



## **PREFACE**

Ce cours est destiné aux étudiants de troisième année licence universitaire en sciences alimentaires, de master 2 en technologie alimentaire et de master professionnalisant en technologie de transformation du lait et dérivés.

Ce document comprend huit chapitres qui traitent la physiologie de lactation, la composition du lait, les laits de consommation traités, les ferments lactiques, les produits laitiers fermentés, les fromages, les desserts lactés et les co-produits laitiers.

Ce polycopié est illustré d'images et de figures pour permettre la compréhension et la mémorisation des connaissances des différents chapitres traités.

Avec un style simple de rédaction scientifique, les informations contenues sont compréhensibles et accessibles à nos étudiants de spécialité.

# Table des matières

## Préface

### Chapitre 1 : Physiologie de la lactation chez les ruminants domestiques

Introduction .....	1
1-1- Anatomie de la glande mammaire .....	1
1-1-1- Caractéristique de la glande mammaire .....	2
1-1-2- Lieu de synthèse du lait est les alvéoles ou acini .....	3
1-1-3- Synthèse, sécrétion et composition du lait .....	3
1-1-4- Le jeu des hormones .....	5
1-1-5- Ejection du lait .....	5
1-1-6- Rôle du sang et de la lymphe dans la production du lait .....	6
1-1-7- Influence de l'alimentation sur la composition du lait .....	6
1-1-8- Changements dans la composition du lait des vaches laitières sur toute une période de lactation .....	6
1-2- Productivité maximale des vaches laitières .....	7
1-3- Les besoins en énergie et notion de l'unité fourragère .....	7
1-4- Conditions de la traite .....	8
1-5- Les maladies transmissibles .....	9
1-5-1- Mammite .....	9
1-5-2- Brucellose .....	9
1-5-3- Fièvre aphteuse .....	9
1-6- Prophylaxie .....	10

### Chapitre 2 : Lait

2-1- Définition du lait .....	11
2-2- Composition du lait .....	11
2.2.1. Matière grasse .....	12
2-2-2- Constituants azotés .....	13
2-3- Caséines .....	14
2-3-1- Eléments constitutifs des caséines .....	14
2-3-2- Caractères généraux des caséines .....	14
2-3-3- Micelle de caséine .....	15
2-3-4- Facteurs de stabilité de la micelle .....	17
2-4- Coagulation du lait .....	17
2-4-1- Coagulation acide .....	17
2-4-2- Coagulation enzymatique du lait .....	17
2-4-3- Coagulation mixte .....	20
2-5- Enzymes .....	23
2-6- Lait caséineux et lait albumineux .....	24
2-7- Comparaison entre les laits des différentes espèces .....	24
2-8- Différence entre les laits de monogastriques et les laits de ruminants .....	26
2-9- Intérêt nutritionnel des laits .....	27
2-10- Catégories de micro-organismes rencontrées dans les laits et leurs caractéristiques .....	27

### **Chapitre 3 : Laits de consommation traités**

Introduction .....	29
3-1- Etapes communes de traitements appliqués sur les différents types de lait .....	29
3-1-1-Clarification.....	29
3-1-2-Thermisation.....	30
3-1-3-Séparation de la matière grasse (Ecrémage).....	30
3-1-4-Standardisation .....	31
3-1-5-Pasteurisation.....	32
3-1-6-Refroidissement.....	33
3-1-7-Homogénéisation.....	33
3-1-8-Conditionnement .....	35
3-2- Types des laits traités.....	36
3-2-1-Lait pasteurisé.....	36
3-2-2-Lait stérilisé .....	37
3-2-3-Lait U.H.T. ....	37
3-2-4-Laits concentrés.....	40
3-2-5-Lait en poudre.....	43
3-3-Effets du traitement thermique sur le lait .....	47
3-3-1-Sur la qualité organoleptique du lait.....	47
3-3-2-Sur les protéines .....	47
3-3-3-Sur les enzymes .....	48

### **Chapitre 4 : Ferments lactiques**

Définition des ferments lactiques .....	49
4-1- Rôle des ferments lactiques .....	49
4-2- Types de ferments lactiques.....	49
4-2-1- Ferments artisanaux.....	49
4-2-2- Ferments commerciaux .....	50
4-3- Technologie de production des ferments commerciaux .....	50
4-4- Conservation et modes de commercialisation des ferments .....	52
4-5- Ferments composés d'un mélange de souches .....	52

### **Chapitre 5 : Produits laitiers à fermentation lactique**

Définition du lait fermenté .....	53
5-1-Yaourt .....	53
5-1-1-Processus de fabrication du yaourt industriel.....	54
5-1-2-Conservation des yaourts.....	58
5-1-3-Ferments recommandés et ferments optionnels pour le yaourt .....	59
5-1-4-Profil sensoriel du yaourt .....	60
5-1-5-Accidents rencontrés dans la fabrication du yaourt.....	60
5-2-Laits fermentés algériens « <i>l'ben</i> et <i>Raïb</i> » .....	61
5-2-1- L'ben .....	61
5-2-2- Raïb .....	63
5-2-3- Intérêt nutritionnel des laits fermentés .....	63
5-3- Crème fraîche.....	63
5-3-1-Crèmes de consommation .....	66
5-4- Beurre .....	67
5-4-1-Fabrication du beurre.....	67

5-4-2- Composition du beurre .....	74
5-4-3- Huiles de beurre ou produits gras déshydratés .....	74
5-4-4- Beurres spéciaux.....	75

## **Chapitre 6 : Fromages**

6-1- Fromages .....	76
6-2- Dénomination fromage .....	76
6-3- Dénomination fromagerie .....	76
6-4- Etapes de fabrication du fromage .....	77
6-4-1-Préparation du lait pour la fabrication du fromage.....	77
6-4-2-Coagulation .....	77
6-4-3-Moulage.....	77
6-4-4-Egouttage.....	78
6-4-5-Salage .....	80
6-4-6-Affinage.....	81
6-4-7 -Lavage .....	85
6-5- Classification des fromages .....	88
6-5-1-Fromages frais (non affinés).....	88
6-5-2-Fromages à pâte filée non affinée.....	88
6-5-3-Fromages à pâte molle.....	88
6-5-4-Fromages à pâte demi-ferme .....	89
6-5-5-Fromages à pâte ferme (ou dure).....	89
6-5-6-Fromages à pâte persillée (bleus) .....	90
6-5-7-Fromages fondus (à pâtes recuites) .....	90
6-5-8-Fromages de chèvre.....	91
6-5-9-Succédanés de fromage .....	91
6-6-Micro-organismes dans le domaine fromager .....	95
6-6-1-Bactéries .....	95
6-6-2-Levures .....	96
6-6-3-Moisissures .....	96
6-6-4- Flore d'altération de fromages .....	96
6-7- Expression du rendement en fromagerie .....	97
6-7-1- Expression du rendement sur base humide .....	97
6-7-2- Expression du rendement sur base sèche .....	97
6-8- Matériel de fromagerie .....	98
6-8-1-Gerle en bois dans la fromagerie.....	98
6-8-2-Cuve en cuivre dans la fromagerie .....	98
6-8-3-Moule dans la fromagerie.....	99
6-8-4-Louche dans la fromagerie .....	99
6-8-5-Pelle dans la fromagerie .....	99
6-8-6-Planches d'affinage en bois en fromagerie.....	99
6-8-7-Toile de soutirage du caillé en fromagerie .....	99
6-9- Réglementation du matériel de fromagerie.....	101

## **Chapitre 7 : Desserts lactés**

7-1-Catégories des desserts lactés .....	102
7-2-Crèmes dessert et gélifiants .....	104
7-3-Crèmes dessert et émulsifiants.....	105

7-4-Gélifiants et épaississants utilisés dans les crèmes dessert.....	106
7-5-Emulsifiants utilisés dans les crèmes dessert .....	107
7-6-Cas des mousses dessert .....	107
7-6-1-Types de foisonnement.....	108
7-6-2-Etapes de fabrication de la mousse.....	108
7-7-Crèmes glacées .....	109

## **Chapitre 8 : Co-produits laitiers**

8-1- Différence entre co-produit et sous-produit.....	112
8-2-Co-produits laitiers .....	112
8-2-1- Lait écrémé .....	112
8-2-2-Caséine .....	112
8-2-3-Babeurre (Butter-milk) .....	112
8-2-4- Lactosérum .....	115
Références consultées.....	117

# **Chapitre 1**

## **Physiologie de la lactation chez les ruminants domestiques**

## Introduction

Le lait est sécrété par les glandes mammaires des femelles de mammifères. La vache est un mammifère, elle a besoin de donner naissance à un veau pour commencer à produire du lait. Il est convenu de réserver le mot « lait », sans spécification, à la sécrétion lactée de la vache. Dans tous les autres cas, on le fait suivre de la désignation de l'espèce : lait humain, lait de brebis, lait de chèvre, etc.

### 1-1- Anatomie de la glande mammaire

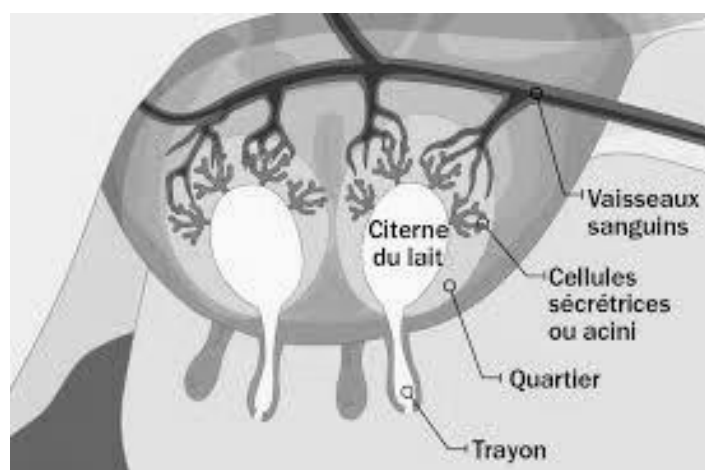
La mamelle est une glande richement vascularisée et innervée, dont le développement et le fonctionnement sont placés sous contrôle neuro-hormonal. Chaque glande mammaire comporte un trayon en forme de doigt qui, compressé, permet d'extraire le lait. La vache a une seule mamelle, qui comporte quatre « quartiers », terme utilisé pour les glandes mammaires, et donc quatre trayons.



Mamelle de vache et ses quatre trayons



Mamelle de chèvre et ses deux trayons



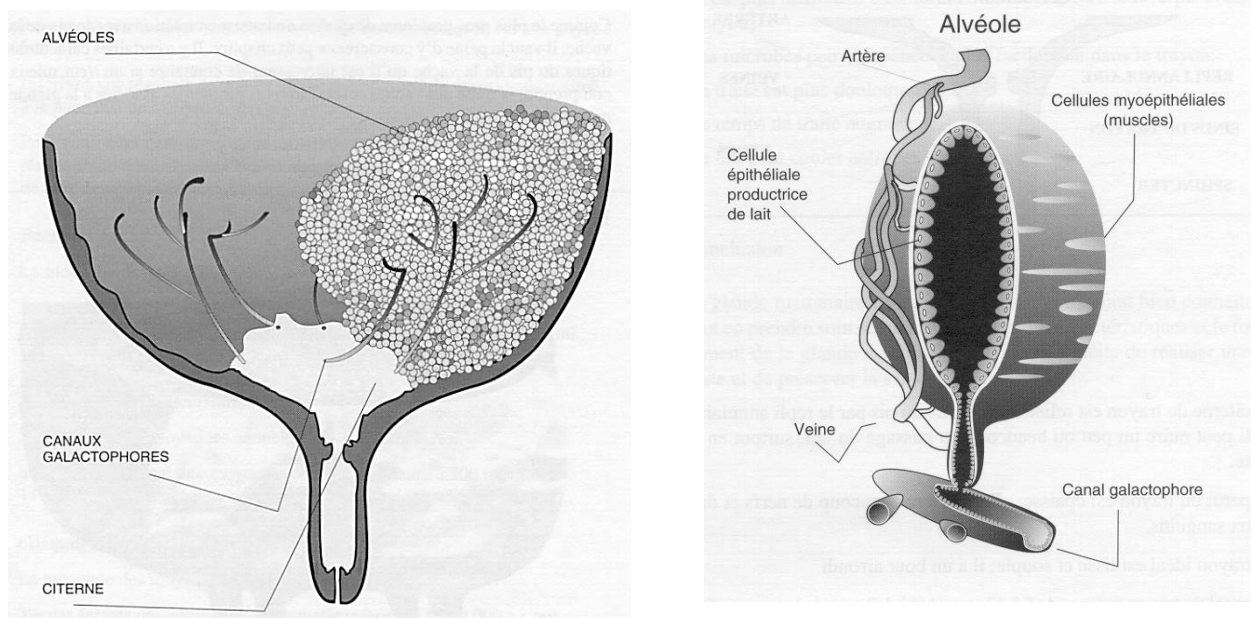
**Figure 1** : Schéma illustrant la mamelle de vache laitière



### 1-1-1- Caractéristique de la glande mammaire

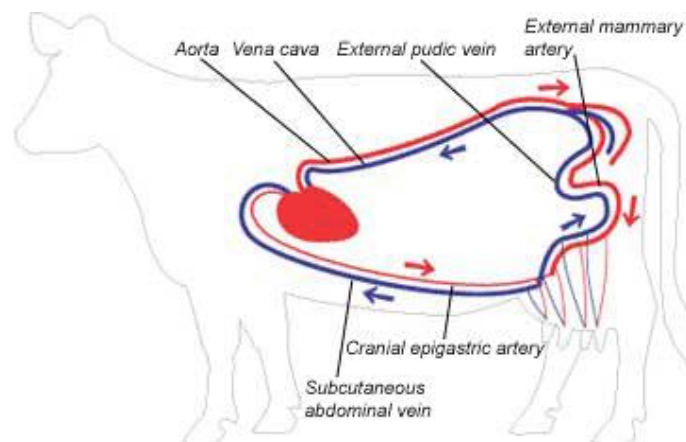
Une glande mammaire pèse environ 50 kg (incluant le sang et le lait). Elle est composée de 4 quartiers (vache) anatomiquement séparés par des ligaments. Pas de passage direct de bactéries d'un quartier à l'autre. La capacité de la citerne est de **1 litre de lait** en moyenne. La distribution du lait avant la traite est comme suit : 60 % dans les alvéoles, 20 % dans les canaux, 20 % dans la citerne (figure 2). Cependant, il existe des différences relativement grandes entre les vaches laitières en ce qui concerne la capacité des citernes.

Le trayon est constitué d'une citerne et d'un canal. Là où les citernes et le canal se rencontrent, 6 à 10 plis longitudinaux forment la rosette de Fürstenberg. Cette rosette joue un rôle dans la lutte contre la mammite. Le canal du trayon est entouré de paquets de fibres de muscles longitudinaux et circulaires. Entre les traites, les muscles gardent l'extrémité du canal fermée. Également entre les traites, le canal du trayon est aussi obstrué par de la kératine. La kératine fait barrage aux bactéries pathogènes.



**Figure 2 :** Anatomie d'un quartier de la mamelle et d'un alvéole

Il y a beaucoup de nerfs dans la mamelle, spécialement sur les trayons. La peau du trayon, couverte de nerfs sensibles à la tétée des veaux, est donc influencée par la pression, la chaleur et la fréquence des tétées. Les nerfs des mamelles (figure 3) sont branchés aux muscles du système circulatoire et des canaux de lait. Du reste, aucun nerf n'est directement relié au contrôle de la production de lait.



**Figure 3** : Schéma du système vasculaire de la mamelle, illustrant les artères qui alimentent la mamelle en sang versus les veines qui drainent le sang

### 1-1-2-Lieu de synthèse du lait est les alvéoles ou acini

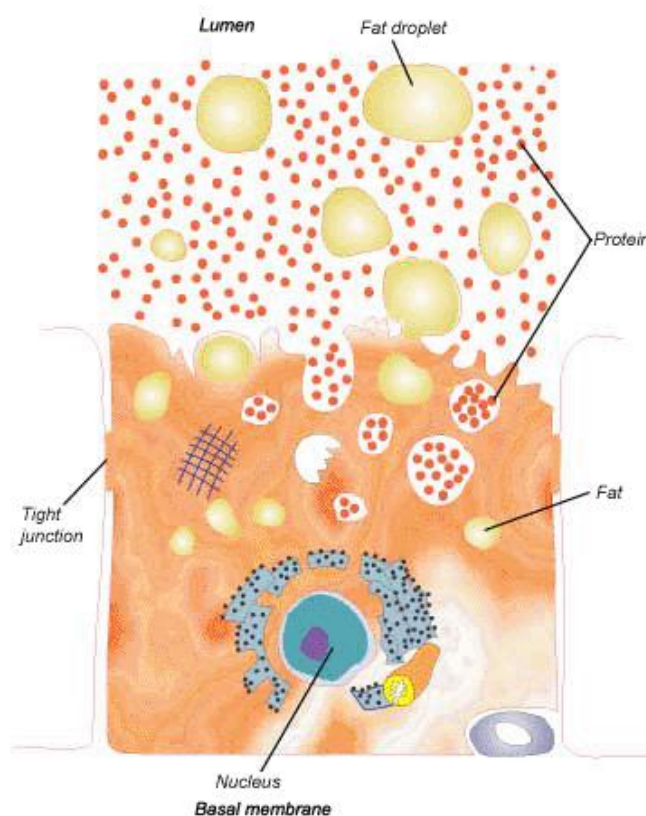
La mamelle est composée de tissus de sécrétion et de tissus conjonctifs. La quantité de tissus de sécrétion ou le nombre de cellules sécrétrices est le facteur limitant la production laitière de la glande mammaire. Le lait est synthétisé par les cellules sécrétrices qui sont elles-mêmes disposées en une couche simple sur une membrane dans une structure sphérique appelée alvéole (figure 2). Le diamètre de chaque alvéole est d'environ 50-250  $\mu$ m. Plusieurs alvéoles regroupées constituent un lobule. Cette structure ressemble beaucoup à celle du poumon. Entre les traies, le lait (continuellement sécrété dans la zone alvéolaire) est entreposé dans les alvéoles ou acini (vésicules de 100 à 300 microns), les canaux d'excrétion et dans la citerne du trayon.

### 1-1-3-Synthèse, sécrétion et composition du lait

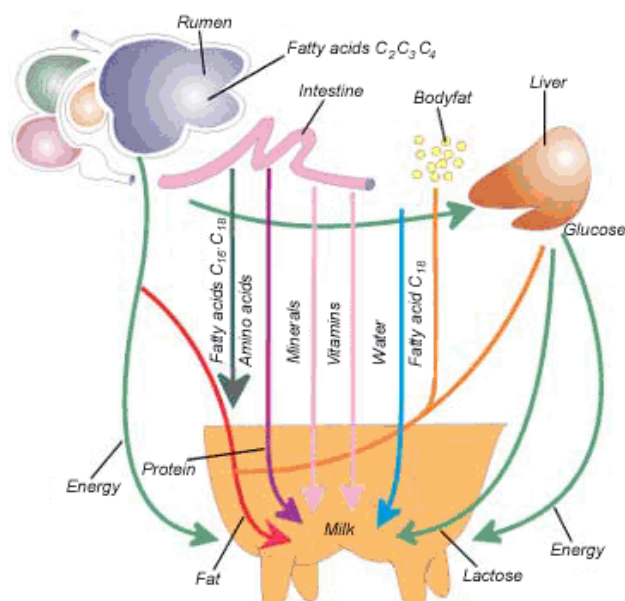
La synthèse du lait se produit dans l'alvéole (les cellules glandulaires acineuses), qui puisent les principaux constituants dans le sang et la lymphe. Schématiquement, deux mécanismes interviennent : filtration sélective (excrétion) de l'eau, des sels, des albumines et globulines ; synthèse (sécrétion) du lactose, de la caséine, des matières grasses.

Le gras du lait est principalement formé de triglycérides qui sont synthétisés à partir de glycérols et d'acides gras. Les acides gras à longues chaînes sont absorbés dans le sang. Les acides gras à chaînes courtes sont synthétisés dans la glande mammaire à partir d'acétates et d'hydroxybutyrate qui se retrouvent dans le sang. Les protéines du lait sont synthétisées à partir d'acides aminés provenant aussi du sang. Elles sont principalement constituées de caséines et d'une partie des protéines du petit-lait. Le lactose est synthétisé à partir du glucose et du

galactose des cellules sécrétrices. Les vitamines, les minéraux, les sels et les anticorps sont transformés du sang à travers le cytoplasme cellulaire dans le lumen alvéolaire (figures 4 & 5).



**Figure 4 :** Schéma de la structure d'une alvéole



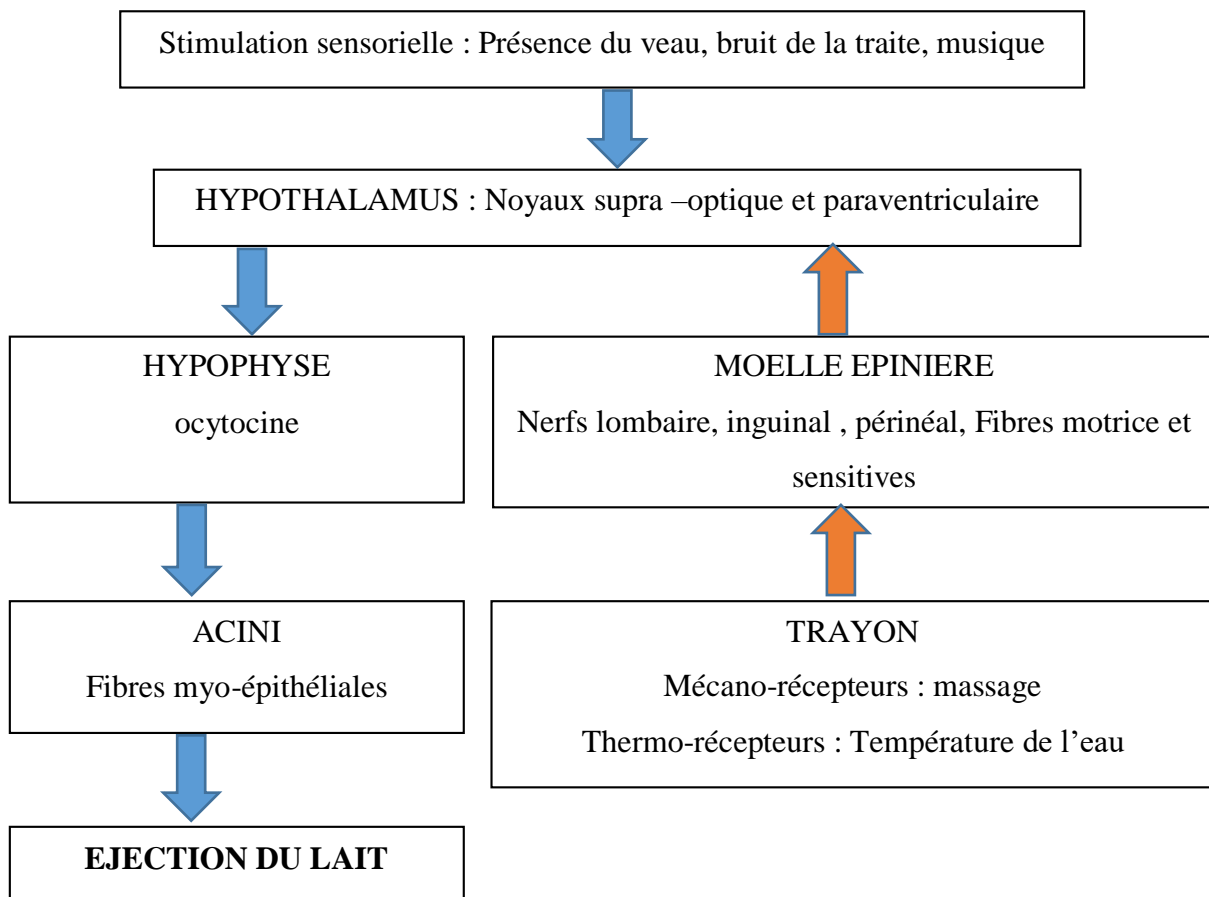
**Figure 5 :** Précurseurs du lait, transportés là où la synthèse du lait, des protéines et du lactose prend place dans la mamelle.

### 1-1-4- Le jeu des hormones

Au cours de la gestation, la glande mammaire se développe : les cellules sécrétoires se multiplient et s'organisent en alvéoles. Lors de la mise-bas, la chute de progestérone placentaire et la montée parallèle de prolactine sécrétée par l'hypophyse (glande située à la base du cerveau) induisent la production de lait. Celle-ci est réalisée à partir des nutriments issus de l'alimentation de la vache et acheminés vers la mamelle grâce à des capillaires sanguins.

### 1-1-5- Ejection du lait

L'éjection du lait est une réaction réflexe déclenchée par un veau qui tète ou bien une manipulation de la mamelle. Ceci provoque une stimulation des nerfs périphériques qui envoient un signal à l'hypophyse. Celle-ci sécrète alors de l'ocytocine qui entraîne la contraction des alvéoles de la mamelle. La pression augmente et le lait s'écoule des pis via les canaux lactifères (figure 6).



**Figure 6** : Schéma illustrant le mécanisme de l'éjection du lait.

### 1-1-6- Rôle du sang et de la lymphe dans la production du lait

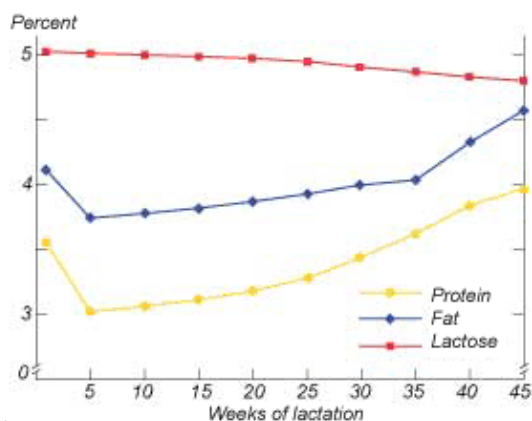
Cinq cents litres de sang doivent circuler dans la glande mammaire pour produire un litre de lait. Lorsqu'une vache produit **60 litres de lait par jour**, cela signifie que 30,000 litres de sang circulent à travers la mamelle. Donc, les vaches très productrices d'aujourd'hui sont soumises à des demandes extrêmes.

La mamelle possède aussi un système lymphatique. Celui-ci transporte les déchets à l'extérieur de la glande. Les lymphes servent de filtres. Ceux-ci détruisent les substances étrangères mais sont aussi une source de lymphocytes permettant de lutter contre les infections. Quelquefois, au moment d'un premier vêlage, les génisses peuvent souffrir d'œdème, en partie à cause de la présence de lait dans la mamelle qui compresse les lymphes.

