. Effets des promoteurs de croissance**

Sont des produits ayant la propriété d'augmenter la masse musculaire des animaux avec la réduction du taux de gras. On peut citer les anabolisants (Zéranol, Acétate de trenbolone ...), les agonistes (Cimatérol, Clenbutérol ...). et les hormones de croissance apparus que plus récemment. Tous ces composés conduisent à une diminution significative de la tendreté des viandes.

### **4\* Mesure de la tendreté**

La tendreté de la viande est quelque chose de perçue lors de sa consommation, il existe diverses méthodes qui permettent, à peu près, de mesurer et de classer la tendreté de la viande « **Mesures sensorielles** ».

#### **1. Mesures directes**

##### **A/ Mesures instrumentales (mécaniques)**

Elles sont rapides et peu coûteuses, utilisées par les professionnels afin de prévoir la tendreté d'une carcasse. Permettent de mesurer la résistance mécanique du tissu musculaire et se réalisent sur la viande crue. On utilise soit une force de cisaillement (appareil de SALE), ou un test de pénétration (tendromètre d'ARMOURE), ou une compression à l'aide d'une machine de traction-compression (LEPETIT et BUFFIERE).

##### **B/ Mesures sensorielles**

C'est la méthode la plus fiable, mais aussi la plus lente et la plus coûteuse. Elle est réalisée par un jury de dégustation qui compare, juge, puis classe des morceaux de viandes en donnant une note, de la plus dure à la plus tendre.

#### **2. Mesures indirectes**

Utilisées pour estimer le D° de maturation par la mesure de paramètres indirectes (taux des myofibrilles, indice de fragmentation myofibrillaire « IFM », T°, pH, D° de

dégradation des protéines myofibrillaires...) de la viande pour intervenir lors de l'attendrissage.

## **5\* Méthodes d'attendrissages artificielles**

### **1. Attendrissage mécanique:**

Consiste à perforer la viande par de multiples aiguilles ou lames d'acier qui dilacèrent tissus, nerfs et tendons et effectuent en quelque sorte une mastication préalable. La viande résultante doit être vite consommée.

### **2. Attendrissage par pression:**

Consiste à appliquer une pression à un muscle pré-rigor pour donner une viande plus tendre par altérations de myofibrilles causées par la contraction importante induite par la tension. Seule, la pression n'a aucun effet sur la viande post-rigor, mais la combinaison de la pression et de la chaleur permet d'attendrir le muscle post-rigor.

### **3. Attendrissage par procédés biochimiques (marinades):**

Sont des méthodes culinaires, ils consistent en une macération (trempage)  $\pm$  prolongée de la viande dans des saumures aromatisées ou non.

### **4. Attendrissage enzymatique artificiel:**

C'est beaucoup plus pour le bœuf car les autres types de viandes sont généralement suffisamment tendres du fait de l'âge des animaux lors de l'abattage et du mode de cuisson. On utilise des enzymes protéolytiques sous forme de poudre/dissoutes dans l'eau ou sous forme de solution salines enzymatiques ou encore comme injections antemortem.

**5. Attendrissage par les sels inorganiques :** Polyphosphates, pyrophosphates, glycérol + divers sels inorganiques, solutions de Li, K, Na, Mg et Ca.

### **6. Autres méthodes:**

Attendrissage de la viande par l'utilisation d'une charge explosive placée au voisinage de la viande, l'immersion dans l'eau entraîne la rupture de la structure musculaire.

## 6\* Congélation et la qualité de la viande

La congélation consiste à abaisser suffisamment la température de la viande de façon à transformer une grande partie de son eau en glace et à maintenir cet état pendant toute la durée de la conservation. La valeur de congélation ( $T_c$ ) est approximativement  $-1,5^\circ\text{C}$ . La qualité de la viande reste associée à la quantité d'eau résiduaire (26% à  $-5^\circ\text{C}$ , 14% à  $-40^\circ\text{C}$  et plus). Les températures de congélation élevées sont plus létales que les basses températures (Exp: la survivance des Salmonelles sur poulet est plus grande à  $-20^\circ\text{C}$  qu'à  $-2^\circ\text{C}$ ) d'où l'utilisation de la conservation des bactéries à très basse température.

La congélation rapide préserve mieux l'intégrité des tissus de la viande et même celle des micro-organismes.

La vitesse et le temps de congélation dépendent de la quantité totale de la chaleur qu'il faut extraire, de la température initiale et finale, des caractéristiques de produit comme par exemple sa composition, sa masse totale, ses dimensions et sa structure, de la présence d'emballage et sa nature.

### 1. Congélation, micro-organismes et réglementation

La conservation des aliments par congélation produit en premier lieu l'inhibition de la croissance des microorganismes. A  $-10^\circ\text{C}$  toute croissance bactérienne se paralyse et compris les psychotrobes et les psychrophiles. A  $-12^\circ\text{C}$ , les levures cessent de croître et à  $-18^\circ\text{C}$  les moisissures. Ainsi, qu'en dessous de  $-18^\circ\text{C}$  il n'y a aucune multiplication de microorganisme. La congélation agit sur la flore microbienne de plusieurs manières :

**Abaissement** de la température réduit la vitesse de multiplication, **transformation** de l'eau en glace --> réduction de l'activité de l'eau, **altération** de la structure ou du métabolisme des germes (lésion des membranes et dénaturation des protéines par les cristaux d'eau).

En effet la congélation exerce des effets de sainection en particulier sur les parasites de la viande qui ne supportent pas la congélation. Les larves de ténias et de *Trichinella spiralis* meurent après 1 à 3 semaines à  $-18^\circ\text{C}$  ou durant une congélation ultra rapide jusqu'à  $-29^\circ\text{C}$ .

Le procédé de congélation ne tue pas toutes les bactéries, et celles qui survivent sont réactivées lors de la décongélation. Elles se développent alors très rapidement. La décongélation représente une étape particulièrement critique par rapport à la qualité hygiénique des produits parce que l'exsudation superficielle de la viande décongelée favorise la croissance microbienne. Pour éviter ce risque, il est conseillé ; cuire la viande sans une décongélation préalable quand c'est possible. Les températures entre -5 et -2°C permettent de réaliser les opérations de préparation de la viande durant l'élaboration des plats cuits ou de la charcuterie, en maintenant ces qualités hygiéniques.

La qualité microbienne finale de la viande décongelée dépend de celle avant congélation. La multiplication des microorganismes après décongélation est fonction de la nature des contaminants survivants, de nombre de microorganismes viables et leur activité et de mode de congélation (température et vitesse).

Pour prévenir tout risque microbiologique, il convient congeler les produits sains, respecter la chaîne de froid et garder la vigilance sur les conditions de décongélation. Une réglementation relative à l'usage de la congélation dans le secteur de l'alimentation humaine a été élaborée. Cette dernière fixe les règles d'hygiène que les professionnels doivent respecter impérativement. L'ensemble des textes réglementaires auxquels doivent répondre les opérateurs de la chaîne de froid est récapituler dans un livre (AFNOR, 1997). Le décret de 21 juin de 1974 (B.O. de 1 août 1971) relatif à l'inspection sanitaire et qualitative des animaux vivants et les produits d'origine animale et l'ordre de 26 juin de 1974 (B.O de 31 juillet de 1974) relatif à la réglementation sur les conditions hygiéniques de congélation, conservation et décongélation de produits des animaux ou d'origine animal, indiquent la réglementation spécifique pour la viande et produits d'origine animal.

Les objectifs tel comment la protection de consommateur, fidélité dans les transactions, information et contrôle publique, sont établis par la réglementation, mais les professionnels ont la liberté pour sélectionner les moyens pour analyser avec détail les risques durant toutes les étapes des procédés de transformation des aliments. Dans ce cas la méthode HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) s'impose comme moyen (Directive 93/43). Le document d'application dont les recommandations sont détaillées et les points critiques qui permettent mettre en marche l'HACCP dans le cas des produits congelés est publié (SNFPSC, 1996). Le guide pratique de la chaîne de

froid publié après les actions concertées CT96-1180 synthétise les informations sur les meilleures pratiques à adopter pour la manipulation des produits ultra-congelés.

### **7\* Traitement thermique (fumage)**

Les fumées (mélange de gaz, de vapeur d'eau et de fines particules) sont obtenues en brûlant du bois préférentiellement durs (chêne, hêtre, noyer, frêne, châtaignier, utilisés généralement en mélange avec des bois tendre) et de sciures dans des générateurs de différents types qui alimentent des fumoirs chargés de viande, en fumées dans les températures variant entre 20 et 80°C. Au cours de la pyrolyse des bois, 300 à 1000 constituants apparaissent en quantités variables (phénols, carbonyles, acides furanes, alcools, éthers, esters, lactones, hydrocarbures, polycycliques, etc...). 70 environ sont retrouvés dans les produits fumés auxquels s'ajoutent les composés apparus dans les viandes au cours du fumage.

La fumigation des viandes possède 4 effets principaux:

- \* couleur des viandes ;
- \* apporte des saveurs spécifiques ;
- \* augmente la durée de conservation des produits traités par ces actions acidifiantes, antimicrobienne et antioxydantes.
- \* déshydrate partiellement la viande

### **8\* Salaison**

La conservation des viandes par le chlorure de sodium est pratiquée depuis la plus haute antiquité, cette méthode est encore très répandue de nos jours. Elle consiste en l'incorporation du sel associé à divers ingrédients ou additifs dans la viande et est généralement accompagnée d'un ou plusieurs traitements : fermentation, séchage, cuisson, fumage...

La pénétration du sel dans la viande est liée à l'établissement d'un équilibre entre les concentrations de sel à l'intérieur et l'extérieur de la viande. La vitesse de pénétration du sel est influencée par différents facteurs externes (température élevée et la concentration favorisent la pénétration de sel) et internes (pH élevé et présence de gras freinent la pénétration de sel).

Les saumures utilisées sont de concentrations variables en NaCl, les teneurs finales des produits en sel varient entre 1 % et 3 %.

## **9\* Atmosphère modifiée et autres**

**1. Atmosphère non modifiée:** l'atmosphère contient 80 % d'azote et 20 % d'oxygène.

La viande peut être conservée à une température fraîche ou froide, sans protection particulière (viande sur os : boucherie) ou tranches présentées sous film étirable (détail), seulement que l'oxygène oxyde les graisses (rancissement), dégradation microbienne (microbes aérobies: entraînent la putréfaction de la viande).

Dans de bonnes conditions hygiéniques à température froide ou fraîche : la carcasse peut résister 3 semaines après l'abattage. Lorsque la viande est vendue au détail dans du papier d'emballage ou sous film, elle se conserve 3 à 5 jours.

## **2. Atmosphère modifiée**

La viande est conservée dans une ambiance : O<sub>2</sub> (60/80 %) + CO<sub>2</sub> qui ralentit la multiplication des microbes. Les gaz utilisés : O<sub>2</sub> (80 %) CO<sub>2</sub> (20%) ou CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> (viandes rouges) pour conserver la durabilité de la couleur rouge caractéristique de la viande, pour les viandes blanches on utilise N<sub>2</sub> ou CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>. Cependant qu cours de la conservation, les mélanges gazeux évoluent suite à la respiration mitochondriale, au métabolisme microbien et à la dissolution des gaz dans la viande.

## **3. Sous vide**

Mode de conservation où l'air ambiant a été éliminé, c'est-à-dire qu'aucun gaz n'est présent dans l'emballage. La durée de conservation des viandes ainsi présentées peut atteindre : à température comprise entre 0°C et +2°C 4 à 6 semaines au stade de gros, 2 à 3 semaines au détail.

## **4. Procédé CAPTECH**

Mis au point en Nouvelle Zélande et Australie pour exporter par bateau en Europe de la viande fraîche avec un film alimentaire (perméabilité/gaz=0), Température ; 0°C /-1,5°C et 100 %CO<sub>2</sub>. La durée de conservation allant jusqu'à 16 semaines (viande d'agneau).

## **5. Additifs alimentaires**

Sont ajoutés à tous les stades de la technologie des viandes dans le but de limiter les développements des flores microbiennes. Des applications de produits divers ont été expérimentées et ont été ou sont encore employées selon la réglementation en cours. Voici quelques produits susceptibles d'être utilisés :

1- les produits ingérés par les animaux ou injectés avant l'abattage sont principalement les antibiotiques, des antioxydants et des tranquillisants.

2- les produits appliqués sur les carcasses dès l'abattage et qui sont: - des gaz (ozone, vapeur d'eau) - des liquides et des solutions (l'eau chaude, hypochlorique de sodium) - des solutions diluée d'eau oxygénée - des solutions d'acides organiques, d'acide borique et de borates.

3- les auxiliaires de la conservation sont: - les nitrates ( $\text{NaNO}_3$  à 500ppm) - les nitrites ( $\text{NaNO}_2$  à 200 ppm) - les polyphosphates, méta-bisulfites (Na, K) - les acides organiques (acétique, propionique, sorbique, benzoïque et ses esters méthylique, propylique) et leurs sels (Na, K, Ca) - les antibiotiques - les antifongiques (tétracycline, griséofulvine, primarcines, rimocidine, nystatine) - les épices et les condiments (poivres, oignon, clou de girofle, thym, moutarde, etc...).

## **10\* Autres procédés de conservation**

### **1. Séchage:**

Méthode traditionnelle de conservation par la déshydratation de certains produits alimentaires. Dans ce cas la viande subit une dessiccation naturelle (au soleil, au vent, à la chaleur). Le produit obtenu titre entre 60 à 90 % de matière sèche et il est consommé en son état ou après réhydratation. Dans les pays industrialisés, des techniques de traitement de séchage et d'emballage permettent de maintenir les niveaux d'hydratation désirés.

## **B/ Volaille**

### **1\*Différents types d'oiseaux consommés**

Une volaille est un oiseau domestique, appartenant généralement aux gallinacés ou aux palmipèdes, élevé pour sa chair ou ses œufs soit en basse-cour traditionnelle soit en

élevage industriel. Les volailles les plus courantes sont, par ordre de masse décroissante : l'oie (mâle: le jars, petit: l'oiseau): chair fine et délicate, foie gras

La dinde (mâle: le dindon, petit: le dindonneau): du foie gras

La poule (mâle: le coq, la volaille élevée pour sa chair le poulet, petits poulet: coquets): l'œuf de poulet est de loin l'œuf le plus courant dans la consommation humaine.

Le canard (la femelle est la canne, le petit le caneton

La pintade

Le chapon est un poulet mâle castré et spécialement élevé pour une plus grande tendreté. Sa masse est plus élevée que celle d'un poulet normal. L'analogue femelle est la poularde, plus petite, une poulette dont on a ôté les ovaires.

On élève aussi les oiseaux suivants pour leur chair et parfois leur œufs:

\* la caille

\* le faisan

\* le pigeon

Un autre oiseau est apparu depuis quelques années: l'autruche, qui fournit sa chair, ses œufs et aussi ses plumes pour la haute-couture et la chapellerie.

## **2\* Viande de volaille**

Les trois premiers producteurs mondiaux en 2004 sont:

- les Etats-Unis avec 18 millions de tonnes
- la Chine avec 14 millions de tonnes
- et le Brésil avec 9 millions de tonnes.

Préparation de la viande de poulet : abattage, épilation, éviscération, conservation (similaire à la viande rouge)

Selon la législation:

- une volaille effilée : a subi l'ablation de l'intestin par l'orifice cloacal sans enlèvement des autres viscères (jabot, foie, gésier, cœur et poumons) ni des abattis (pattes, tête et cou)

- une volaille éviscérée (ou prête à cuire): a subi l'ablation totale de l'œsophage, de la (proventricule, gésier, intestin, foie), du cou (coupé à sa naissance thoracique et un morceau de peau du cou suffisamment grand mais non excessif étant rabattu de telle sorte que l'ouverture soit masquée) et des pattes (coupées à l'articulation du jarret ou, au maximum, un centimètre au-dessous de cette articulation)

La viande du volaille peut être présentée soit: sans abats, soit avec abat, auquel cas ceux-ci font obligatoirement l'objet d'un conditionnement comprenant: le foie (dépourvu de vésicule biliaire), le gésier (dépourvu de revêtement corné), le cœur (dépourvu de membrane péri cardiaque), éventuellement la tête et le cou.

On distingue les parties suivantes dans le découpage de la volaille : - les blancs, grands muscles dorsaux. Ceux-ci ont parfois tendance à se dessécher lors des cuissons rôties, - les cuisses, - les ailes.

### **1. Valeur nutritionnelle de la viande de volaille**

La viande de volaille apporte environ 18% de protéines. Cette teneur ne varie pas selon le sexe et l'âge de l'animal contrairement aux lipides. En effet on trouve plus de lipides chez la femelle (8%) et les animaux âgés (14 - 20%). Le teneur en lipides dépend, également, de la nature du régime alimentaire.

## **C/ Poissons**

Les produits de la pêche sont des produits d'origine animale que l'homme puise dans le milieu aquatique. Ils englobent : les poissons, les mollusques et les cétacés (baleine, cachalot, dauphin).

### **1\* Principaux poissons alimentaires**

Les poissons constituent plus de la moitié du nombre total des vertébrés actuels. Les zoologistes estiment à 25000 le nombre d'espèces de poissons, pour un total de 45000 espèces actuelles de vertébrés. En outre, de nouvelles espèces de poissons continuent à

être découvertes à un rythme rapide et on s'attend à ce que le nombre final d'espèces connues dépasse les 30000. Les poissons peuvent être classés selon :

- \* la valeur nutritionnelle du poisson;
- \* la famille ; - les gades ou gadidés, poissons à tête volumineuse et corps allongé (morue, cabillaud, merlan, colin, aiglefin, tacaud, lieu, capelan) - les pleuronectes, poisson couchés sur un plan qui est aveugle (sol, raie, limande, carrelet) - les scombridés dont le corps est en forme de fuseau et irisés (sardines, maquereau, thon);
- \* le milieu de vie ; - les poissons d'eau douce (truite) - poissons de mer - poissons mixtes, mer et rivière, comme le saumon et l'anguille ;
- \* la teneur en lipides ; - poissons maigres dont la teneur en lipides est inférieure à 5% (majorité des gadidés et des pleuronectes) - poissons demi-gras dont la teneur en lipides varie entre 6 % et 10% (majorité des scombridés) - poissons gras dont la teneur en lipides est supérieure à 10% (saumon, anguille, thon, lamproie);
- \* le squelette ; - poissons cartilagineux dont le squelette est encore mou (raie, roussette) - poissons osseux dont le squelette est dur.

## **2\* Valeur nutritionnelle :**

Les poissons représentent la source la plus importante de protéines animales pour les humains. L'huile de foie de poissons est une source de vitamine D. Les déchets de l'industrie de la pêche permettent aussi la fabrication : - d'aliments pour animaux, - des engrais azotés, - de l'ichtyocolle; une forme de gélatine est préparée à partir de la vessie natatoire de certaines espèces.

## **3\* Grande altérabilité du poisson et conservation**

L'altération rapide de la chair du poisson après la pêche, a incité l'homme à mettre en œuvre d'autres procédés de conservation, autre que la simple réfrigération. Certains procédés utilisés depuis des siècles :

## **4\* Réfrigération**

Ce procédé de conservation est utilisé sur bateau après capture des poissons. Ces derniers sont maintenus à une température de 0°C jusqu'à l'arrivée chez le détaillant où

ils sont exposé sur un lit de glace. A 0°C, la durée de conservation est d'environ de 3 à 6 jours pour les poissons non éviscérés et de 10 à 12 jours pour les poissons éviscérés.

### **5\* Congélation**

Peut être effectuée soit à bord des bateaux, soit à terre. Elle consiste à abaisser la température du poisson à -18°C ou même à une température inférieure et à maintenir en permanence et sans aucune rupture cette température jusqu'au moment de la consommation du produit.