### 1-1-7-Influence de l'alimentation sur la composition du lait

Il est bien connu que la quantité de lait à être produite est grandement influencée par la quantité d'aliments donnée aux animaux. Il est aussi possible d'influencer en partie la composition du lait par l'alimentation, spécialement avec la composition des fourrages. Les régimes faibles en fibres ou à forte teneur en concentrés riches en amidon peuvent par exemple occasionner une baisse du taux de gras dans le lait. Ces régimes peuvent altérer la composition des acides volatiles dans le rumen, qui influencent le métabolisme du gras dans la mamelle. Il est cependant plus difficile d'altérer la composition en protéines par la composition de l'alimentation. La possibilité d'altérer la composition du lait par la traite est aussi évidente, mais demeure davantage reliée à la teneur en gras qu'en protéines. La teneur en gras et en protéines du lait est aussi un facteur important dans les programmes d'élevages.

### 1-1-8- Changements dans la composition du lait des vaches laitières sur toute une période de lactation



Au début et à la fin de la lactation, la teneur en gras et en protéines est plus élevée qu'au moment de la mi-lactation, tel que l'illustre le diagramme ci-contre

**Figure 7 :** Changements dans les taux de gras, de protéines et de lactose dans le lait des vaches laitières sur toute une période de lactation

La plus haute concentration de matières sèches dans le lait au début de la lactation est due aux besoins particuliers des jeunes. À titre d'exemple, la teneur plus élevée en protéines pendant les premiers jours après le vêlage dépend du taux d'immunoglobuline. En moyenne, le lait des vaches laitières a une teneur en gras entre 3.0 et 5.5 %, une teneur en protéines entre 3.0 et 3.8 % et entre 4.0 et 4.8 % de lactose. La composition du lait varie selon les races mais aussi pendant la lactation.

**Tableau 1 :** Composition moyenne du lait de trois races de vaches laitières

Races	% solides totaux	% de gras	% de caséine	% protéines de petit-lait	% lactose	% de cendres
Suisse brune	12,69	3,80	2,63	0,55	4,80	0,72
Holstein	11,91	3,56	2,49	0,53	4,61	0,73
Jersey	14,15	4,97	3,02	0,63	4,70	0,77

## 1-2- Productivité maximale des vaches laitières

La race laitière Prim'Holstein, spécialisée dans la production de lait, est la race dominante en France. Les vaches laitières à haut rendement sont souvent sujettes à des problèmes de boiteries, mammites et autres troubles fonctionnels. Tandis qu'une vache allaitante (élevée pour sa viande) produirait naturellement environ 4 litres de lait par jour, une vache laitière produit en moyenne 28 litres de lait par jour sur une période de 10 mois. Durant le pic de lactation, les vaches laitières à fort rendement peuvent produire jusqu'à 60 litres par jour et jusqu'à 12 000 litres sur toute leur lactation.

## 1-3- Les besoins en énergie et notion de l'unité fourragère

Les besoins en énergie sont couverts par les glucides de la ration. Les lipides peuvent également fournir de l'énergie. Pour exprimer la valeur énergétique des aliments destinés aux animaux d'élevage (bovins, ovins, caprins, porcins, équidés), on utilise généralement les Unités Fourragères (UF). Une UF correspond à l'énergie nette utilisable par l'organisme animal d'un kilogramme d'orge moyenne. Cette valeur varie en fonction de l'espèce animale et du type de production (entretien, croissance, lactation).

L'idée de son concepteur, le Professeur Leroy, était de pouvoir comparer de façon simple, l'énergie apportée par 1 kg d'aliment et dont l'animal dispose pour vivre, grandir, produire du lait etc. Il a pris comme référence l'orge. 1 kg d'orge apporte 1 UF. Dans ce système, l'avoine apporte 0,85 UF c'est-à-dire que l'avoine est un peu moins énergétique que l'orge. A contrario, le maïs grain apporte 1,15 UF par kg. Selon le type de production (gain de poids ou lait), l'énergie n'est pas utilisée avec la même efficacité. Pour cela existent les unités fourragères suivantes :

- UFL (Unité Fourragère Lait) quantité d'énergie nette absorbable pendant la lactation ou l'entretien du ruminant. 1 UFL = 1700 kcal. C'est pour les ruminants à l'entretien ou en croissance modérée et les femelles en lactation
- UFV (Unité Fourragère Viande) quantité d'énergie nette absorbable lors de l'engraissement d'un ruminant, 1 UFV = 1820 kcal. C'est pour les ruminants en croissance rapide.
- UFC (Unité Fourragère Cheval) Unité Fourragère Cheval, quantité d'énergie nette absorbable par un cheval. 1 UFC = 2700 kcal, spéciale cheval

Il en ressort que les besoins de production pour le lait sont de 0,44 UFL par kilo de lait. Par exemple, pour une vache produisant 20 kg de lait, les besoins sont de 8,8 UFL.

## 1-4- Conditions de la traite

Toutes les personnes responsables de la traite doivent toujours procéder de manière uniforme en suivant dans l'ordre les étapes recommandées.

- Nettoyer et désinfecter les mains à fond et enfiler des gants propres.
- Désinfecter les gants régulièrement durant la traite et éviter de les contaminer.
- Fournir un environnement propre et sans stress aux animaux.

Ordre de traite suggéré pour réduire le risque de propagation des bactéries causant la mammite :

1. Les vaches saines
2. Les vaches au statut de santé suspect (achat récent, fraîche vêlée, post traitement)
3. Les vaches atteintes de mammite chronique
4. Les vaches ayant une infection causée par un agent pathogène contagieux

## 1-5- Les maladies transmissibles

Le lait peut être pollué par l'animal (excrétion de germes par la mamelle), par l'homme ou par l'environnement (milieu ambiant, poussières, matériel). Les principales affections véhiculées par le lait sont :

- Mammites ;
- Maladies à virus : hépatite infectieuse, fièvre aphteuse, pharyngites et angines fébriles (adénovirus), diarrhées estivales des nourrissons (entérovirus) ;
- Maladies à rickettsies : fièvre Q ;
- Maladies bactériennes : brucellose (fièvre de Malte), tuberculose, staphylococcie entérottoxique, colibacillose, dysenterie bacillaire, salmonelloses, etc.

### 1-5-1- Mammite

La mammite est une infection de la mamelle par des bactéries qui pénètrent par le sphincter du trayon. Cette infection déclenche une réaction inflammatoire associée à un afflux de globules blancs (ou leucocytes) dans la mamelle

Les germes responsables sont : *Staphylocoques*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus disgalactiae*, *Streptococcus uberis*, *Escherichia coli*. Les mammites constituent la pathologie n°1 des élevages laitiers et touchent plus de 40 % des vaches en production. En élevage laitier spécialisé, les mammites provoquent des pertes économiques importantes (lait non produit, impropre à l'usage, altération de la qualité du lait) et constituent un risque de santé publique (bactéries pathogènes et résidus antibiotiques).

### 1-5-2- Brucellose

La brucellose est une maladie contagieuse des animaux d'élevage due aux bactéries du genre *Brucella*, qui touche les bovins, les porcs, les ovins et les caprins, les équidés, les camélidés et les chiens. Elle est à l'origine de pertes économiques importantes (avortements, pertes du lait et des produits laitiers) pour les éleveurs de vaches laitières, d'ovins, de caprins et de porcs.

Les produits laitiers (lait cru et fromages frais non fermentés) présentent un risque de transmission de l'infection à l'homme, surtout lorsqu'ils proviennent de chèvres infectées. Ils doivent être retirés de la vente.

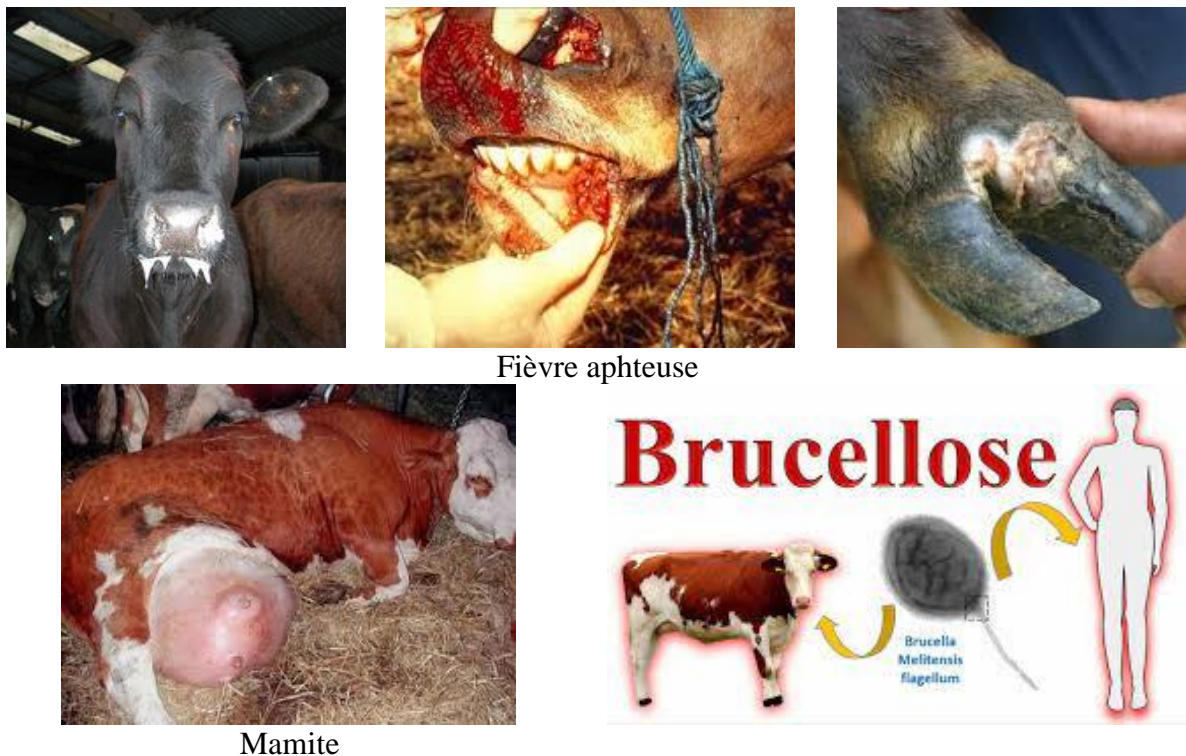
### 1-5-3-Fièvre aphteuse

La fièvre aphteuse est causée par les dénommés **FMDV** (de l'anglais, *foot-and-mouth disease virus*), virus du genre aphthovirus de la famille des picornaviridae. Chez les



bovins, la fièvre aphteuse se manifeste par une température élevée qui baisse rapidement après deux ou trois jours, des aphtes à l'intérieur de la bouche qui provoquent une production excessive de salive filandreuse ou écumeuse avec hypersialorrhée, et des cloques sur les pieds qui peuvent s'ouvrir et faire boiter (figure 8).

Dans le monde entier les éleveurs peuvent perdre des milliards de dollars par an à l'occasion d'une épidémie de fièvre aphteuse, avec la perte d'un grand nombre de bêtes et une baisse de production pour le lait et pour la viande.



**Figure 8 :** Les principales pathologies rencontrées chez les bovins

## 1-6- Prophylaxie

La prophylaxie repose sur l'hygiène du cheptel et de la traite, l'emploi immédiat du froid dès la traite. La livraison du lait cru à la consommation n'est autorisée que sous contrôles rigoureux des animaux, du personnel, des locaux et du matériel. En outre, pasteurisation et stérilisation assurent la destruction de la flore pathogène.

# **Chapitre 2**

**LAIT**

**Composition & caractéristiques**

## 2-1- Définition du lait

Les différentes législations récentes et anciennes reprennent en général les dispositions établies par le premier Congrès International de la répression des fraudes alimentaires à Genève (1908). Le lait est le produit intégral de la traite complète et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Sont donc impropres à la consommation humaine des laits provenant d'animaux atteints de maladies, d'animaux mal nourris et les laits contenant du *colostrum*. Le lait doit être recueilli proprement, il ne doit être ni coloré, ni malodorant ; il ne doit pas contenir d'espèces microbiennes pathogènes.

Le lait est un liquide blanc, opaque, de saveur légèrement sucrée, constituant un aliment complet et équilibré pour le nouveau-né. Le lait cru est un lait qui n'a subi aucun traitement de conservation sauf la réfrigération à la ferme. Le lait cru doit être porté à l'ébullition avant consommation (car il contient des germes pathogènes). La date limite de vente correspond au lendemain du jour de la traite. Il doit être conservé au réfrigérateur et consommé dans les 24h. Nous rappelons que la dénomination du lait sans spécifier le nom de l'espèce est relative au lait de vache.

## 2-2- Composition du lait

Le lait est un produit d'origine biologique fortement altérable par voie microbienne et par voie enzymatique. C'est un milieu multiphasique : une phase aqueuse contenant essentiellement le lactose, les minéraux ; une phase dispersée de nature lipidique (globules gras) et une phase de nature protéique (micelles de caséines). Cette composition varie selon différents facteurs liés aux animaux. Les principaux étant la race, la période de lactation, l'alimentation, la saison et l'âge. Ces éléments majeurs sont présentés dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Composition générale du lait en g p. 100 mL

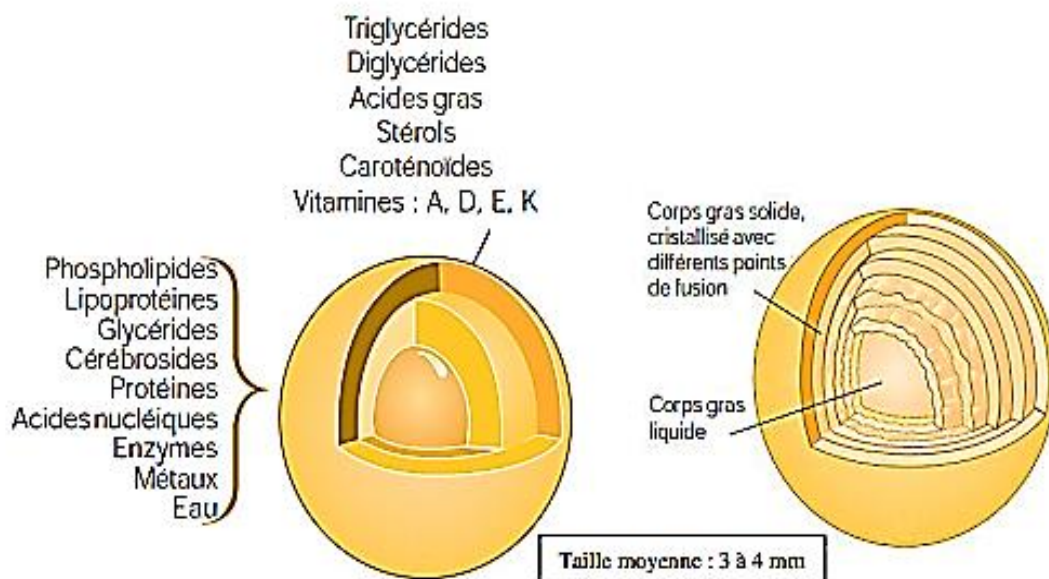
Composants majeurs	Valeur moyenne
Eau	87,5
Matières grasses	3,7
Protéines	3,2
Glucides	4,6
Minéraux	0,9

Le lait possède des propriétés physiques qui se résument dans les points suivants :

Densité du lait frais à 15 C°	1,028 à 1,034
Densité de la matière grasse à 15 C°	0,92
Acidité du lait frais	16° Dornic soit 1,6 p.100 en acide lactique
Potentiel d'oxydation	0,13 V à l'abri de l'air
Tension superficielle	49 à 56 dyn/ cm à 18 C°
Viscosité	4,25 à 0 °C ; 1,64 à 30 °C
Point de congélation	-0,55 à 0.54°C

### 2.2.1. Matière grasse

Les matières grasses du lait ont la forme de petits globules sphériques qui sont invisibles à l'œil nu. Le diamètre moyen des globules étant de 3 à 4  $\mu\text{m}$ , on estime qu'il y a environ de 3 à 4 milliards de globules de gras par millilitre de lait entier. La matière grasse est présente dans le lait sous forme de globules gras, montré dans la 0, qui sont entourés d'une membrane communément appelée « la membrane du globule gras du lait MGGL ». Cette enveloppe protectrice est un assemblage complexe de protéines, de phospholipides, de glycoprotéines, de lipides neutres, d'enzymes et d'autres composés mineurs, elle agit comme un émulsifiant naturel permettant la dispersion de la matière grasse dans le plasma du lait, de ce fait elle contribue au maintien de l'émulsion (figure 1).



**Figure 1 :** Composition de la matière grasse du lait

Ces globules gras sont essentiellement constitués de triglycérides (98%). La matière grasse du lait de vache représente à elle seule la moitié de l'apport énergétique du lait. Elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés. Elle renferme : 150 différentes variétés d'acides gras ; une proportion élevée d'acides gras à chaînes courtes ; une teneur élevée en acide oléique (C18 :1) et palmitique (C16 :0) ; une teneur moyenne en acide stéarique (C18 :0).

Les phospholipides représentent moins de 1% de la matière grasse, sont plutôt riches en acides gras insaturés. Le lait de vache est pauvre en acides gras essentiels (acide linoléique C18 : 2 et acide linolénique C18 : 3) par rapport au lait de femme (1,6% contre 8,5% en moyenne). Le tableau 2 résume les différents constituants lipidiques du lait et leurs emplacements.

**Tableau 2 :** Constituants lipidiques du lait de vache et localisation dans la fraction physicochimique (g/L de matière grasse)

Constituants lipidiques	Proportions	Localisation
Triglycérides	96 - 98	Globule gras
Diglycérides	0,3 - 1,6	Globule gras
Monoglycérides	0,0 - 0,1	Globule gras
Phospholipides	0,2 - 1,0	Membrane du globule gras et lactosérum
Cérébrosides	0,0 - 0,08	Membrane du globule gras
Stéroïdes	0,2 - 0,4	Globule gras
Acides gras libres	0,1 - 0,4	Membrane du globule gras et lactosérum
Esters du cholestérol	Traces	Membrane du globule gras
Vitamines	0,1 - 0,2	Globule gras

### 2-2-2- Constituants azotés

Les matières azotées du lait sont composées principalement de caséines qui sont des phosphoprotéines présentes dans la phase colloïdale sous forme de micelle de caséinate de calcium, unies à la chaîne latérale de la sérine (groupe phosphoséryl). La caséine est un polypeptide complexe, résultant de la polycondensation de différents aminoacides, dont les principaux sont la leucine, la proline, l'acide glutamique et la sérine.

Les groupements acides des résidus glutamyl, aspartyl et phosphoséryl sont plus nombreux que les fractions  $-NH_2$  de la lysine et des autres acides aminés basiques. Ceci, confère à la caséine

entière un point isoélectrique de 4,6 avec une charge nette négative. En effet, le lait de vache contient des protéines réparties en deux fractions distinctes

- Caséines qui précipitent à pH 4,6 ; elles représentent 80% des protéines totales,
- Protéines sériques solubles à pH 4,6, elles représentent 20% des protéines totales.

Les protéines sériques du lait sont présentes dans la phase aqueuse et constituent les protéines du lactosérum qui sont les albumines, les globulines, les protéoses-peptones et les protéines mineures. Elles sont pour la plupart, des enzymes et des protéines de structures cellulaires libérées au cours du processus de sécrétion lactée. Le lait contient également des molécules azotées non protéiques qui représentent environ 5% de l'azote total du lait. Ces molécules sont en particulier des nucléotides, des bases puriques, de l'urée et d'acide urique.

## 2-3- Caséines

### 2-3-1- Eléments constitutifs des caséines

Les micelles de caséine sont constituées de 92% de protéines et de 8% de minéraux (tableau 3). Les quatre principales protéines contenues dans les micelles sont les caséines  $\alpha_{s1}$ ,  $\alpha_{s2}$ ,  $\beta$ , et  $\kappa$ . Il existe également une caséine  $\gamma$  qui provient de l'hydrolyse de la caséine  $\beta$  par la plasmine.

**Tableau 3 : Composition moyenne de la micelle de caséine en g/100g**

Caséines	Composants salins
$\alpha_{s1}$ .....33	Calcium.....2,9
$\alpha_{s2}$ .....11	Magnésium.....0,2
$\beta$ .....33	Phosphate inorganique.....4,3
$\kappa$ .....11	Citrate.....0,5
$\gamma$ .....4	
<b>Total caséines.....92</b>	<b>Total composants salins.....8,0</b>

### 2-3-2- Caractères généraux des caséines

**Caséine  $\alpha_s$  :** Cette caséine, présente en quantité modeste (8 à 11%), possède 207 acides aminés

La fraction  $\alpha$  s'est révélée hétérogène. L'ensemble des fractions  $\alpha_{s2}$ ,  $\alpha_{s3}$ ,  $\alpha_{s4}$ ,  $\alpha_{s5}$  et  $\alpha_{s6}$  est maintenant nommé caséine  $\alpha_{s2}$ . Le poids moléculaire est situé entre 24000 et 30000 Daltons. Elle est fortement sensible au calcium à toute température et est la plus hydrophile de toutes les caséines vu sa richesse en groupements phosphorylés et en résidus cationiques.

**Caséine  $\beta$  :** Elle est présente en quantité importante (25 – 35%), et possède 209 acides aminés, pour une masse molaire d'environ 24000 Daltons. Elle est sensible au  $\text{Ca}^{2+}$  à température ambiante. A basse température, en dessous de 10°C, elle reste soluble en présence de

calcium. C'est la plus hydrophobe des caséines. La molécule présente un caractère amphipolaire très marqué : partie N terminale très polaire (1/3 de la molécule) et partie C terminale hydrophobe comprenant les 2/3 restants de la molécule.

**Caséine  $\kappa$**  : Sa structure primaire comporte 169 résidus d'acide aminés, son poids moléculaire est de 19000 Daltons. Lors de l'hydrolyse de la liaison Phe 105 - Met 106 par la chymosine, il y a libération du caséinomacropeptide (CMP) ou s'il est fortement glycosylé, glycomacropeptide (GMP) et la para caséine  $\kappa$ . La fraction CMP ou GMP confère à cette protéine son caractère hydrophile et la para caséine  $\kappa$  son caractère très hydrophobe. Ceci explique la perte de la solubilité des micelles de caséines.

**Caséine  $\gamma$**  : La connaissance de la structure de la caséine  $\beta$  permet de montrer que la fraction  $\gamma$  est constituée de 3 fragments appelés  $\gamma_1$  (20500 Daltons),  $\gamma_2$  (11800 Daltons),  $\gamma_3$  (11500 Daltons) qui proviennent de l'hydrolyse de la caséine  $\beta$  par la plasmine, une protéase endogène alcaline du lait (tableau 4).

**Tableau 4** : Composition moyenne en g L<sup>-1</sup> et distribution des protéines dans le lait

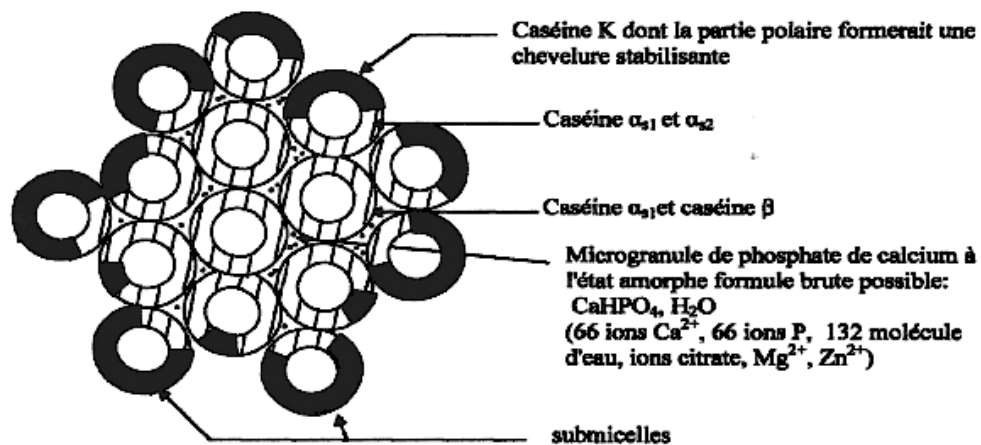
	Proportions moyennes	
	g par litre	Relatives
<b>Protides totaux</b>	<b>32</b>	<b>100</b>
<b>I-Protéines</b>		
A-Caséine isoélectrique	<b>25</b>	<b>78</b>
a-caséine $\alpha_{s1}$	9,0	36
b-caséine $\alpha_{s2}$	2,5	10
c-caséine $\beta$	8,5	34
d-caséine $\kappa$	3,2	13
e-caséine $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$	1,75	7,0
B-Protéines du lactosérum	<b>5,4</b>	<b>17</b>
B-1-albumines		100
a- $\beta$ -lactoglobuline	2,7	50
b- $\alpha$ -lactalbumine	1,2	22
c-sérum-albumine	0,25	5
B-2-globulines immunes	0,65	12
B-3-protéoses-peptones	0,6	10
<b>II-Substances azotées non protéiques</b>	<b>1,6</b>	<b>5</b>

En fonction du pH, les protéines du lait peuvent être réparties en deux catégories ; les caséines (insolubles à pH 4,6) et les protéines du lactosérum (solubles à pH 4,6).

### 2-3-3- Micelle de caséine

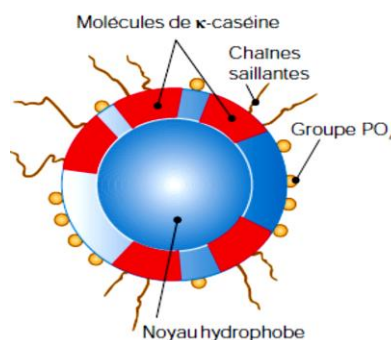
La micelle de caséine est une particule sphérique d'un diamètre moyen de 50 à 200 nm (figure 2) formée par l'association des caséines ( $\alpha_{s1}$ ,  $\alpha_{s2}$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$ ), de quelques fragments

peptidiques (caséines  $\gamma$  issus de la protéolyse de la caséine  $\beta$  par la plasmine) et de composants salins dont les deux principaux sont le calcium et le phosphore. La masse des micelles oscille entre  $2.10^8$  et  $2.10^9$  Daltons. Les éléments qui constituent la micelle, sont appelées des submicelles. Elles étaient révélées, par microscope électronique après cryofracture, et sont d'environ 10 nm de diamètre. Leur masse moléculaire serait en moyenne de  $3.10^5$  Da. De nombreux modèles ont été proposés. Les uns accordent à la micelle une structure globale avec une répartition non uniforme des constituants ; d'autres retiennent l'idée d'une structure avec sous-unité ou submicelle. Ces submicelles s'agrègent entre elles principalement par des liaisons phosphocalciques et secondairement par le magnésium et le citrate (figure 2).