### **6\* Conserves de poisson**

On considère les conserves toutes les denrées alimentaires dont la conservation est assurée par l'emploi combiné des deux techniques :

- \* conditionnement dans un récipient étanche aux liquides, aux gaz et aux microorganismes ;
- \* traitement par la chaleur ou par tout autre mode autorisé. Ce traitement ayant pour but de détruire ou d'inhiber totalement, d'une part les enzymes, d'autre part les microorganismes et leurs toxines dont la présence ou la prolifération pourrait altérer la denrée considérée ou la rendre impropre à l'alimentation.

Trois types de conserves peuvent être dégagés: thons, sardine et maquereau. Les différentes opération de fabrication sont: - étêtage et éviscération pour éliminer les foyers de prolifération microbienne; - lavage, - saumurage, - parage: qui consiste à enlever toutes les parties qui n'entrent pas dans la fabrication de la conserve: peau, arrêtes, parties oxydées, muscle rouges, - cuisson: qui varie suivant le poisson. Une exception le thon au naturel est emboitage cru. Le thon, destiné aux conserves à l'huile, est cuit soit en saumure, soit de plus en plus en atmosphère de vapeur. La cuisson des sardines se fait à l'eau, à l'air chaud ou à la vapeur et de plus en plus rarement à l'huile. Les maquereaux cuits en saumure ou à la vapeur. - emboitage qui se fait manuellement ou mécaniquement, - remplissage de la boîte se fait avec une légère saumure (thon au naturel), avec de l'huile (thon, sardine), avec une marinade (maquereau), avec de la sauce (maquereau), - sertissage des boîtes, - stérilisation à l'autoclave, la température étant supérieure ou égale à 115°C.

\* Fumage : faire passer les poissons dans des tunnels ou cheminées de fumage. Il peut s'effectuer à froid ( $T^{\circ}$  ne dépassant pas  $30^{\circ}\text{C}$ ) ou à chaud ( $T^{\circ}$  de l'ordre de  $60^{\circ}\text{C}$ ) Exp: le hareng, le saumon et le haddock. Les composés volatiles de la fumée (aldéhydes, cétones, phénols et hydrocarbures polycycliques) confèrent au poisson un goût et une couleur caractéristiques et contribue aussi à sa conservation. Mais cette conservation n'est valable qu'associé au salage et au séchage. La durée de conservation dépend de l'intensité du traitement (plusieurs mois). Cependant avec un traitement poussé, on obtient un produit à un goût trop fort. La tendance actuelle est le fumage peu important ce qui oblige à recourir à la congélation et la réfrigération.

### **7\* Huiles et farines de poisson**

La farine de poisson est non seulement une excellente source de protéine, mais elle est fournie également au régime alimentaire un apport en huile de poisson.

Jusqu'aux années 1940, l'huile de poisson, et en particulier l'huile de foie de morue, était utilisée comme source de vitamine A et D, avant on accordait peu d'attention à la teneur en acides gras des aliments. Au cours des 10 dernières années, des recherches ont été effectuées sur les effets bénéfiques que pouvaient avoir les acides gras type oméga 3, en particulier celui contenu dans les huiles de poisson, sur la santé.

### **8\* Autres procédés de conservation.**

\* Salage : il permet de conserver certains poissons comme l'anchois, le hareng, la morue, la sardine, le maquereau et le thon dans la mesure où les poissons traités contiennent au moins 15 % de sel. Après ablation de la tête et des viscères, puis nettoyage, le poisson est empilé entre des couches de sel dans des barils. Le sel entraîne l'eau hors du poisson, donc le déshydrate partiellement et pénètre aussi dans le poisson. C'est la concentration du sel à l'intérieur des cellules qui empêche la croissance de microorganisme. Le poisson ainsi traité peut se conserver plus d'un an à  $0^{\circ}\text{C}$  et de 4 à 6 mois à  $15^{\circ}\text{C}$ .

On désigne par viande transformée toute viande qui a subi des transformations qui vont altérer son état initial afin d'améliorer son goût et sa conservation. On peut inclure dans cette catégorie les saucisses, hot dog, jambon, viandes en conserve et bien d'autres variétés de charcuteries. Tous ces produits ont été soumis à des processus de fumaison, fermentation, macération ou salaison.

## **II/ Technologie de transformation du lait**

### **1\* Définition du lait**

Le lait est la sécrétion des glandes mammaires des femelles mammifères, dont les cellules épithéliales ont la capacité de transformer les nutriments circulants en composants bioactifs avec un potentiel pour nourrir et fournir une protection immunologique pour leurs nouveaux nés. Il s'agit d'un fluide aqueux opaque, blanc, légèrement bleuté ou plus ou moins jaunâtre selon la teneur en B carotène de sa matière grasse, d'une saveur douceâtre et d'un pH (6,6 à 6,8) légèrement acide, proche de la neutralité.

Le lait est une émulsion de matière grasse dans l'eau et constitue un fluide biologique complexe qui est formé dans le cas du lait de vache, de l'eau (87,4%), de matières grasses (3,7%), les protéines (3,4 %), hydrates de carbone (4,8%) et de sels (0,7%). Il contient aussi d'autres ingrédients mineurs tels que des enzymes, des vitamines, des minéraux et quelques gaz.

Le lait le plus consommé dans le monde est celui de la vache, mais les laits de chèvre, bufflesse, brebis et chamelle sont également consommés dans certains pays. Dans les pays industrialisés, les laits de chèvre, de brebis et de bufflesse sont utilisés presque exclusivement pour la fabrication de fromage.

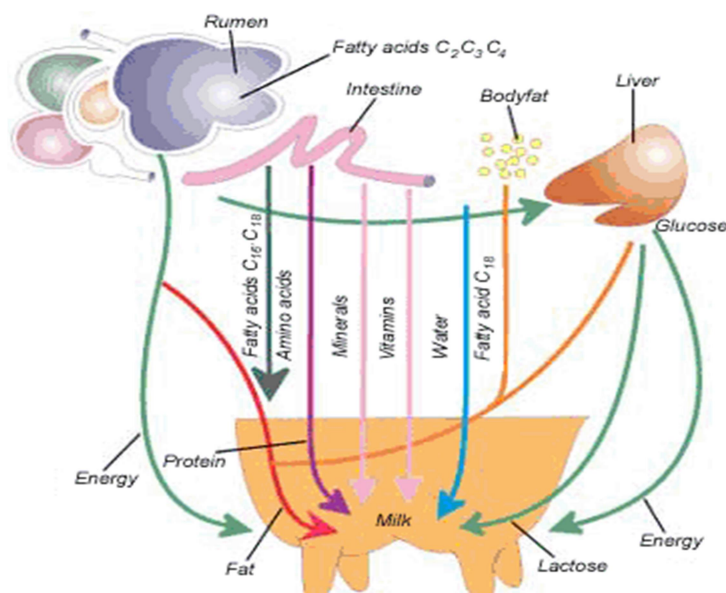
### **La glande mammaire**

Le lait est sécrété dans le pis de la vache, un organe hémisphérique divisé en deux moitiés (gauche et droite) par un pli. Chaque moitié est divisée en quartiers par un pli transversal peu profond. Chaque quartier possède un trayon avec sa propre glande mammaire, ce qui théoriquement, permet d'obtenir quatre qualités différentes de la même vache.

Le pis est constitué d'un tissu glandulaire qui contient les cellules de production de lait. Il est recouvert d'un tissu musculaire qui assure la cohésion du corps de pis et le protège. Le tissu glandulaire contient un très grand nombre de minuscules vésicules appelées alvéoles. Les cellules de production du lait proprement dit sont situées sur

les parois internes des alvéoles. Les capillaires partant des alvéoles convergent dans des canaux lactifères de plus en plus grands qui conduisent à une cavité au-dessus du trayon. Cette cavité, appelée citerne du pis, peut contenir jusqu'à 30 % du volume total du pis.

## 2\* Composition du lait



**Figure 3:** Composition du lait

### 1. Composition chimique:

La composition du lait (Figures 3 et 4) est caractérisée par une grande complexité dans la nature et la forme de ses composants, ceux-ci sont particulièrement adaptés aux besoins nutritionnels et aux possibilités digestives de jeune animal qui y trouve tous les éléments nécessaires à sa croissance. Quatre composants sont dominants du point de vue quantitatif: l'eau, les matières grasses, les protéines et le lactose; les composés mineurs sont représentés par les matières minérales, les enzymes, les vitamines et les gaz dissous. Le tableau 4 résume la composition chimique moyenne et les propriétés physiques du lait de vache et le tableau 5 résume la composition du lait de différentes espèces.

**Tableau 4:** composition chimique et propriétés physiques du lait de vache

Constituants	Quantité
Eau	900-910 g
Matière grasse	35-45 g

Extrait sec, total	125-130 g
Extrait sec, dégraissé	90-95 g
Lactose	47-52 g
Matière azotées	33-36 g
Matière minérale	9-9,5 g
Gaz dissous	/
Gaz carbonique-oxygène-azote	4 à 5 % du volume du lait à la sortie de la mamelle
Densité à 15°C	1,030 à 1,034
Chaleur spécifique	0,93
Point de congélation	-0,55°C
pH	6,5 à 6,6
Indice de réfraction à 20°C	1,35
Activité de l'eau à 20°C	0,99

Il y a autant de lait diggérants qu'il existent de mammifères au monde. Les principaux constituants du lait sont donc par ordre décroissant, de l'eau très majoritairement, des glucides treprésentés principalement par le lactose, des lipides essentiellement des triglycérides rassemblés en globules gras, des protéines: caséines rassemblées en micelles, albumines et globulines solubles, des sels et minéraux à l'état ionique et moléculaire et des éléments à l'état de traces mais au rôle biologique important: enzymes, vitamines, oligo-éléments.

**Tableau 5: composition du lait de différentes espèces**

Nutriment	Vache	Humain	Chèvre	Brebis
<b>Protéines (g/100 g)</b>	3,3	1,0	3,6	6,0
Caséines	2,7	0,6	--	--
Lactosérum	0,6	0,4	--	--
<b>Matière grasse</b>	3,3	4,4	4,1	7,0
<b>Lactose</b>	4,7	6,9	4,4	5,4
<b>Minéraux</b>	0,7	0,2	0,8	1,0
Calcium (mg/100 g)	119	32	134	193
Phosphore	93	14	111	158
Magnésium	13	3	14	18
Potassium	152	51	204	136
<b>Vitamines</b>				
Riboflavine	0,16	0,04	0,14	0,35
Vit. B12 (µg/100 g)	0,36	0,04	0,06	0,71

Adapté de Miller et coll., National Dairy Council, 2000.

## 2. Valeur nutritives

Le lait de vache est un aliment complet, il est à peu près le seul aliment qui puisse répondre de façon équilibrée à la plupart des besoins nutritionnels de l'Homme. Pour un enfant de 5 ans par exemple, un demi-litre de lait peut couvrir quotidiennement environ:

- \* 25% des besoins caloriques
- \* 40% des besoins protéiques
- \* 70% des besoins en calcium et en vitamines B<sub>2</sub>
- \* 30% des besoins en vitamines A et en vitamines B<sub>1</sub>

## 3\* Lait et produits laitiers

### 1. Laits de consommation

Actuellement les laits de consommation peuvent être classés en deux catégories:

- \* le lait cru non traité thermiquement
- \* le lait traité thermiquement

Ces laits ne subissent aucune addition d'ingrédients ou d'additifs, seuls les traitements physiques sont appliqués.

**A/ Technologie des laits de consommation: lait pasteurisé, stérilisé et UHT (ultra haute température)**

Pour obtenir un lait de consommation, le lait cru ne doit subir que des traitements physiques comme: la clarification, l'homogénéisation et bien évidemment les traitements thermiques. C'est uniquement ce dernier qui fait différencier le lait pasteurisé, le lait stérilisé et le lait UHT; les autres traitements sont presque communs. En premier temps, on va présenter les étapes communes de ces laits. Ensuite, on traitera les étapes spécifiques à chaque produit: lait pasteurisé, lait stérilisé et lait UHT.

**a- Réception**

Pour produire un lait de consommation de qualité irréprochable, avec le goût désiré, une belle apparence et une longue conservabilité, le lait (cru, poudre) doit être contrôlé lors de sa réception.

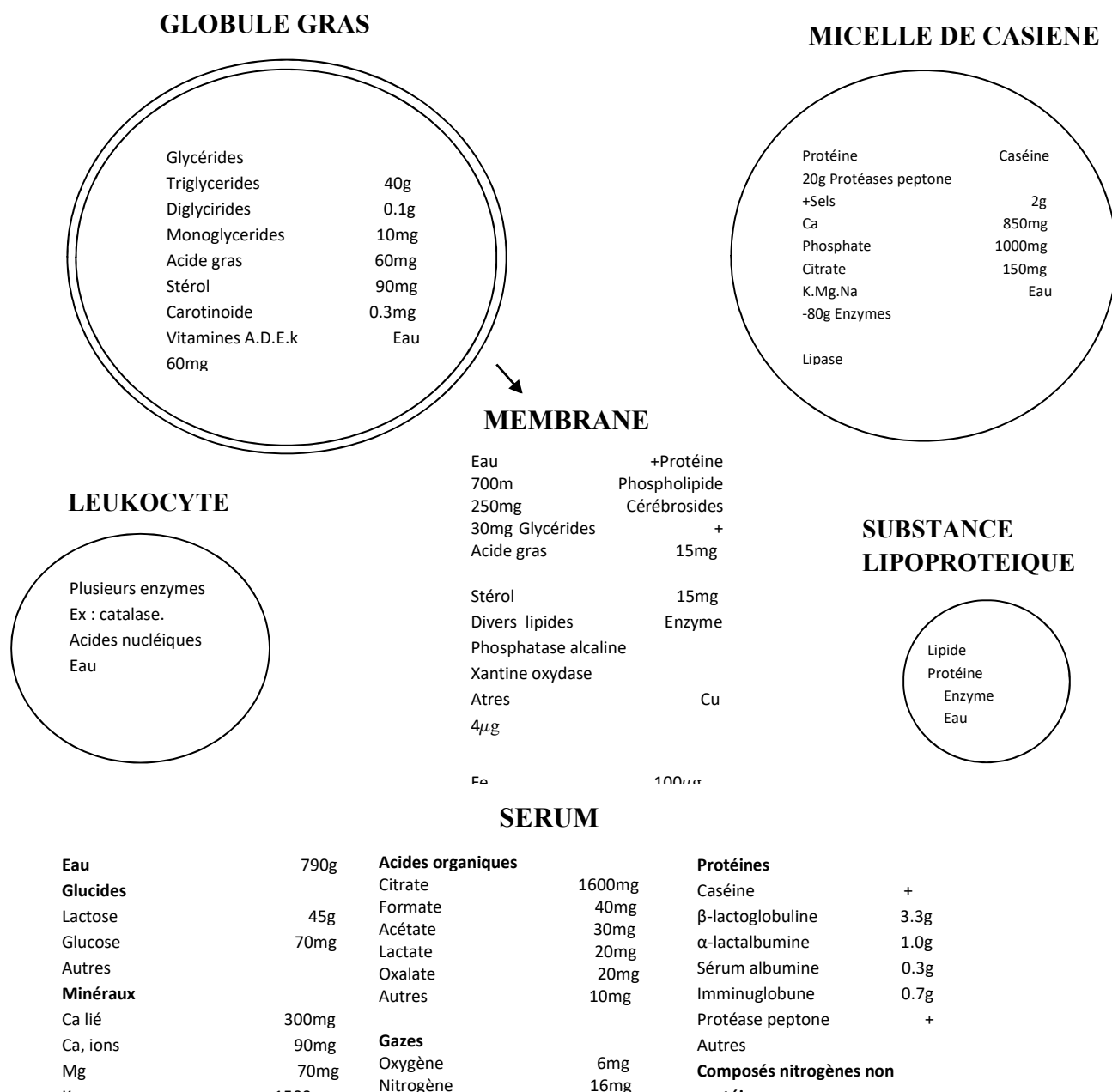
La fabrication des laits de consommation peut être produite à partir du lait en poudre et de la matière grasse du lait anhydre suivant les systèmes de reconstitution et recombinaison.

**\* Reconstitution**

Consiste à mélanger de l'eau et du lait en poudre écrémé afin d'obtenir un produit dont la teneur en matière sèche est voisine de celle du lait liquide initial ou conforme à un rapport eau / matière sèche donné. La reconstitution peut aussi être la dilution d'une poudre de lait grasse dans l'eau.

**\* Recombinaison**

Consiste à ajouter à l'eau et à la poudre de lait de la matière grasse laitière anhydre, de façon à obtenir un lait entier ou partiellement écrémé présentant à la fois les rapport eau / matière sèche totale et matière grasse / matière sèche dégraissé conforme au produit désiré.



**Figure 4:** composition et structure du lait. Quantité moyenne aproximativement dans 1 kg de lait.

### **b- Clarification**

La clarification est l'opération par laquelle le lait est soumis à une force centrifuge dans le but d'en extraire les particules plus denses, tels les débris cellulaires, les leucocytes et les matières étrangères. Sans ce traitement, ces particules sédimenteraient dans le lait homogénéisé, et devenir visibles dans les contenants transparents.

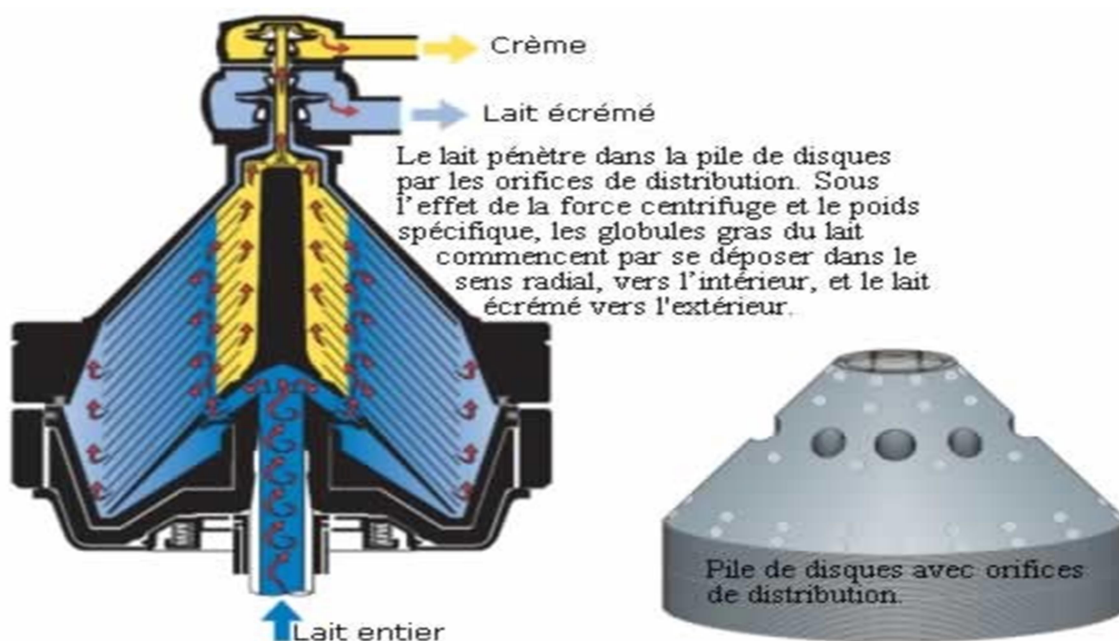
### **c- Thermisation**

Dans de nombreuses laiteries importantes, il n'est pas possible de pasteuriser et de traiter le lait immédiatement après réception. Une partie du lait doit être stockée dans des cuves de stockage pendant plusieurs heures ou plusieurs jours. Dans ces conditions, même une réfrigération poussée ne suffit pas à éviter une grave détérioration de la qualité.

De nombreuses laiteries préchauffent donc le lait à une température inférieure à la température de pasteurisation pour inhiber la croissance des bactéries, notamment les pathogènes. Ce procédé est appelé thermisation. Le lait chauffé à 63-65 °C pendant environ 15 secondes.

### **e- Ecrémage**

Bien que les phases lipidiques et aqueuses du lait ne soit pas miscibles, la décantation et la coalescence spontanées des globules gras à la surface du lait sont lentes; la séparation est accélérée au moyen d'un séparateur centrifuge qui décharge en continu la crème d'une part et le lait écrémé d'autre part (figure 5).