**Figure 2 :** Structure d'une micelle de caséine stable

Les submicelles à faible teneur en caséine  $\kappa$  sont localisées à l'intérieur de la micelle ; celles, riches en caséines  $\kappa$  sont présentes à l'extérieur. Les submicelles périphériques riches en caséines  $\kappa$  (figure 3) comporteraient des chaînes flexibles. Ces chaînes correspondant aux fragments COOH terminal des caséines  $\kappa$  auraient un rôle déterminant dans la stabilité des micelles.



**Figure 3 :** Structure d'une sub-micelle caséinique



### 2-3-4- Facteurs de stabilité de la micelle

Les micelles de caséines, compte tenu de leurs dimensions, présentent une grande stabilité. Elles supportent une longue conservation et des traitements thermiques ou mécaniques relativement sévères. Plusieurs facteurs contribuent à conférer aux micelles leur stabilité ; les principaux sont leur charge électrique et leur degré d'hydratation.

## 2-4- Coagulation du lait

La coagulation du lait est provoquée par la dénaturation de la caséine, protéine majoritaire du lait. La matière grasse et les séroprotéines ont un rôle passif. En technologie fromagère, trois types de coagulations sont distingués :

- ✓ Coagulation lactique ou coagulation acide (voie fermentaire).
- ✓ Coagulation enzymatique.
- ✓ Coagulation mixte qui combine entre la voie fermentaire et la voie enzymatique

### 2-4-1- Coagulation acide

Le mécanisme de la coagulation par voie fermentaire aussi dite coagulation acide est de nature électrochimique et induit par les ferments lactiques. Dans le lait, les micelles de caséines et les globules gras sont chargés négativement. Ceci entraîne une répulsion électrostatique qui assure la stabilité du lait. Les fragments de caséine kappa sont hydrophiles et se trouvent en périphérie des micelles, où ils créent une couche d'hydratation (eau retenue empêchant le rapprochement des colloïdes entre eux). L'acide lactique, issu de la dégradation du lactose par les bactéries lactiques, porte des charges positives qui neutralisent les charges négatives des colloïdes.

À pH 4,6 « point isoélectrique de la caséine », on obtient leur neutralité. L'acide déshydrate ainsi les micelles, ce qui leur permet de se rapprocher. Plus la déminéralisation (acidification du lait par des bactéries lactiques ou coagulation acide) est importante, plus c'est un caillé de type lactique.

En effet, les micelles se lient par des interactions hydrophobes (liaisons faibles, réversibles) en retenant dans leur réseau les globules gras, les micro-organismes, les vitamines, toutes les particules qui peuvent être retenues dans les mailles du réseau caséinique. On obtient un gel : C'est la coagulation lactique du lait (lait fermenté).

### 2-4-2- Coagulation enzymatique du lait

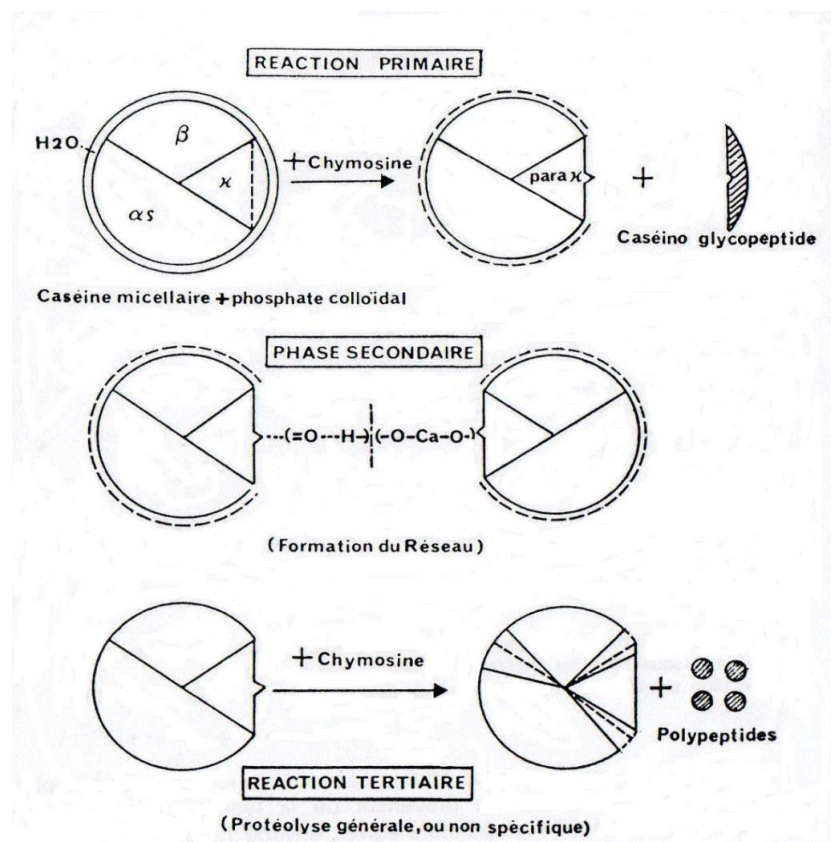
La coagulation du lait par des enzymes protéolytiques est une des plus anciennes opérations de transformation alimentaire. Un grand nombre d'enzymes protéolytiques d'origine animale,

végétale ou microbienne, présente la propriété de coaguler le complexe caséinique. La présure, est l'enzyme coagulante la mieux connue et son mécanisme d'action est bien établi. En effet, cette enzyme est un coagulant du lait d'origine animale extrait de la caillette (le quatrième estomac) de jeunes ruminants avant sevrage. Elle est constituée d'enzymes actives appelées chymosine (~80%), pepsine (~20%) et de trypsine en moindre quantité. Ces enzymes font partie de la famille des protéinases aspartiques car elles possèdent deux résidus Asp caractéristiques dans leur site actif.

Le processus de coagulation est influencé par la température, l'acidité et la teneur en calcium.

La coagulation, provoquée par la présure (figure 4), résulte d'un processus en trois phases :

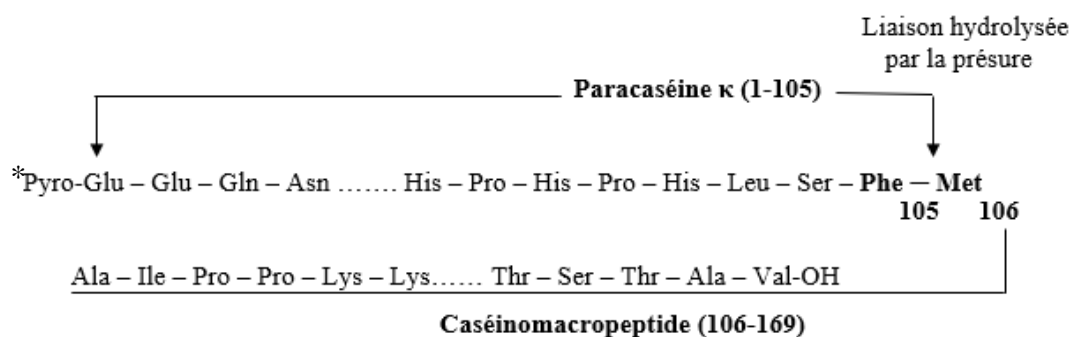
- Phase primaire ou enzymatique,
- Phase secondaire ou phase d'agrégation des micelles déstabilisées,
- Phase tertiaire ou phase de développement du réseau par réticulation et formation de gel.



**Figure 4 :** Phases de coagulation enzymatique du lait.

### 2-4-2-1- Phases de la coagulation enzymatique

- a. Phase primaire : La micelle est principalement constituée de caséine  $\kappa$  avec son segment C-terminal hydrophile libre qui s'étend dans la phase aqueuse du lait assurant la stabilité stérique et agissant comme une barrière contre l'association des micelles. Au cours de la phase enzymatique, la présure hydrolyse 80 à 90 % de la caséine  $\kappa$  au niveau de la liaison peptidique phénylalanine (105) et méthionine (106) à pH = 6,6. Cette action permet la libération de caséinomacropéptide fortement glycosylé et hydrophile (CMP, fragment 106-169) dans le lactosérum, l'autre partie reste associée aux autres caséines au sein des micelles, c'est la paracaséine  $\kappa$  (1-105) (figure 5). Ce taux d'hydrolyse correspond à 60 % du temps nécessaire pour obtenir une coagulation visible (figure 6). Ce temps est noté temps de floculation. Cette hydrolyse entraîne une réduction de la charge négative et des répulsions stériques de telle sorte que les micelles de caséine deviennent susceptibles à l'agrégation.

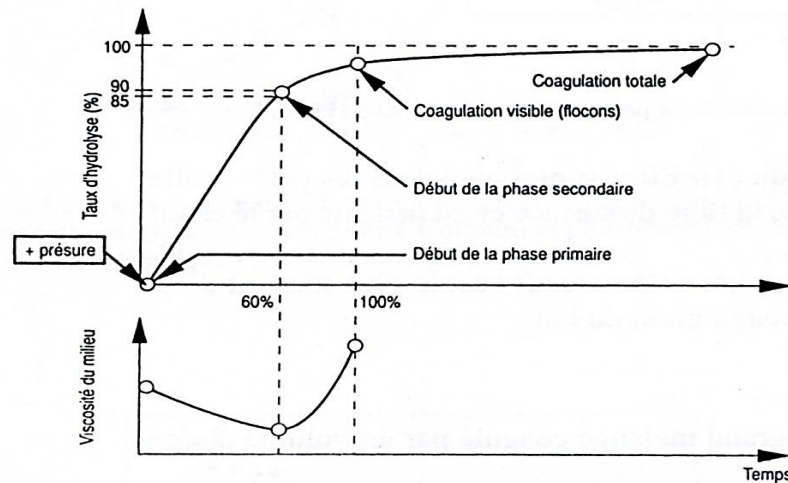


**Figure 5** : Hydrolyse de la caséine  $\kappa$  par la présure (\*Il s'agit d'acide pyrrolidone carboxylique, forme cyclisée de l'acide glutamique).

- b. Phase secondaire : Elle correspond à la phase physique, au cours de laquelle les micelles déstabilisées s'agrègent par des liaisons électrostatiques hydrophobes et salines pour former un gel emprisonnant le lactosérum. Le gel présure ainsi formé est fortement minéralisé, souple, cohésif, et imperméable.
- c. Phase tertiaire : Les micelles agrégées subissent de profondes réorganisations par la mise en place de liaisons phosphocalciques et peut être des ponts disulfures entre les paracaséines. La présure peut également continuer son action au cours de l'affinage et représente ainsi une part importante de la dégradation des protéines. Les peptides libérés sont principalement de haut poids moléculaire. Dans les caillés, la présure attaque très rapidement la caséine  $\alpha_{s1}$  en scindant les liaisons Phe23- Phe24, Phe24- Val 25. L'action

de la présure à l'affinage sur la caséine  $\beta$  est beaucoup moins intense que sur la caséine  $\alpha_s$ .

Les différentes phases de la coagulation du lait par la présure ainsi que l'évolution de sa viscosité sont présentées dans la figure 6.



**Figure 6 :** Evolution de l'hydrolyse de la caséine  $\kappa$  par la présure et de la viscosité du lait au cours des différentes phases de sa coagulation

### 2-4-3- Coagulation mixte

Certains caillés procèdent des deux types de coagulation : on les appelle caillés mixtes. Dans la pratique industrielle, un gel mixte peut être obtenu selon deux techniques :

1. Soit en emprésurant un lait en cours d'acidification, la coagulation est alors généralement plus rapide et le gel ainsi obtenu offre des caractères intermédiaires entre le gel présure et le gel lactique.
2. Soit en laissant s'acidifier naturellement un caillé emprésuré, ce qui permet à ce dernier d'acquérir progressivement les caractères lactiques. Le coagulum mixte est à l'origine de la fabrication de nombreux fromages. La coagulation du lait est suivie du tranchage qui consiste à découper le gel en portions égales et plus en moins grandes afin d'augmenter la surface d'exsudation du lactosérum. L'égouttage est d'autant plus important que la taille des grains de caillé diminue. La figure 7 illustre le phénomène de la coagulation du lait.



**Figure 7 :** Illustration du processus de la coagulation du lait

Les différents caractères des gels lactiques sont regroupés dans le tableau 5

**Tableau 5 :** Comparaison des caractères de gels lactiques, gels présure et gels mixtes

Caractère	Gel présure	Gel lactique	Gel mixte
Temps de prise	10-20 minutes	Plusieurs heures (6-24 heures)	
pH	Environ 6,5	Environ 4,5	C
Degré de minéralisation (Ca lié à la caséine)	+	–	D
Structure micellaire	Peu modifiée	Détruite	D
Friabilité	–	+	C
Elasticité	+	–	D
Perméabilité	–	+	C
Pouvoir de contraction	+	–	D
Aptitudes aux traitements mécaniques	+	–	D
Aptitude à l'égouttage spontané	–	+	C
Humidité du caillé égoutté	–	+	C
Cohésion du caillé égoutté	+	–	D

+ : caractère fort, - : caractère faible, C : caractère croissant, D : caractère décroissant

#### 2-4-3-1- Facteurs de la coagulation

De nombreux facteurs sont susceptibles de modifier la coagulation du lait et les caractéristiques physiques des coagulums. Ces facteurs sont principalement liés à la concentration en enzyme, à la température, au pH, à la teneur en calcium, à la teneur en caséines et à la dimension des micelles.

- Concentration en enzyme : la concentration en enzyme est inversement proportionnelle au temps de coagulation. Cependant, elle est proportionnelle à la vitesse d'hydrolyse de la caséine  $\kappa$  (phase enzymatique) et à la vitesse d'agrégation des micelles (phase physique).
- Température : la température optimale d'activité de la chymosine et de la pepsine est de 40-42°C. A cet intervalle de température, le temps de floculation est minimal, puis

- augmente aux températures plus élevées et devient nul à 65°C où la présure est inactivée. On note que le temps de raffermissement du gel diminue avec l'élévation de la température.
- c. pH : en passant de pH 6,7 à 5,6, la vitesse de coagulation est accrue. Ceci résulte d'un accroissement de la vitesse d'hydrolyse et par suite une augmentation de la vitesse de raffermissement du gel. La fermeté est significativement importante de pH 6,6 à pH 6,0 due à une plus grande disponibilité du calcium ionisé. Au-dessous de pH 6,0, la caséine se déminéralise et la désagrégation de la structure micellaire est accentuée jusqu'à devenir totale à pH 5,2. Il en résulte un affaiblissement du réseau.
  - d. Teneur en calcium : la réticulation du gel lors de la coagulation du lait par la présure, impliquant des liaisons phosphocalciques, est particulièrement influencée par la teneur et la nature du calcium présent. L'addition du  $\text{CaCl}_2$  entraîne une augmentation du calcium ionisé et du calcium colloïdal ayant pour conséquence un temps de coagulation plus court et une fermeté du gel plus élevée.
  - e. Teneur en caséines : la vitesse d'hydrolyse enzymatique est proportionnelle à la teneur en protéines. Ainsi, la vitesse d'agrégation et la fermeté des gels augmentent avec la teneur des caséines.
  - f. Dimension des micelles : la relation entre les dimensions des micelles et le temps de coagulation est proportionnelle. Pour les micelles de faible diamètre, riches en caséine  $\kappa$ , la vitesse d'hydrolyse est plus rapide.

### 2-4-3-2- Evaluation de la coagulation

Le phénomène de coagulation peut être caractérisé par trois paramètres :

- a. Temps de prise : le temps de prise ou durée de prise est le temps qui s'écoule entre l'emprésurage et le début de la floculation, c'est-à-dire, gélification apparente du lait.
- b. Temps de coagulation : le temps de coagulation correspondant au temps entre l'addition d'enzyme coagulante et le début de tranchage du gel.
- c. Temps de raffermissement ou durcissement : C'est le temps qui sépare le temps de prise du temps de coagulation. Traditionnellement, le praticien suit la coagulation du lait par observation visuelle et tactile pour adapter ses paramètres technologiques de fabrication.
- d. Activité et force coagulante
  - d<sub>1</sub> . Activité coagulante : l'activité coagulante est définie par l'unité présure (UP). Selon Berridge, cette unité correspond à la quantité d'enzyme contenue dans 1 centimètre cube, qui peut coaguler 10 centimètres cubes de substrat standard en 100 secondes à 30°C.

d<sub>2</sub>. Force coagulante : les méthodes anciennes et les plus répandues ont été proposées par Soxhlet et Berridge. L'unité Soxhlet correspond au nombre d'unité de poids ou de volume de lait qui peuvent être coagulés par une unité de poids ou de volume de préparation coagulante en 40 min et à 35°C.

## 2-5- Enzymes

Environ 60 enzymes (composants protidique, produites par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques) principales ont été répertoriées dans le lait dont 20 sont des constituants natifs. Une grande partie se retrouve dans la membrane des globules gras mais le lait contient de nombreuses cellules (leucocytes, bactéries) qui élaborent des enzymes. Les enzymes les plus importantes du lait sont regroupées dans le tableau 6

**Tableau 6** : Caractéristiques des principaux enzymes du lait

<i>Groupe d'enzyme</i>	<i>Classes d'enzymes</i>	<i>pH</i>	<i>Température (C°)</i>	<i>substrats</i>
<i>Hydrolases</i>	<i>Estérases</i>			
	Lipase	8,5	37	Triglycérides
	Phosphatase alcaline	9-10	37	Esters phosphoriques
	Phosphatase acide	4,0-5,2	37	Esters phosphoriques
	<i>Protéases</i>			
	Lysozyme	7,5	37	Parois cellulaires microbiennes
	Plasmine	8	37	Caséines
<i>Déshydrogénases ou oxydases</i>	Sulphydrile oxydase	7	37	Protéines, peptides
	Xanthine oxydase	8,3		Bases puriques
<i>Oxygénases</i>	Lactopéroxydase	6,8	20	Composés réducteurs +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
	Catalase	7	20	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>

## 2-6- Lait caséineux et lait albumineux

Les besoins en protéines du lait sont fonction de la vitesse de croissance du jeune et de l'espèce considérée. Ainsi, le lait de vache contient 3,5 % de protéines et le jeune veau croît en 3 mois, alors que le lait de femme contient 1,2% de protéines et l'enfant croît en 18 mois. La composition en acides aminés des protéines des laits de mammifères est pratiquement similaire. Cependant, les laits de ruminants ont un taux de caséines élevé : ils sont dits "**caséineux**". Par contre les laits de monogastriques ont autant de protéines solubles que de caséines : ils sont dits "**albumineux**". Les protéines solubles jouent un rôle fonctionnel et nutritionnel : l' $\alpha$ -lactalbumine possède une valeur nutritive majeure en nutrition humaine, elle est riche en acides aminés essentiels (cystéine, tryptophane, etc.) et surtout en glutamine (régénère la muqueuse intestinale). Par contre la  $\beta$ -lactoglobuline est l'une des plus allergènes, elle est surtout présente dans les laits de ruminants, ce qui peut expliquer le faible effet allergisant des laits de monogastriques.

**Tableau 7** : composition minimale en nutriments essentiels et comparaison des laits des mammifères monogastriques et ruminants

Moyenne en %	Eau	Extrait sec	Protéines			Lactose	Lipides	Minéraux
			totales	caséines	protéines solubles			
Le lait de monogastrique est dit "albumineux", $\beta$ -lactose > $\alpha$ -lactose								
Femme	88	12	1,2	0,6	0,6	7	3,5	0,3
Jument	89,5	10,5	2	1	1	6,5	1,5	0,5
Anesse	90	10	1,6	0,8	0,8	6,5	1,4	0,5
Le lait de ruminants est dit "caséineux", $\alpha$ -lactose > $\beta$ -lactose								
Vache	87	13	3,5	2,9	0,6	4,9	3,8	0,8
Chèvre	86	14	3,8	3,4	0,4	4,8	4,5	0,9
Brebis	81	19	5,8	4,9	0,9	4,8	7,4	1

## 2-7- Comparaison entre les laits des différentes espèces








Chez les mammifères, le jeune est allaité par sa mère dès sa naissance. Le lait étant adapté aux besoins de l'animal, sa composition varie avec les espèces. Cependant, on retrouve dans les différents laits les mêmes composants : eau, protéines, lactose, matières grasses et minérales.



- a. **Lait de vache** : Le lait de vache représente plus de 83% de la production mondiale de lait. Les lipides du lait de vache sont constitués de :- 98% de triglycérides, 1% de phospholipides, 1% de stérols (cholestérol), tocophérol et vitamines liposolubles
- b. **Lait de bufflonne** : Le lait de bufflonne représente le deuxième élevage laitier avec plus de 12% de la production mondiale. Il est principalement produit en Inde et au Pakistan et représente la moitié de la production laitière en Inde. Comparé au lait de vache, le lait de bufflonne contient relativement plus de caséines bêta et gamma et moins de caséines kappa. La composition en acides aminés des différentes caséines diffère également.
- c. **Lait de chèvre** : Le lait de chèvre représente environ 2% de la production mondiale. Contrairement au lait de vache, l'absence de pigments caroténoïdes (beta carotène) confère au lait et au fromage de chèvre leur couleur blanche si caractéristique. La proportion de globules gras de petit diamètre est plus importante dans le lait de chèvre que dans le lait de vache. La matière grasse est présente essentiellement (96,8%) sous forme de triglycérides (= glycérol associé à trois acides gras). La proportion d'acides gras à chaîne carbonée courte (de 4 à 10 atomes de carbone) est importante dans le lait de chèvre. Les principaux acides gras caractéristiques du lait de chèvre sont, l'acide caproïque  $C_6H_{12}O_2$  :2,9%, l'acide caprylique  $C_8H_{16}O_2$  :2,7%, et l'acide caprique  $C_{10}H_{20}O_2$  :8,4%. En revanche, les deux acides gras responsables du goût typique chèvre sont l'acide 4 éthyl octanoïque (13 mg/g de matière grasse) et l'acide 4 méthyl octanoïque (80 mg/g de matière grasse). Les concentrations en calcium, phosphore, potassium et magnésium du lait de chèvre sont supérieures à celles du lait de vache, excepté pour le sodium.
- d. **Lait de brebis** : Le lait de brebis est plus riche en protéines que les autres laits. En particulier, il contient beaucoup d' $\alpha$ -caséine. La caséine forme des micelles chargées de phosphore et de calcium. Ainsi, le lait de brebis est nettement plus riche en calcium et phosphore que les laits de vache et de chèvre.
- e. **Lait d'ânesse** : Le lait d'ânesse est celui qui, de par sa composition, se rapproche le plus du lait maternel humain. Très nutritif, il contient plus de lactose et moins de matières grasses que le lait de vache. Le lait d'ânesse étant pauvre en caséine, on ne peut en faire du fromage.
- f. **Lait de jument** : Semblable au lait d'ânesse, le lait de jument se rapproche fortement du lait humain.

Les globules gras du lait de jument sont plus nombreux et d'un diamètre plus réduit que ceux des laits riches en matières grasses (notamment le lait de vache ou de brebis). La répartition des matières grasses du lait dans les différentes classes de lipides est différente de chez la vache : les triglycérides représentent 79% de la matière grasse pour 9% d'acides gras libres alors que chez la vache ils représentent 98% des matières grasses. Notons que la teneur en Oméga 3 est particulièrement importante puisqu'elle représente 21,7% de la totalité des acides gras du lait de jument. Le lait de jument étant pauvre en caséine, on ne peut en faire du fromage.

Les propriétés nutritionnelles du lait varient selon l'espèce dont il provient mais aussi selon la race, l'âge, le type de nourriture, la saison, et l'environnement de l'animal. La figure 8 regroupe les différents types de lait des différentes espèces.

	SUCRES (lactose)	MATIERES GRASSES (lipides)	PROTEINES	MINERAUX
 vache	47-50	35-45	30-36	8-10
 brebis	44-48	60-80	50-65	10
 chèvre	42-48	30-34	27-37	8
 bufflonne	48-50	70-74	38-44	8-10
 chamelle	32	32	27	6
 jument	62.11	14.6-20	19-26	3.9
 renne	25-50	160-200	100	15-20

A titre de comparaison, la composition du lait de femme est de 70 g de lactose, 36 à 38 g de lipides 10 à 12 g de protéines et 3 g de minéraux par litre.

**Figure 8 :** Récapitulatif des éléments nutritifs du lait des principaux mammifères

## 2-8- Différence entre les laits de monogastriques et les laits de ruminants

Parmi les différents types de laits de mammifères, il faut les répartir en deux groupes selon qu'ils possèdent plusieurs estomacs (ruminants) ou un seul estomac (monogastriques).

Les mammifères ruminants (vache, chèvre, brebis, etc.) sont une ressource économique de valeur, car ils produisent de grandes quantités de lait de 30 à 50 litres par jour. Les ruminants

tirent leur énergie (70 à 80%) des acides gras volatils du lait (lipolyse) absorbés au niveau du rumen. Le lait de vache est de loin le plus utilisé dans l'alimentation humaine. Il a un temps de digestion long (8-12h) car la teneur en protéines est élevée (3,5-5,8%) et la coagulation se fait en gros flocons fermes (90% de caséine) plus difficiles à absorber.

Les mammifères monogastriques (femme, jument, etc., sont une ressource plus rare, car ils produisent peu de lait : de 1 à 5 litres par jour. Les monogastriques tirent leur énergie (90%) des glucides et des lipides absorbés au niveau de l'intestin grêle. Le lait de jument est le plus utilisé chez les enfants et pour les personnes convalescentes. Il a un temps de digestion court (2-3h) car la teneur en protéines est plus faible (1,2-2,0%) et la coagulation se fait en petits flocons solubles (40% de caséines) plus rapidement absorbés.

La différence de coagulation entre les laits des ruminants et celui des monogastriques s'explique par le fait que les laits de ruminants contiennent de la  $\kappa$ -caséine qui coagule sous l'action de la présure en bloc (caillé de fromage), alors que les laits de monogastriques ne contiennent pas ou très peu de  $\kappa$ -caséine.

## **2-9- Intérêt nutritionnel des laits**

Le lait contient les différents groupes de nutriments. Les substances organiques se répartissent en éléments bâtisseurs, les protides, et en éléments énergétiques, les glucides et les lipides. À cela s'ajoutent des éléments fonctionnels, c'est-à-dire des sels minéraux (Ca, P, K, Na, Mg, etc.) dont le calcium contribue à assurer la solidité osseuse et à protéger contre l'ostéoporose, des vitamines, des oligo-éléments, dont du zinc et du sélénium, et de l'eau. Il comporte aussi de la casomorphine, une protéine qui inhibe la sensation de douleur.

Le lait de brebis par contre est particulièrement riche en lipides et en protéines, ce qui explique son utilisation majoritairement dans la fabrication fromagère, alors que la composition du lait de chèvre s'apparente plus celle du lait de vache.

## **2-10- Catégories de micro-organismes rencontrées dans les laits et leurs caractéristiques**

Divers micro-organismes peuvent être retrouvés dans les laits crus. Les plus rencontrés (tableau 8) sont les bactéries, mais des levures, des moisissures, des virus et divers protozoaires peuvent également être présents. Ils diffèrent notamment par leur taille et leur niveau de complexité. Parmi les grands types de flores microbiennes habituellement dénombrés dans les laits crus, sont systématiquement mis en évidence des staphylocoques et bactéries corynéformes et des

bactéries lactiques. Dans la plupart des cas, des *Pseudomonas* sont également détectés, ainsi que des bactéries propioniques\*, des levures et des entérobactéries.

**Tableau 8 :** Ordres de grandeur moyens (UFC\*/ml) de quelques groupes\* microbiens couramment dénombrés dans les laits crus de vache, de chèvre et de brebis.

Groupes* microbiens dénombrés	Lait de vache <sup>(1)</sup>	Lait de chèvre <sup>(2)</sup>	Lait de brebis <sup>(3)</sup>
Staphylocoques et bactéries corynéformes	100-1000	1000	100-1000
Lactocoques	10-100	100-1000	10000
Lactobacilles	10-100	100	1000-10000
Leuconostocs	10-100	100-1000	10000-100000
Entérocoques	10-100	100-1000	10
Bactéries propioniques*	10		
Bactéries à Gram négatif	100-1000		
dont Entérobactéries	10		
dont <i>Pseudomonas</i> sp	100-1000 ±	10-100	
Levures	10-100	10-100	
Moisissures	<10	<10	
Spores aérobies	<10		
Bactéries coliformes	<10	100	

# **Chapitre 3**

## **Laits de consommation traités**

## Introduction

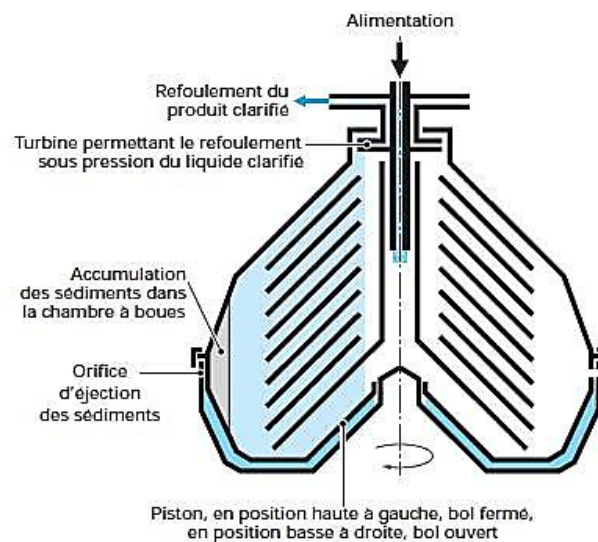
Pour devenir lait de consommation, le lait cru ne doit subir que des traitements physiques, comme la clarification, la standardisation, l'homogénéisation et bien évidemment les traitements thermiques. C'est uniquement ce dernier qui fait différencier le lait pasteurisé, le lait stérilisé et le lait U.H.T. ; les autres traitements sont presque identiques pour ces produits. Avant d'aborder les techniques d'élaboration des laits de consommation, on va donc présenter en premier temps, les étapes communes à tous ces produits. Ensuite, on va présenter les techniques spécifiques à chaque produit : Lait pasteurisé, lait stérilisé et lait U.H.T.

### 3-1- Etapes communes de traitements appliqués sur les différents types de lait

#### 3-1-1-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, au point de devenir visibles dans les contenants transparents.

Le principe de fonctionnement d'un clarificateur est identique à celui d'un séparateur centrifuge. La différence caractéristique entre un clarificateur et un séparateur centrifuge réside dans la conception de la pile de disques : le nombre d'orifices de sortie (un seul sur le clarificateur, deux sur le séparateur) avec absence d'orifices de distribution sur le clarificateur (figure 1).



**Figure 1** : Schéma d'un bol clarificateur avec évacuation périodique des sédiments

La clarification se fait à l'une ou l'autre des étapes suivantes :

1. A la réception, avant le stockage du lait cru ;
2. Entre le stockage et la standardisation ;
3. Entre la standardisation et l'entrée du pasteurisateur.

### **3-1-2-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 provisoirement la croissance des bactéries, notamment les pathogènes.

Ce procédé est appelé thermisation. Le lait est chauffé à 63-65°C pendant environ 15 secondes, une combinaison de température et de durée qui n'inactive pas l'enzyme phosphatase.

Pour éviter la multiplication des bactéries sporulées aérobies après la thermisation, le lait doit être refroidi rapidement à 4°C ou moins et ne doit pas être mélangé à du lait non traité. De nombreux experts estiment que la thermisation a un effet favorable sur certaines bactéries sporulées. Le traitement thermique fait revenir de nombreuses spores à l'état végétatif, et elles sont donc détruites lors de la pasteurisation ultérieure du lait. La thermisation n'est utilisée que lorsque la laiterie est incapable de traiter toutes les livraisons. Dans le cas contraire, cette étape est ignorée.

### **3-1-3-Séparation de la matière grasse (Ecrémage)**

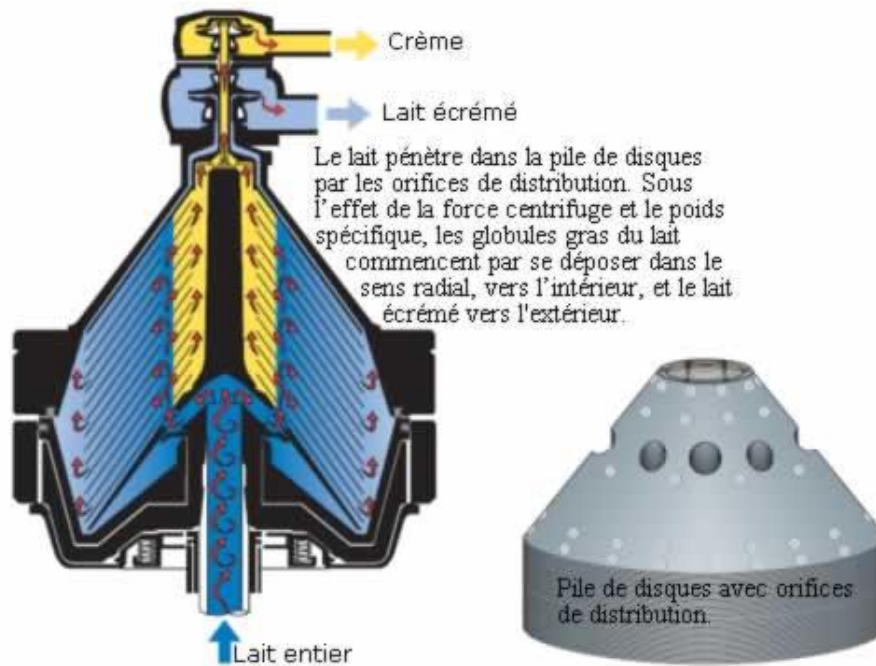
Bien que les phases lipidiques et aqueuses du lait ne soient pas miscibles, la décantation et la coalescence spontanées des globules gras à la surface du lait sont lentes ; c'est pourquoi on les accélère au moyen de séparateurs centrifuges, qui déchargent en continu la crème d'une part et le lait écrémé d'autre part. La figure 2 illustre schématiquement le fonctionnement de ces appareils.

#### Principe de fonctionnement d'un séparateur centrifuge

- ✓ Le lait, est chauffé à environ 60°C.
- ✓ La force centrifuge (~7000 tours/min.) accélère la séparation des composants du lait :  
Les plus denses gagnent les parois extérieures tandis que les plus légers, les corps gras, se rassemblent au centre, c'est la crème.

La quantité de matière grasse que l'on peut séparer du lait dépend de la conception du séparateur, de la vitesse d'écoulement du lait à travers celui-ci et de la distribution des tailles

des globules gras. En général, on retire de 100 l de lait, 10 l de crème à 35-40% de matière grasse. Le lait écrémé ne renferme plus qu'environ 0,1% de matière grasse.



**Figure 2 : Schéma d'un séparateur centrifuge**

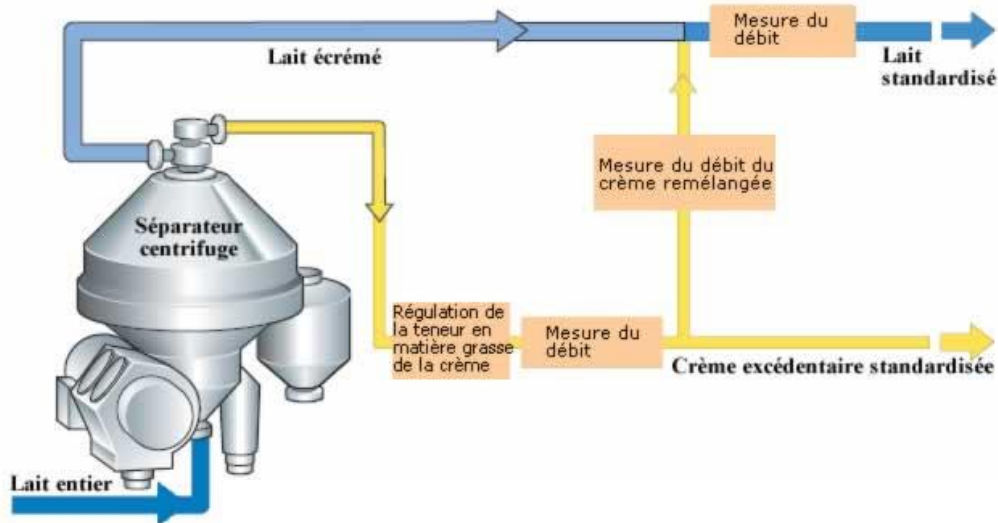
### 3-1-4-Standardisation

La standardisation peut se faire en cuvée ou en continu. Dans le premier cas, il s'agit de mélanger dans un réservoir du lait entier, du lait écrémé ou encore de la crème dans des proportions calculées pour arriver au pourcentage de matière grasse désiré dans le mélange.

Quant au procédé en continu, il peut être plus ou moins automatique. Ainsi, on peut, de façon contrôlée, injecter du lait écrémé dans le lait entier en direction vers la pasteurisation (Figure 3). Ce système peut être facilement contrôlé, puisque le mélange se fait avec deux produits dont le taux de matière grasse est connu. Mais de plus en plus on a recours à un type d'appareil complètement automatisé : Le clarificateur-séparateur-normalisateur est, en effet, programmé pour remélanger le lait écrémé et la crème, séparés dans un premier temps au cours d'un écrémage partiel ou total du lait. Pour obtenir la teneur désirée en gras, le mélange s'effectue dans des proportions commandées d'après les résultats d'un système d'analyses en continu. Une sortie spéciale sert à évacuer de l'appareil le surplus de crème. Dans le circuit de fabrication, ce mode de standardisation se situe à la sortie de la section de régénération du lait cru du pasteurisateur.



Dans les installations où, par souci d'efficacité et d'économie d'énergie, seule la crème passe par l'homogénéisateur, son taux de matière grasse doit être réduit à 10-12%, de façon à obtenir une homogénéisation satisfaisante. Cela se fait en injectant à la crème, à l'entrée de l'homogénéisateur, une partie du lait écrémé provenant du séparateur.

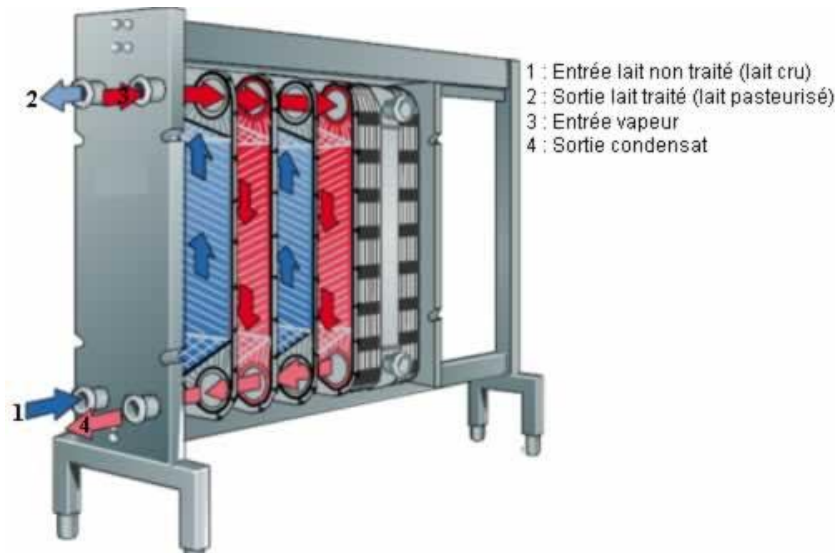


**Figure 3** : Principe de standardisation directe en ligne de la crème et du lait

### 3-1-5-Pasteurisation

La pasteurisation est un traitement thermique modéré et suffisant 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 (aptitude d'un produit alimentaire à être conservé pendant un laps de temps déterminé). Cette étape est utilisée pour produire plusieurs produits comme le lait pasteurisé et le beurre pasteurisé. Le produit subit des barèmes de température et de durée (63°C pendant 30 minutes, ou 73°C pendant 16 secondes). Cependant, dans le but d'obtenir une conservation prolongée des laits pasteurisés, on applique généralement un traitement plus sévère en température et/ou en temps de retenue, en évitant toutefois d'excéder des zones limites au-delà desquelles le lait aurait le goût de cuit ou subirait une diminution excessive de sa valeur nutritive.

La pasteurisation en cuinée, à basse température, est encore utilisée, notamment pour préparer différents types de produits en petites quantités. C'est une méthode économique, précise et fiable. L'équipement peut fonctionner à grands débits et être complètement automatisé. La figure 4 montre le principe de fonctionnement d'un échangeur à plaques.



**Figure 4 :** Principe de fonctionnement d'un échangeur à plaques

Pour améliorer la saveur du lait, on peut intégrer au pasteurisateur une chambre à vide qui permettrait d'extraire certains composés volatils. Cependant, l'équipement pour ce traitement exige plus de surveillance et augmente les pertes lors des changements de produits.

La pasteurisation permet aussi de détruire la lipase, soit avant l'homogénéisation, soit immédiatement après, ce qui prévient la lipolyse. Dans le même ordre d'idée, il importe d'éviter de mélanger du lait cru, même en quantité minime, au lait homogénéisé pasteurisé, car la lipase du lait cru causerait de la rancidité dans le lait homogénéisé.

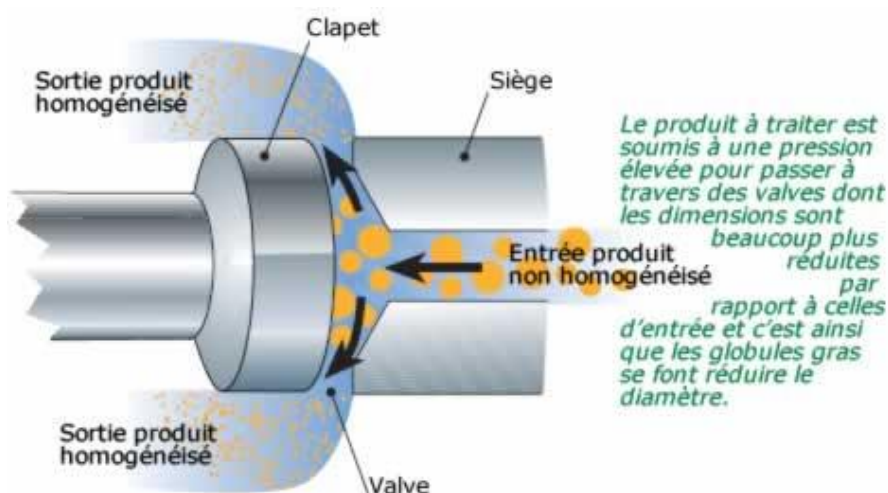
### 3-1-6-Refroidissement

Tous les microorganismes n'étant pas éliminés par la pasteurisation, ce traitement thermique doit être suivi d'un brusque refroidissement. Ainsi, après pasteurisation, le lait est refroidi à une température voisine du point de congélation afin de ralentir le développement des germes encore présents.

Au stade post-pasteurisation et lors du conditionnement, il importe également d'éviter toute contamination, spécialement par les bactéries psychrotrophes, qui sont les principales responsables de la détérioration subséquente des produits pasteurisés. Des résultats de recherches ont, en effet, démontré que du lait pasteuriséensemencé de *Pseudomonas fluorescens* se détériorait après quatre jours à 10°C, 16 jours à 5°C et 36 jours à 0°C.

### 3-1-7-Homogénéisation

L'homogénéisation est une opération qui sert à empêcher les globules gras de remonter à la surface du lait en réduisant leur diamètre. Elle est obtenue en faisant passer le lait sous pression élevée à travers des orifices ou valves très étroits (figure 5).



**Figure 5 :** Principe de fonctionnement d'un homogénéisateur

L'homogénéisation du lait de consommation s'est généralisée parce qu'elle 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 douces, plus onctueuses pour la même teneur en matière grasse.

Une conséquence physico-chimique de l'homogénéisation est qu'elle affecte quelque peu la stabilité des protéines, en ce sens que le lait homogénéisé se coagule plus facilement, sous l'influence de la chaleur par exemple, que le même lait non homogénéisé. Le lait homogénéisé donnera un caillé fin, mou, plus poreux et perméable.

L'efficacité de l'homogénéisation dépend principalement de trois facteurs : la température, la pression et le type de valve. La condition mécanique de l'homogénéisateur, l'incorporation d'air dans le circuit et la nature des produits traités peuvent aussi modifier les effets du traitement.

Il va de soi que l'homogénéisation doit se faire à des températures qui permettent de maintenir tout le gras à l'état liquide, sans quoi il se produirait du barattage : pour assurer un traitement efficace, il faut des températures supérieures à 54°C.

Le choix de la pression dépend du type et du nombre de valves homogénéisatrices. Le plus souvent l'homogénéisation se fait en deux phases successives au moyen de deux valves où sont brisés, dans la seconde, les agrégats de globules gras formés après le passage à travers la première. Dans ce cas, une pression de 14000 à 17000 kPa au premier stade et 3000 Kpa au deuxième donne généralement de bons résultats. Cependant avec certains types de valve, comme celle à multiples stades, l'homogénéisateur peut donner un bon rendement tout en fonctionnant à des pressions considérablement moindres.

L'homogénéisation doit être suffisamment efficace pour empêcher le crémage. Le résultat peut se vérifier par mesure la taille des globules gras et leur répartition en fonction de leur diamètre lors de l'examen microscopique d'un échantillon de lait.

### **3-1-8-Conditionnement**

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

1. Être attrayant par sa forme et sa présentation ;
2. Offrir une protection efficace au produit contre les chocs physiques, la lumière et la chaleur ;
3. Préserver le contenu des odeurs ou saveurs étrangères ;
4. Faciliter la manipulation du produit ;
5. Être économique et adapté aux exigences modernes de production.

#### **3-1-8-1-Types de contenants**

Le contenant en carton, malgré sa faible résistance, est apprécié par les consommateurs pour son apparence, sa forme et sa commodité. Il permet, en outre, une bonne protection du produit. Fabriqué de carton enduit de polyéthylène, il est généralement préassemblé en usine. Parfois de fabrication plus sophistiquée pour répondre à des usages particuliers, il peut être recouvert d'une mince couche d'aluminium sur sa surface intérieure, formant ainsi une barrière efficace contre la pénétration d'oxygène et préservant mieux le produit.

Le contenant en plastique, sous forme rigide ou flexible, est largement utilisé dans l'industrie laitière. Les avantages offerts par la forme flexible sont les suivants : son coût moindre, la possibilité de fabriquer ou d'assembler directement les contenants sur la doseuse, réduisant d'autant les besoins d'espace d'entreposage ; le prix inférieur des doseuses requises. Parmi les inconvénients des emballages flexibles, signalons leur manipulation difficile pour le consommateur et une protection insuffisante du produit contre les rayons lumineux.

Le contenant en verre, bien que pratiquement disparu de plusieurs marchés, existe encore dans certaines régions canadiennes et aux États-Unis. Sa rigidité offre une certaine protection contre les chocs physiques et rend le produit plus attrayant.

#### **3-1-8-2-Appareils de conditionnement**

Les équipements varient en fonction du type d'emballage utilisé et de la cadence désirée, ils sont de 2 types : ceux qui opèrent par gravité et ceux dits volumétriques fabriqués généralement

en acier inoxydables pour les parties qui entrent en contact avec l'aliment et pourvus d'un système de nettoyage.

Il est avantageux d'avoir des réservoirs surélevés pour alimenter les remplisseuses par gravité. Fonctionnant sans pompage, cet aménagement évite ainsi l'incorporation d'air dans le produit, facilite la précision du remplissage, le drainage ainsi que le lavage par circulation.

### **3-2- Types des laits traités**

L'instabilité du lait, la présence éventuelle de germes pathogènes, la nécessité économique de proposer au consommateur des produits nouveaux et appétissants ont conduit à la mise au point de nombreux procédés technologiques. La plupart reposent sur l'emploi ménagé de la chaleur, du froid, de la dessiccation, de l'inhibition de la flore microbienne par additif chimique (sucre) ou action biologique (acidification par ferments lactiques sélectionnés).

#### **3-2-1-Lait pasteurisé**

La pasteurisation détruit tous les germes pathogènes et l'essentiel de la flore saprophyte. Elle modifie peu les caractères physico-chimiques, les caractères organoleptiques et la valeur nutritionnelle du lait.

La conception des lignes de traitement du lait pasteurisé du commerce varie beaucoup d'un pays à l'autre, et même d'une laiterie à l'autre, en fonction de la législation et de la réglementation locale. Ainsi, par exemple, la standardisation éventuelle de la matière grasse peut se faire avant, après ou pendant la pasteurisation. L'homogénéisation peut être totale ou partielle.

Le procédé "le plus simple" consiste à pasteuriser tout simplement le lait entier. La ligne de traitement comprend alors un pasteurisateur, un bac tampon et une machine de remplissage. Le procédé devient plus complexe s'il doit fabriquer plusieurs types de produits laitiers du commerce, c'est à dire du lait entier, du lait écrémé et du lait standardisé à différentes teneurs en matière grasse, ainsi que de la crème à différentes teneurs en matière grasse. La figure 6 représente un exemple de diagramme de fabrication du lait pasteurisé : Le lait cru est clarifié, préchauffé, écrémé, standardisé, homogénéisé, pasteurisé, refroidis et enfin conditionné aseptiquement.

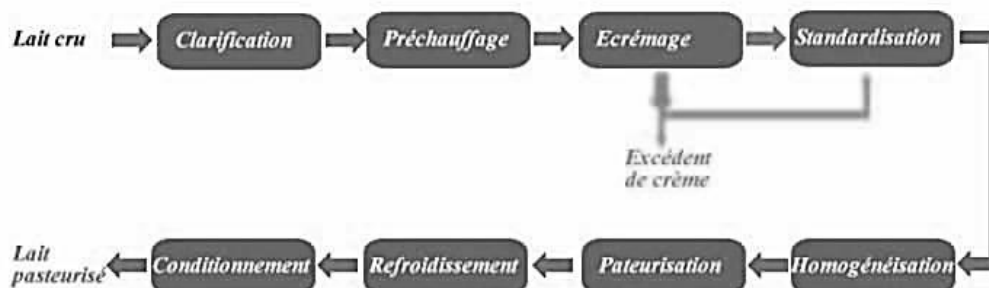
Le lait pasteurisé doit être conservé au froid (4 à 6°C). Sa durée de conservation est d'environ 7 jours. Cependant, une durée de conservation moins courte peut être imposée par la réglementation de certains pays. Sur le plan sécurité, le lait pasteurisé est censé être débarrassé de tous germes pathogènes. Il est donc inutile de le porter à ébullition avant sa consommation.

Sur le plan nutritif, le lait pasteurisé est plus riche comparativement au lait stérilisé. Les étapes de fabrication du lait pasteurisé sont schématisées dans la figure 6.

Les principales modalités de pasteurisation sont les suivantes :

- Pasteurisation basse (L.T.L.T. = *low temperature long time*) : 63 °C pendant 30 minutes, et elle est pratiquement abandonnée ;
- Pasteurisation haute (H.T.S.T. = *high temperature short time*) : 75 °C pendant 15 secondes, 80-85 °C pendant 5 secondes.

Toutes les opérations s'effectuent à l'abri de l'air. Dès leur terme, le lait doit être rapidement réfrigéré.



**Figure 6 :** Diagramme de fabrication du lait pasteurisé

### 3-2-2-Lait stérilisé

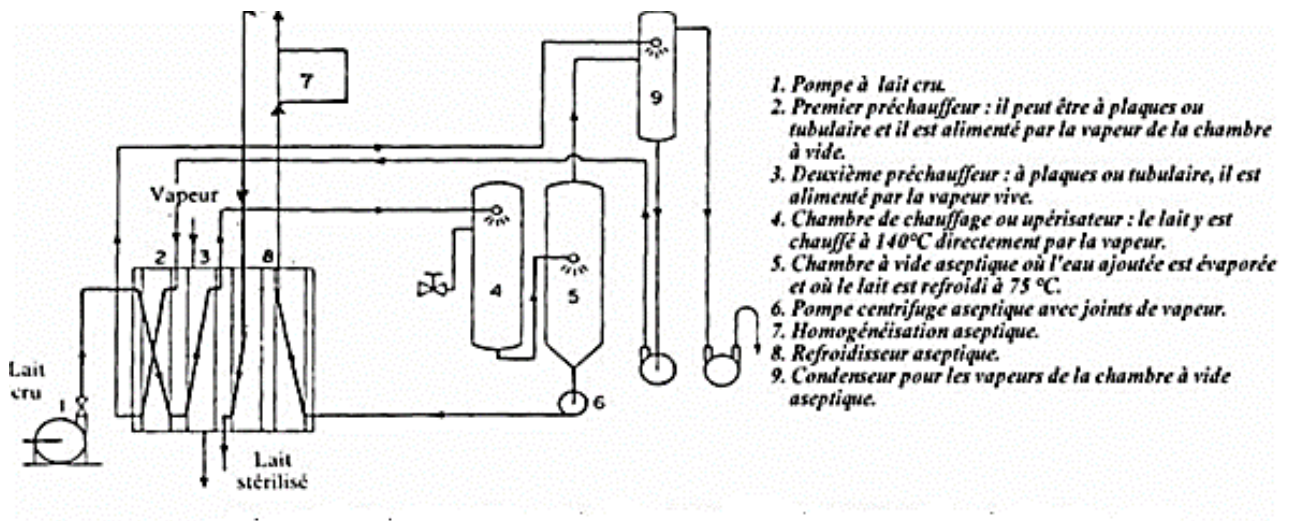
La stérilisation consiste à détruire, par une action thermique élevée, la totalité de la flore microbienne du lait. Ce lait présente alors une garantie totale d'hygiène et de conservation. Le lait est pré-stérilisé à 130°C pendant 3 ou 4 secondes, puis embouteillé " à chaud " à 80°C environ, et enfin stérilisé dans son emballage à 115°C pendant 15 à 20 minutes. Une autre méthode consiste à stériliser le lait à 115°C pendant 20 secondes, puis le stocker et le conditionner aseptiquement. Les principaux défauts à éviter sont la coloration prononcée du lait et le goût du cuit (voir : Réactions de Maillard et caramélisation).