**Figure 5:** principe de fonctionnement d'un séparateur centrifuge.

#### **f- Homogénéisation**

L'homogénéisation est une opération qui sert à empêcher les globules gras de remonter à la surface du lait en réduisant leurs diamètre. Cette étape présente l'avantage de stabiliser l'émulsion de la matière grasse uniformément dispersée dans tout le liquide. D'autre part, ce traitement donne au lait une saveur et une texture plus douce, plus onctueuse pour la même teneur en matière grasse (figur 4).

#### **g- Traitement thermique:**

Cette opération consiste à l'application des traitements thermiques, voir la pasteurisation et la stérilisation.

#### **h- Refroidissement:**

Tous le microorganismes n'étant pas éliminés par la pasteurisation, ce traitement thermique doit être suivid'un brusque refroidissement (choc thermique).

### **i- Conditionnement**

Destiné à véhiculer les produits laitiers fluides dans les réseaux de production et de distribution, le contenant doit avoir certaines qualités

#### ***1-1/ Lait pasteurisé***

La pasteurisation est un traitement thermique modéré permettant la destruction des microorganismes pathogènes et d'un grand nombre de microorganismes d'altération. Ce traitement permet d'une part, d'assurer la salubrité du produit et d'autre part, d'améliorer sa conservabilité. Cette étape est utilisée pour fabriquer plusieurs produits laitiers comme le lait pasteurisé. Après pasteurisation, le lait est refroidir afin de ralentir le développement des germes encore présents (figure 5).

Au stade poste-pasteurisation et lors du conditionnement, il est important d'éviter toute contamination, spécialement par les bactéries psychrotrophes, qui sont les principales responsables de la détérioration subséquente des produits pasteurisés.

Il existe trois types de pasteurisation et cela en fonction du barème de pasteurisation couple temps et température.

\* Basse température, long temps: LTLT

\* Haute température, court temps: HTST

\* Flash température

#### **A/ LTLT**

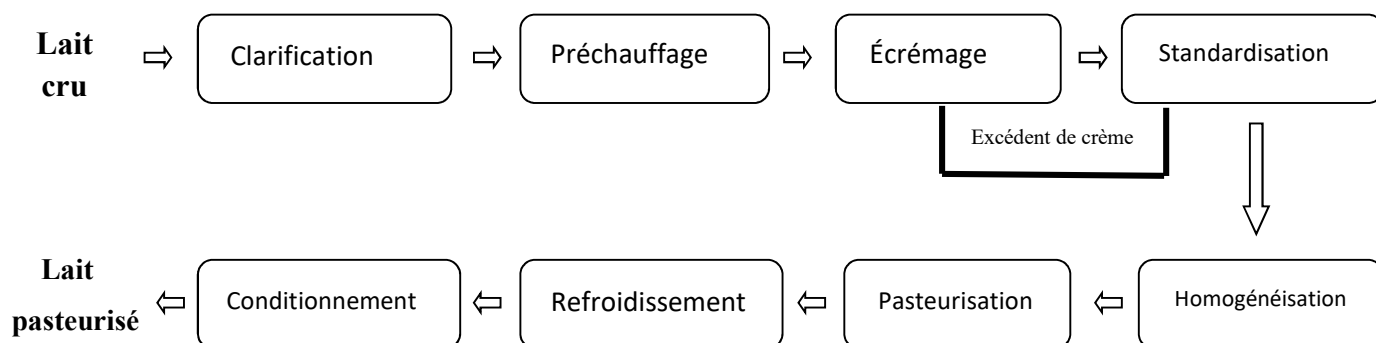
Elle consiste à chauffer le lait dans des cuves ouvertes à 62-65°C pendant 30 minutes, cette pasteurisation n'est plus utilisée en laiterie.

#### **B/ HTST**

Cette pasteurisation est réalisée à température de 71-75 °C pendant 15 à 40 secondes.

#### **C/ Flash pasteurisation**

Le barème est de 80 à 90 °C pendant 1 à 2 secondes, à cette température la phosphatase et la peroxydase sont détruites, la DLC (date limite de consommation) du lait pasteurisé ne dépasse pas 7 jours.



**Figure 6 :** Processus industriel de pasteurisation du lait cru

### ***1-2/ Lait de longue conservation***

Deux méthodes sont utilisées pour la production du lait de longue conservation.

\* la stérilisation en récipients, consistant à chauffer le lait et l'emballage à environ 116 °C pendant environ 20 minutes. Stockage à la température ambiante.

\* le traitement à Ultra Haute Température (UHT), consistant en un chauffage du lait à 130-150 °C pendant 4 à 15 secondes, suivi d'un conditionnement aseptique dans des emballages protégeant le produit de la lumière et de l'oxygène de l'air. Stockage à température ambiante.

#### **a- Stérilisation en récipients**

Deux procédés sont utilisés pour la stérilisation en bouteilles ou en boîtes.

\* Le traitement discontinu en autoclave;

\* Des systèmes de traitement continu:

- ✓ Stériliseurs hydrostatiques verticaux à colonne

- ✓ Stérilisateur horizontal à sens rotatifs

Les principaux défauts des liti stérilisés à éviter sont la coloration prononcée du lait et le goût du cuit (réaction de Maillard et caramélisation)

Il existe deux principaux types de systèmes UHT:

Dans les systèmes directs, le lait entre en contact direct avec le fluide du chauffage, suivi d'un refroidissement instantané dans un récipient sous vide.

Les systèmes directs se divisent en:

- \* Systèmes à injection de vapeur (injection de vapeur dans le lait) ou upérisation;
- \* Systèmes à infusion dans la vapeur (introduction du lait dans un récipient rempli de vapeur).

Dans les systèmes indirectes, la chaleur est transmise du fluide de chauffage au lait à travers une paroi (plaque ou tube). les systèmes indirects peuvent être basés sur:

- \* Des échangeurs de chaleur à plaques;
- \* Des échangeurs de chaleur tubulaires;
- \* Des échangeurs de chaleur à surface raclée.

### **b- Lait UHT**

C'est un lait chauffé en débit continu à une température d'au moins 132°C pendant quelques secondes, le refroidir à température ambiante et à l'emballer aseptiquement dans le but:

- \* Assurer sa stabilité et sa valeur nutritive assez longtemps pour satisfaire les exigences commerciales;
- \* Libérer de tous les microorganismes pathogènes et toxines pouvant affecter la santé du consommateur;
- \* Détruire tout microorganismes capable de proliférer lors de l'entreposage.

**Les laits de conserve:** sont des laits obtenus soit par concentration soit par déshydratation. Leur transport et leur stockage sont grandement facilités et au lieu d'un DLC ils bénéficient d'un DLUO (date limite d'utilisation optimale).

**Le lait concentré non sucré:** est obtenu par pasteurisation à température élevée suivi d'une concentration par ébullition sous vide partiel dans des évaporateurs. Le lait est ensuite homogénéisé, refroidi, distribué en boîtes puis stérilisé par autoclavage à 115°C pendant 20 minutes. Sa conservation est de très longue durée.

**Le lait concentré sucré:** est obtenu par pasteurisation suivi de l'addition d'un sirop de sucre stérile à 7 % de saccharose. Le sucre inhibe la multiplication des microorganismes, ce qui autorise un traitement thermique moins important. Après concentration à 50% environ, le lait refroidi est réparti en boîtes ou en tubes stériles. Sa conservation est de longue durée.

**Le lait en poudre:** est obtenu par dessiccation d'où la quasi-totalité d'eau est éliminée à 96 %, traitement qui permet une longue conservation à une température ambiante puisque les microorganismes ne peuvent se multiplier sans eau. La poudre de lait est très utilisée par l'industrie agro-alimentaire. Le taux de matière grasse est précisé sur l'emballage. Il existe deux catégories du lait en poudre; le spray écrémé (taux de matière grasse inférieur à 1,5%) et le spray gras 26% (le taux de matière grasse est de 26%). Il existe deux procédés principaux: le séchage sur cylindre ou procédé Hatmaker, et le séchage spray ou par pulvérisation ou atomisation.

**Les laits infantiles:** se sont des laits en poudre conçus spécialement pour s'adapter aux besoins des nourrissons; leur dénomination légale est aliment lacté diététique pour nourrissons.

**Le lait microfiltré:** la microfiltration consiste à séparer physiquement les bactéries par passage du lait à travers des microfiltres céramiques. La porosité contrôlée des membranes céramiques permet la rétention des microorganismes et la perméabilité des autres constituants du lait. Les bactéries ne pouvant pas passer à travers les pores (1,4 µm) des filtres céramiques sont récupérées dans un volume correspondant à environ 0,5 % de volume du lait entrant. En raison du recouvrement de taille entre microorganisme et globules gras, cette filtration est réalisée sur du lait écrémé. Les traitements

thermiques (pasteurisation, stérilisation...) permettaient de détruire la flore microbienne et d'augmenter la DLC mais infligent au lait un choc thermique qui dénature le goût original. Le prétraitement par microfiltration du lait permet la production d'un lait de consommation peu chauffé avec une saveur similaire à celle du lait cru et une durée de vie très allongée. Ce lait conserve sa saveur et sa fraîcheur pendant 3 semaines après son conditionnement, la DLC est fixée à 15 jours pour des raisons de sécurité car les enzymes du lait (les protéases par exemple) sont capables de dégrader le lait au cours de sa conservation.

Des laits à teneur garantie en vitamines ou enrichis en divers éléments nutritifs sont proposés aux consommateurs:

### **Lait à teneur garantie en vitamines**

Le lait est naturellement riche en vitamines mais certaines d'entre elles supportent mal la chaleur de la pasteurisation et de la stérilisation. Elles perdent ainsi en qualité nutritionnelle. Certaines marques ont ainsi fait le choix de restaurer la teneur en vitamines du lait, afin de rétablir la richesse originelle de celui-ci. Ces laits portent alors la mention «à teneur garantie en vitamines».

### **Les laits supplémentés ou enrichis**

Sont des lait enrichis en vitamines telles que A, E, PP, B, D, en calcium, zinc, magnésium, fer, oméga 3, ou encore en lactoferrine, en fibres. Ces laits répondent à une demande accrue notamment chez les enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes, dont les besoins nutritionnels sont spécifiques.

Quelques exemples:

- \* lait enrichi en fer, zinc, vitamine D et acides gras essentiels (croissance);
- \* lait enrichi en fer, magnésium, acide folique et vitamine D (future Mamman);
- \* lait enrichi en fer, zinc et magnésium à teneur garantie en vitamines du groupe B et en vitamines A, C et E (grand Vivre);
- \* lait écrémé à teneur garantie en vitamines A, E, C et vitamines du groupe B (Silhouette);

- \* lait enrichi en calcium et en vitamine D (lait calcium plus);
- \* lait enrichi en acides gras essentiels de type Oméga 3 (lait aux Omégas 3): il s'agit d'un lait 1/2 écrémé auquel on a ajouté de l'huile de poisson (0,29%) source d'acides gras de type Oméga 3. L'apport en Oméga 3 de ce type de lait est de 60 mg/100 ml (les apports nutritionnels conseillés pour la population sont de 500 mg/j);
- \* lait enrichi en protéines et/ou en calcium et à teneur garantie en vitamines A, E, et en vitamines du groupe B (Viva protéines et Nactalia);
- \* lait à teneur garantie en vitamines Q, B1, B2, B5, B6 et PP (entier ou 1/2 écrémé) (Viva Vitamines).

### **Le lait biologique**

Ce lait a fait son apparition sur le commerce. Pour que les bouteilles portent la mention AB, les vaches qui produisent ce lait doivent être élevées selon les règles de l'Agriculture Biologique, ce qui comprend des normes spécifiques d'élevage et de culture de terres.

## **2. Yaourt**

C'est un produit laitier cuagulé obtenu par fermentation lactique grâce au développement des seules bactéries lactiques thermophiles spécifiques, dites *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* à partir du lait.

Les bactéries lactiques thermophiles spécifiques doivent êtreensemencées simultanément et se trouvées vivantes dans le produit fini à raison d'au moins 10 millions de bactéries par gramme rapportées à la partie lactée.

Lors de la mise en consommation, la quantité d'acide lactique libre contenue dans le yaourt ne doit pas être inférieure à 0,8 g pour 100 g de produit.

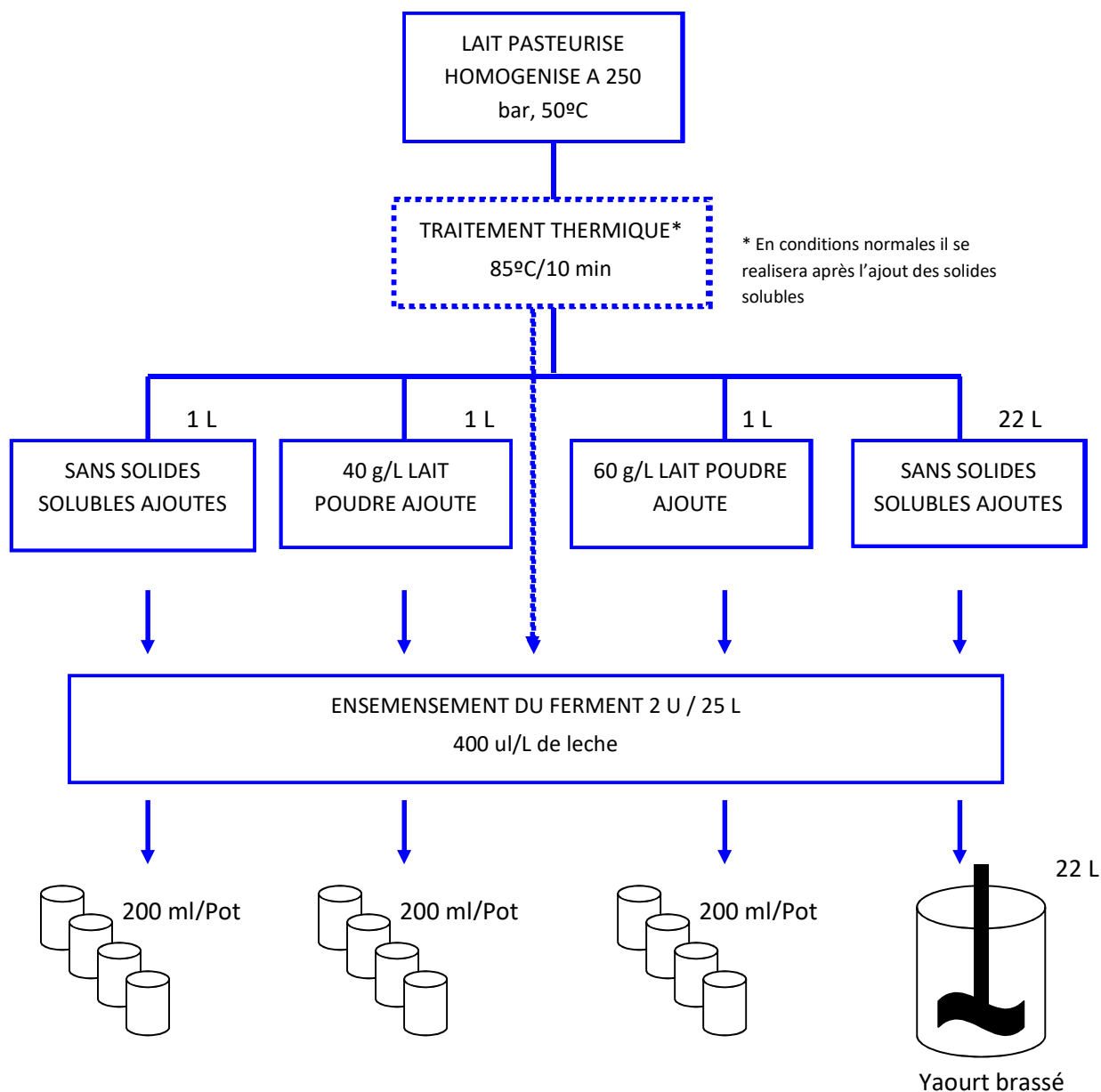
### **2-1/ Processus d'élaboration de yaourt**

La matière première consiste en lait pasteurisé. A continuation le diagramme qui montre le processus:

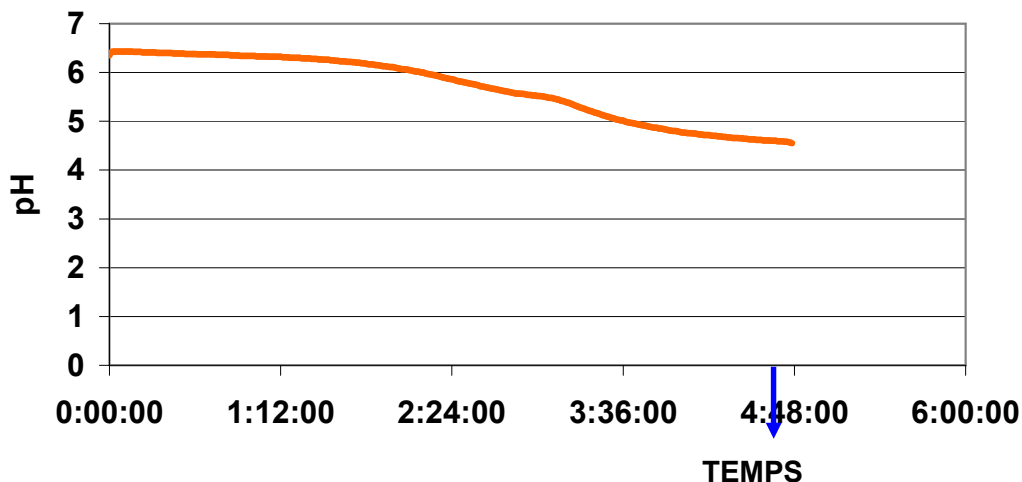
1. **HOMOGENEISATION**: le lait est chauffé dans la cuve fromagère jusqu'à 50°C. Les conditions du processus sont: 1 étape, 250 bar, 50°C. L'efficacité du

processus peut être tester avec un microscope, en utilisant des portes objets et lamelle ou une chambre de Thoma. Ainsi, on compare la taille des globules de graisses dans une goutte du lait en utilisant l'objectif d'immersion, premièrement avec du lait sans homogénéiser et après avec du lait qui est homogénéisé.

2. **TRAITEMENT THERMIQUE**: pour dénaturer les protéines du lactosérum et faciliter la gelification postérieur. On réalise le bain marin dans l'équipement multiprocesseur.
3. **REFRIGERATION**: jusqu'à 40 - 42°C. On réalise l'équipement multiprocesseur, en refroidissant sous l'eau courante et avec une sonde de T<sup>a</sup> introduite dans le lait.



## pH durante elaboración de YOGUR



INCUBATION A 40 - 42°C

4. **MELANGE DE SOLIDES SOLUBLES NON GRASSEUX**: on utilise le lait écrémé en poudre. Pour avoir un extrait sec maigre total de 12%, on doit ajouter 40 grammes de lait en poudre pour 1 litre de lait. Dans la pratique on compare un yaourt fabriqué sans lait en poudre et autres deux avec 40 et 60 g/L de lait en poudre.
5. **PREPARATION DE FERMENT ET ENSEMENCEMENT**: chaque sachet individuel de ferment artisanale MY900 contient "2 unités, ce qui fait la dose nécessaire pour 25 litres du lait. Un sachet se dilue dans 10 ml du lait à 40°C, et par l'intermédiaire d'une micropipette et des pointes stériles, on dose 400 µl pour chaque fiole avec 1 litre du lait.

On distribue chaque préparation dans des pots de conserve de 200 ml, remplie jusqu'au 2/3 de sa capacité, on les tape et on les introduit dans un incubateur à 40-42°C.

Le reste du lait se fermente dans un équipement multiprocesseur pour avoir un yaourt brassé.

6. **INCUBATION**: à 42°C. Dans un des pots de yaourt, on introduit une électrode de pH et une sonde de  $T^a$ , connectées à l'enregistreur de données pour surveiller les valeurs de pH. Quand le pH atteint une valeur de 4,5-4,6, le processus de fermentation doit être finaliser.
7. **FIN DU PROCESSUS**: par l'intermédiaire de la réfrigération immédiate du produit dans la chambre frigorifique.

### **3. Beurre**

Produit obtenu soit de la crème ou de ses sous-produits suffisamment débarrassé d'eau par malaxage et lavage pour ne plus en contenir pour 100g que 18g au maximum de matière grasse dont 16g au maximum d'eau. C'est un produit de type émulsion d'eau dans la matière grasse, obtenue par des procédés physiques et dont les constituants sont d'origine laitière. 25 kg de lait donne 1 kg de beurre.

Sa composition est formée d'émulsion d'eau dans l'huile (mélange de corps gras à courtes chaînes contenant de l'eau finement dispersée) facile à dégrader. Les lipides représentent 83% dont 63% d'acides gras saturés et 37% d'acides gras insaturés (dont 2% d'acides gras polyinsaturés) mais elle est pauvre en acides gras essentiels. L'eau représente 16% comme maximum autorisé. Le beurre est une bonne source de vitamine A, un peu de vitamine D et 0,3% de cholestérol. L'énergie apportée représente 740 Kcal/100g et la température critique est de 130°C.

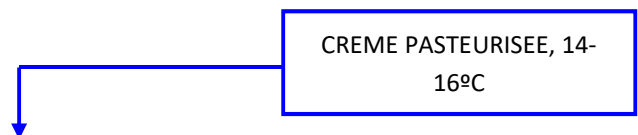
On classe le beurre en: beurre allégés --> MG = 60 à 27%. Beurre spécialité à tartiner ou à teneur lipidique réduite, MG --> 40 à 20%. Beurre demi-sel: contient des matières grasses variables avec 2g de sel/100g au maximum.

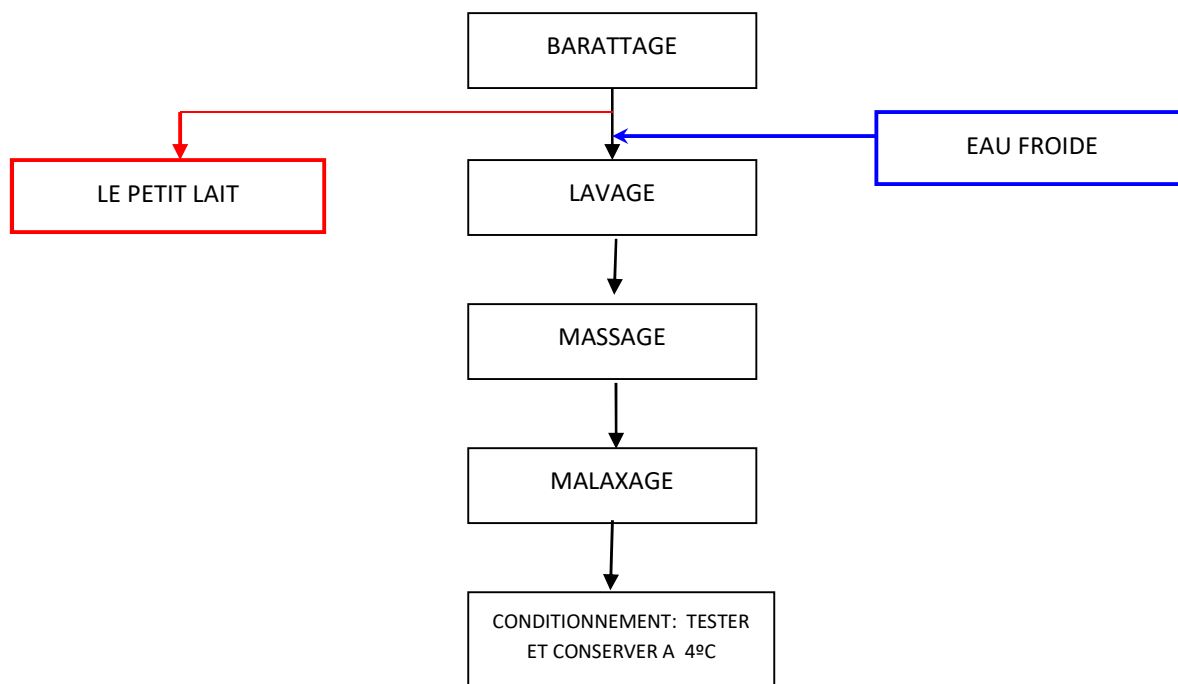
#### ***3-1/ Processus d'élaboration de beurre:***

Matière première: crème pasteurisée avec 38% MG. La  $T^a$  initiale de la crème doit être de 14°C. Le diagramme du processus est décrit à continuation:

1. **ACIDIFICATION OU MATURATION DE LA CREME**: on réalise la culture du ferment à utiliser et on laisse incuber la crème dans la chambre de

maturation a 14°C jusqu'au jours suivant. Soit elle est réalisée o non l'étape de maturati6n il est important que la temp6rature de la cr6me soit a 14°C durant plusoeurs heures pour favoriser una cristalisation adecuada de la graiss.





2. **BARATTAGE:** séparation des globules de matière grasse du babeur, reste du lait initiale contenant les protéines et le lactose.
3. **RETIRER LE PETIT LAIT:** par l'intermédiaire de l'orifice inférieur du babeur.
4. **LAVAGE:** on utilise un volume élevé d'eau en trois fois (5 L). Le lavage consiste à verser l'eau froide sur les grains de beurre, agiter le mélange manuellement durant quelques minutes et retirer le serum résultant au fond du babeur, on répète cette opération jusqu'à ce que le serum soit clair.
5. **AMASSAGE:** on mélange manuellement les grains de beurre (aucun conservateur ni colorant chimique n'est ajouté) avec l'orifice inférieur ouvert pour expulser le serum qui se libère. Cette opération permet de souder les grains de beurre entre eux et répartir l'eau qu'il convient d'y laisser pour donner au beurre son goût et sa consistance. Durant le massage on peut ajouter du sel et d'autres additifs.
6. **MALAXAGE:** Consiste à battre le beurre dans le sens contraire. Cette opération dure quelques minutes.
7. **CONDITIONNEMENT ET CONSERVATION:** le beurre obtenu est emballé en portions et est enrobé dans du papier aluminium.

#### 4. Fromage

La dénomination « fromage » est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitière suivantes : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse. La teneur minimale en matière sèche du produit ainsi définie doit être de 23 grammes pour 100 grammes de fromage.

Autrement dit, un fromage est un aliment moulé, obtenu à partir de la coagulation du lait suivie ou non de fermentation. Outre la coagulation, ou caillage, sa fabrication comporte également classiquement une étape d'égouttage, puis d'affinage. On fabrique du fromage à partir de lait de vache, mais aussi de brebis, de chèvre, de bufflonne...

Il existe plusieurs façons de classifier les fromages selon différents critères :

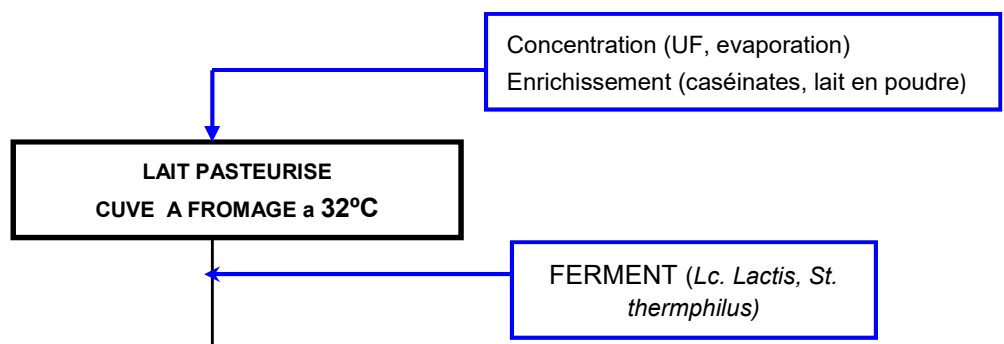
- \* Type de lait : vache, chèvre, brebis, bufflonne..
- \* Type de texture : pâte dure, semi-dure, molle
- \* Type d'affinage : affiné, frais, fromages fondus

Processus de fabrication : la classification de Lenoir étant la plus utilisée

##### 4-1/ Processus d'élaboration du fromage

#### Diagramme de l'élaboration du fromage

##### 1. Standardisation



**2. Coagulation**  
**(enzymatique et/ou lactique)**

**3. EGOUTAGE**

**4. RAFFINAGE (Maturation)**

**ELBORATION DU FROMAGE FRAIS**

On démarre avec 20 litres de lait pasteurisé. Le procédé est décrit dans l'organigramme.

1. **CHAUFFER DANS LE LIEU FROMAGERE.** Le lait doit chauffer à une température de 32°C, en la réglant le plus juste possible.
2. **PREPARATION ET AJOUT DE FERMENT.** On utilise le ferment artisanale MA400-2 (*Lc. lactis, var lactis, cremoris et diacetylactis, St. thermophilus*). La dose indiquée pour le fabricant est de 2 u pour chaque 100 litres du lait, et dans chaque sachet il y a 2 u. On dilue le contenu d'un sachet dans 10 ml. de lait tiède qu'on homogénéise jusqu'à ce que les grumeaux disparaissent. Onensemense 2 ml. de ferment pour les 20 litres de lait et on l'agite avec le batteur. Le ferment doit être laissé agir durant au moins 30 minutes pour qu'elle se produise l'acidification désirée du lait. Il est convenable de battre le lait fréquemment.
3. **AJOUT DU CLORURE DE CALCIUM.** On utilise une dissolution déjà préparée (ARROYO) et selon les doses recommandées: 5 ml pour 20 litres du lait. On agite avec un batteur durant au moins 2 minutes pour que le calcium se distribue parfaitement (c'est le point critique). Comme le lait utilisé a subi un traitement de haute pasteurisation il est convenable d'ajouter une quantité plus élevée de chlorure de calcium (10 ml pour 20 L du lait) pour fournir la carence de calcium soluble en raison de tel traitement, et obtenir la formation de gel dans les meilleurs délais.
4. **EMPRESURAGE.** On utilise une présure commerciale (ARROYO) de force 1/10000. La dose pour 10 litres du lait est de 1 ml. On peut aussi utiliser une dose supérieure (x3) pour raccourcir le temps d'attente (cela n'a aucun effet sur la fabrication de fromage frais, mais peut être critique dans la fabrication des fromages de longue maturation). Agiter bien le mélange. Taper la cuve à fromage et laisser reposer pendant 30 à 45 minutes). A partir de ce moment on réalise des mesures ponctuelle de pH avec l'électrode spécifique de pénétration.  
  
La présure doit être diluée au préalable à 1/5-1/10 dans de l'eau pour éviter la formation de caillots locaux et la perte d'homogénéité du gel.
5. **CUAGULATION DU LAIT.** Après 45 minutes d'attente, le lait doit être caillé. On observe la formation du sérum sur les zones de contact avec la cuve. Le chef fromager réalisera un test pour déterminer la consistance du gel formé. Pour cela, il introduit le doigt dans le gel et l'enlève doucement en observant la libération du sérum. Aussi on peut réaliser le test de "boutonnière" en

introduisant la pointe d'un couteau et en l'enlevant de côté et doucement il se formera une ligne de coupe que libérera le sérum, la brisure doit être lisse et nette (pas déchiquetée). Si la consistance n'est pas encore adéquate on doit laisser reposer quelques minutes de plus jusqu'à obtenir la consistance adéquate.

6. **DECAILLAGE ET EGOUTAGE.** Le decaillage favorise l'égoutage. Le decaillage peut être effectué à l'aide d'un tranche-caillé (lyre): dans ce cas, on veillera à ce que l'écart entre les fils soit suffisant. Un écart de 1,5 cm est conseillé. Le decaillage doit être réalisé de forme ordonnée pour obtenir une taille des grains la plus homogène possible. Les plus petits grains se perdent avec le lactosérum avec quoi se réduit le rendement en fromage et les plus grands empêchent un égoutage correcte. Quand les grains de taille désirés sont obtenus (un dois de parchis) on introduit dans la cuve un des accessoires sous forme d'une plaque d'acier multi-perforé, qu'on utilise pour pousser le caillé et le séparer du lactosérum pour libérer l'orifice de l'égoutage.
7. **MOULAGE.** On remplit les moules avec les grains de caillé et on laisse égoutter par gravité durant 20 min. Ensuite, on retourne les fromages dans le même moule pour que l'égoutage continue et on les laisse durant autres 20 min. Le retournement s'effectue plusieurs fois jusqu'à l'obtention du degré d'égoutage désiré. Dans les conditions normales, ce processus peut durer 2-3 heures. Les grains de caillé se fusionnent prennent la forme du moule. Finalement, les fromages sont démoulés, ils sont disposés sur des claies qu'on secoue légèrement. On pèse les fromages pour estimer le rendement fromagère.
8. **SALAGE.** Par immersion dans la saumure durant 10 - 20 minutes. La saumure s'élabore avec 3 litres d'eau et une concentration de sel commun de 18%. Le temps de immersion doit être calculé selon la taille et le type de fromage.
9. **CONDITIONNEMENT ET CONSERVATION.** On les introduit dans un récipient adéquat et on les conserve dans une chambre de réfrigération à 4°C. Ce type de fromage doit être consommé durant un court temps.

**PRESING.** Pour certains types de fromages on exerce une pression sur le moule pour éliminer un grand pourcentage de lactosérum. Le traitement appliqué sera le suivant:

0,5 bar durant 30 minutes, 1 bar durant autres 30 minutos y 2 bares durant 15 minutes. Ensuite on les met dans la chambre froide jusqu'au jour suivant, on les démoule, on les sale et ils passent aux phases de oreo (16°C, 80% d'humidité relative, 5 jours, retournés cotidiennement) et suivi de maturation (14°C, 90% HR).

## **Technologie de transformation des aliments d'origine végétale**

### **I/ Céréales et dérivés**

#### **Introduction**

Les céréales et en particulier le blé occupent une place de choix dans notre alimentation. Le secteur céréalier souffre de problèmes techniques spécifiques qui limitent

considérablement sa productivité. Même si les superficies céréalières ont été portées de 3 à 3,7 millions d'hectares, elles souffrent de nombreuses lacunes: faibles taux de mécanisation, usage trop rare de produits chimiques et engrais, utilisation irrationnelle des sols, mauvais systèmes d'assolement et de rotation des cultures. Il faut rappeler que la moitié de l'offre mondiale de blé dur est achetée, chaque année, par l'Algérie. Les principaux fournisseurs sont: le Canada, les Etats-Unis et la communauté européenne.

Par céréales, nous entendons l'ensemble des plantes annuelles cultivées en vue de l'obtention de graines à albumen amylacées: blé, orge, seigle, avoine, maïs, riz...

Cultivées principalement pour leur grain, les céréales le sont aussi pour leur paille (litière, fumier, alimentation animale). nous limiterons notre étude au blé.

### **1\* Biologie et composition du grain de blé**

Le blé est une plante annuelle appartenant à la famille des graminées (poacées). Elle fait partie du groupe des monocotylédones qui appartient au genre *Triticum*. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscence, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*). Ces deux espèces regroupent plusieurs milliers de variétés.

Le blé tendre a 42 chromosomes. Son albumen est relativement friable et lui donne une bonne aptitude à être transformée en farine. Sa valorisation se fait dans les produits de boulangerie, pâtisseries, biscuiterie, crêperie et dans les sauces. Le gluten de blé tendre a comparativement une meilleure aptitude à la texturation des pâtes à pain.

Le blé dur, quant à lui, possède 28 chromosomes. Son amande dure le rend apte à donner des semoules pendant la mouture. Ces semoules sont valorisées dans la fabrication des pâtes alimentaires et des couscous. Une utilisation en panification est possible; cette pratique est d'ailleurs courante dans les pays méditerranéens.

Ces deux blés possèdent des protéines aptes à former un gluten lorsque les farines ou les semoules sont hydratées.

Les racines du blé sont fibreuses, sa tige, haute, est généralement creuse, entrecoupée de noeuds où prennent naissance les feuilles. Le sommet de la tige porte une grappe de fleur qui se transforment en grains, constituant un épis.

La composition moyenne d'un grain de blé est:

Matière sèche: 88%

Protéine: 7 à 12%

Lipides: 2 à 5%

Glucides: 60 à 85%

Sels minéraux: 0,8 à 3%

Signalons cependant l'absence de vitamines D et de lysine.

Les gains de blé doivent contenir des protéines de qualité et ce peu importe leur quantité.

L'examen du grain permet de mieux comprendre la technique de transformation du blé en farine, mais aussi de bien situer la répartition des différents éléments nutritionnels et leur devenir dans les opération de mouture et de tamissage des farines.

### **Le grain de blé**

Quand les grains de blé sont mûrs (fin juin), vient le temps de lq moisson qui se fait aujourd'hui à l'aide de machines perfectionnées; moissonneuses-batteuses. La moisson terminée, les grains de blé sont stockés à la ferme ou dans des silos où ils attendent d'être transformés.

Depuis la fécondation des fleurs, les grains de blé se sont transformés; ils ont graissi peu à peu et mûri au soleil. Chaque épi en porte de 45 à 60 environ.

La taille du grain de blé est d'environ 6 mm, sa couleur varie du jaune pâle à l'ocre roux, selon la variété du blé. Sa forme où rappelle celle d'un petit oeuf, marqué toutefois sur toute sa longueur par une légère fente: le sillon où se trouve le faisceau nouricier du grain. Une fine brosse de poils est attachée à son extrémité la plus arrondie.

Le grain de blé comprend trois parties principales:

#### **1- L'enveloppe (14 à 16% du poids du grain):**

L'enveloppe est formée de membranes très fine: (assise protéique, bande hyaline, tégument, séminale, endocarpe, mésocarpe, péricarpe et épicarpe).

Après la mouture, l'enveloppe détachée de l'amande, forme les sons. Le péricarpe, dur et résistant protège la graine. L'assise protéique permet de faire adhérer très fortement les membranes de l'enveloppe sur l'amande.

## **2- L'amande farineuse (81 à 88% du poids du grain):**

L'amande (ou l'albumen) est la partie du grain qui donne la farine (cas du blé tendre) et semoule (cas du blé dur); dans les blés durs, sa couleur tire davantage sur le jaune. Cette amande est constituée d'un ensemble de cellules renfermant les grains d'amidon réunis entre eux par une sorte de ciment naturel, le gluten.

## **3- Le germe (2,5 à 3% du poids du grain):**

Le germe est situé à la plus grosse extrémité du grain, il se divise en deux parties principales:

- a- L'embryon qui comprend des feuilles, des bourgeons et des racines, le tout à l'état rudimentaire,
- b- Le scutellum qui renferme des protéines, des matières grasses, des vitamines (B1) et une faible quantité d'amidon. Lors de la germination, il cède ses ressources à l'embryon qui se développe. Il devient ensuite un organe de digestion servant à transférer les matières nutritives de l'amande vers la jeune plantule.

## **2\* Processus de la meunerie et semoulerie**

### **1. Réception:**

Le blé est livré en camion au moulin soit en provenance d'une coopérative agricole, soit directement de l'agriculteur. Il est déversé dans une fosse en passant successivement dans deux grilles (séparateur) qui retiennent d'une part les déchets de type paille, pierres, morceaux de métal, et d'autre part les grains trop petits. Ensuite, le blé est pesé

avant d'être stocké en silos, ou de passer dans le circuit du moulin, si le flux est important.