### 3-2-3-Lait U.H.T.

Le lait U.H.T. est un lait chauffé en débit continu à une température d'au moins 132°C pendant quelques secondes, à le refroidir à la température ambiante et à l'emballer aseptiquement. Ainsi, la préparation du lait U.H.T. se fait en deux étapes principales : la stérilisation du lait même et son emballage aseptique.

### 3-2-3-1-Stérilisation

Ce traitement thermique s'applique selon deux modes : le traitement direct, par injection de vapeur dans le lait (upérisation) ou par dispersion du lait dans une chambre surchauffée à la vapeur : dans un cas comme dans l'autre, le diagramme du traitement sera le même, le traitement indirect, au moyen d'un système à plaques, d'un système tubulaire ou de la combinaison des deux. Là aussi, le diagramme demeure à peu près le même, utilisant le même principe de régénération que pour le lait pasteurisé. La figure 7 représente un système de stérilisation du lait U.H.T.



**Figure 7** : Diagramme d'un système de stérilisation du lait U.H.T.

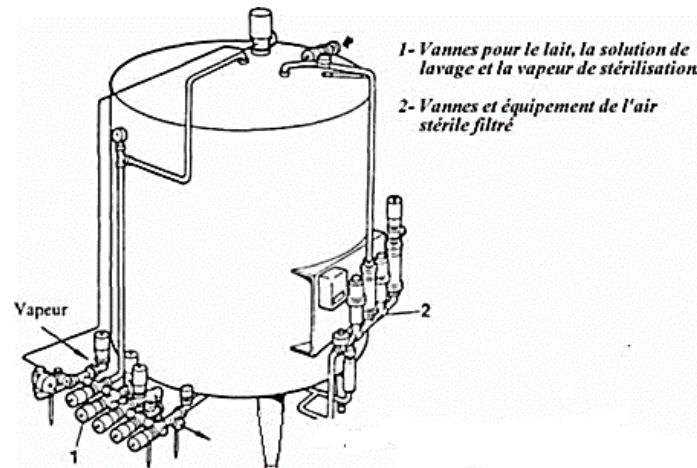
### 3-2-3-2-Conditionnement aseptique

Une fois stérilisé, le lait doit demeurer dans un état d'asepsie totale : l'appareil de conditionnement peut être relié directement à une ou plusieurs emballeuses, ou il peut être couplé à un réservoir aseptique, selon le choix du procédé.

Le réservoir aseptique (figure 8) sert à entreposer le lait prêt à être mis en contenants. Il est préalablement stérilisé et les vannes pour le lait sont entourées de barrières de vapeur qui les gardent stériles. Lorsque le lait est dirigé vers l'emballeuse aseptique, son volume est remplacé par de l'air stérile filtré.

L'emballeuse aseptique doit assurer la stérilisation du contenant et maintenir un environnement stérile pour son remplissage. Le contenant est généralement stérilisé au moyen de peroxyde d'hydrogène à une concentration de 30-35%, ce dernier étant ensuite évaporé à une température supérieure à 100°C, ce qui est essentiel à la stérilisation du papier.





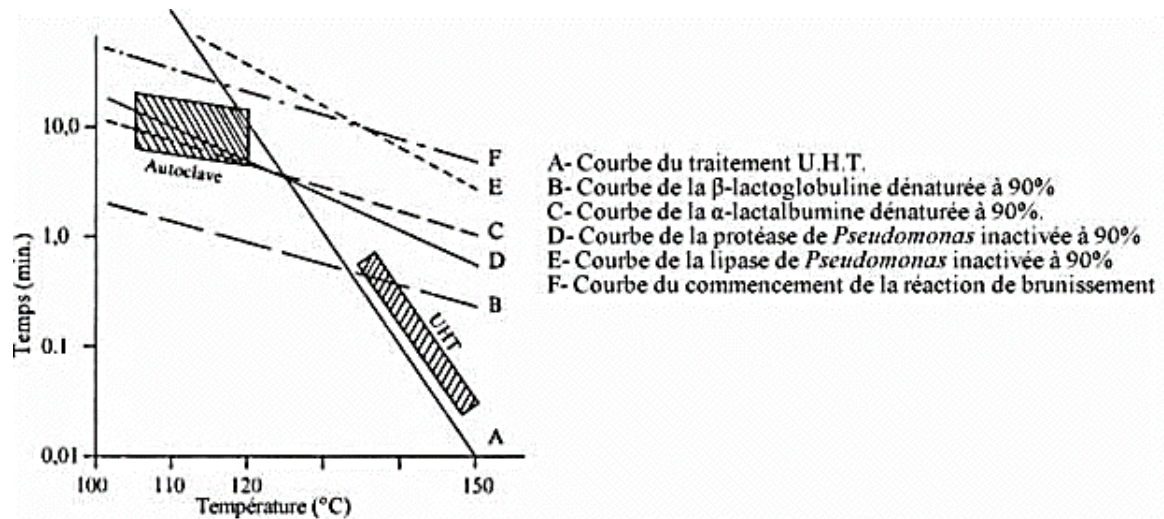
**Figure 8 : Réservoir aseptique pour lait UHT**

Dans les systèmes les plus courants, le matériel d'emballage est composé de polyéthylène, d'aluminium et de papier laminé. Ce genre de matériel protège adéquatement le produit de la lumière et des gaz. L'emballage aseptique est l'opération la plus délicate du procédé U.H.T. et ce, en termes de contrôle et de mesures préventives : il exige un personnel vigilant et bien entraîné autant au plan des opérations qu'à celui de l'entretien.

### **3-2-3-3-Aspects physico-chimiques du traitement U.H.T.**

Les traitements thermiques appliqués pour éliminer les germes du lait déclenchent des réactions chimiques ou physico-chimiques généralement indésirables. En élevant la température de traitement, ces réactions sont accélérées, mais le taux de destruction des microorganismes est considérablement plus élevé que la vitesse des réactions chimiques. En d'autres termes, le taux de destruction des microorganismes est proportionnel à la température, alors que la vitesse des réactions chimiques est surtout reliée à la durée du traitement. Le traitement thermique minimal pour détruire les microorganismes suffit à dénaturer la  $\beta$ -lactoglobuline, ce qui entraîne une libération des groupements sulfhydriles (SH-), lesquels ont un effet déterminant sur la saveur du produit. Ils sont, en effet, responsables du goût prononcé de cuit du lait frais traité, leur propriété de groupements réducteurs servira ensuite à retarder l'oxydation du lait lors de l'entreposage. Pour atténuer les effets des changements chimiques, il faut tenir compte de la résistance des enzymes dans le choix du barème de traitement thermique (figure 9).





**Figure 9 :** Courbes de dénaturation des enzymes du lait et la courbe du traitement UHT

### 3-2-3-4-Avantages du lait U.H.T.

Le traitement U.H.T. est considéré comme une révolution importante en technologie laitière, ce procédé offre, en particulier, le double avantage d'une longue conservation du lait de consommation sans besoin de réfrigération. La distribution devient ainsi plus économique puisqu'elle peut être étendue sur un délai hebdomadaire par exemple, et qu'elle n'est pas sujette à des limites de parcours. En récapitulatif, la technique UHT a pour but :

1. D'assurer la stabilité du lait et sa valeur nutritive assez longtemps pour satisfaire les exigences commerciales ;
2. De le libérer de tous les microorganismes pathogènes et toxines pouvant affecter la santé du consommateur ;
3. De détruire tout microorganisme capable de proliférer lors de l'entreposage.

La préparation du lait U.H.T. se prête bien à l'automatisation poussée. Sur ce plan, il importe que l'équipement utilisé dans ce procédé soit muni d'un système automatisé de nettoyage et d'assainissement N.E.P (Nettoyage En Place).

### 3-2-4-Laits concentrés.

Les laits concentrés subissent le chauffage et la concentration effectués généralement par évaporation thermique sous vide laissant un liquide résiduel plus concentré. Ces traitements peuvent, faute de précautions particulières au cours de la fabrication, provoquer une instabilité des laits concentrés lors de leur conservation : épaissement, gélification, etc. Ces traitements provoquent notamment une modification de l'équilibre entre les sels insolubles et ceux à l'état

dissous et un accroissement de l'instabilité des micelles de phosphocaseinate de calcium. Pour cette raison, on a recours à l'emploi de sels stabilisants<sup>(\*)</sup>, (sels de sodium, de potassium et de calcium, des acides chlorhydrique, citrique, carbonique, orthophosphorique et polyphosphorique à la dose maximum exprimée en substance anhydre, de 2 g/kg s'ils sont utilisés seuls et de 3 g/kg s'ils sont utilisés en mélange). Le préchauffage à haute température (supérieure à 100 °C), outre son action favorable sur la destruction des micro-organismes et des enzymes, a également un effet stabilisant mis à profit dans la plupart des condenseriers. Des précautions particulières au cours du refroidissement du lait concentré doivent être prises pour éviter la formation de cristaux d' $\alpha$ -lactose supérieurs à 0,01 mm qui provoquent une texture sableuse.

Le tableau 1 regroupe la composition des différents types du lait concentré

**Tableau 1 :** Composition des laits concentrés (g/100 g)

Composants	Lait concentré		Lait concentré sucré
	Entier	Ecrémé	
Eau	66	69-70	26
Matière grasse	10	0.5	9
Matières azotées	9	12	9
Lactose	1,3	1,6	1,2
Matières minérales	2	3	2
Saccharose	-	-	41
Extrait dégraissé	24	31	23
Matière sèche totale	34	31,5	73

Dans le cas des laits concentrés sucrés dont la conservation est assurée non par la stérilisation mais par une quantité suffisante de sucre (saccharose) qui, créant dans le milieu une pression osmotique élevée, empêche le développement des micro-organismes, il faut particulièrement lutter contre la présence de micro-organismes osmophiles, à savoir :

- Les levures, qui en assurant la fermentation du lactose produisent des gaz qui provoquent un bombement des boîtes ;
- Les staphylocoques, dont certains peuvent former des entérotoxines.

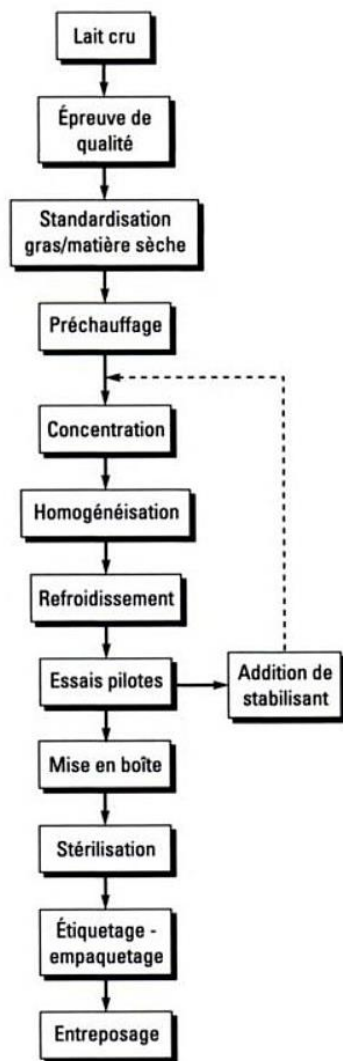
---

(\*) : Dans certaines industries la quantité des sels à ajouter est déterminée suite à des essais pilotes pour éviter la coagulation du lait. Pour activer l'effet des sels, on peut en verser une partie dans le lait avant la concentration, et le complément après le test pilote. On laisse reposer le lait concentré afin de permettre aux équilibres chimiques de s'établir. C'est ce qu'on appelle la maturation (de 8 à 12 heures) entre l'évaporation et la mise en boîte.

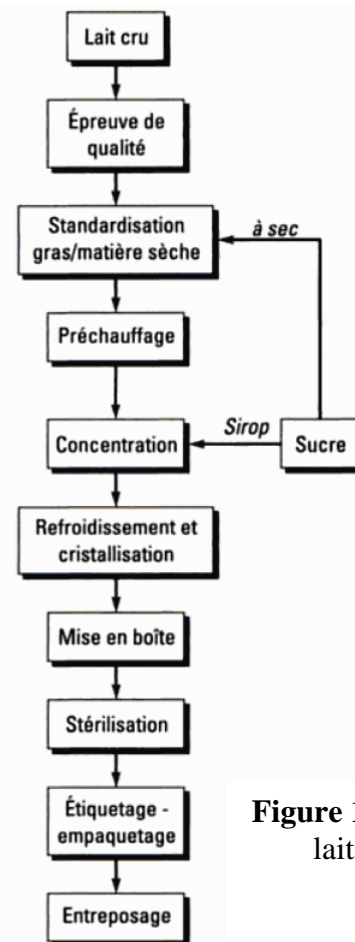
Le lait mis en œuvre doit être d'excellente qualité microbiologique, non acide et ne pas flocculer lorsqu'il est soumis à ébullition en présence de phosphate monopotassique 5 M. Il est ensuite filtré ou centrifugé de façon à éliminer les impuretés physiques, standardisé puis préchauffé à haute température (105-130 °C pendant quelques secondes). La concentration se fait par ébullition dans des évaporateurs ou vacuums, sous vide partiel, de façon à diminuer la température d'ébullition. Il s'agit d'appareils fonctionnant en continu et en multiple effet, c'est-à-dire comprenant plusieurs évaporateurs auxquels on a apporté de nombreuses améliorations visant à réduire les dépenses d'énergie. L'osmose inverse peut être utilisée pour préconcentrer le lait.

Dans le cas du lait concentré sucré, on utilise du saccharose pur, exempt de sucre inverti. Le sucrage du lait se fait avant concentration par addition d'un sirop stérile à 70 pour cent de sucre. La quantité de sucre utilisée pour 100 litres de lait est d'environ 17 kg. Le lait concentré sucré

est obtenu à partir de lait entier ou écrémé et auquel des sucres sont ajoutés qui assurent la conservation du produit sous stérilisation. La figure 10 montre les étapes de fabrication du lait concentré (A) et du lait concentré sucré (B).



A



B

**Figure 10 :** Étapes de fabrication du lait concentré (A) et du lait concentré sucré (B)

### 3-2-5-Lait en poudre

Nous devons l'invention du lait en poudre à l'inventeur américain Gail Borden en 1848. Celui-ci cherchait à réduire la masse du lait pour en faciliter le transport et le stockage dans les pays dits « développés ».

Considéré comme *impérissable*, la farine de lait fut rapidement adoptée par l'industrie laitière et utilisée par les éleveurs sous forme de poudre ou de granulé fabriqué à partir de poudre. La farine de lait était par exemple vendue aux éleveurs en France sous le nom de lactoline<sup>9</sup> et sous la marque « Lactéoline » pour enrichir les aliments de veaux, génisses, jeunes porcs ou poulains, ou d'autres animaux.

Le lait en poudre est un produit obtenu par déshydratation du lait. La teneur finale en eau n'excède pas 5% en poids du produit fini. Cette déshydratation presque totale permet au lait en poudre de se conserver à température ambiante. Cependant, il craint la chaleur et l'humidité. Il doit être utilisé ou consommé immédiatement après avoir été reconstitué par adjonction de liquide.

#### 3-2-5-1-Collecte, standardisation et pasteurisation

Après la traite, le lait est collecté puis réfrigéré. La qualité du lait est analysée plusieurs fois au cours de son acheminement vers la laiterie de stockage (avant et après la collecte, ainsi qu'après le dépotage à la laiterie). Le produit est ensuite standardisé. La standardisation (écrémage du lait et dosage de la crème) permet d'abord de séparer le lait et la crème, puis d'ajuster le niveau de matière grasse du produit en y ajoutant plus ou moins de crème. L'étape suivante est la pasteurisation. Le lait est chauffé à 71-72°C pendant 15 à 40 secondes. Ce traitement thermique permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes pour l'homme.

#### 3-2-5-2-Concentration par évaporation sous vide (ESV) du lait

Pour des raisons de qualité, on a peu à peu cherché à limiter la température du lait et à réduire son temps de séjour, d'où un traitement utilisant l'évaporation sous vide en film mince. La concentration par évaporation sous vide consiste à éliminer l'eau par ébullition (la vapeur sert de fluide caloporteur et cède sa chaleur au composant à évaporer). La concentration par ESV répond à des problématiques techniques et économiques, ainsi qu'à des critères qualitatifs.

Un autre procédé de concentration est la déshydratation par microfiltration, pour des laits enrichis en caséine micellaire ainsi que par atomisation du lait et par nanofiltration (NF) sur membrane

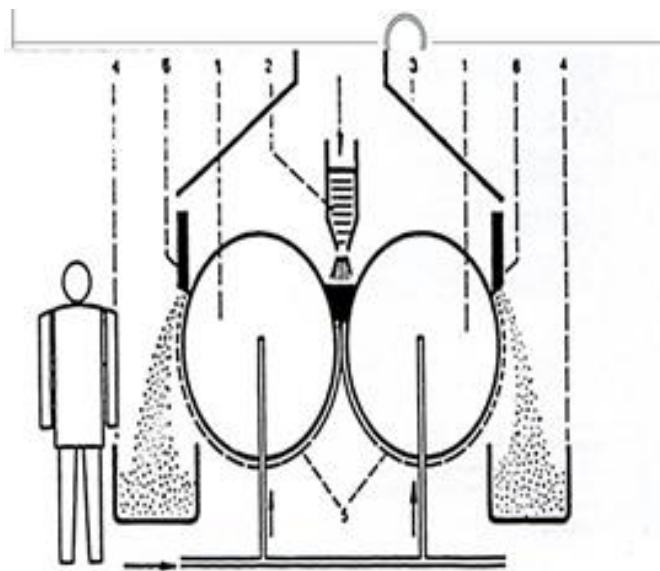
Les caractéristiques physicochimiques du concentré qui déterminent la qualité et les propriétés des poudres – dépendent du couple temps/température et du niveau de concentration des électrolytes.

### 3-2-5-3-Séchage roller ou séchage spray

Il existe deux méthodes de déshydratation thermique :

- Le séchage sur cylindres chauffants ou procédé Hatmaker (roller process) ;
- Le séchage par pulvérisation (séchage par atomisation, spray process)

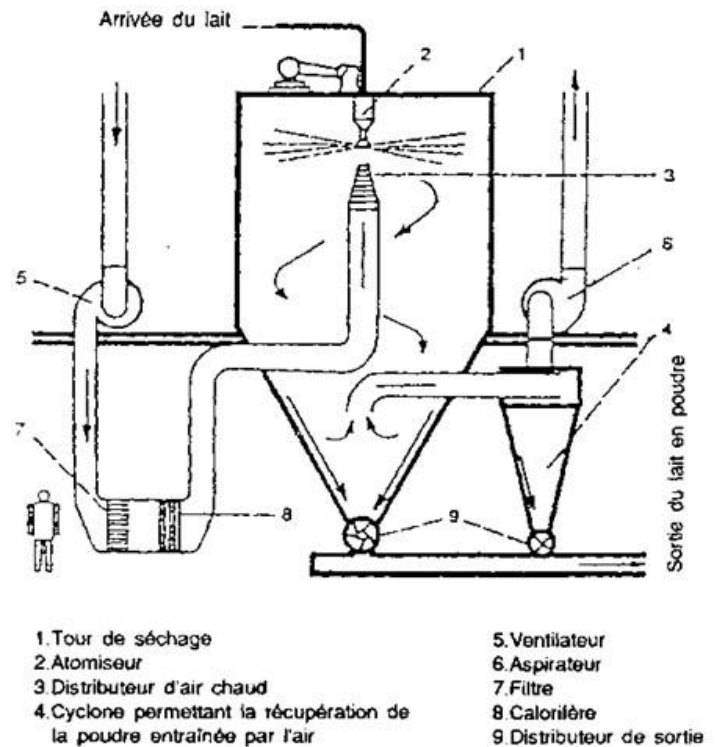
Dans le procédé Hatmaker, (figure 11), le lait ruisselle à la surface de deux cylindres tournant en sens inverse chauffés intérieurement vers 140 °C à l'aide de vapeur. Il se forme un film de lait qui sèche très rapidement formant une croûte détachée par un racleur. Le chauffage brutal entraîne des modifications de la structure physico-chimique du produit dont la faible solubilité, le goût de cuit et le brunissement de la poudre. Celle-ci a néanmoins des usages dans l'industrie et l'alimentation du bétail.



1-cylindre chauffant, 2-gouttière de répartition du lait, 3-hotte, 4-gouttière de récupération du lait sec, 5-pellicule de lait sec, 6-couteau racleur

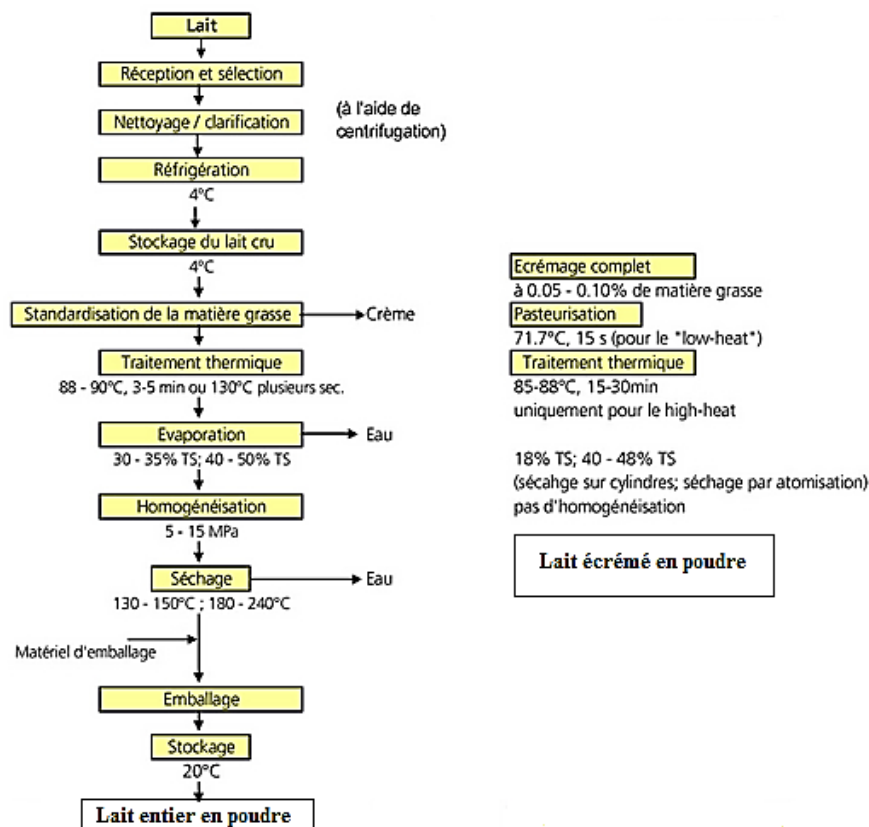
**Figure 11** : Principe du séchage du lait par le procédé des cylindres (Hatmaker)

- Dans le procédé par pulvérisation ("spray") (figure 12) ou par atomisation (procédé le plus employé), le lait concentré est finement pulvérisé à l'aide d'une turbine dans un courant d'air chaud (vers 150 °C) à l'intérieur d'une tour de séchage. L'air chaud sert de vecteur de chaleur et d'humidité. L'évaporation de l'eau se fait par diffusion instantanée, ce qui provoque le refroidissement (vers 90 °C) de la poudre et de l'air.



**Figure 12 :** Schéma illustrant le séchage du lait en mode « spray »

Les étapes de fabrication du lait en poudre sont montrées dans la figure 13.



**Figure 13 :** Diagramme de fabrication du lait entier en poudre et du lait écrémé en poudre

Un kilogramme de poudre permet de reconstituer de 6 à 7 kilos de liquide. L'eau utilisée pour reconstituer le lait doit être de bonne qualité

(bactériologiquement et chimiquement). C'est grâce à l'invention de la poudre de lait que l'industrie a pu fabriquer le chocolat au lait. Le tableau 2 regroupe les principaux composants des différentes catégories de laits en poudre.

**Tableau 2 :** Composition des laits en poudre % (m/m)

Composants	Lait entier	Lait partiellement écrémé	Lait écrémé
Matière grasse laitière:			
Minimum	26	>1,5	
Maximum	<40	<26	1,5
Teneur en eau maximale	5	5	5

- Absence de substances anormales (antibiotiques) et de résidus divers provenant des conditions de production, de récolte et de conservation du lait initial ;
- Absence de modifications de la structure et de la composition physicochimique pouvant nuire à sa valeur nutritionnelle et à ses aptitudes technologiques.

Ces qualités dépendent de la qualité du lait cru mis en œuvre, du traitement thermique du lait, de la méthode de concentration et de séchage et des conditions de stockage.

Plusieurs méthodes permettent de classer les poudres de lait. L'une des plus courantes est l'indice des protéines solubles, le plus souvent désigné par les initiales anglaises WPNi (Whey Protein Nitrogen index). Elle est fondée sur la quantité de protéines de lactosérum non dénaturées et restées à l'état soluble après traitement thermique. Cette quantité est exprimée en milligrammes d'azote par gramme de poudre. Plus l'indice des protéines est élevé, plus faible a été la dénaturation, ce qui indique un traitement thermique du lait limité rendu possible par sa bonne qualité microbiologique. On distingue ainsi quatre catégories de poudres :

- Poudres low heat avec WPNi égal ou supérieur à 6. Le traitement thermique du lait est resté faible (pasteurisation à température inférieure à 90 °C). Il s'agit des poudres de la meilleure qualité convenant aussi bien à la préparation du lait de consommation que de celui destiné à la fromagerie ;
- Poudres médium heat avec WPNi compris entre 4,5 et 5,9 ;
- Poudres medium-high heat avec WPNi compris entre 4,4 et 1,5 ;
- Poudres high-heat avec WPNi inférieur à 1,5.

Le tableau 3 récapitule les différents types de lait et leurs modes de conservation allant du lait cru jusqu'au lait en poudre.

**Tableau 3 :** Types de lait et leurs techniques et modes de conservation

Type de lait	Techniques de conservation	Conservation avant ouverture	Conservation après ouverture
Lait cru	Il doit être porté à ébullition avant utilisation	Il doit être conservé à 4°C pendant 48 heures maximum	
Lait frais pasteurisé	Destruction des germes pathogènes Le lait est chauffé entre 72 et 85°C pdt 15 à 20 sec. puis refroidi très rapidement à 4°C.	7 jours à 4°C	48 heures à 4°C
Lait UHT	Destruction totale des germes 115°C pdt 15 à 20 min. (stérilisation simple) ou 145°C pdt quelques sec. (UHT) dans les 2 cas refroidissement rapide	Plusieurs mois à 15°C	2 à 3 jours à 4°C
Lait concentré	Déshydratation partielle du lait Concentré et stérilisé ou concentré sucré	Plusieurs mois à 15°C Voir DLUO	1 à 2 jours à 4°C
Lait en poudre	Déshydratation pratiquement totale du lait (96%) 11 litres de lait pour 1 kg de lait en poudre	Plusieurs mois à l'abri de l'humidité et de la chaleur voir DLUO	Entier : 10 jours ½ écrémé : 2 sem Ecrémé : 3 sem

### 3-3-Effets du traitement thermique sur le lait

#### 3-3-1-Sur la qualité organoleptique du lait

Les différents traitements thermiques altèrent certaines propriétés organoleptiques du lait et considérablement sa composition vitaminique comme le montre le tableau 4.

**Tableau 4 :** Effets de divers traitements thermiques sur la qualité du lait

Procédés	Effets sur la qualité du lait
Pasteurisation basse et stérilisation UHT	Pas de modification nutritionnelle ou organoleptique
Stérilisation classique	Apparition du goût cuit
	Brunissement du lait
	Pertes notables de thiamine B <sub>1</sub>
	Pertes élevées de vitamine B <sub>12</sub>
Ebullition domestique	Destruction de la vitamine C
	Diminution de la digestibilité
	(modification des protéines solubles)
Pasteurisation haute, non à l'abri de l'air	Altération de l'équilibre minéral
	Dégagement de CO <sub>2</sub>

#### 3-3-2-Sur les protéines

Les réactions de dénaturation protéique du lait peuvent être caractérisées comme suit : les protéines s'agregent soit en formant entre elles des ponts disulfites, soit en reliant entre elles les micelles de caséine par l'entremise des protéines solubles dénaturées. Les protéines les plus



sensibles à la chaleur sont les immunoglobulines et les plus résistantes sont les caséines, comme le montre le tableau 5.

**Tableau 5 :** Dénaturation complète par la chaleur des diverses fractions protéiques du lait de vache

Protéines	Dénaturation	
	Température °(C)	Durée
Immunoglobulines	74	15 secondes
Sérum-albumine	84	15 secondes
$\beta$ -lactoglobuline	86	15 secondes
$\alpha$ -lactalbumine	100	5 minutes
Caséine	125	>60 minutes

### 3-3-3-Sur les enzymes

Les enzymes endogènes (phosphatase alcaline, peroxydase) sont très thermosensibles. Leur disparition sert d'indice d'efficacité de la méthode thermique appliquée. La xanthine-oxydase n'est détruite qu'à des températures supérieures à 85°C et les phosphatases acides supportent la pasteurisation, mais pas le traitement UHT. En établissant le profil enzymatique d'un lait, on peut ainsi établir le traitement qu'il a subi.

Les souches de *Pseudomonas psychrotrophe* produisent des lipases et des protéases thermostables. Le chauffage long à des températures élevées nécessaire à la destruction de ces enzymes exogènes, abîme aussi le lait. Leur persistance favorise l'apparition dans le lait (UHT) d'acides gras, cause d'acidité et de rancissement. Un chauffage préalable et modéré du lait (1 heure à 55 °C pour les protéinases, 10 secondes à 74 °C pour les lipases) permet de se débarrasser, en partie au moins, de ces enzymes gênantes.

# **Chapitre 4**

## **Ferments lactiques**

## Définition des ferments lactiques

Un ferment lactique est une préparation comprenant un grand nombre de micro-organismes (une seule espèce ou plusieurs), qui est ajoutée au lait pour produire un aliment fermenté en accélérant et en orientant son processus de fermentation.

### 4-1- Rôle des ferments lactiques

Les ferments lactiques sont ajoutés au lait pour démarrer le procédé de fermentation. Ils sont employés pour la production d'une grande gamme de produits laitiers comme le fromage, le yaourt, le lait fermenté, le beurre et la crème

La pasteurisation du lait réduit fortement la microflore indigène, le rôle principal des ferments est par conséquent d'initier et de conduire le procédé de fermentation selon les propriétés souhaitées dans le produit fini. Les ferments sont utilisés en raison de leur capacité de production d'acide lactique à partir du lactose. En outre, ils possèdent d'autres fonctions importantes comme l'amélioration des propriétés sensorielles et rhéologiques, l'inhibition des micro-organismes indésirables en plus de leurs bienfaits prouvés pour la santé comme la régénération de la flore intestinale.

Les adjonctions de ferments sont des cultures choisies pour des buts autres que la formation d'acides, rôle spécifiquement réservé aux cultures *starters* primaires. L'ajout de ferments peut être employé en tant que cultures de maturation (période de repos durant laquelle les micro-ferments lactiques rajoutés vont se développer pour produire des acides lactiques et ce, pour accélérer l'acidification du lait ou produire des saveurs souhaitables), ou elles peuvent également offrir d'autres effets bénéfiques pour la santé. La forme non-*starter* des ferments est largement utilisée pour la maturation de la plus part des variétés de fromages.

### 4-2- Types de ferments lactiques

Deux classes de ferments lactiques sont distinguées : les ferments artisanaux utilisés dans les procédés traditionnels et les ferments commerciaux utilisés dans les procédés industriels.

#### 4-2-1- Ferments artisanaux

Tous les ferments disponibles actuellement sont dérivés des *starters* artisanaux de composition non définie (contenant un mélange de différentes souches et/ou espèces non définies) contrairement aux ferments provenant de souches pures. Leur production est sous le nom de

« *back-slopping* » qui signifie l'utilisation d'un vieux batch d'un produit fermenté pour inoculer un produit neuf. Aucune précaution spécifique n'est employée pour empêcher la contamination à partir du lait cru ou à partir de l'environnement de fabrication. Le contrôle du milieu et des conditions de culture pendant la production de *starters* sont très limités.

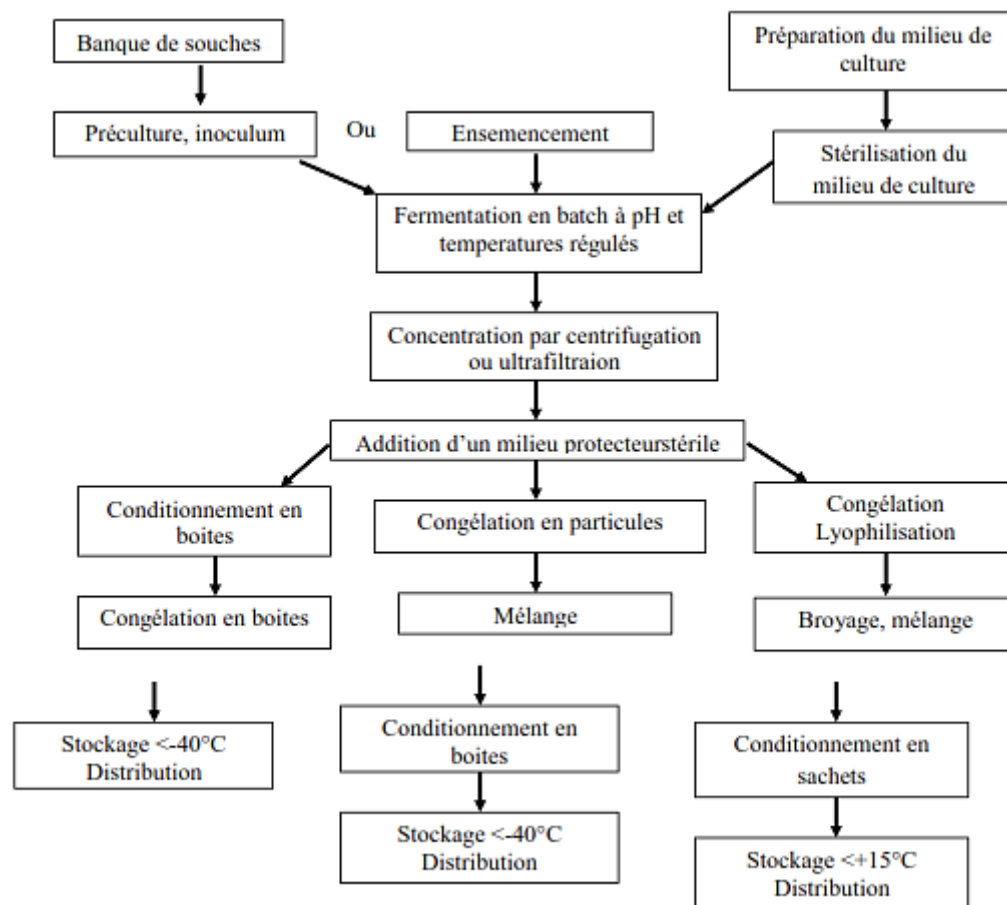
Deux sous-types de ferments artisanaux ou encore naturels sont identifiés : les *starters* du lait appelées Cultures naturelles du lait (*Natural Milk Cultures, NMC*) et les *starters* du lactosérum appelées Cultures naturelles du lactosérum (*Natural Whey Cultures, NWC*). Ces cultures sont généralement employées dans la fabrication de certains fromages dans les petites usines en France et en Italie

#### **4-2-2- Ferments commerciaux**

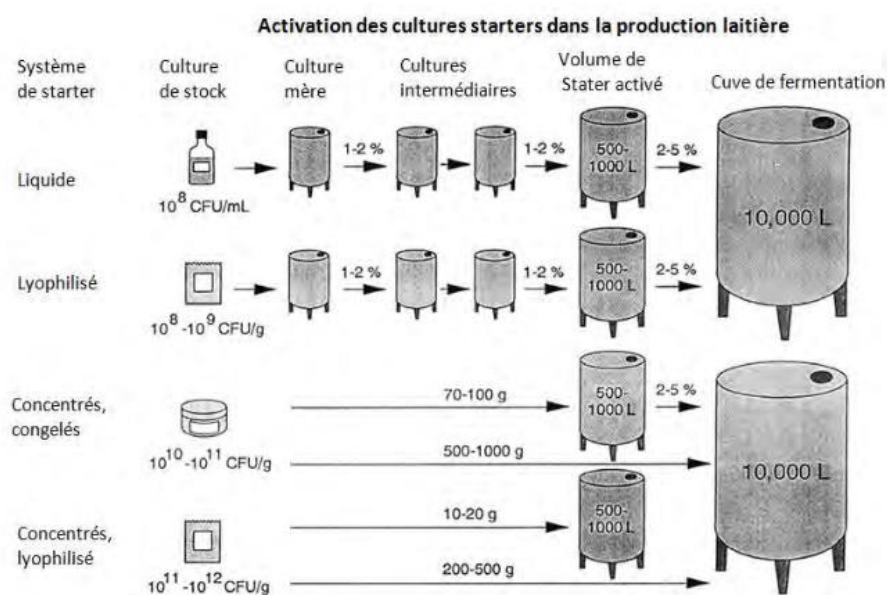
Les ferments commerciaux sont en général commercialisés sous forme lyophilisée et peuvent être utilisés pour l'inoculation directe de la cuve de fermentation (*Direct Vat Inoculation, DVI*). Ces ferments sont développés en grands volumes à partir d'une culture initiale définie ou non définie, concentrée par centrifugation et ensuite congelée ou lyophilisée pour le stockage et la distribution. Le ferment concentré est directement introduit dans la cuve, ce qui évite la contrainte de la propagation sur place.

#### **4-3- Technologie de production des ferments commerciaux**

La production industrielle des ferments lactiques est généralement réalisée en cultures pures, discontinues ou continues, avec ou sans recyclage des cellules, à température et pH régulés et en anaérobiose. La fermentation est suivie des étapes de concentration (refroidissement, concentration par centrifugation ou ultrafiltration), de protection et de stabilisation (congélation ou lyophilisation) (figures 1 et 2). La conservation des ferments s'effectue à basse température, respectivement -45 °C pour les ferments congelés et 4°C pour les bactéries lyophilisées. Les bactéries sont ensuite utilisées en mélange, après décongélation ou réhydratation, pour la fabrication des produits fermentés. Le but du producteur de ferments est d'obtenir des ferments lactiques concentrés d'une haute qualité, c'est-à-dire comportant un grand nombre de bactéries viables et présentant une activité métabolique la plus élevée possible.



**Figure 1** : Diagramme de production de ferments lactiques concentrés, congelés ou lyophilisés



**Figure 2** : Types de ferments utilisés dans la fabrication des produits laitiers fermentés et les étapes de culture dans le procédé industriel de fermentation

#### **4-4- Conservation et modes de commercialisation des ferments**

La commercialisation des ferments concentrés nécessite leur **stabilisation** préalable soit par congélation, soit par lyophilisation. Cette stabilisation permet de les conserver à la température préconisée, pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois. Les cultures concentrées congelées doivent être stockées à une température inférieure à -45 °C puis décongelées, soit avant l'ensemencement, soit directement lors de fabrication.

#### **4-5- Ferments composés d'un mélange de souches**

Lorsque le ferment est composé d'un mélange de plusieurs bactéries, il est nécessaire de s'assurer tout d'abord de la compatibilité entre les souches associées. Par exemple, pour l'élaboration d'un yaourt brassé, il s'agira de choisir des souches de bactéries capables d'acidifier rapidement le lait, de produire des exo-polysaccharides pour améliorer la texture finale du produit, et de post-acidifier faiblement le produit lors de sa conservation.

# **Chapitre 5**

**Produits laitiers à fermentation lactique**

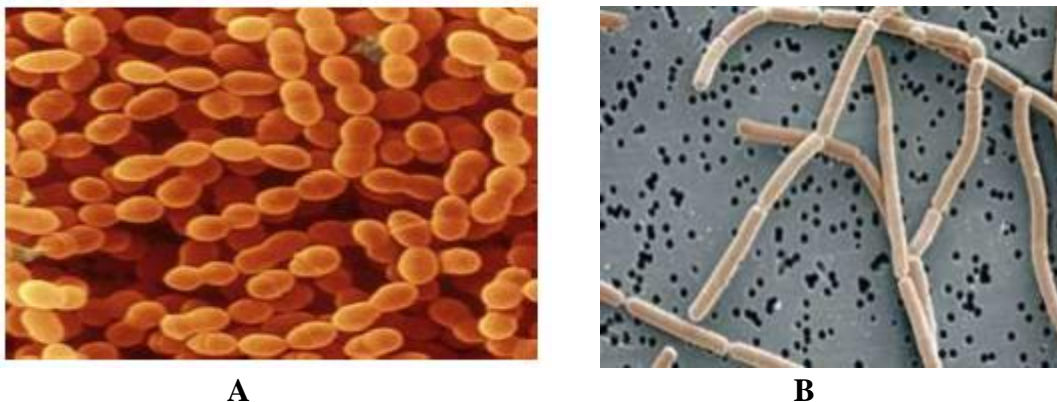
## Définition du lait fermenté

Les laits fermentés sont des produits laitiers transformés par une fermentation essentiellement lactique qui aboutit à l'acidification et à la gélification du lait.

### 5-1-Yaourt

Le yaourt, yahourt, yogourt ou yoghourt, est produit à partir de lait fermenté. Cette fermentation a pour but l'acidification et la gélification du lait.

Dans l'Union européenne, l'appellation « Yaourt » ne peut être attribuée qu'aux produits dont la fermentation a été faite grâce à des ferments spécifiques lactiques thermophiles: *Streptococcus salivarius*, *subsp. thermophilus* (anciennement dénommé *Str. thermophilus*), et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (anciennement dénommé *L. bulgaricus*) (figure 1) Ces ferments doivent êtreensemencés simultanément et se trouvent vivantes dans le produit fini et leur nombre doit dépasser dix millions par gramme de yaourt à la date limite de conservation. La fermentation conduit à la prise en masse du lait. Le coagulum obtenu est ferme, sans exsudation de lactosérum. Il peut être consommé en l'état ou après brassage lui donnant une consistance crémeuse ou liquide.



**Figure 1** : Morphologie électronique de souches *Streptococcus thermophilus* (A) et *Lactobacillus bulgaricus* (B) X 1000

L'intérêt d'avoir un produit vivant tient au fait que les cultures vivantes améliorent la digestion du lactose chez les individus ayant des difficultés à les digérer.

Habituellement, on utilise une culture fournie par un laboratoire spécialisé sous forme liquide, lyophilisée ou congelée. Le lait, amené à une température généralement voisine de 45 °C (entre 42 et 46 °C), estensemencé. Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement



homogène le mélange lait ferment. La température optimale de développement du streptocoque est de 42-45 °C; celle du lactobacille de 47-50 °C.

*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, ne produit que de l'acide lactique au cours de la fermentation du lactose. Il se développe bien à la température de 45 à 50 °C en acidifiant fortement le lait jusqu'à 1,8 pour cent (pH voisin de 4,5), voire, avec certaines souches, jusqu'à 2,7 pour cent d'acide lactique (pH 3,8 à 3,6).

*Streptococcus salivarius, subsp. thermophilus*, se développe bien de 42 à 45 °C, mais croît encore à 50 °C. Thermorésistant, il survit au chauffage à 65 °C pendant 30 minutes ou à 74 °C pendant 15 secondes. Nettement moins acidifiant que le lactobacille, il produit généralement de 0,5 à 0,6 pour cent d'acide lactique (pH voisin de 5,2). Certaines souches sont capables de supporter un pH de 4,3 à 3,8.

Ces deux espèces sont micros aérophiles. Elles vivent en symbiose dans le yaourt. Elles produisent davantage d'acide lactique cultivées ensemble que séparément.

Selon les régions, les consommateurs préfèrent des yaourts plus ou moins acides et plus ou moins aromatiques. Les caractères recherchés dépendent des souches utilisées et de la température d'incubation. En abaissant celle-ci de 1 à 3 °C (44-42 °C), on favorise le streptocoque et donc la production d'arôme. En l'augmentant légèrement (45-46 °C), on favorise le lactobacille et donc la production d'acide.

On peut aussi obtenir un produit doux et aromatique en utilisant un levain jeune relativement encore peu acide (au début de la phase exponentielle de croissance) dans lequel le streptocoque est en plein développement. Pour obtenir un yaourt acide, on utilise un levain plus âgé dans lequel le lactobacille est dominant du fait de sa résistance à un pH bas.

Les produits laitiers contenant des additifs (colorants), des agents de texture (émulsifiants, stabilisants, épaississants ou gélifiants (amidon, pectine, gélatine), ou ayant subi un traitement thermique après la fermentation, tuant les bactéries lactiques, n'ont plus droit à l'appellation « yaourt ». Ce sont les « laits fermentés aromatisés », « boissons à base de lait fermenté », et « laits fermentés ayant subi un traitement thermique après fermentation » et « boissons à base de lait fermenté ayant subi un traitement après fermentation ». L'intérêt d'avoir un produit vivant tient au fait que les cultures vivantes améliorent la digestion du lactose chez les individus ayant des difficultés à les digérer.

### **5-1-1-Processus de fabrication du yaourt industriel**

Bien qu'il existe plusieurs types de yaourt de fabrication industrielle (ferme, brassé, fruits mélangés, fruits non mélangés), le mélange de base de ces produits demeure essentiellement le

même. Il consiste en un volume déterminé de lait frais, entier ou partiellement écrémé par écrémage (séparation de la matière grasse du lait grâce à la force centrifuge et la différence de densité entre le lait écrémé et la crème) de bonne qualité bactériologique, exempt d'antibiotique et autres agents antimicrobiens, qu'on enrichit légèrement en extrait sec par l'une ou l'autre des techniques suivantes :

- Addition de poudre de lait entier ou écrémé ;
- Addition de lait concentré par évaporation ou par osmose ;
- Addition de retentât de lait ou de lactosérum ;
- Concentration directe par évaporation, osmose inverse.

La teneur en extrait sec total est ajustée entre 12 et 15% selon la texture visée. Au cours du préchauffage du produit, on ajoute généralement un agent stabilisant comme la gélatine et/ou la pectine. Le produit subit par la suite et successivement :

- Standardisation : qui consiste à ajuster la teneur en matière grasse du lait par adjonction de crème, pour obtenir la teneur en matière grasse souhaitée.
- Homogénéisation : qui vise à réduire la taille des globules gras pour éviter la remontée de matière grasse dans le produit.
- Pasteurisation : qui permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes nuisibles à la santé humaine. Elle s'effectue dans un pasteurisateur à plaques grâce au contact du lait aux plaques chaudes. Le lait est ainsi chauffé à 72°C pendant 15 secondes. Ou encore une hyper-pasteurisation dans laquelle, les conditions de chauffage sont extrêmes : 85°C/ 30 min. et ont pour principale fonction de préparer le produit en vue d'obtenir une texture plus épaisse et plus onctueuse. En effet, ce traitement a pour but de dénaturer une partie importante des protéines solubles, ce qui a pour conséquence d'augmenter la capacité de rétention d'eau du yaourt et de permettre à ces protéines de se fixer sur la caséine. Ce double phénomène modifie les propriétés rhéologiques du coagulum acidifié : le caillé est plus ferme, la tendance à l'expulsion de sérum au cours du stockage est réduite (notamment quand le produit est conservé à température plus au moins élevée), le yaourt brassé est plus homogène et visqueux.

C'est après l'ensemencement que se différencient les procédés de fabrication des yaourts ferme et brassé.

### 5-1-1-1-Yaourt étuvé ou yaourt ferme

- Ensemencement : après avoir refroidi le mélange à 44-46°C, l'inoculum de cultures de *Lactobacillus bulgaricus* et de *Streptococcus thermophilus* à des proportions voisines de 1:1 est ajouté à un taux d'inoculation de 1,5 à 2,5% (v/v). D'autres souches peuvent aussi être ajoutées dans des proportions variables, généralement inférieures aux deux précédentes, pour donner au yaourt certaines caractéristiques texturales et gustatives particulières.
- Refroidissement : Après une période d'incubation plus ou moins poussée, soit de 2 à 6 heures selon le degré d'acidification visé (80-100°D) et l'importance de l'inoculum utilisé, le produit, s'il n'est pas déjà dans le contenant, est homogénéisé au moyen d'une lisseuse avant de le mélanger à différents ingrédients (fruits, céréales, agents stabilisants) et de procéder à l'emballage. Il est ensuite placé au réfrigérateur à une température de 4°C pour ralentir l'action bactérienne et lui assurer une durée de conservation possiblement de l'ordre de 30 jours.

### 5-1-1-2-Yaourt brassé

Le laitensemencé est maintenu en cuve ou en tank à la même température que dans le cas des pots (entre 42 et 46 °C) jusqu'à obtention de l'acidité voulue. Celle-ci est souvent un peu plus élevée que pour le yaourt ferme : de 1 à 1,2 pour cent d'acide lactique, soit 100 à 120 °Dornic. On procède alors au découpage et au brassage du caillé par l'un des procédés ci-après : agitation mécanique à l'aide d'un brasseur à turbine ou à hélice, passage du gel à travers un tamis; homogénéisation à basse pression.

Ce traitement a pour but de rendre le caillé onctueux. Il doit être réalisé avec précaution. Si le brassage est trop violent et s'il s'accompagne d'une incorporation excessive d'air, il peut se produire une séparation du sérum. Si la dilacération du coagulum est insuffisante, le produit risque de devenir ultérieurement trop épais.

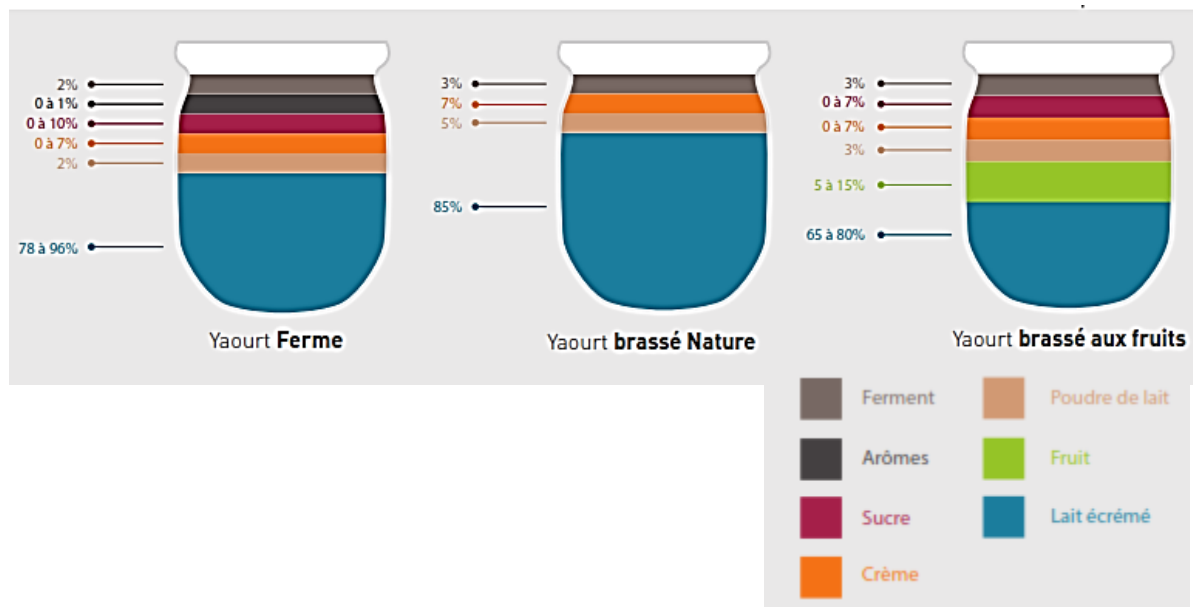
Le brassage terminé, le caillé est immédiatement et rapidement refroidi à une température inférieure à 10 °C. La réfrigération dans la cuve ou le tank se faisant trop lentement et pouvant provoquer une sur acidification (sauf dans le cas de très petites capacités), celle-ci est réalisée par passage dans un échangeur-réfrigérant à plaques ou tubulaire ou à surface raclée. Le brassage du caillé au cours de la réfrigération améliore l'onctuosité du produit.