## **2. Nettoyage:**

Afin d'éliminer les éléments indésirables du grain, le blé passe dans une série de machines destinées à le nettoyer:

- \* Un régulateur de flux assure un débit constant sur la chaîne;
- \* Un système d'aspiration élimine les impuretés les plus légères (paille...);
- \* Des machines de calibrage et de triage (cylindre ou disque alvéolé) séparent les blés des grosses et petites graines étrangères. Une épointeuse (qui projette les grains contre des grilles métalliques, des parois d'émeri ou des batteuses) où une brosse qui assure le nettoyage de la surface des blés;
- \* Les grains passent dans épierreuse et un séparateur magnétique qui enlèvent les pierres et les éventuelles pièces métalliques;
- \* Les tables densimétriques: les grains sont soumis à une aspiration d'air tout en étant entraînés par un mouvement de va-et-vient le long d'une table vibratoire et inclinée. Les produits se répartissent en plusieurs couches. Les blés les plus propres sont récupérés à l'une des extrémités de la table.

## **3. Préparation: mouillage/conditionnement:**

Avant de passer en mouture, le blé doit être humidifié de façon à ce qu'il atteigne un taux d'humidité convenable (en général entre 15 et 17,5%). Pour cela, on fait varier deux paramètres: la quantité d'eau ajoutée et la durée de repos du blé (24 ou 48 heures), en tenant compte de la variété du blé utilisé (friabilité de l'amarante) et de son humidité initiale.

Les objectifs sont:

- 1- D'assouplir les enveloppes afin d'éviter leur fragmentation et de faciliter leur séparation;
- 2- De réduire la dureté de l'albumen pour éviter que les granules d'amidon soient endommagés lors de mouture;

3- De conserver la valeur boulangère des farines et pâtière des semoules.

#### **4. Mouture:**

##### **1/ Mouture du blé tendre:**

Il existe deux procédés de mouture bien distincts: la mouture sur meule de pierre et sur cylindre métallique. La première méthode, n'est plus pratiquée sauf dans quelques maisons traditionnelles disposant de meule en pierres. La deuxième est la plus répandue vu ses meilleures capacité d'extraction et de production.

##### **a- Le broyage**

Est l'opération permettant de dissocier l'amande et les enveloppes par écrasement et cisaillement du grain. Pour cela, le grain est ouvert par passage entre deux cylindres cannelés tournant en sens inverse et à des vitesses différentes (rapport de vitesse environ 2,5). Chaque opération de broyage est suivi d'une opération de tamisage (ou blutage) qui sépare les produits en fonction de leur granulométrie et les renvoie soit vers le broyeur suivant, soit vers un claqueur ou un convertisseur. Cette opération est réalisée sur des plansichters, constitués d'un empilement de tamis (à maillage différents) et subissant un mouvement rotatif (à 200 tours par minute) et de va-et-vient permanent.

##### **b- Convertissage et claquage:**

Le convertissage et le claquage sont effectués des cylindres lisses avec un rapport de vitesse d'environ 1,25. Les claqueurs reçoivent les grosses semoules provenant en majorité des différents broyeurs, les convertisseurs reçoivent les finots (fines semoules de broyage) et gruaux. Il y a plusieurs passages (entre 4 et 7) sur chacun des appareils (broyeur, claqueur, puis convertisseur), en fonction de la finesse des produits obtenus.

Le sassage intervient de manière optionnelle pour séparer les produits de mouture (en fonction de leur taille, de leur densité et de leur forme) avec un système d'aspiration ascendante et de tamis.

#### **C- Produits formés:**

**a- Farine:** fines particules d'albumen (30 à 200  $\mu\text{m}$ ) qui seront d'autant plus contaminées par les parties périphériques du grain que l'extraction des farines sera poussée. Lors du 1<sup>er</sup> broyage (suivi d'un blutage), on récupère environ 15% de farine.

**b- Fins sons ou finots:** petits morceaux d'enveloppes exempts d'albumen. A la suite du 1<sup>er</sup> broyage, on obtient 15% de fins sons qui après blutage donneront 5% de farine. Le reste des sons sera additionné aux gruaux et ils subiront ensuite un convertissage puis un blutage qui permettront de récupérer 32% de farine. Au final, on aura ainsi pu récupérer 52% de farine.

**c- Semoules:** grosses particules d'albumen (150 à 500 µm) exempts d'enveloppes adhérentes. Après broyage et blutage, on obtient 54% de semoules qui après sassage, claquage et blutage donneront 28% de gruaux.

**d - Gruaux:** produits isolés du coeur de l'albumen et de taille intermédiaire entre celle de farines et celles de semoules. Après convertissage des gruaux, on obtiendra de la farine.

**e- Remoulage:** il y en a de deux types: les remoulages bis et des remoulages blancs qui se différencient des 1<sup>ers</sup> par leur haute teneur en produits issus de l'albumen.

**f- Gros sons:** gros morceaux d'enveloppe exempts d'albumen. A la suite du 1<sup>er</sup> broyage (et blutage), on récupère 16% de son.

## **2/ Mouture du blé dur:**

Une attention soutenue doit être accordée au nettoyage du blé dur car les impuretés non éliminées se retrouveront sous forme de piqûres dans la semoule et au niveau des pâtes, dépréciant ainsi leur qualité.

Après nettoyage, le blé dur est ensuite conditionné à une humidité de 15% d'eau. La mouture du blé dur comme celle du blé tendre vise à séparer les enveloppes de l'endosperme par une série de broyage dans des appareils à cylindres cannelés et à purifier au fur et à mesure les semoules obtenues par des passages successifs dans les plansichters puis dans les sasseurs. C'est à ce stade que les semoules sont produites.

L'écrasement du blé est effectué progressivement pour éviter de produire de grande quantité de farine (appelée en semoulerie farine basse de blé dur).

## **3\* Différents types de farines:**

**1. Farine fleur: (ou farine de première qualité ou supérieur):** cette farine est d'un blanc brillant (tirant légèrement sur le crème), sans piqûres visibles à l'oeil nu. La farine fleur résulte du mélange des farines de broyage et de celles obtenues par convertissage des premiers gruaux se trouvant au centre du grain. C'est cette farine qui est le plus souvent employée en pâtisserie en raison de sa pureté qui en fait un produit de qualité.

**2. Farine de deuxième qualité:** (ou courante ou boulangère): elle est d'un blanc plus mat tirant d'avantage sur le crème. Des piqûres sont perceptibles à sa surface.

**3. Farine de troisième qualité:** elle est grisâtre et assez chargée en piqûres. Cette farine, dont le taux de matière grasse est élevé, est de moindre qualité et ne convient pas pour les travaux de pâtisserie.

#### **4\* Différents types de semoules:**

**1. Semoule supérieure:** de couleur jaune ambrée, sans piqûres et très faiblement minéralisée.

**2. Semoule de première catégorie:** son taux de cendre est légèrement élevé, mais de couleur jaune ambrée avec présence de quelques piqûre de son.

**3. Semoule courante:** taux de cendre généralement très élevées, piquées par du son.

**4. Semoule de substitution:** semoule très minéralisée et très piquée par le son.

#### **5\* Critères de qualités des farines et semoules:**

De manière générale on distingue six «notion» de qualité:

1- La qualité commerciale qui correspond à une adéquation entre les caractéristiques d'un lot et la demande qualitative des acheteurs. Ce qui équivaut au respect des cahiers de charges.

2- La qualité réglementaire qui permet d'assurer qu'un lot doit être «sain, loyal et marchand» et ainsi d'éviter la mise sur le marché de produits inaptes à la consommation humaine ou animale.

3- La qualité industrielle qui adapte; suivant les procédés de transformation utilisés; la qualité des blés ou des dérivés pour la fabrication d'un même produit fini.

- 4- La qualité intrinsèque d'une variété (qualité héritable).
- 5- La qualité hygiénique ou sanitaire, qui garantit l'absence de produits pathogène dans les grains et dérivés.
- 6- La qualité nutritionnelle: les céréales sont la principale source d'énergie dans l'alimentation humaine (bien que les calories d'origine animale leur soient à peu près équivalente dans les pays développés:

**A\* Protéines:** teneur faible (comprise entre 8 et 14% de la matière sèche) et qualité insuffisante (faible pourcentage d'acides aminés basiques tels que la lysine, le tryptophane, la valine et la éthionine). D'où la faible valeur nutritionnelle des protéines du blé (et plus encore de la farine et du pain). Cependant, celle du germe est excellente. Ainsi, plus le taux d'extraction sera élevé (plus il y aura de constituants provenant de la couche à aleurone et des enveloppes), plus la valeur nutritionnelle sera meilleure. Cependant, des essais ont montré que; les avantages d'une mouture totale de blé sont contrebalancés par une mauvaise digestibilité du produit et un accroissement des pertes fécales.

**B\* Amidon:** compte tenu de leur richesse en amidon, les céréales sont avant tout une source d'énergie.

**C\* Minéraux et vitamines:** la teneur en vitamines (B et PP) et en minéraux augmente avec le taux d'extraction. Cependant, la teneur en fibres d'un pain complet limitera l'absorption des minéraux. De plus, on peut noter que les apports quotidiens en vitamines sont très faiblement assurés par les céréales.

**D\* Fibres alimentaires:** la teneur en fibres augmente de l'intérieur du grain vers les parties périphériques. Ainsi, les sons peuvent en, contenir jusqu'à 50% alors qu'une farine blanche, à faible taux d'extraction, n'en contient que 3 à 4%.

**6\* Méthodes analytiques du contrôle de la qualité de la matière première et dérivés:**

**1. Méthodes Physiques:**

**a- Poids spécifique ou poids à l'hectolitre (PHL):** c'est le poids d'un hectolitre de grain (paramètre de densité:  $d = m/v$ ). Cette mesure est utilisée pour prédire le comportement du blé au cours de la mouture (rendement).

**b- Poids de milles grains (PMG):** c'est le poids de mille grains de blé propres séparés par un Mumégrale ou tout autre appareil. C'est un indice qui est très bien corrélé avec le taux d'extraction de la farine ou la semoule. Il est actuellement très utilisé en Amérique du nord (USA et Canada).



Trémie conique



Compteur électronique

**c- Friabilité ou dureté du blé:** elle caractérise le degré de désaggrégation de l'albumen pendant la mouture. Elle peut être mesurée soit en déterminant un indice de taille particulière (PSI: Particle Size Index), soit par spectroscopie infrarouge.

**e- Matière étrangère:** c'est l'ensemble des éléments d'un échantillon qui ne sont pas des grains de blé. On distingue les matières inertes (sable, pierres,...), les débris végétaux, les insectes et les débris d'animaux, les grains sans valeur de récupération (les grains de mauvaises herbes: les graines toxiques (ivraie) et les graines non toxiques (mélilot...), les grains nuisibles et les grains pour bétail.

**f- Autre céréales:** toutes les céréales qui ne sont pas des graines de blé y compris le blé dur dans le cas de l'agréage du blé tendre et le contraire pour le blé dur.

\* **Graines cassées:** graines de blé dont une partie de l'albumen est mise à nu.

\* **Graines punaisées:** graines attaquées par la punaise au niveau des champs.

\* **Graines échaudées:** graines desséchées avant maturation à la suite d'une déficience en eau ou sous l'action d'un vent chaud.

\* **Graines boutées:** graines contaminées par la carie.

\* **Graines mouchetées:** graines présentant une tache brune causée par un champignon.

\* **Ergot:** champignon toxique qui se présente sous forme de sclérote ayant la forme du grain de blé dur.

\* **Blé mitadiné:** blé dur présentant une ou plusieurs plages farineuses.

**g- Indice de mitadinage:** pourcentage de grains de blé dur mitadine. Critère important qui influe sur la valeur semoulière du blé dur.

## **2. Méthodes chimiques:**

**a- Teneur en eau:** elle peut être définie comme la quantité d'eau éliminée après maintien du produit dans une atmosphère où la pression de vapeur d'eau est égale à zéro pendant un temps suffisant pour atteindre un équilibre en poids. Cela correspond en fait à l'humidité du blé. Elle peut être déterminée par la méthode de Karl Fisher. Mais, cette méthode est longue et difficile à mettre en oeuvre. On utilise plutôt des méthodes pratiques d'analyse telles que la mesure par perte de poids après séchage, la spectroscopie infrarouge et la mesure de constante physique (conductivité et constante diélectrique).

**b- Teneur en protéines:** on utilise trois méthodes pour la déterminer:

- La méthode Kjeldahl qui consiste à multiplier la teneur en azote du blé par un coefficient  $K = 5,7$  (pour alimentation humaine) et  $K = 6,25$  (pour alimentation animale).

- La méthode de Dumas où l'on mesure le volume d'azote dégagé après avoir transformé l'azote contenu dans l'échantillon en azote gazeux.

- Le dosage de la teneur en protéines par spectroscopie infrarouge.

**c- Teneur en amidon:** elle est déterminée par le dosage du glucose libéré après hydrolyse enzymatique.

**d- Teneur en fibres:** elle est surtout utilisée en alimentation animale afin de prédire l'énergie disponible. Pour cela, nous nous servons principalement de l'extraction sélective des protéines, de l'amidon de l'échantillon ou de l'hydrolyse enzymatique de ces mêmes constituants, suivie par la pesée du résidu insoluble.

**e- Taux de cendres:** les matières minérales ou cendres sont les résidus minéraux après incinération de 100 g de farine placé, dans une nacelle, à  $900 \pm 25^{\circ}\text{C}$  pendant 1 heure et dans une atmosphère oxydante. La connaissance de la teneur en matière minérales (ou teneur en cendre) permet aux muniers de régler leurs moulins et de déterminer les taux d'oxédation des farines. Elle est utilisée pour déterminer le degré de pureté réglementaire des farines.

Il est également possible de déterminer la teneur en cendres de farine est non destructive, non polluante, et permet le dosage simultané de plusieurs constituant (eau, protéines, amidon,...) sans traitement préalable des échantillons. Des appareils de mesure en continue permettent aux meuniers de vérifier le bon déroulement et la régularité d'une mouture.

### **3. Méthodes technologiques:**

**a- Temps de chute d'Hagberg:** ce test permet de mesurer l'activité amylolytique des farines. La présence de grains germés ou pré germés peut entraîner une activité excessive des amylases, enzymes dégradant l'amidon. L' indice de chute correspond au temps mis par un agitateur pour traverser une suspension de farine dans l'eau.

**b- Indice de sédimentation de Zéleny:** il repose sur l'aptitude des protéines à gonfler en milieu lactique. A l'aide de cet indice, on peut classer les blés suivant leur qualité. Un indice de zéleny élevé est le signe d'une farine de bonne qualité boulangère. L'indice de sédimentation est égal à la hauteur du sédiment mesuré après repos de la suspension de farine dans une suspension d'acide lactique.

**c- Les critères technologiques utilisés en panification:** deux types de test sont appliqués pour évaluer la qualité des farines.

#### **1/ Test rhéologique (test indirect)**

**\* Farinographe:** (la force de la pâte)

Le farinographe est un pétrin enregistreur thermostaté d'un système de mesure de la résistance à la rotation des bras du pétrin au sein de la pâte en fonction du temps. Il a été conçu pour déterminer le temps de développement de la pâte, le taux d'absorption d'eau par les farines et, d'une manière plus générale ce qu'il est convenu d'appeler la force des blés et des farines.

\* **Mixographe:** (la consistance de la pâte pendant le pétrissage)

Permet également de mesurer la consistance de la pâte au cours du pétrissage. Mis au point pour apprécier la qualité des blés de force riches en protéines.

\* **Extensographe:** (résistance à l'étirement)

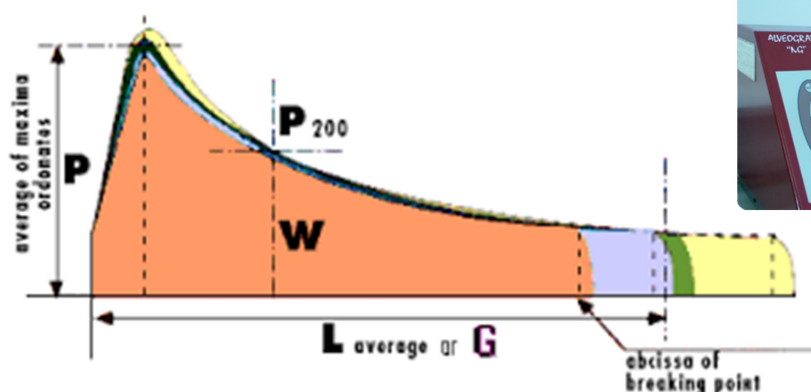
Il mesure la résistance de la pâte à l'étirement en la soumettant à une déformation uniaxiale. On enregistre en fonction du temps la résistance opposée par la pâte à cette déformation.

\* **Alvéographe:** (expansion des alvéoles)

Test communément appliqué avec l'alvéographe Chopin pour apprécier l'état de la pâte après pétrissage. Il repose sur l'étude du comportement d'un échantillon d'un disque de pâte lors de sa déformation sous l'effet d'un déplacement d'air à débit constant (extension bi-axiale). L'intérêt de cette mesure est que les déformations observées sont similaires à celles qui s'exercent au cours de la formation et de l'expansion des alvéoles de gaz dans la pâte pendant la fermentation (sous la pression du gaz carbonique) et pendant la cuisson. Dans un premier temps, le disque de pâte résiste à la pression et ne se déforme pas, puis il gonfle sous forme d'une bulle plus ou moins volumineuse selon son extensibilité et éclate. L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe appelée alvéogramme.

Les indications apportées par cet appareil sont:

W: appelé force de la farine. W représente le travail de déformation d'un gramme de pâte obtenue dans des conditions bien définies. Les blés tendres de bonne qualité ont des W supérieurs à  $180 \cdot 10^{-4}$  J. (force boulangère).



$W > 220 \rightarrow$  Biscottes,  $110 < W < 220 \rightarrow$  Pain,  $90 < W < 110 \rightarrow$  Biscuit

P: traduit la tenacité de la pâte. Plus la tenacité de la pâte est élevée plus il faudra ajouter d'eau pour obtenir une pâte de consistance déterminée.  $P = \sqrt{v}$  ; v: vitesse de l'air insufflé.

G: ou gonflement, correspond à l'extensibilité de la pâte. C'est un critère important de la qualité des farines.

P/L: traduit l'équilibre du diagramme de mouture (test indirect pour juger de la bonne conduite de la mouture).

## 2/ Essai de panification (test direct):

Il permet de définir la capacité de une farine à se «transformer» en pain de bonne qualité. Pour cela, on utilise un certain nombre de critères spécifiques (évolution des propriétés de la pâte au cours du pétrissage, du façonnage, de l'apprêt et de la mise au four, puis de la qualité de la mie et de la croûte) qui permettront d'attribuer une note de panification à la variété et au mélange.

## 7\* Qualité des semoules

La semoule est le produit exclusif de la mouture du grain de blé, industriellement pur et nettoyé. Aucun autre ingrédient ne doit être ajouté.

1/ La quantité semoulière d'un blé dur correspond donc à l'évolution de la quantité de semoule d'une pureté déterminée que l'on extrait d'un blé, alors que la qualité pastière est l'aptitude d'une semoule à être transformée en pâtes alimentaires. Dont l'aspect et la

qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. La qualité pastière regroupe qualité visuelle et qualité culinaire.

Une semoule de meilleure qualité doit avoir les caractéristiques suivantes:

- \* Granulation uniforme et homogène;
- \* Teneur faible en cendre: généralement inférieur à 0,92% ms;
- \* Teneur en protéines élevée (supérieur à 12% ms);
- \* Absence ou minimum de piquûre brunes, blanches et noires;
- \* De couleur jaune ambré témoin d'une forte concentration en pigment caroténoïdes.

## **8\* Utilisation des farines**

Il faut connaître les relations qui existent entre la composition et les propriétés des composants d'une part et l'adéquation d'une farine à son emploi d'autre part.

### **1. Panification**

Il existe deux techniques de panification: les pétrissages lent et rapide. Le pétrissage participe à la formation et au renforcement du réseau glutineux. Le pétrissage lent: le rassemblement des protéines progressif, la force boulangère (W) est plus faible et l'extensibilité (G) plus grande que pour le pétrissage rapide.

On sait que la panification nécessite une farine avec un taux de protéines supérieur à 7% . Le taux de protéines et surtout leurs caractéristiques exercent donc un rôle important dans l'évaluation de la qualité boulangère des farines. La difficulté en panification est de trouver un équilibre pour amener le réseau glutineux à son maximum d'extensibilité sans le rendre fragile et poreux à la poussée gazeuse. Le choix des blés et l'apport de gluten permettent d'atteindre un tel but.

### **2. Autres usages que la panification courante:**

**a- Pain spéciaux:** ces pains sont consommés dans un souci de santé, de «forme» ou de goût. Par rapport à des pains ordinaires, ces pains contiennent plus ou moins d'issues de meunerie, de graines ou de farine d'autres céréales, de graines oléagineuses. De plus, on y ajoute des matières végétales diverses issues ou non de céréales. Le fait d'ajouter

d'autres substances que le blé entraîne une diminution de la force de la pâte et un collant qui influe sur le process. Un apport de gluten est souvent nécessaire pour empêcher que la pâte ne soit rendue trop fragile par l'incorporation de ces graines.

**b- Viennoiserie et panification fine:** ces produits contiennent des sucres et matières grasses ajoutées, ce qui diminue la force de la pâte. Les sucres augmentent la vitesse de fermentation en agissant sur la levure et influent sur la viscosité de la pâte. Les matières grasses assouplissent les pâtes et les rendent rapidement collantes grâce à leur action lubrifiante. Pour cela, ces produits nécessitent une farine de force élevée.

**c- Biscuiterie:** les produits de la biscuiterie sont très variés. La tendance générale est de choisir des farines extraites de blé friable et à faible teneur en protéines (moins de 11%) pour limiter la formation d'un réseau glutineux trop résistant. De cette manière on évite la rupture et la rétraction des pâtes après découpe. Un W, P et P/L faibles et un G élevé.

## **9\* Utilisation de la semoule**

### **1. Fabrication des pâtes**

Les pâtes alimentaires peuvent être définies comme étant le produit obtenu par mélange, pétrissage, extrusion et séchage d'un mélange de semoule pur de blé dur et d'eau.

La qualité des pâtes alimentaires dépend essentiellement:

- \* De la qualité des matières premières mises en œuvre et principalement des semoules;

- \* De l'optimisation des paramètres de fabrication

### **1.1 Qualité des semoules:**

Les semoules destinées à la fabrication des pâtes alimentaires sont communément appelées semoules fines (3SE). Deux grands types de critères permettent d'apprécier la qualité des semoules mises en œuvre:

**a- Aspect physique:** les paramètres physiques qui permettent d'apprécier la qualité des semoules mises en œuvre:

- \* Odeur: caractéristique de la semoule et absence de moisi, de ranci ou toute autre odeur anormale;
- \* Granulométrie: comprise entre 190 et 500  $\mu\text{m}$ ;
- \* Couleur: jaune ambrée due à la présence de pigment caroténoïdes. Cette couleur dépend de la variété et des conditions moutures;
- \* Piqûre: absence de piqûres (brunes, noires et blanches).

**b- Critères chimiques:**

- \* Teneur en protéines: mini 12% ms;
- \* Teneur en gluten sec: mini 10% ms;
- \* Teneur en cendre: maxi 0,92% ms;
- \* Acidité grasse : inférieur à 0,055%  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- \* **Respect des paramètres de fabrication:**

Le processus de fabrication des pâtes alimentaires comprend trois grandes étapes: le pétrissage, l'extrusion et le séchage.

**Le pétrissage:**

Opération qui consiste à réaliser à partir de la semoule de blé dur et d'eau le mélange homogène et cohérent à partir duquel sera obtenu le produit commercial. Cette opération comprend les étapes unitaires suivantes:

- \* Dosage des ingrédients;
- \* Prémélange ou hydratation;

- \* Pétrissage proprement dit;

- \* Dégazage;

- \* Pressage et tréfilage.

**Extrusion:**

La pâte extrudée sous forte pression (130 bars environ) en produits ayant la forme de tuyaux, de beguettes ou de rubans.

La semoule hydratée est reprise par une vis sans fin dont la fonction est d'assurer l'avancement des produits tout en les comprimant de manière à provoquer leur extrusion à travers un moule situé en tête de vis. On obtient les pâtes laminées (raviolis, nouilles) l'autre partie est comprimée par une presse à travers des trous et est coupée selon la hauteur voulue. Ce sont les pâtes pressées (macaronies, spaghetti).

**Séchage:**

Est une opération très importante qui doit abaisser la teneur en eau jusqu'à une valeur finale de 11 à 13%. C'est une opération délicate, qui prend généralement moins de 24 heures et se fait dans des enceintes à humidité relative contrôlée. Le séchage doit être relativement lent afin d'être homogène et ne pas créer des fissures dans le produit ; il doit cependant être suffisamment rapide pour que des moisissures ne puissent se développer.

Les avantages du séchage à hautes température (HT) et très haute température (THT) sont les suivants:

- \* Diminution des contaminations bactériennes au cours du séchage;

- \* Amélioration des propriétés organoleptiques (couleur et tenue à la cuisson) des produits finis.

- \* Diminution des dépenses énergétiques;

- \* Accroissement de la capacité des séchoirs.

- \* **Appréciation de la qualité des pâtes:**

Les pâtes produites sont évaluées en termes de qualité en deux étapes: Examen à l'état cru et test de cuisson.

## 2. Fabrication industrielle du couscous:

Le couscous industriel est un produit précuit à la vapeur dont l'amidon est gélatinisé. Son hydratation, rapide, avant consommation lui confère la texture recherchée sans qu'il se délite ou s'agglomère.

Les propriétés physico-chimiques du couscous industriel se différencient de celles de la semoule par une perte de la viscoélasticité du gluten (consécutives aux traitements thermiques subis par les protéines au cours du séchage) et une oxydation des pigments caroténoïdes au cours du roulage.

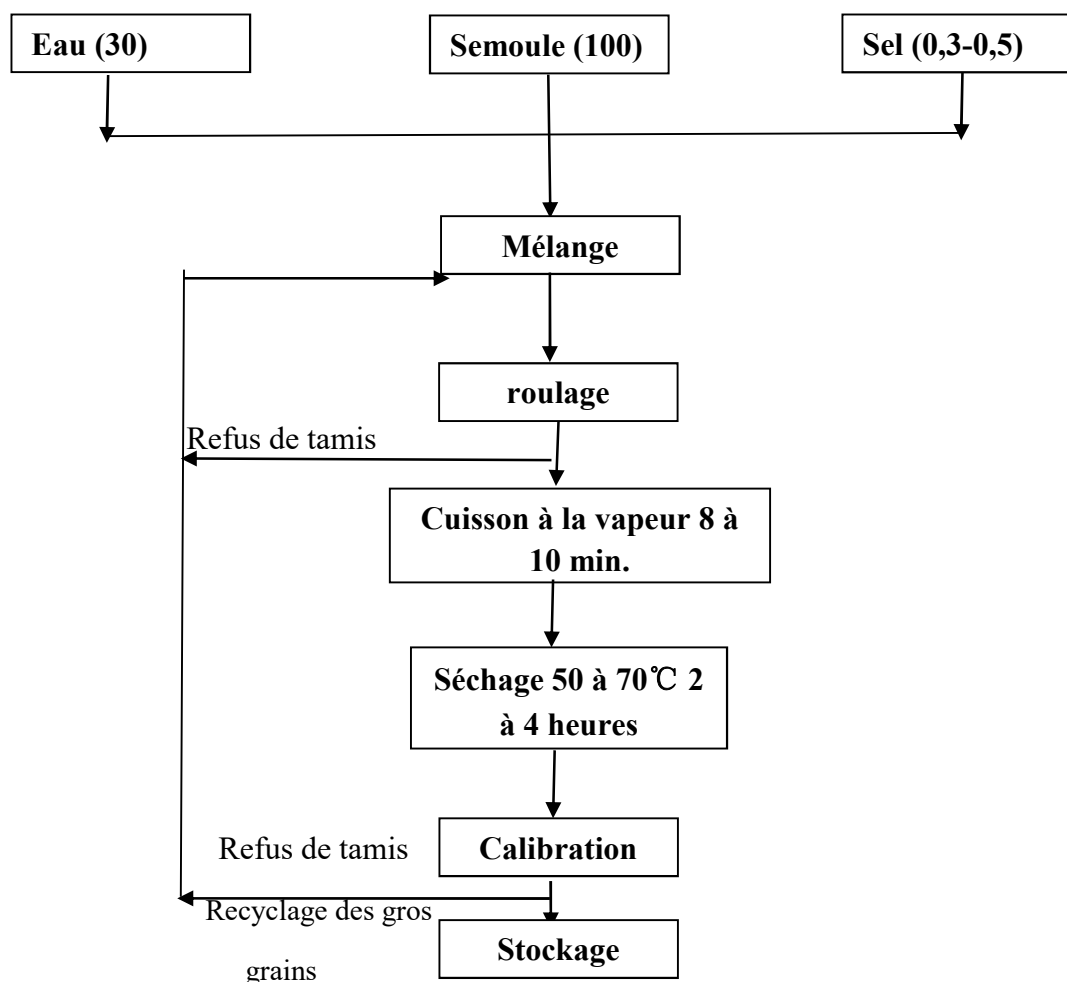


Schéma de la fabrication industrielle du couscous

## Méthodes d'analyse de la qualité du couscous

**1- Granulométrie des couscous secs:**

La granulométrie des couscous repose sur un classement dimensionnel des particules de couscous au moyen d'un sasseur avec des tamis mobiles dont les ouvertures de mailles sont par ordre décroissant 1400-1000-800-710 et 500  $\mu\text{m}$ . L'analyse granulométrique nous permet de déterminer le diamètre équivalent moyen et le diamètre de position ou écart type géométrique représentatif de l'homogénéité des échantillons.

**2- Capacité d'hydratation des couscous:**

20 gr de produit cru sont versés dans une éprouvette graduée de 100 ml contenant 50 ml d'eau distillée. L'éprouvette est bouchée et on effectue 10 retournements successifs de manière à bien hydrater l'ensemble des particules. On ajoute à nouveau 50 ml d'eau pour faire descendre les particules restées collées le long de la paroi de l'éprouvette. Celle-ci est laissée au repos et on note le volume du couscous après 5-10-20-40-50 et 60 minutes et on détermine le gonflement (G).

**3- Cuisson du couscous par la méthode rapide:**

La préparation du couscous est réalisée selon la méthode rapide de Guezlane (1993). 10 grs de couscous sec sont placés dans un cristallisateur. Le couscous est hydraté avec 16,5 ml d'eau distillée bouillante salée à 5g/l. Après addition d'eau, le cristallisateur est immédiatement recouvert d'une membrane de paraffine et placé à l'étuve à 90 °C pendant 12 minutes. Après cuisson, on procède au séchage qui consiste à placer le produit cuit dans une étuve ventilée pendant 4 heures à ramener la teneur en eau du produit à 12% de matière humide.

**4- Modification comportementale de l'amidon:**

L'évaluation des indices de solubilité et de gonflement de l'amidon est déterminée par la méthode d'Anderson *et al.*, (1969).

La solubilité et le gonflement de l'amidon dans l'eau permettent d'apprécier certaines transformations subies par le grain d'amidon.

**a- Indice de solubilité de l'amidon (IS):**

L'indice de solubilité de l'amidon permet d'apprécier son degré de dégradation.

**b- Indice de gonflement de l'amidon (IG):**

L'indice de gonflement ou d'absorption (IG) permet d'apprécier le degré de gélatinisation du grain d'amidon.

**5- Mesure du degré de délitescence:**

L'évaluation du degré de dégradation ou de délitescence du couscous cuit a été mesurée selon la méthode Yettou (1998). l'analyse est basée sur la mesure des pertes à la cuisson des particules de couscous sous l'effet d'une agitation par vibration et à vitesse constante au moyen d'un vibro-mixeur.

**10\* Fermentation**

La fermentation assure deux fonctions principales: la levée de la pâte sous l'effet de la formation de gaz carbonique et la synthèse d'acides organiques de la molécule volatiles qui vont participer à l'élaboration du goût et de l'arôme du pain, elle contribue également à l'achèvement du développement du réseau protéique qui s'est formé au cours du pétrissage. Elle comprend en principe deux étapes:

\* La première fermentation, ou pointage, se déroule à la fin du pétrissage jusqu'au façonnage des pâtons;

\* la deuxième fermentation (fermentation finale ou apprêt) va du façonnage à la mise au four des pâtons.

La conduite de la fermentation: (durée, température, phases de repos de la pâte) a suivi l'évolution des modes de pétrissage. La méthode dite de pousse contrôlée s'est progressivement imposée après avoir supplanté la méthode dite de pousse lente, selon laquelle les pâtons façonnés étaient entreposés à des températures d'environ 10°C (la pousse lente peut se faire à des températures comprises entre 10°C et 16°C pendant moins de 18h; sa durée dépend de la dose de levure et de la température). Dans la méthode de pousse contrôlée, la pâte est placée dans une chambre froide, ce qui a pour effet de bloquer totalement l'activité fermentaire; il est alors possible de programmer l'heure de remise en température chaude et donc le reprise de la fermentation.

En boulangerie, les levures sont incorporées à des doses égales à 2% du poids de la farine. Elles produisent du gaz carbonique, qui provoque l'expansion de la pâte au cours de la fermentation et du début de la cuisson, de l'alcool qui s'évapore après la mise au four, et quelques constituant mineurs qui contribuent à la formation de l'arôme. Les levures sont tuées quand la température du pâton dépasse 50°C.

Pour les pains ne contenant pas de sucre, les levures peuvent manquer de glucose au cours de l'apprêt si l'activité enzymatique des farines est insuffisante ou si la fermentation est trop active. L'arôme qui se développe au cours de la fermentation de la pâte est dû en grande part à des produits résultants de l'activité métabolique des levures. La majorité des composés volatils et non volatils qui se forment contribuent à la formation de l'odeur très caractéristique d'une pâte fermentée.

Les progrès de la biologie moléculaire et du génie génétique ont permis d'introduire de nouvelles fonctions dans les levures de boulangerie: activité endoxylanase (gène isolé d'*Aspergillus nidans*) et arabinofuranosidase (gène isolé d'*Aspergillus niger*) ; l'emploi de ces enzymes en panification accroît le volume du pain de 5%.

### **11\* Cuisson**

En général, le pain cuit sur la sol du four, mais il peut l'être également dans des plaques alvéolées ou dans des filets (cas des fours rotatifs à convection) ou des tapis (cas des fours tunnels) métalliques. Quel que soit le matériel utilisé, l'atmosphère de la chambre de cuisson doit être saturée de vapeur d'eau (ce que le boulangé appelle la buée). la durée de cuisson, de l'ordre de 30 min. pour la baguette, varie avec le poids et la forme du pain. La période qui suit le ressuage. C'est une opération durant laquelle le pain se refroidit et perd 1 à 2% d'eau. Une fois la pâte fermentée introduite dans le four (dont la température est réglée à 250 °C ; les événements physico-chimiques suivants se produisent:

A/ le volume du pain augmente brutalement par dilatation des gaz contenus dans les alvéoles puis, plus progressivement, par suite de l'accélération de la fermentation jusqu'à ce que les levures soient inactivées par la chaleur (vers 55°C). la dilatation des alvéoles remplies d'air saturés en vapeur d'eau peut devenir très importante au dessus de 70°C, dans la mesure toutefois où les contraintes exercées par la pâte ne s'opposent

pas à leur expansion. En fin de cuisson la vaporisation de l'eau peut provoquer une dernière expansion (100°C) bien que la mie commence à se figer.

B/ l'alcool formé au cours de la fermentation se vaporise dans l'air ambiant;

C/ la température de la mie atteint progressivement 90°C au coeur du pain (sans les dépasser), tandis que celle de la croûte s'élève jusqu'à 250°C;

D/ dans la mie, les enzymes sont inactivées (l' $\alpha$ -amylase est détruite à 70°C), l'amidon gélatinisé (entre 65 et 80°C) et les protéines thermorigidifiées (elles «coagulent» entre 70 et 90°C). Les matières grasses éventuellement ajoutées à la formule fondent (elles perdent leur état cristallin) et contribuent momentanément à la stabilité des alvéoles gazeuses.

E/ la croûte commence à se former vers 90°C: un film se forme en surface de la mie, s'épaissit, se déshydrate et enfin se solidifie au fur et à mesure que la température finale (220°C). Se développe simultanément des réactions de Maillard qui se traduisent par l'apparition de la couleur caractéristique de la croûte (le badigeonnage de la surface du pâton par du blanc d'oeuf avant enfournement intensifie ces réaction);

F/ une partie des alcools et des acides volatils est engagée dans des réactions d'estérification et renforce l'odeur de la mie. Des décompositions thermiques peuvent également intervenir : les acides aminés soufrés sont à l'origine de la formation de petites quantités de mercaptan et de SH<sub>2</sub>; les sucres donnent des produits de dégradation colorés et légèrement acides ainsi que des composés volatils (aldéhyde, cétone et furfural): il y a début de caramélisation.

## **II/ Industrie des corps gras**

## **Introduction**

Les corps gras font partie d'un ensemble complexe de composés organiques, les lipides, présents dans les tissus animaux et végétaux. Ce sont des biomolécules caractérisées par:

- \* Insolubilité dans l'eau
- \* Solubilité dans les solvants organiques (éther hexane, benzène, chloroforme)
- \* Touché onctueux (huileux)

En règle générale, les acides gras sont mono carboxyliques à chaîne linéaire non ramifiée comprenant un nombre pair d'atomes de carbone compris entre 4 et 24. Ils peuvent être saturés ou insaturés

**Acide gras saturés:** ils ont une formule générale  $\text{CH}_3\text{--}(\text{CH}_2)_n\text{--COOH}$ , sont solides à température ambiante. Les plus rencontrés sont l'acide palmitique ( $\text{C}_{16}\text{:O}$ ) et l'acide stéarique ( $\text{C}_{18}\text{:O}$ ).

**Acides gras insaturés:** ils sont fluides à température ambiante, on a deux catégories;

Acides gras monoinsaturés: deux atomes de carbone consécutifs de la molécule sont unis par une double liaison exemple: l'acide oléique ( $\text{C}_{18}\text{:O}$ ).

Acides gras polyinsaturés: plusieurs atomes de carbones consécutifs de la molécule sont unis par des doubles liaisons exemple: l'acide linoléique ( $\text{C}_{18}\text{:2}$ ), l'acide linoléique ( $\text{C}_{18}\text{:3}$ ).

Les corps gras sont des esters naturels, formés à partir d'acides gras et d'alcool ou d'amines. C'est une classe essentielle de notre alimentation comprenant les huiles et graisses d'origine végétale; l'huile d'olive, le beurre et la margarine.

Les huiles et les graisses communément employées dans l'industrie des corps gras proviennent de deux grandes sources: végétale ou animale.

De nos jours il existe 22 sortes d'huiles et graisses végétales qui sont commercialisées à grande échelle. 12 d'entre elles représentent plus de 95% de la production mondiale d'huile végétale. Elles sont le plus souvent extraites des graines (graines oléagineuses) de végétaux (Coton, carthame, arachide, tournesol, colza, soja), comme ils

peuvent être extraites à partir des pulpes de certains fruits notamment, l'olive, noix de coco et le palme.

Le monde animal représente une source alimentaire importante de graisse et d'huiles diverses, on distingue:

\* les graisses et le huiles d'animaux terrestre:

- Saindoux (graisse extraite du porc)
- Suifs (graisse extraite du boeuf ou mouton)
- Beurre (principalement de la vache)

\* les graisses et les huiles d'animaux marins:

- Mammifères: phoque et baleine
- Poisson: hareng, sardine (huile de foie du poisson)

Il y a aussi des corps gras élaborés comme le beurre et les margarines.