Le yaourt est ensuite conditionné en pots et conservé de +2 à +4 °C. L'addition éventuelle d'arômes, de pulpes de fruits, etc., se fait au moment du remplissage des pots. L'addition du sucre peut se faire avant incubation, à condition de ne pas dépasser 6 pour cent afin de ne pas

ralentir la fermentation. Pour conserver au yaourt brassé sa consistance semi-liquide, le mélange d'additifs (fruits + sucre) ne doit pas dépasser 15 pour cent.

### 5-1-1-3-Yaourt à boire

Il s'agit d'un yaourt qui se différencie du brassé par son état liquide qui l'assimile à une boisson. Sa fluidité est obtenue par une diminution de la teneur en matière sèche. Le brassage fait par passage à l'homogénéisateur sous pression inférieure à 50 atmosphères donne une viscosité inférieure d'environ 50 pour cent à celle obtenue par brassage mécanique. Il peut être nature ou aromatisé.

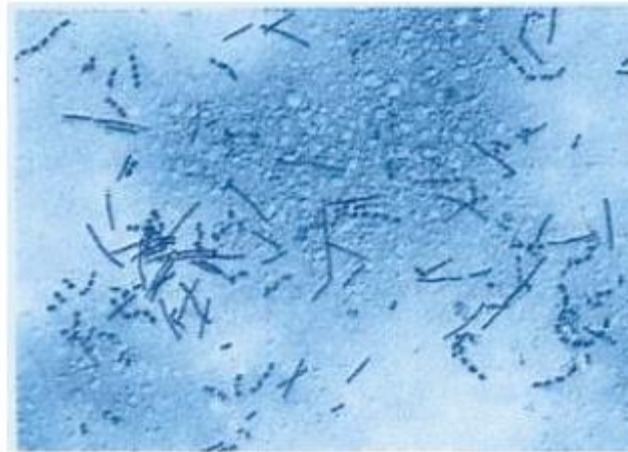


**Figure 2 :** Proportions des constituants des yaourts : ferme, brassé nature et brassé ferme

De quoi diffère le yaourt ferme ou étuvé du yaourt brassé ?

- **Yaourt ferme** : immédiatement après l'ensemencement, le lait est conditionné en pots et ceux-ci sont placés dans une étuve réglée à la température de 42 à 45 C, pendant 2 à 3 heures, jusqu'à obtention d'environ 1 % d'acidité. La fermentation est stoppée par refroidissement des pots dans des chambres froides fortement ventilées. Ils sont ensuite stockés à 2–4 C.
- **Yaourt brassé** : après ensemencement, le lait reste dans le tank à la température de 42 à 45°C. La fermentation se déroule dans le tank jusqu'à ce que l'acidité de 1 % soit atteinte. Le lait coagulé est ensuite brassé puis refroidi et conditionné dans des pots stockés à 2–4 C.

Pendant la phase de commercialisation, les yaourts doivent être maintenus dans la chaîne du froid entre 4 et 8°C. Durant cette période, les bactéries lactiques ne se multiplient pas mais continuent toutefois à produire de l'acide lactique et donc à augmenter la saveur acide du yaourt. Dans de nombreux pays, pour avoir droit à la dénomination «yaourt» le produit doit, au moment de la vente, contenir des bactéries spécifiques vivantes en nombre important; un nombre minimum peut être fixé, par exemple 100 millions par millilitre.



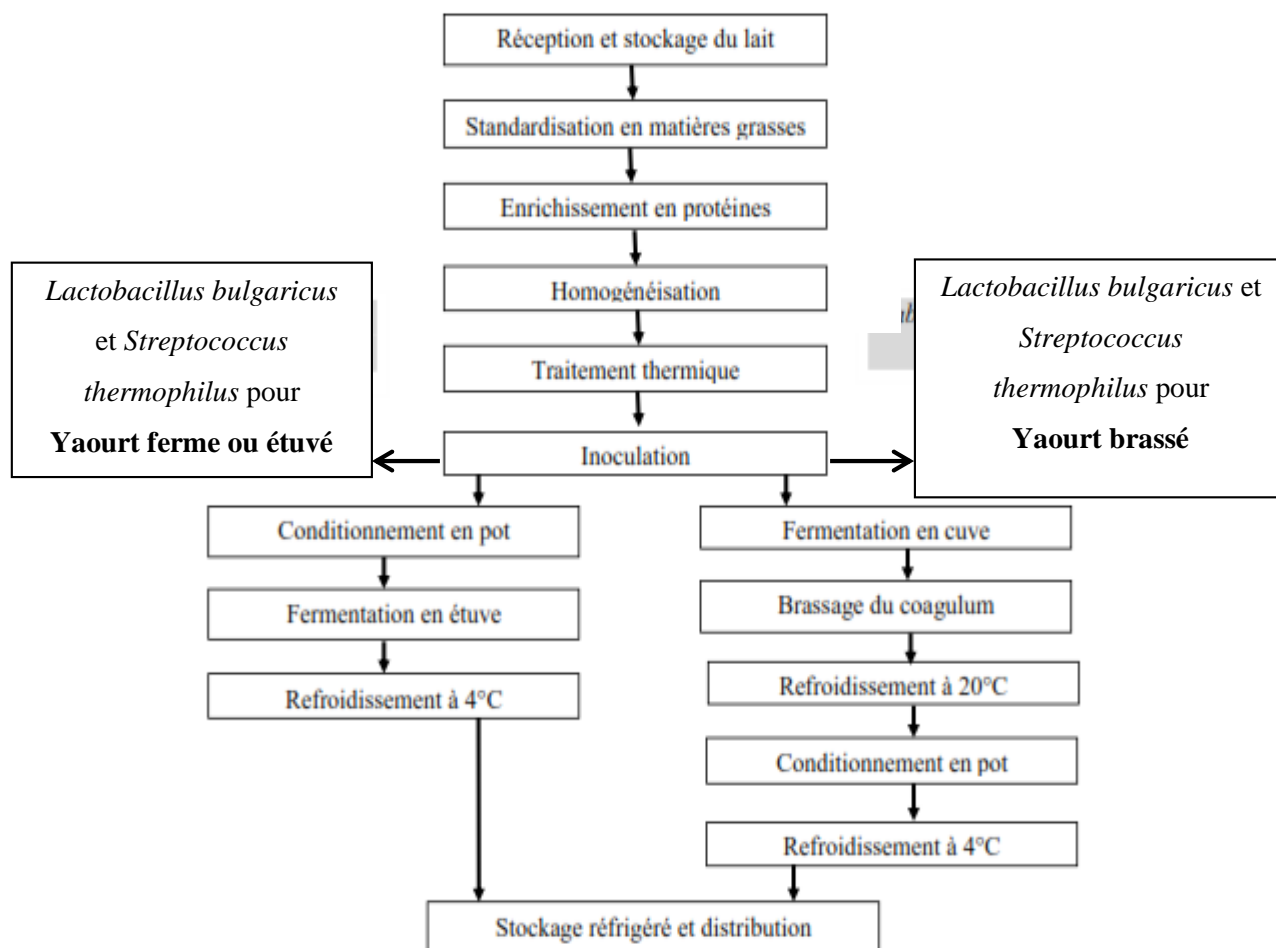
**Figure 3 :** *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* prélevés d'un yaourt nature colorés au bleu de méthylène et observés au microscope optique (grossissement x 400)

### 5-1-2-Conservation des yaourts

Préparés selon une technologie rigoureuse et dans des conditions hygiéniques strictes, ces produits peuvent se conserver environ 3 semaines sous réserve d'être maintenus au froid. Au cours de la commercialisation, la température ne doit pas excéder 8 °C. Dans les pays où la chaîne du froid du fabricant au consommateur n'existe pas, les délais de distribution et de consommation doivent être beaucoup plus courts.

Si le maintien des yaourts au froid empêche la multiplication bactérienne, il n'arrête pas complètement leur activité métabolique. Bien que lente, la production d'acide lactique se poursuit, des enzymes hydrolysent les protéines avec, comme conséquences, une diminution de la fermeté et de la viscosité et l'apparition de peptides à goût amer. Pour ces raisons, on procède parfois, quand la réglementation le permet, à un traitement thermique après la fermentation.

Les étapes de fabrication des yaourts étuvés et brassés sont présentées dans la figure 4.



**Figure 4 :** Diagramme technologique de fabrication du yaourt ferme et du yaourt brassé

### 5-1-3-Ferments recommandés et ferments optionnels pour le yaourt

Selon la FDA (Food and Drug Administration), les ferments recommandés pour la fabrication du yaourt sont principalement *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, cependant il existe d'autres ferments qui peuvent être rajoutés lors de sa fabrication connus comme ferments additionnels et ayant des rôles technologiques comme le montre le tableau 1.

**Tableau 1 :** Composition recommandée et optionnelle des ferments du yaourt

Composition standard recommandée par la FDA	Ferments additionnels du yaourt
<i>Streptococcus salivarius</i> ssp. <i>thermophilus</i> (St.)	<i>Lactobacillus acidophilus</i>
<i>Lactobacillus delbrückii</i> ssp. <i>bulgaricus</i> (Lb.)	<i>Lactobacillus casei</i>
	<i>Lactobacillus helveticus</i>
	<i>Lactobacillus jugurti</i>
	<i>Lactobacillus lactis</i>
	<i>Bifidobacterium longum</i>
	<i>Bifidobacterium bifidum</i>
	<i>Bifidobacterium infantis</i>

### **5-1-4-Profil sensoriel du yaourt**

#### **5-1-4-1-Composés aromatiques**

Divers composés volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt. C'est principalement le lactose qui joue un rôle dans la formation de ces composés. Parmi ceux-ci, outre l'acide lactique qui confère au yaourt son goût acidulé, c'est l'acétaldéhyde (éthanal) à l'odeur fruitée qui joue le rôle principal. Il provient en grande partie de la transformation de la thréonine. Sa concentration optimale est estimée à environ 10 ppm. Sa production est due principalement au lactobacille ; elle est augmentée lorsqu'il est en association avec le streptocoque qui en élabore de faibles quantités.

Le diacétyl contribue à donner un goût délicat ; il est dû à la transformation de l'acide citrique et, secondairement, du lactose par certaines souches de streptocoques. D'autres composés (acétone, acétoïne, butane-2-one, etc.) contribuent à l'équilibre et à la finesse de la saveur. Celle-ci résulte d'un choix avisé des souches, de leur capacité à produire dans un juste rapport les composés aromatiques et du maintien de ce rapport au cours de la conservation des levains et de la fabrication. La saveur caractéristique du yaourt, recherchée dans le produit «nature», est, en partie, masquée dans les yaourts aromatisés, de sorte qu'on lui accorde moins d'importance, ce qui semble être une erreur.

#### **5-1-4-2-Texture**

La texture et l'onctuosité constituent, pour le consommateur, d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. Certaines souches bactériennes produisent, à partir du glucose, des polysaccharides qui, en formant des filaments, limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques et contribuent à la viscosité du yaourt.

### **5-1-5-Accidents rencontrés dans la fabrication du yaourt**

Le traitement thermique du lait et le bon pH (généralement inférieur à 4, soit environ 1 pour cent d'acide lactique) rendent peu probable la présence ou la croissance dans le yaourt de bactéries pathogènes ou nuisibles. Toutefois, une contamination massive, notamment lors du conditionnement, peut être à l'origine d'accidents, d'où la nécessité de travailler dans des locaux propres, secs, sains et à l'abri des courants d'air. Certains additifs, notamment le sucre et les fruits, peuvent être responsables de contaminations par des germes variés et doivent toujours être surveillés. Les autres défauts de goût, d'apparence ou de consistance pouvant survenir sont généralement dus à des erreurs technologiques, à des matières premières de mauvaise qualité ou à de mauvais choix dans les ferments.

## 5-2-Laits fermentés algériens « *l'ben* et *Raïb* »

### 5-2-1- L'ben

L'origine de ce produit remonte à des temps immémoriaux, probablement à l'époque où l'homme a commencé à domestiquer les espèces laitières et à utiliser leurs laits. Le *l'ben* est produit fermenté du lait de vache, de brebis ou de chèvre. Le procédé utilisé pour la préparation du *l'ben* est partout identique à travers l'Algérie. Les variations ne portent que sur le matériel employé au cours des diverses opérations : *chekoua*, jarr en terre cuite, récipient métallique ou en plastique. Le procédé de fabrication traditionnel du *l'ben* est le suivant :

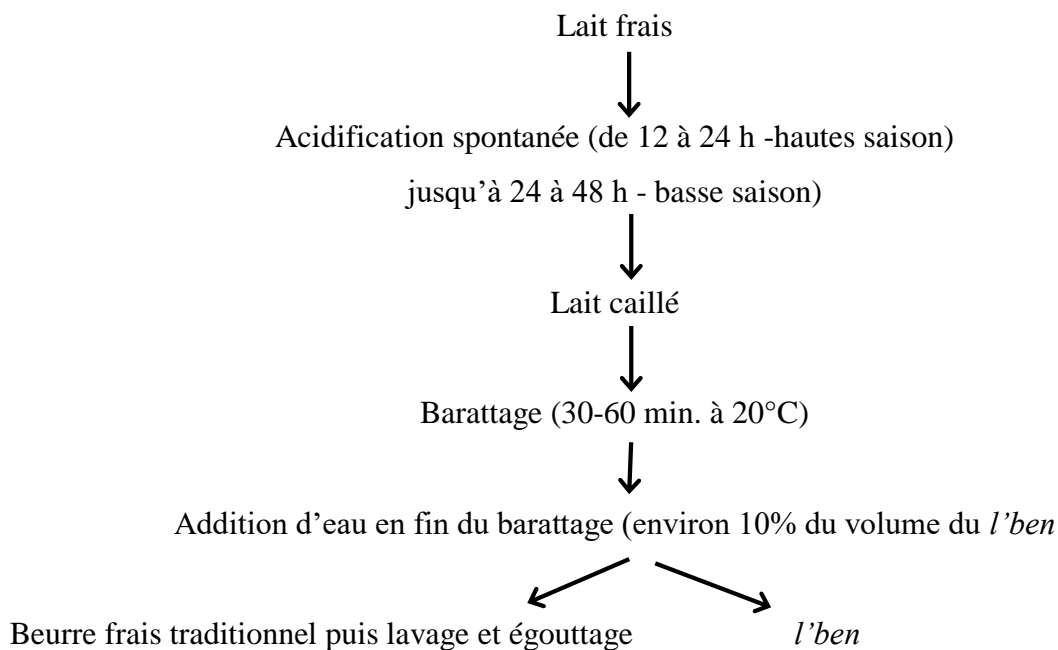
1. **Coagulation** : le lait subit une fermentation spontanée avec les ferments originels du lait jusqu'à la coagulation le lait est abandonné à lui-même jusqu'à sa coagulation. Celle-ci se fait à température ambiante et dure de 12 à 24 heures (à hautes saison) jusqu'à 24 à 48 h à basse saison ;
2. **Barattage** : le caillé obtenu est introduit dans l'un des récipients suscités où il subit une forte agitation. Cette opération permet de récupérer le beurre traditionnel ;
3. **Mouillage** : l'eau chaude ou froide suivant la température ambiante (environ 10 % du volume du lait) est rajoutée dans le lait baratté pour trois raisons :
  - Maintenir une température de 20°C ce qui favorise le rassemblement des grains de beurre et donc facilite la récupération de ce dernier ;
  - Diminuer l'excès d'acidité due à la transformation du lactose en acide lactique ;
  - Augmenter la quantité du *l'ben* en volume.

Dans les centres urbains, les petites crémeries s'approvisionnent généralement en lait recombinaé pasteurisé qui est parfois mélangé avec du lait frais dans des bidons en aluminium. Ces derniers sont abandonnés à la température ambiante. Le lait caillé sera ensuite baratté dans des petites barattes électriques en bois et dilué. A la fin du barattage, nous obtenons deux phases : le *l'ben* d'un côté et le beurre frais d'un autre côté qu'on récupère à l'aide d'une louche perforée puis lavage à l'eau courante (pour éliminer le *l'ben* résiduel) et enfin son égouttage. Accessoirement, on peut chauffer le beurre à basse température pour éliminer encore l'eau résiduel.

En revanche, le *l'ben* industriel (lait pasteurisé fermenté) présente un aspect microbiologique encore mieux maîtrisé puisque l'acidification est dirigée les ferments lactiques mésophiles. Le lait qui sert à la préparation du *l'ben* est reconstitué. Il subit une pasteurisation à 84°C pendant 30 secondes, puis refroidi à 22°C etensemencé de levain lactique (*Streptococcus cremoris* ;



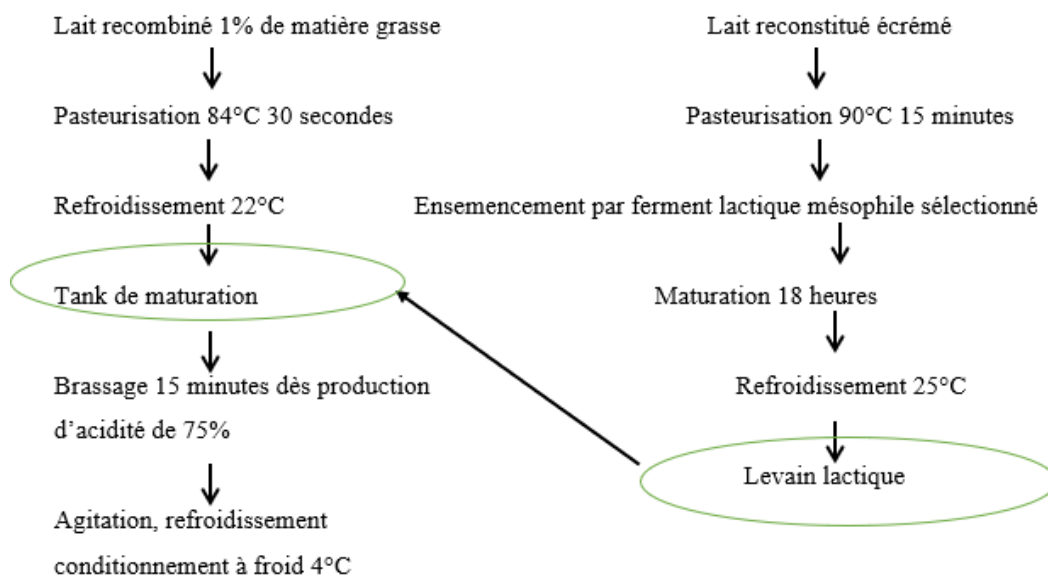
*Streptococcus lactis* et *Streptococcus diacetylactis* ; *Leuconostoc dextranicum*, *Ln. citrovorum* et *Ln. mesenteroides*) ayant un pouvoir acidifiant et un pouvoir aromatisant.



**Figure 5** : Etapes de préparation du l'ben traditionnel

En général, les laits fermentés ont la caractéristique de contenir des microorganismes vivants. Cela leur confère des propriétés organoleptiques et nutritionnelles intéressantes ainsi que des effets bénéfiques sur la santé.

La figure 6 qui détaille le procédé de fabrication industrielle montre que tous les paramètres technologiques sont contrôlés ce qui diminue, de ce fait, les risques de contamination.



**Figure 6** : Etapes de fabrication industrielle du l'ben

### 5-2-2- Raïb

Le *Raïb* fait partie des produits laitiers fermentés et a une très ancienne tradition en Algérie. Il est fabriqué à partir du lait cru de vache, de chèvre ou de brebis. La fermentation du lait, comme de nombreux procédés traditionnels de fermentation, est spontanée et pourrait être une source précieuse des bactéries lactiques autochtones. Contrairement au *l'ben*, le *Raïb* ne subit pas une opération de barattage et d'écémage, il s'agit d'un lait fermenté entier.

### 5-2-3- Intérêt nutritionnel des laits fermentés

La fermentation du lait conduisant à la formation d'acides organiques, notamment d'acide lactique, entraîne une acidification du lait. Ces laits fermentés peuvent résulter d'ensemencements spontanés à température ambiante, ou d'ensemencements par une flore et à une température contrôlées. Ce contrôle porte sur le choix des espèces et des souches en fonction de leur intérêt technologique (texture du produit) ou organoleptique.

Ces produits laitiers fermentés ajoutent leurs propriétés propres aux qualités nutritionnelles du lait utilisé. En particulier, l'acidification constitue du point de vue hygiénique un atout majeur. En effet, elle prévient la croissance de la plupart des germes pathogènes et assure, par des moyens qui peuvent être très simples, la conservation du lait.

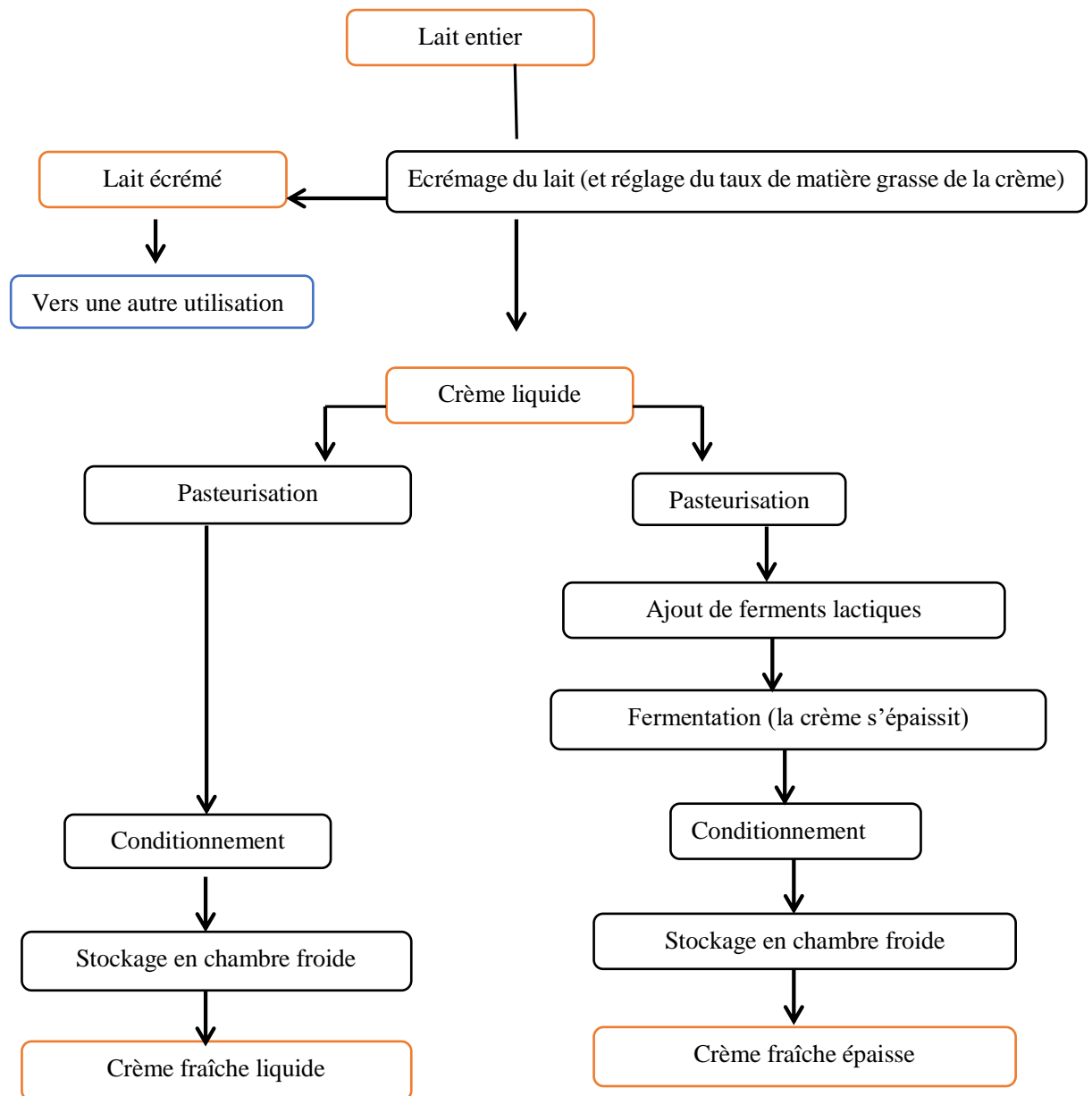
De très nombreuses souches et espèces de bactéries lactiques sont utilisées pour la fabrication des laits fermentés (streptocoques et lactobacilles). Depuis peu, on utilise aussi des bactéries d'origine intestinale telles que les bifidobactéries. Certaines levures sont aussi utilisées, en association avec des bactéries, par exemple pour le kéfir (boisson issue de la fermentation du lait ou de jus de fruits sucrés). Par contre, les moisissures sont rarement utilisées dans la fabrication des laits fermentés traditionnels.

### 5-3- Crème fraîche

La crème fraîche, produit laitier est fabriquée à partir de la crème du lait. La partie grasse est séparée des autres composants du lait par centrifugation. Obtenue par écémage, les crèmes contiennent au moins 30 grammes de matière grasse pour 100 grammes, ou de 12 à 30 grammes pour les crèmes dites légères. Après séparation, les crèmes sont pasteurisées, voire stérilisées. Elles sont ensuiteensemencées avec des ferments lactiques particuliers qui en assurent la maturation (acidification avec épaississement).

Le lait entier est le seul ingrédient nécessaire à la fabrication de la crème fraîche. Seul du lait écrémé et des ferments peuvent y être ajoutés. La fabrication de la crème comprend deux premières étapes essentielles : l'écémage du lait et la pasteurisation.

- A. Ecémage est le procédé par lequel on sépare la crème des autres composants du lait. Le lait, chauffé à environ 60°C, alimente en continu la cuve de l'écémeuse-centrifugeuse qui le soumet à une rotation très rapide. La force centrifuge accélère la séparation des composants du lait : les plus denses gagnent les parois extérieures tandis que les plus légers, les corps gras, se rassemblent au centre, c'est la crème.
- B. Pasteurisation est appliquée à toutes les crèmes, sauf à la crème dite « crue ». Elle consiste à éliminer les germes pathogènes éventuellement présents par chauffage contrôlé à une température de 80°C à 100°C pendant 10 à 50 secondes. On est ainsi assuré de la destruction des germes pathogènes, tout en préservant les qualités organoleptiques et nutritionnelles de la crème. La figure 7 montre les étapes de fabrication de la crème fraîche qu'elle soit liquide ou épaisse.