On peut les classer également selon la consistance:

\* état fluide --> les huiles: le point de fusion faible à température ambiante (15°C), présence d'acides gras insaturés

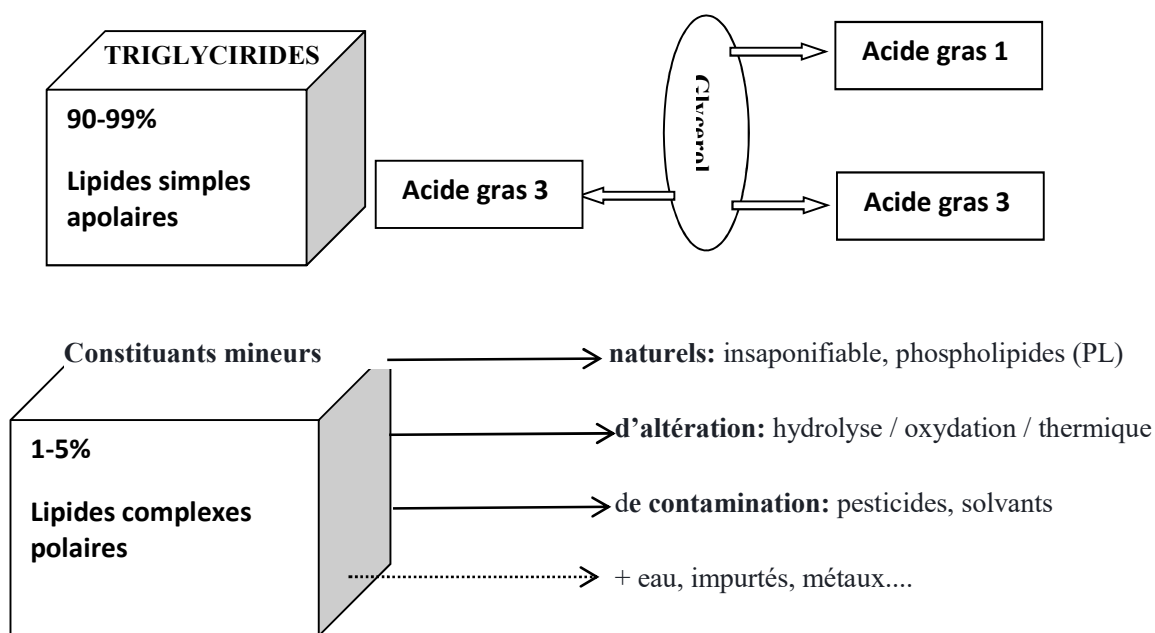
Huile d'olive: présence d'acides gras saturés --> sous traitement thermique --> hydrogènes --> cancérogènes.

\* état solide --> les graisses: le point de fusion élevé, Acides gras saturés

\* état cireux --> les cires: le point de fusion élevé

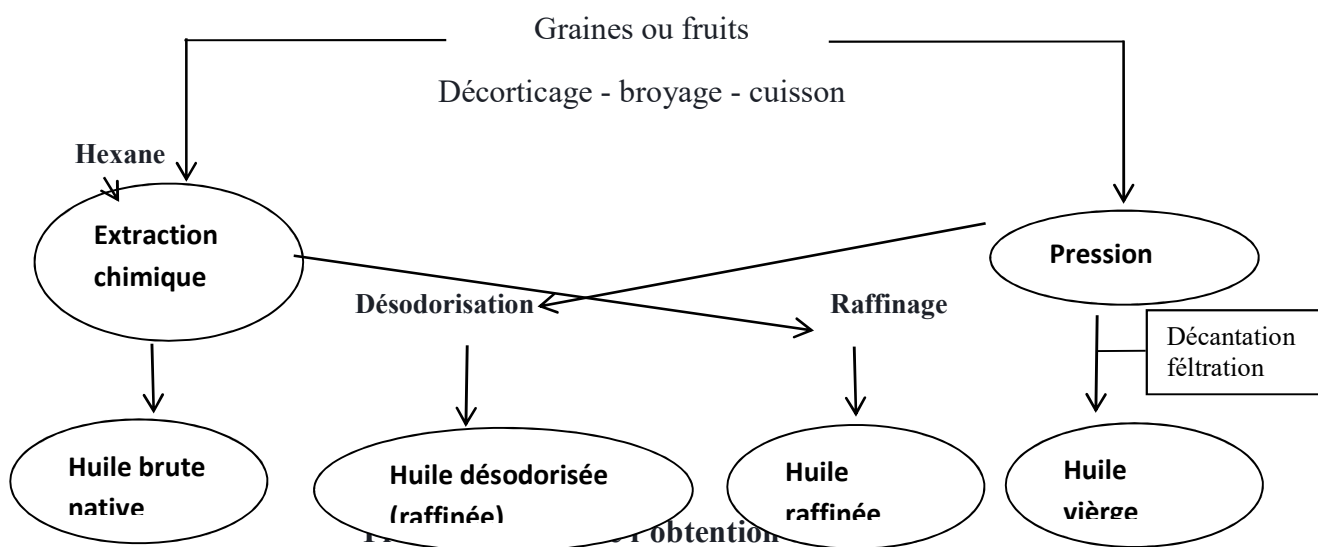
Les corps gras renferment les constituants qui forment les saponifiables (triglycerides) et les insaponifiable (stérides).

## 1\* Composition générale d'une huile végétale



## 2\* Fabrication des huiles végétales:

L'industrie des corps gras fabrique les huiles et les graisses, destinées à l'alimentation humaine à partir des graines et fruits oléagineux préalablement soumis à un broyage par deux techniques: la pression et l'extraction chimique puis le produit obtenu subi des traitements de transformation (le raffinage) selon la nature de l'huile désirée.



## 1. Extraction des huiles végétales:

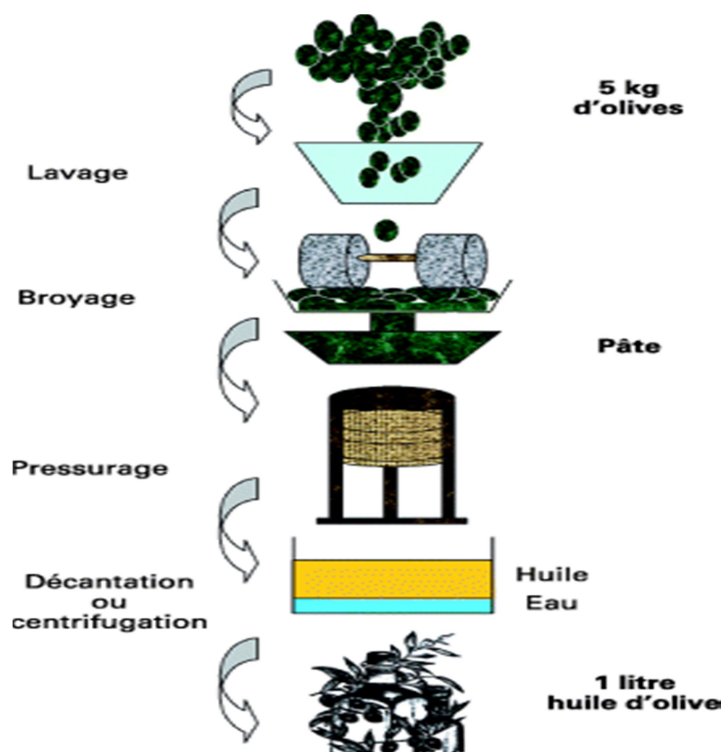
Il existe différents procédés d'extraction des huiles et graisses végétales selon le taux d'extraction souhaité et la nature de la matière première comme il est schématisé dans la figure 2 . On distingue les procédés suivants:

- Traitement de graines ou fruits par extraction mécanique (pressage): cas de l'huile d'olive, l'appellation vierge signifie qu'elle n'a subi aucun traitement autre que le lavage, la centrifugation et la filtration. Les étapes de l'extraction de l'huile d'olive sont résumées dans la figure 1.

- Traitement des graines ou fruits par extraction au solvant

La combinaison de ces deux méthodes (pression suivie d'extraction par solvant) permet d'épuiser quasi totalement la matière première utilisée.

Lorsque les graines arrivent à l'usine, elles sont stockées dans des silos. Lors de la transformation, elles passent à travers différents tamis afin d'éliminer les corps étrangers qui pourraient détériorer le matériel drut et nuire à la qualité des produits.



**Figure 6:** extraction de l'huile végétale du fruit: olive

**a/ L'huile de pression:** la première étape de l'extraction proprement dite consiste à nettoyer et à décortiquer certaines des matières oléagineuses (arachides, graines de

tournesol, amandes, noisettes...). on procède ensuite au broyage qui transforme la substance en pâte qui subira alors une extraction mécanique par pressage à froid ou à chaud.

**Aplatissage:** les graines passent alors entre deux cylindres lisses et ressortent sous la forme de «flocon»

**Pressage à froid:** s'effectue à l'aide de presses hydraulique à une température maximale de 60°C.

**Cuisson:** les flocons sont chauffés à environ 80°C. Cette cuisson a pour but de faciliter de l'huile des flocons au cours de la pression.

**Pressage à chaud:** s'effectue mécaniquement par le passage de la pâte dans des presses à vis chauffées à une température se situant entre 80°C et 120°C.

Les flocon séchés passent dans les presses. L'huile s'écoule tandis que les «écailles de presse» sont recueillies à la sortie.

L'huile recueillie dite «huile de pression» est tamisée et séchée par pulvérisation sous vide à 100°C pour conserver sa qualité au cours du stockage.

#### **b/ L'huile d'extraction:**

Les écailles de presse contiennent encore 12 à 15% d'huile. Elles sont appelées «tourteaux gras» ou «expeller». la récupération de cette huile résiduelle contenue dans le tourteaux se fait par extraction chimique. Les industries utilisent un solvant de qualité alimentaire (hexane). Celui-ci est pulvérisé sur le tourteau qui se déplace à contre-courant sur un tapis. Au cours de ce déplacement, le solvant percole dans le tourteau puis est recyclé plusieurs fois. Il s'enrichit progressivement en huile tandis que le tourteaux s'appauvrit en matières grasses.

A la sortie de l'extracteur, le solvant qui se trouve d'une part de façon résiduelle dans le tourteau et, d'autre part dans le miscella (mélange du solvant et de l'huile), doit être récupéré:

- **la distillation du miscella** permet de récupérer une huile pure dite «d'extraction». Elle consiste en une succession de chauffage sous vide suivis de condensation pour séparer

les deux fluides. L'huile brute d'extraction est ensuite séchée par pulvérisation sous vide à 100°C afin de conserver ses qualités.

- **la désolvantisation du tourteau** se fait à la vapeur dans une tour à étages appelées «désolvanteurtoasteur». Le tourteau en grande partie déshuilé - il reste environ 2% de matière grasse - est généralement mis sous la forme de granulés ou pellets. Le solvant est alors lui-même récupéré pour être de nouveau utilisé.

## **2. Purification des huiles végétales**

### **2.1/ Raffinage**

Les huiles ainsi obtenues sont rarement utilisables en l'état (exception faite pour les huiles de pression à froid: l'huile d'olive). Il constitue une étape clé de la technologie de production des huiles et corps gras naturels végétales ou animale, permettant d'obtenir une qualité conforme aux exigences des différents secteurs utilisateurs: alimentation humaine, animale, cosmétique etc...

L'huile brute conservée dans les bacs de stockages subit une toute première filtration avant d'être acheminée vers la section démulcination, dans le but d'éliminer toutes impuretés ou d'éventuels déchets.

Pour obtenir une huile de bonne qualité à partir d'une huile brute, il faut passer cette dernière par un processus de raffinage.

Le raffinage des huiles végétales permet:

- \* traitement physico-chimique autorisé et réglementé
- \* amélioration des caractéristiques organoleptiques: couleur, odeur
- \* amélioration de la qualité: eau, impuretés, métaux, acidité
- \* amélioration de la stabilité: lipases, peroxydes
- \* élimination des polluants: traces de solvants (hexane: < 1ppm = mg/l), hydrocarbures pétroliers: ND, éléments toxiques: Pb, As < 100 ppb, toxines: Aflatoxines B1 < 5ppb, pesticides: < 0,05 à 0,5 ppm, germes pathogènes: absence.

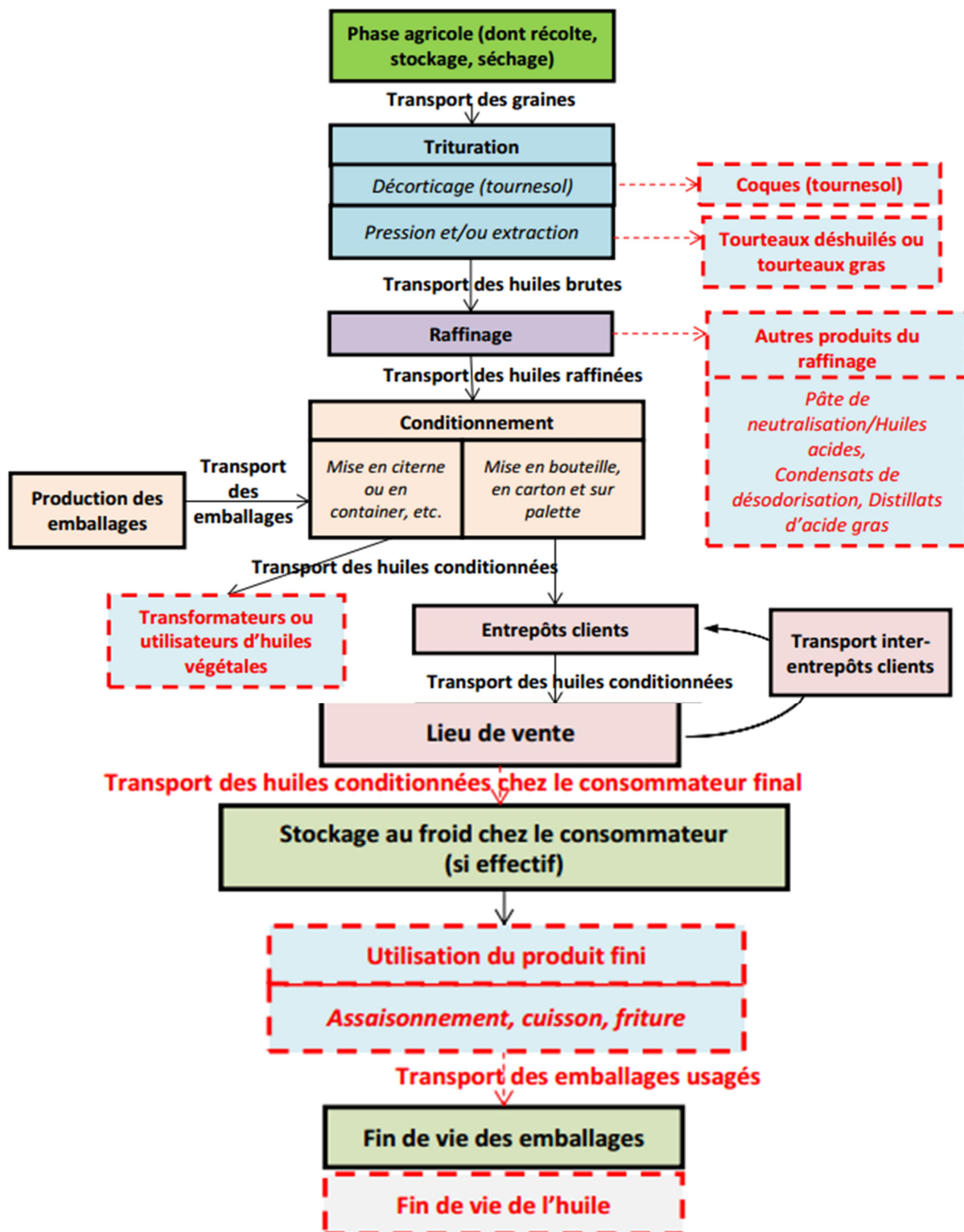
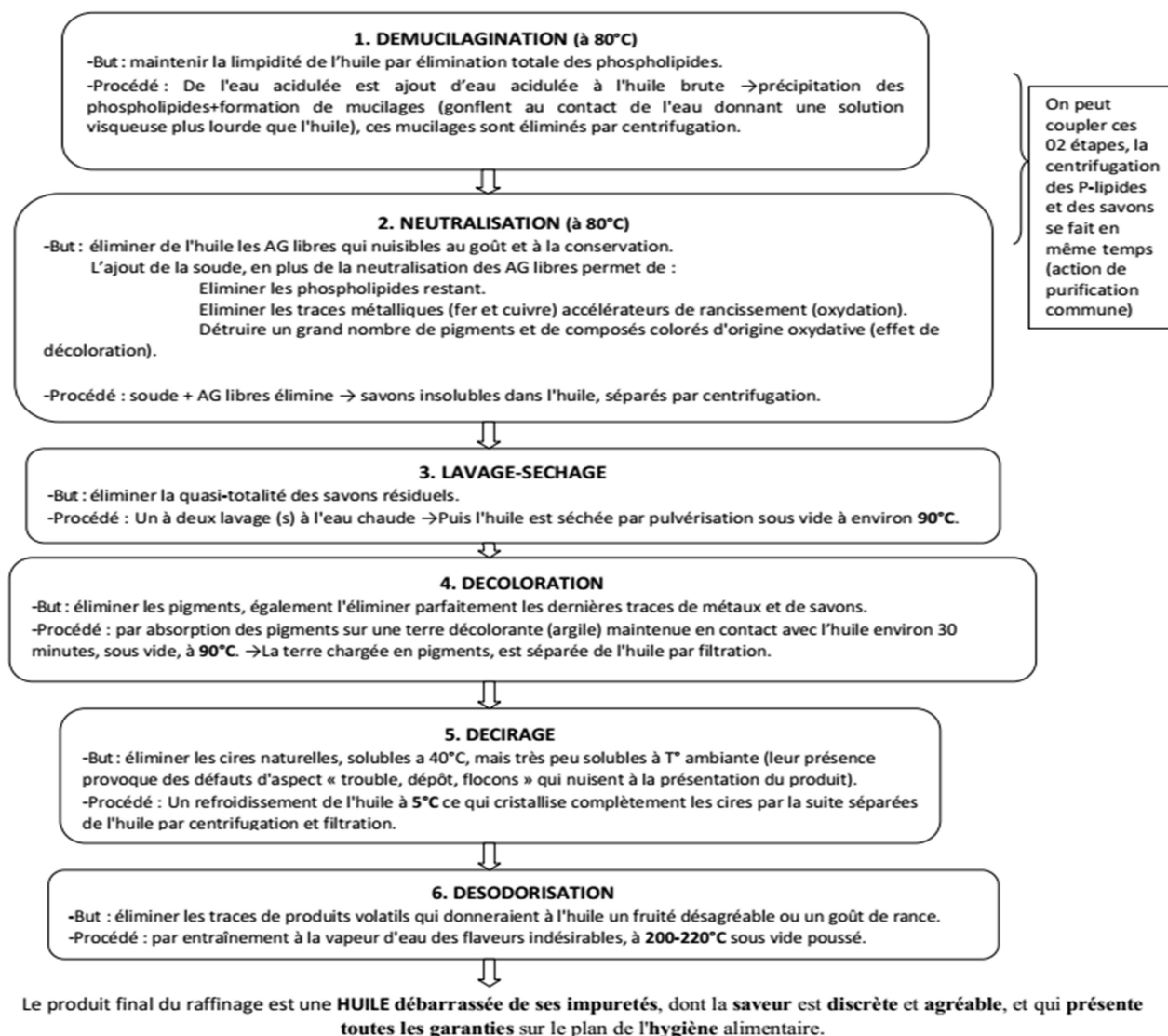


Figure 7: l'analyse de cycle de vie des huiles oléagineuses (ITERG, 2010)

a/ Différentes étapes du raffinage:

Pour éliminer les constituants gênants et les impuretés, le raffinage utilise essentiellement les opérations suivantes:



## 2.2/ Traitements de modifications

Ces traitements sont effectués sur les huiles raffinées afin de leur conférer des propriétés bien spécifiques permettant leur utilisation dans d'autres applications telle la margarine.

### a/ Hydrogénation:

Ce processus est extrêmement important pour l'industrie de graisses et huiles, car il permet de souligner les caractéristiques fonctionnelles et leur transformation en graisses plastiques.

Il consiste en une simple fixation de l'hydrogène au niveau des doubles liaisons des acides gras insaturés en présence d'un catalyseur adéquat.

L'hydrogénation permet la réduction de l'insaturation ce qui amplifie leur point de fusion, et permet une meilleure résistance à l'oxydation et limite le rancissement.

#### **b/ Interestérification (transestérification):**

Les acides gras se redistribuent et se réorganisent par hasard sur le glycérol ce qui se traduit par une modification des propriétés physiques et plastiques de ces derniers tel point de fusion, plasticité etc.

### **3\* Corps gras élaborés**

#### **1. Margarine**

La margarine est une émulsion stable comprenant deux phases: aqueuse et grasse. Elle est considérée comme un corps gras alimentaire présentant l'aspect du beurre, une composition et un ensemble de caractères (physico-chimique, organoleptique, bactériologique et nutritionnels) propres.

La matière première utilisée pour la fabrication de la margarine est «le blend», ce terme signifie mélange de matière grasse d'origine animale ou végétale.

Les matières secondaires sont des adjonctions qui rentrent dans la composition de la margarine et pouvant être hydrosolubles ou liposolubles.

Inventée par Mege-Mouries, la margarine était préparée à l'origine avec des graisses émulsionnées avec de l'eau et du lait ou de la crème. Par la suite, les graisses végétales coprah, palme et palmiste ont pris une place de plus en plus grande dans la formulation de la phase liquide des margarines. Actuellement, elles sont obtenues à partir de matières grasses variées allant des huiles hydrogénées de poisson aux huiles végétales plus ou moins hydrogénées. Il existe plusieurs types de margarines:

\* **Margarines pour usage domestique:** ferme à 20°C, tartinables aisément, avoir un arôme proche de celui du beurre. Préparées à partir de triglycérides riches en acides polyinsaturés, il existe différentes variétés: moins de 10% (dures), 20 à 30 % (molles), plus de 30% (extra-molle).

\* **Margarines pour industrie alimentaire:** stable a haute température; présentant une bonne plasticité dans un large éventail de température (biscuiterie et pâtisserie); produits ne devant pas contenir des acides gras libres et être résistants à l'oxydation. Au niveau industriel, les graisses émulsifiables «shortening» ont connu un essor considérable. Ces produits qui ne contiennent pas d'eau sont caractérisés par le rapport TG solides / TG liquides. Ce rapport détermine la consistance et la rétention d'air (pâte levée). Dans la pâte feuilletée, la graisse se prête au travail du rouleau (proportion de triglycérides solides peut atteindre 30%).

\* **Margarine diététiques ou spéciales:** elle sont facilement tartinable à la température du réfrigérateur, apportent moins de calories 380 / 100g par rapport au beurre (à poids égal). La teneur en matière grasse est moyenne.

Ces produit peuvent être fabriqués à partir des matières premières laitières: matière grasse butyrique, caséinates, retentas de badeurres ou de lactosérum ultrafiltres. Ils peuvent contenir des matières grasses végétales (huile de soya, huile de colza, huile de tournesol et autres huiles en l'état ou hydrogénées). Ces produits contiennent une proportion d'eau importante et la présence d'émulsifiants tels que le phosphate disodique, la gélatine.

Margarines enrichie en phytostérols: ce produit est destinés au gens souffrant d'hypercholestérolemie.

### ***1.1/ Adjonctions liposolubles***

**a- Emulsifiant:** sont des composés qui apportent à la margarine la stabilité, texture et goût désiré, et pour obtenir une dispersion fine de la phase aqueuse dans la phase grasse (la lécithine: 0,5%, monoglycérides: 0,3 à 0,5%).

**b- Colorant et arôme:** sont employés pour établir une coloration voisine à celle du beurre. Elle est obtenue par l'adjonction de colorant bien spécifique ( $\beta$ -carotène: 0,0025 à 0,008% ou l'huile de palme). Concernant l'aromatisation, elle peut être réalisée par un ajout du diacetyl.

**c- Antioxydant:** une adjonction d'antioxydant est prévue pour protéger la phase grasse d'une éventuelle oxydation et rancissement, c'est le BHT (hydroxytoluène butylé) ou acide ascorbique: 0,01%.

**d- Vitamine** (vit A: 20 à 30 unités/litres et la vit D<sub>3</sub>: 2 à 3 unités/litres )

### ***1.2/ Adjonction hydrosolubles***

**a- Sel:** ajouté dans un but organoleptique mais peut avoir un rôle bactériostatique (sapidité et conservateur: 0,1 à 2%);

**b- Sorbate de potassium:** utilisé en raison de sa bonne répartition entre les deux phases, il agit préférentiellement sur la phase aqueuse, il peut avoir un rôle conservateur;

**c- Correcteur de pH:** acide citrique utilisé comme agent (dose maximale: 0,1% --> 1g/kg) et l'acide lactique et leurs sels de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup> sont autorisés. En général on fixe le pH entre 4 et 5,5;

**d- Amidon:** utilisé afin de détecter toute forme de fraude, il est considéré comme révélateur entre la margarine et le beurre (imposé par la législation: 0,2%);

**e- Conservateurs:** outre le sel de table (NaCl) l'addition de l'acide sorbique (E200) dont l'effet est fongistatique: 2g/kg ainsi que celle de ses sels de sodium (E201), de potassium (E202) et de calcium (E203) isolément ou ensemble;

**f- Sucre:** le sucre augmente la qualité organoleptiques, et donne la douceur aux margarines, il est utilisé dans les margarines de tables a raison de 0,2 à 0,3%.

## **2. Procédé de fabrication de la margarine**

La margarine est fabriquée principalement à partir d'un ou plusieurs graisses ou huiles hydrogénées d'origine végétale ou animales dans lesquelles est dispersée une portion aqueuses contenant des produits laitiers, du sel, des arômes et d'autres additifs.

### ***2.1/ Traitement des huiles brutes***

Dans la fabrication de la margarine, les huiles brutes subissent au préalable deux traitements; raffinage et hydrogénation.

**L'hydrogénation:** elle s'effectue dans des cuves cylindriques en acier (réacteurs) d'où se fait la catalyse de l'hydrogène par le nickel (150-250 °C ). Lorsque le degré d'hydrogénation est atteint l'huile est refroidie à 100°C et subie une première filtration pour éliminer les traces de nickel, entre temps il faut aérer l'excédent de l'hydrogène et

le purger en introduisant de l'azote. L'huile est soumise à une deuxième filtration, puis refroidie jusqu'à température de stockage (40-50°C).

Quand la quantité de l'hydrogène requise pour la réaction est atteinte une alarme se déclenche automatiquement pour signaler l'arrêt de l'alimentation en se dernier.

#### **4\* Analyse des corps gras**

Le premier stade de l'analyse consiste à extraire les corps gras de son support, végétal ou animal, ou encore d'un produit alimentaire (chocolat, pâtisserie, fromage) ou bien d'un produit d'entretien ou cosmétique.

##### **1. Extraction de la matière grasse**

L'extraction des corps gras a le plus souvent un double objectif:

- \* le dosage de la matière grasse;
- \* l'analyse de la matière grasse extraite

Elle doit être totale et ne pas modifier la nature de la matière grasse, il existe de nombreuses méthodes de dosage de la matière grasse:

- \* méthode gravimétriques: extraction par un solvant sans traitement préalable, extraction par un solvant après traitement chimique préalable (acide ou alcalin).
- \* dosage directe par spectrométrie RMN (résonance magnétique nucléaire) ou IR (infrarouge);
- \* dosage par différence à 100 après dosage des autres constituant (beurre)

##### ***1-1/ Extraction directe par solvant***

Quelquefois, il est nécessaire d'éliminer dans un premier temps la phase aqueuse, soit par dessiccation à l'étuve (viande), soit par séchage sur sulfate de sodium anhydre  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Les solvants les plus souvent utilisés sont l'oxyde diéthylique, l'hexane, les mélanges chloroformes-méthanol 2-1 v/v (réactif de folch), chloroforme-isopropanol 3-2 v/v, dichlorométhane-méthanol 2-1 v/v. Différentes méthodes, en fonction de la matrice, peuvent être utilisées.

Exemple: tourteau: (NF ISO 734-1, NF ISO 734-2, méthode rapide): extraction directe à l'hexane, puis distillation et pesée.

Beurre (ISO/CD 17189.2): extraction directe par épuisement à l'éther de pétrole.

### ***1-2/ Extraction après traitement chimique***

Le traitement chimique est le plus souvent une hydrolyse destinée à détruire les lipoprotéines, modifier les structures des peptides et glucides. Après hydrolyse, on extrait à l'aide d'un solvant qui est ensuite distillé.

Dans le cas du lait, la matière grasse est extraite par un mélange éthéro-ammoniacal puis pesée. Dans tous les cas, les méthodes avec traitement chimiques ne permettent pas une étude correcte de la composition et de la qualité de la matière grasse obtenue. Le type d'extraction est fonction de la matrice utilisée.

Exemple:

Lait

\* NF V 04-215: hydrolyse par HCl 12 N à 80°C, puis extraction (Soxhlet, BBS) par oxydédiéthylique;

Viande

\* NF V04-402 (matière grasse totale): hydrolyse par HCl 4 N à 100°C puis extraction par hexane ou ether de pétrole.

### ***1-3/ Methodes physiques***

\* Résonance magnétique nucléaire RMN basse résolution. La RMN nécessite de connaître la nature de la matière grasse, car l'appareil doit être étalonné avec un corps gras identique à celui que l'on veut doser

## **2. Détermination des caractères physiques**

### ***2-1/ Masse volumique***

La détermination de la masse volumique est réalisée à l'aide d'un pycnomètre selon des méthodes normalisées (NF ISO 6883 ou UICPA 2-101). on peut exprimer la masse

volumique absolue (dans le vide) mais comme cette détermination est généralement utilisée pour transformer une masse d'huile en volume, on préfère utiliser le poids du litre d'huile dans l'air. Il est possible aussi d'utiliser un densimètre électronique. Exemple: masse volumique à 20 °C ( $\text{kg/m}^3$ ). Amande 911 à 917, coton 917 à 925, Arachide (Afrique) 914 à 916, Maïs 919 à 923, Arachide (Amérique) 917 à 920, Noix 924 à 926, Colza 914 à 917, Soja 921 à 924, Olive 910 à 916, tournesol 920 à 925, Lin 927 à 936, Ricin 957 à 968, Baleine 916 à 927, Sardine 923 à 932, Hareng 918 à 923, Saindoux (40°C) 900 à 903, Suif (40°C) 900 à 903.

### ***2-2/ Indice de réfraction***

L'indice de réfraction des huiles varie en fonction de leur insaturation. Il est mesuré suivant la norme ISO 6320 à 20 °C pour les huiles fluides et à 40 °C pour les graisses. L'indice de réfraction est mesuré à l'aide de réfractomètres de type Abbe, thermostatés. Il est lié à la température (0,000 35 par degré au voisinage de 20 °C).

Exemple: huiles riches en acide oléique 1,468 à 1,472, huiles riches en acide linoléique 1,471 à 1,477, huiles riches en acides linoléiques 1,480 à 1,523, graisses animales (40 °C ) 1,470 à 1,480.

### ***2-3/ Couleur***

Nombreuses sont les méthodes permettant de déterminer la couleur des corps gras. Les méthodes les plus utilisées comparent visuellement la couleur de l'échantillon à des étalons conventionnels: méthode Lovibond (NF ISO 15-305 et NFT 60-224) qui consiste à comparer avec un jeu de verres colorés jaunes et rouges.

### ***2-4/ Viscosité***

Il n'existe pas de méthodes particulières pour mesurer la viscosité des corps gras. On utilise les méthodes par écoulement employées pour les produits pétroliers. La viscosité diminue en fonction de l'insaturation ainsi qu'avec le chauffage. Elle augmente avec l'oxydation.

Pour la plupart des corps gras, elle est comprise entre 50 et 80 mPa.s à 20 °C et décroît jusqu'à 6 à 8 mPa.s à 100 °C, exception faite pour l'huile de ricin.

**2-5/ Point de fumée - Point d'éclair**

Le point de fumée est la température à laquelle le corps gras, chauffé dans des conditions précises, émet des fumées de façon continue.

Le point d'éclair est la température à laquelle se produit, en présence d'une flamme, l'inflammation nette des vapeurs de l'échantillon.

**2-6/ Teneur en solide**

La teneur en solide d'une phase grasse constitue un élément important pour la connaissance des propriétés rhéologiques d'une graisse. Cette teneur en solide peut être approchée de différentes manières;

\* par dilatométrie (UICPA 2-141): détermination d'un volume de poids connu de graisse à diverses températures en dessous de 60°C. Après fusion à 60°C et mesure du volume, le corps gras est porté à 0°C pendant 90 min. Puis 30 min. à 10°C, le volume mesuré, puis de 5°C en 5°C jusqu'à 60°C. La dilatation est mesurée en ml/kg;

\* par calorimétrie;

\* par résonance magnétique nucléaire à onde continue (NF EN ISO 8292): mesure des signaux de décroissance de l'aimantation émis par protons de corps gras liquides et solides, suite à des impulsions à 10 et 70  $\mu$ s.

D'autres méthodes peuvent permettre une approche de la teneur en solide:

\* la détermination du point de fusion en tube capillaire ouvert (NF ISO 6321 et NF ISO 632/A1): mesure de la température à laquelle une colonne de corps gras, dans un tube capillaire immergé dans l'eau, commence à se déplacer lorsqu'on augmente la température.

**Références bibliographiques**

**Alais, C. 1985.** Science du lait, principes des techniques laitière (pp. 878). 4e édition. SEPAIC Société d'édition et de promotion Agro-alimentaires, Industrielles et Commerciales, Paris.

**AFF, 1995.** Maîtrise de la chaîne du froid des denrées surgelées. Guide Technique Cemagref, Paris, 120 p.

**AFNOR, 1991.** Recueil de la norme française. Contrôle de la qualité des produits alimentaires. Analyse sensorielle. 4e éd., AFNOR-DGCCRF, Paris, 326 p.

**AFNOR, 1991.** Maîtrise de la chaîne du froid. 1re éd., AFNOR, Paris, 612 p.

**Behnke J.R., Fennema O., Cassens G., 1973.** Rates of post mortem metabolism in frozen animal tissues. *J. Agric. Food Chem.*, 21, 5-11.

**Berry B.W., Leddy K.F., Ono K., 1987.** Traitement et congélation de tranches de muscle de boeuf préalablement à l'intervention de la rigidité cadavérique. *Sc. Aliments*, 7, 177-188.

**Branlard, G, Méléard B., Oury FX., Rhazi L, Boinot N, et al. 2013.** Compréhension du rapport Ténacité/ Extensibilité et du volume du pain in : « Synthèse du programme de recherche FSOV , actes de la rencontre scientifique 15 mars 2013, Paris, 18-26.

**Charmet, G., Perretant, M. R. and Ravel, C. 2012.** Variabilité génétique et environnementale de la teneur des blés en nutriments. *Innovations Agronomiques* 19: 27-36.

**Cabanes A., Ouhayoun J., Gilbert S., 1995.** Conservation de la viande de lapin sous forme congelée. Influence de la durée de conservation sur les propriétés physico-chimiques et sensorielles. *Viandes prod. Carn.*, 16 (4), 131-134.

**Castera, A. 1992.** Traces métalliques. In : Manuel des corps gras. Coordonnateur A. Karleskind. Paris : Ed. Lavoisier Tec&Doc, Tome 2, chap. XIV, p. 1243-55.

**Cheftel, J. C. et Henri, c. 1977.** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Vol 1 Paris: Techniques et Documentation-Lavoisier, pp: 109-145.

**Claude Genot (2000).** Congélation et qualité de la viande. INRA, Paris: 104 p.

**Codex alimentaire, 2009.** Normes pour les huiles d'olives et les huiles de grignons d'olive. Codex-Stan 33-1981 (Revision 1989,2003; amendement 2009). In: Codex alimentaire, FAO/ZHO, 8,9 p.

**Combris, P., et al 2011.** Consommation et consommateurs. In: C. Esnouf, M. Russel, N. Bricas (Eds), Pour une alimentation durable. Réflexion stratégique DuALIne (p. 37-59). Matière à Débattre-Décider. Versailles, Editions Quae.  
<http://prodinra.inra.fr/record/51069>.

**Daudin J. D., 1988. La congélation.** In "Technologie de la viande et des produits carnés", J.P. Girard coord., Tec & Doc Lavoisier, Paris, 5-31.

**Dominique solter. 2012.** Les grandes productions végétales, 21ieme edition. Colection: Science et techniques agricoles (pp: 1-196)

**Durosset P., 1993.** La décongélation des produits alimentaires destinés à la transformation industrielle. *Viandes Prod. Carn.*, 14, 10-14.

**Fao. 1996.** Codex Alimentarius T.7 ; Cereales Legumes Secs Legumineuses Produits Derives Et Proteines Vegetales.

**Farias G., Ouali A., Bonnet M., Kopp J., 1989.** effects de la congélation sur quelques caractéristiques musculaires, conséquences sur la maturation des viandes. *Viandes Prod. Carn.*, 10 (4), 141-148.

**Farouk M.M., Swan J.E., 1998.** effect of muscle condition before freezing and simulated chemical changes during frozen storage on the pH and colour of beef. *Meat Sci.*, 50 (2), 245-256.

**Lebros, J. Fémaux, P. 1990.** Extraction solide-liquide II. Techniques et appareillage. Technique de l'Ingénieur, J 2782.

**Mensier, P-H. 1957.** Dictionnaire des huiles végétales. Paul Lechavalier, Paris

**Miralles J. et Pares, Y. 1980.** Composition en acides gras de quelques huiles extraite de graines provenant des plantes du Sénégal. *Rev Fr Corps gras*, 27 (8-9): 393-396

**Mustakas, G.C., Albrecht, W. J., Bookwqlter, G. N., Mcghee, J. E., Kwolek, W. f. et Griffen, E. L. 1970.** Extruder Processing to Improve Nutritional Quqlity, Flavour and Keeping Quality of Full-fat Soy Flour. *Food Tchnol.* 24: 1290.

**Saulnier, L. and Micard, V. 2012.** Impact de la structure de l'aliment sur les propriétés nutritionnelles et l'acceptabilité du pain et des pâtes. *Innovations Agronomiques* 19: 63-74.

**Sikorski Z.E., Olley J., Kostuch S., 1976.** Protein changes in frozen fish. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 8, 97-129.

**Varnam, A. H., et Sutherland, P. 1994.** Leche y productos lácteos. Tecnología, Química y Microbiología (pp. 80). Editorial ACRIBIA S. A. Zaragoza-España.

**Walstra, P., et Jenness, R. 1984.** Dairy Chemistry and Physics. John Wiley and Sons. New York.

**Walstra P., et Jenness R. 1987.** Química y física lactológica. Editorial ACRIBIA S. A. Zaragoza España.

**Walstra, P., Wouters, J., et Ceurts, T. 2006.** Heat treatment. En: P. Walstra, J. Wouter y T. Geurts (Eds), *Dairy Science and Technology* (pp. 225-272). EEUU: CRC Press, Boca.

**Wolff, J. P. 1986.** Manuel d'analyse des corps gras. Azoulay, Paris, 164-168

**Xavier, P., Odile, M. Birot, C., Gaud, M. fazeuilh, S., gouband, M. 2010.** Raffinage des huiles et des corps gras et élimination des contaminants. ITERG, Institut des corps gras, France. OCL VOI 17 n° 2 (86-99).

<http://www.denmatidalila.blogspot.com/2008>. Elaboration d'une huile d'olive vierge.

[www.finances.gouv.fr](http://www.finances.gouv.fr)

[www.techniques-ingenieurs.fr](http://www.techniques-ingenieurs.fr)

[http://www.azaquar.com/iaa/index.php?cible=ta\\_huilerie\\_03](http://www.azaquar.com/iaa/index.php?cible=ta_huilerie_03)

<http://www.sugar.ca/SUGAR/media/Sugar-Main/Images/purification-process-fr.jpg>