**Figure 7 :** Etapes de fabrication de la crème fraîche liquide et de la crème fraîche épaisse.

- Pour être qualifiée de « fraîche », la crème ne doit subir qu'une seule pasteurisation et être conditionnée sur le lieu de production dans les 24 heures.
- La crème peut également avoir subi une stérilisation en étant portée à très haute température pendant seulement quelques secondes. Tous les micro-organismes sont alors détruits. Cela permet de conserver la crème plus longtemps à température ambiante tant que le conditionnement n'est pas ouvert. Ces crèmes stérilisées n'ont évidemment pas droit à l'appellation "crème fraîche".
- Pour obtenir une crème fraîche épaisse, après pasteurisation, la crème estensemencée avec des ferments, microorganismes sélectionnés de type *Lactococcus*, *Streptococcus*

ou *Leuconostoc*. Cette étape de maturation dure entre 16 et 20 heures et s'effectue entre 12 et 23°C. L'action des ferments épaissit la crème, augmente légèrement son acidité et agit sur son goût.

- La crème liquide est tout simplement une crème qui n'a pas fermenté.
- Les crèmes fraîches sont réfrigérées et stockées en chambre froide. Les modalités de stockage et de conservation (durée et température) sont bien encadrées (la température doit toujours se situer en dessous de 6°C et la date limite de consommation est courte). Ainsi, deux catégories de crème sont distinguées :
- Crème de consommation, utilisée directement, notamment en cuisine, en pâtisserie, dans la préparation des crèmes glacées, etc.;
- Crème de transformation, destinée à la fabrication du beurre et autres produits.

### 5-3-1-Crèmes de consommation

Il en existe plusieurs formes, variant selon leur teneur en matière grasse, le traitement subi, le mode de conservation et la réglementation propre à chaque pays. On peut cependant distinguer:

- La crème légère ou crème allégée : contenant entre 10 et 20 pour cent de matière grasse : elle est notamment utilisée avec le café, le thé, les fruits en compotes, etc.
- La crème (normale), contenant au moins 30 pour cent de matière grasse : elle est surtout utilisée dans les préparations culinaires et les pâtisseries. Elle peut être fluide ou épaisse, douce ou maturée. L'épaississement augmente avec la teneur en matière grasse et avec l'acidification. La maturation due au développement de bactéries lactiques acidifiantes et aromatisantes fait baisser le pH et, à partir de 5,2, provoque la floculation de la caséine. L'acidité d'une crème douce, exprimée en acide lactique pour 1000 de sa partie non grasse est de l'ordre de 1,5 (15 °Dornic) alors que celle d'une crème maturée est voisine de 8 à 10 (80 à 100 °Dornic),
- Les crèmes fouettées : ce sont des crèmes foisonnées par incorporation d'air. Le taux de foisonnement, c'est-à-dire le rapport entre le volume de la crème fouettée et le volume initial ne doit généralement pas dépasser 3,5. Seules les crèmes non maturées conviennent au foisonnement. La crème Chantilly est une crème fouettée sucrée avec au moins 15 pour cent de saccharose,
- Les crèmes sous pression : elles sont conditionnées dans des récipients métalliques étanches avec du protoxyde d'azote qui assure leur foisonnement. Les crèmes fouettées ou sous pression peuvent être légères ou contenir plus de 30 pour cent de matière grasse. Leur conservation est assurée par pasteurisation, stérilisation ou congélation.

Le problème de la qualité microbiologique des crèmes se pose comme pour le lait de consommation. Il convient de mettre en œuvre des laits frais et peu pollués et de procéder aux opérations de production de la crème dans d'excellentes conditions d'hygiène. Certains pays ont rendu obligatoire l'assainissement des crèmes par la pasteurisation, qui doit être immédiatement suivie de la réfrigération du produit. On peut aussi stériliser la crème douce par un procédé classique ou par UHT.

## 5-4- Beurre

Le beurre est le résultat de fermentation du lait. Il subit une maturation biologique à partir de certaines bactéries qui sont constitués essentiellement de *Lactococcus lactis* subsp. *Cremoris*, *Leuconostoc citrovorum*, *Lactococcus lactis* subsp et *lactis* biovar *diacetylactis*. Il en résulte une acidification provoquant la coagulation des protéines et aboutissant à l'épaississement de la crème, et la production de diacétyl, issu du métabolisme du citrate qui confère son arôme caractéristique au beurre.

Le beurre doit contenir plus de 82 p. 100 de matière grasse. On emploie la crème standardisée, désacidifiée par lavage puis pasteurisée etensemencée avec des ferments lactiques sélectionnés (maturation).

L'opération principale est le *barattage* : par action mécanique, l'émulsion est inversée. La crème, émulsion de globules gras dans l'eau, est transformée en beurre, émulsion de gouttelette.

### 5-4-1-Fabrication du beurre

Dans le lait comme dans la crème, la matière grasse se trouve à l'état de globules. Dans le beurre, la matière grasse forme une phase continue emprisonnant à la fois les globules gras restés plus ou moins intacts et des gouttelettes aqueuses. La proportion de matière grasse restée à l'état globulaire varie avec le procédé de fabrication. Elle est d'environ 50 pour cent dans le barattage classique et de 30 à 40 pour cent dans le procédé continu Fritz.

La fabrication du beurre consiste en la destruction de la suspension globulaire et une inversion de phase, accompagnées d'une séparation de la plus grande partie de la phase non grasse (babeurre). Alors que le lait constitue une émulsion du type graisse dans eau, le beurre est une émulsion du type eau dans graisse dont la composition est donnée au tableau 63. Cette opération dite barattage nécessite deux phases distinctes :

- Rapprochement des globules gras, obtenu par agitation de la crème
- Mise en liberté de la matière grasse à bas point de fusion (fluide à température ambiante) et répartition dans sa masse des glycérides à point de fusion plus élevé (concrets à

température ambiantes) et des gouttes de babeurre émulsionnées, cette deuxième phase peut être réalisée par refroidissement ou par agitation.

Le procédé classique repose sur l'agitation de la crème refroidie dans la baratte classique discontinue - dont les formes peuvent être variées (tonneau, cube, etc.), de même que le matériau constitutif (bois, acier inoxydable) - ou dans la baratte continue (système Fritz). L'agitation provoque d'abord la formation de mousse où s'accumulent les globules, elle permet ensuite la libération de la graisse liquide. Lorsqu'il y a soudure entre les globules gras plus ou moins éclatés et que la graisse est libérée, la mousse tombe brusquement avec formation de grains de beurre qui grossissent sous l'action de l'agitation baignant dans un liquide, le babeurre.

#### **5-4-1-1-Méthode traditionnelle**

Les principales conditions du barattage discontinu sont les suivantes :

- Agitation : elle est fonction de la vitesse de rotation de la baratte (de 20 à 50 tours/minute), de son agencement intérieur de sa forme, et de son taux de remplissage qui doit être voisin de 40 pour cent de son volume total sans jamais dépasser 50 pour cent.
- Température : elle est habituellement comprise entre 8 et 13 °C. Trop basse, elle risque de donner un beurre qui a tendance à avoir une teneur en eau insuffisante (< 16 pour cent). Trop élevée, elle risque de provoquer des pertes excessives de matière grasse dans le babeurre et de donner un beurre mou et trop humide.
- Acidité : elle favorise le barattage en modifiant la couche lécithino-protéique de la membrane globulaire.
- Teneur en matière grasse de la crème : elle est habituellement comprise entre 35 et 40 pour cent.

Après remplissage de la baratte et quelques rotations de celle-ci, on l'ouvre afin d'évacuer les gaz puis on la fait tourner jusqu'au moment où se forment les grains de beurre. L'opération nécessite de 35 à 45 minutes. Dès que le grain commence à se former, la vitre du hublot de la baratte s'éclaircit très rapidement. On arrête le barattage lorsque le grain a atteint approximativement la grosseur d'un grain de blé. On élimine alors le babeurre qui ne doit pas contenir plus de 3 à 4 g de matière grasse par litre.

On procède alors au lavage du beurre à l'aide d'eau fraîche à température égale ou un peu inférieure à celle du grain de façon à le raffermir si nécessaire. Le volume d'eau représente environ les deux tiers du volume de la baratte. L'eau doit être d'excellente qualité microbiologique et chimique et être exempte de fer. Le lavage a pour but de diluer les gouttes

de babeurre émulsionnées dans la matière grasse de façon à réduire leur teneur en lactose et protéines, ces substances permettraient le développement de microorganismes défavorables à la qualité du beurre. Si la crème utilisée est de bonne qualité, il suffit de procéder à un ou deux lavages de 10 minutes environ chacun. On procède ensuite au «ramassage» du grain en présence d'un peu d'eau jusqu'à l'obtention de morceaux de beurre de la dimension du poing. Pour terminer, on effectue le malaxage, qui a pour but de rassembler les morceaux de beurre en une masse homogène, de disperser la phase aqueuse au sein de la phase grasse sous forme de très fines gouttelettes et de régler l'humidité finale du beurre qui, dans la plupart des pays, doit être au maximum de 16 pour cent. Le malaxage se fait par pétrissage ou par laminage, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur de la baratte.

#### **5-4-1-2-Méthode continue au butyrateur**

Les crèmes destinées à la transformation, notamment à la fabrication du beurre, subissent divers traitements de préparation. Certains sont facultatifs, mais tous sont destinés à améliorer les conditions technologiques et économiques et la qualité des produits fabriqués.

- A. Normalisation : elle consiste à régler le taux de matière grasse de la crème selon sa destination. Pour la fabrication traditionnelle du beurre, ce taux est de 35 à 40 pour cent, pour la fabrication continue, il est de 40 à 50 pour cent.
- B. Désacidification : une crème acide est visqueuse, elle coagule au cours de la pasteurisation provoquant le «gratinage» de l'appareil et un goût de cuit dans le beurre. Les crèmes fermières collectées par la laiterie ayant souvent fermenté de façon anarchique sont de mauvaise qualité microbiologique et doivent être pasteurisées. Il est alors nécessaire, avant pasteurisation, de ramener l'acidité dans le non-gras entre 15 et 20°Dornic. On utilise généralement la soude caustique.
- C. Pasteurisation : ce traitement tend à se généraliser. Il a pour but la destruction des germes pathogènes et de la plus grande partie de la flore banale susceptible de gêner la maturation de la crème par les bactéries lactiques sélectionnées et de nuire à la qualité du beurre, il permet aussi l'inhibition des lipases (facteurs de rancissement) et la formation de produits sulfurés réducteurs (facteurs antioxydants). Il faut mettre en œuvre des températures de 92 à 95 °C pendant 20 à 30 secondes. La pasteurisation est souvent accompagnée d'un dégazage qui permet d'éliminer les saveurs et odeurs dues à des substances volatiles d'origine alimentaire (choux, ail, etc.), fermentaires ou autres. Cette opération se fait par évaporation à chaud sous vide ou à l'air libre en même temps que la réfrigération.



- D. Réfrigération : la crème sortant du pasteurisateur doit être immédiatement refroidie afin d'éviter le développement des germes thermorésistants et l'apparition de défauts de goûts et de mettre celle-ci dans les conditions les plus favorables à sa maturation physique et à sa maturation biologique.
- E. Maturation : elle a pour but de faire prendre à la crème des caractères physicochimiques permettant un barattage facile, avec le minimum de pertes en matière grasse et l'obtention d'un beurre de bonne qualité organoleptique concernant notamment sa consistance et sa flaveur.

E1-Maturation physique : les propriétés de la matière grasse butyrique et, par suite, celles du beurre (notamment sa consistance) dépendent à la fois de la composition des glycérides et des conditions thermiques. La maturation physique a pour but d'amener la matière grasse, compte tenu de sa composition et de l'état de fusion et de solidification de ses constituants, dans un état de cristallisation partielle permettant de conférer au beurre la consistance voulue. Cette maturation est particulièrement importante lorsque la matière grasse a été rendue liquide au cours de la pasteurisation ou de l'écémage à chaud. Dans ce cas, sa cristallisation n'est complète qu'après un refroidissement vers 6-7 °C. A 13 °C, la matière grasse est partiellement en surfusion. La température de maturation physique et sa durée demeurent assez empiriques, elles sont à adapter selon la composition glycéridique. Lorsque la matière grasse est riche en glycérides à haut point de fusion, ce qui donne des beurres durs et cassants, il convient de refroidir rapidement la crème à basse température de façon à obtenir une cristallisation en fins cristaux (par exemple, de 5 à 7 °C pendant 3 à 4 heures). Si, au contraire, elle est riche en glycérides à bas point de fusion (oléine), c'est-à-dire liquide à température ordinaire, ce qui donne des beurres mous, on s'efforcera de provoquer la cristallisation des glycérides à point de fusion élevé (palmitine) sous la forme de gros cristaux de façon à conférer au beurre de la fermeté (par exemple, de 12 à 15 °C pendant quelques heures). Le souci, dans la maturation, est de parvenir à ajuster le rapport matière grasse solide/matière grasse liquide de sorte que le beurre atteigne la consistance souhaitée. On peut considérer que, dans le cas des beurres ayant une consistance satisfaisante pour être étalés sur du pain, ce rapport est généralement compris entre 22 à 35 pour cent/65 à 78 pour cent.

E2-Maturation biologique : Elle a pour but, d'une part, d'acidifier la crème, ce qui facilite le barattage et limite les pertes de matière grasse dans le babeurre et, d'autre part, de

permettre la production de substances aromatiques (diacétyle). Dans le cas des crèmes pasteurisées, elle nécessite l'ensemencement des crèmes avec des ferments lactiques mésophiles acidifiants et aromatisants sélectionnés. Dans le cas des crèmes crues, l'ensemencement en ferments sélectionnés est fortement recommandé de façon à éviter ou à limiter le développement des micro-organismes indésirables. Le taux d'ensemencement est de 1 à 5 pour cent. Il varie, comme la température (de 11 à 20 °C) et la durée de maturation (de 6 à 24 heures), selon l'acidité et l'aromatisation recherchées. Selon les pays, la maturation est plus ou moins poussée, d'une façon générale, on a tendance à la réduire, car une forte acidité (pH du beurre inférieur à 5) favorise l'oxydation et limite ainsi la durée de stockage du beurre. On classe les beurres en deux catégories :

- Beurres de crème maturée ou beurre de culture, dont le pH est égal ou inférieur à 5 ;
- Beurres de crème douce, dont le pH est supérieur à 5, souvent compris entre 5,5 et 6 et pouvant atteindre 6,7-6,8.

Si un pH bas augmente les risques d'oxydation, un pH élevé, en diminuant la protection acide, accroît les risques d'altérations microbiennes, notamment la lipolyse (rancissement). En conséquence, dans le cas d'une crème pour la fabrication d'un beurre de crème fermentée, destiné à être consommé rapidement, son acidité ou barattage doit se situer entre 65 et 70 °Dornic dans son non-gras alors que, dans le cas d'un beurre destiné au stockage, il faut réduire l'acidité qui ne doit pas dépasser 35 à 50 °Dornic dans le non-gras.

Lorsque les quantités de beurre à fabriquer sont importantes, on utilise de plus en plus le barattage en continu. Le procédé le plus utilisé dérivé **du système Fritz** repose sur le même principe que dans la fabrication classique. Il admet les crèmes douces et maturées d'une teneur en matière grasse de 40 à 50 pour cent et met en œuvre une machine (butyrateur) constituée de deux cylindres :

- Un cylindre de barattage maintenu vers 9-10 °C à l'intérieur duquel tourne à grande vitesse (de 2 000 à 3 000 tours/minute) un batteur, la formation du grain de beurre se fait instantanément;
- Un cylindre de malaxage incliné dans lequel tombe le mélange de grains de beurre et de babeurre, dans ce cylindre tournent lentement et en sens inverse deux vis d'Archimède qui compriment le beurre et le conduisent au travers de filières

d'où il sort sous forme d'un ruban pouvant immédiatement aller à l'empaqueteuse.

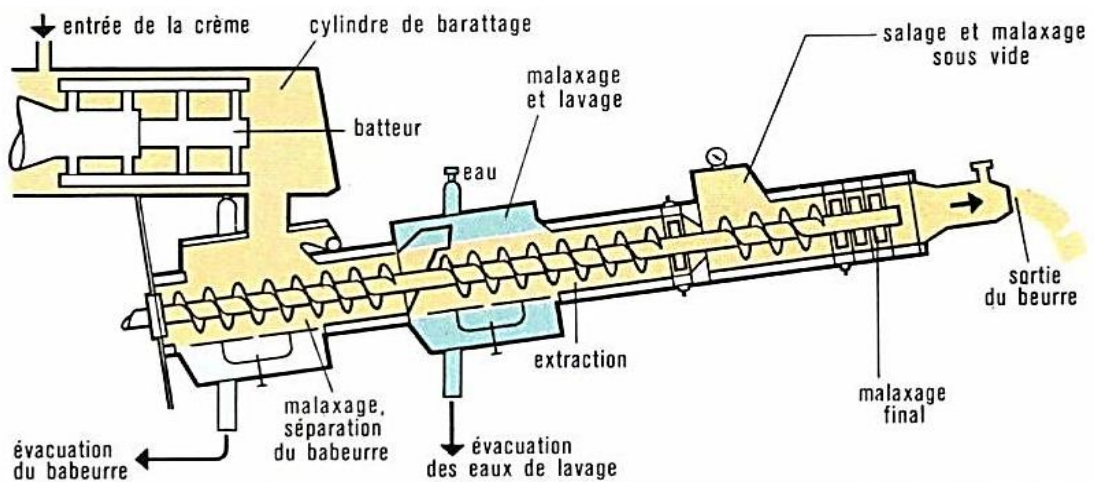
Au cours du malaxage, le beurre peut être salé au sel sec ou en saumure.

**F-Salage du beurre :** Le salage est le plus ancien procédé de conservation du beurre. Le sel possède un pouvoir antiseptique qui varie selon sa concentration et les espèces microbiennes. Etant soluble dans la phase aqueuse, il y forme une saumure plus ou moins concentrée. Ainsi, dans un beurre salé à 1 pour cent, le taux de sel dans le non-gras est de 6 pour cent, ce qui limite le développement de la flore fongique. Il faut atteindre un salage à 2,5 pour cent, soit 12,5 pour cent dans le non-gras, pour assurer une inhibition quasi totale des micro-organismes.

Le salage atteint parfois des taux très élevés allant jusqu'à 5 pour cent soit 24,7 pour cent dans le non-gras, voire davantage, ce qui est excessif mais masque certaines altérations. A partir de 4 à 5 pour cent, le beurre est pratiquement inconsommable à l'état frais; il est utilisé dans les préparations culinaires. Dans certains pays, en raison du rôle du sel sur le goût, on procède généralement au salage du beurre à la dose de 0,5 à 1,5 pour cent.

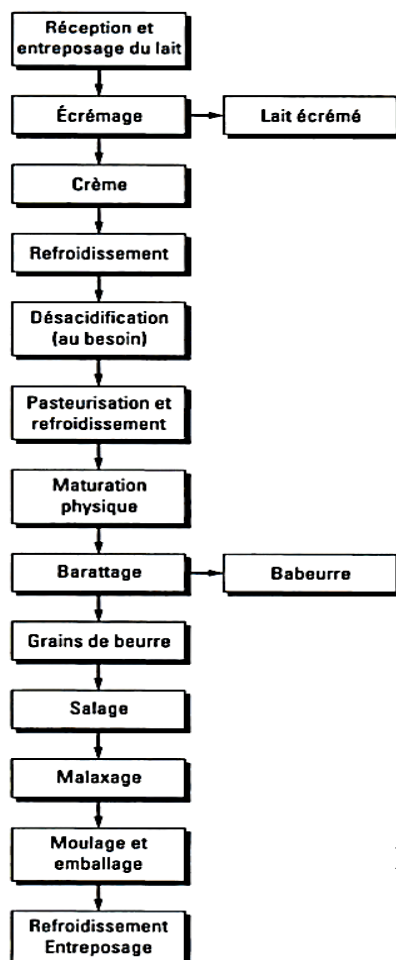
Le grand avantage des procédés en continu est leur capacité de production : 5000 kg de beurre à l'heure. Le rendement du beurre en continu semble légèrement supérieur. L'incorporation d'extrait sec non gras dans le beurre dépasse et excède la perte de matière grasse dans le babeurre.

La figure 8 représente le schéma du butyrateur pour fabrication du beurre en mode continu.



**Figure 8 :** Schéma du butyrateur pour fabrication de beurre en continu

La figure 9 regroupe les différentes étapes de fabrication du beurre de crème douce.



Le beurre doit contenir plus de 82 p. 100 de matière grasse.

*Un beurre doux c'est un beurre sans sel, un beurre demi sel contient entre 0.5 et 3% de sel suivant le pouvoir salant du sel, un beurre salé plus de 3%.*

*Pour 1 Kg de beurre, il faut 22 L de lait ou 2,2 L de crème*

**Figure 9 :** Etapes de la fabrication du beurre de crème douce

### 5-4-2- Composition du beurre

Cent grammes de beurre contiennent de 82 à 84 g de matières grasses, de 14 à 16 g d'eau et de 0,4 à 1,8 g de matière sèche dégraissée. La phase grasse est essentiellement constituée de triglycérides (82%). On trouve en outre des phosphatides (de 0,2 à 1 pour cent), du carotène (de 3 à 9 ppm), de la vitamine A (de 9 à 30 ppm), de la vitamine D (de 0,002 à 0,040 ppm) et de la vitamine E (de 8 à 40 ppm).

L'eau et la matière sèche forment le non-gras. L'eau provient du plasma de la crème et en partie de l'eau ajoutée lors du lavage du beurre. La matière sèche est composée de lactose (de 0,1 à 0,3%), d'acide lactique (0,15% dans le beurre de crème acide), de matières azotées (de 0,2 à 0,8 %) dont la caséine (de 0,2 à 0,6%), la lactalbumine (de 0,1 à 0,05%), les protéines membranaires, les peptides, les acides aminés (traces). On trouve aussi des sels, autres que le NaCl d'apport (0,1%), des métaux lourds, dont le cuivre (40 à 300 µg/kg), ainsi que de la vitamine C (3 ppm) et B<sub>2</sub> (0,8 ppm). La teneur en air du beurre varie de 0,5 à 10 ml pour 100 g selon le procédé de fabrication.

**Tableau 2** : Composition du beurre (pour 100 g)

Composants	Valeurs
Eau	16 % maximum
Matière sèche dégraissée (lactose, protéines, minéraux)	2 % maximum
Protéines	0,6 %
Glucides	0,4 %
Lipides	82 %
Cholestérol	220-280 mg
Calcium	16 mg
Carotène	0,3-0,9 mg
Vitamine A	0,4-1,05 mg
Energie	755 kcal = 3 150 kJ

### 5-4-3- Huiles de beurre ou produits gras déshydratés

Ce sont des produits obtenus à partir de lait, de crème ou de beurre dont on a extrait la quasi-totalité du non-gras (eau + matière sèche dégraissée). On distingue plusieurs produits selon leur niveau de pureté:

- Matière grasse laitière anhydre (MGLA : 99,8 % MG);
- Matière grasse butyrique anhydre ou huile de beurre anhydre (MGBA : 99,8 pour cent MG) ;
- Matière grasse butyrique ou huile de beurre (MGB : 99,3 %).

Il faut ajouter le *ghee*, (99,6 % MG) produit notamment en Asie du Sud, en particulier dans la péninsule indienne, qui peut être préparé à l'aide du lait de différentes espèces animales et s'apparente au beurre fondu produit dans les campagnes.

#### **5-4-4- Beurres spéciaux**

##### A-Beurre de culture

La substance aromatique recherchée dans le beurre de culture est le diacétyl ( $\text{CH}_3\text{-CO-CO-CH}_3$ ) issu de l'oxydation de l'acétoïne ( $\text{CH}_3\text{-CHOH-CO-CH}_3$ ) produit par *Leuconostoc cremoris* et *Leuconostoc dextranicum* à partir du lactose et de l'acide citrique. Ces espèces bactériennes produisent leur effet aromatisant seulement en milieu acide, c'est pourquoi on les utilise en mélange avec des ferments de *Streptococcus lactis* ou *Streptococcus cremoris*. Cependant, il existe des souches de *Streptococcus diacetylactis* capable de former à la fois de l'acide lactique et des substances aromatisantes.

##### B-Beurre foisonné

La fabrication de ce type de beurre consiste après le barattage, à pomper le beurre dans un cylindre refroidisseur muni de racleur et à y injecter sous pression, un gaz inerte généralement de l'azote. La fonte et l'aptitude à l'étalement du beurre soufflé sont supérieures à celles du beurre régulier même à la sortie du réfrigérateur ménager.

##### C-Beurre allégé ou beurre hypocalorique

Il s'agit de produits à teneur réduite en lipides. On distingue ceux dont la matière grasse est d'origine exclusivement laitière et ceux dont la matière grasse butyrique peut être additionnée de matières grasses d'origine végétale ou animale. Il existe de nombreux produits allégés et autres spécialités tartinables, de composition variable, leur teneur en matière grasse oscillant entre 20 et 65 pour cent. La composition moyenne des produits les plus courants est la suivante : lipides 41 pour cent, protéides 7 pour cent, glucides 1 pour cent. Leur valeur énergétique est de l'ordre de 1 600 à 1 700 kJ pour 100 g.

##### D-Beurre en poudre

La poudre de beurre est fabriquée soit à partir de crème soit à partir de beurre. Elle est particulièrement adaptée aux industries de la boulangerie, aux crèmes glacées, et aux confiseries.

# **Chapitre 6**

## **FROMAGES**

## 6-1- Fromages

L'origine du mot « **fromage** » remonte au XIIIème siècle. A l'époque on faisait cailler le lait dans des récipients à parois perforées pour l'égouttage, appelés les faisselles. En latin, faisselles se traduisait par «forma». Au XIVème siècle, le mot « forma » devient « fourmage », puis au XVème siècle, «fromaige» devient «fromage». C'est donc le récipient et le fait de "mettre en forme", c'est-à-dire de mouler le lait caillé, qui a donné son nom au fromage.

Les plus anciennes traces archéologiques de fabrication du fromage retrouvées datent de l'époque de l'Égypte ancienne, trouvées sur des murales dans des tombes et datant de 2000 de l'ère commune. Les premières fabrications de fromages devaient être aigres et salés, similaires en texture au cottage cheese ou à la féta.

La fabrication du fromage en Europe, où le climat est plus froid qu'au Moyen-Orient, nécessitait un salage moins important pour leur préservation, moins salés et de fait moins acides. Ces variétés de fromages sont devenues un environnement propice au développement de bactéries et de moisissures, leur donnant un goût et une texture particuliers.

## 6-2- Dénomination fromage

La dénomination « fromage » est réservée, selon le décret n° 88-1206 du 30 décembre 1988, à la fabrication de produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir de matières d'origine exclusivement laitière (lait entier, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre), utilisées seules ou en mélange, et coagulées en totalité ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de leur eau.

## 6-3- Dénomination fromagerie

La fromagerie est un terme général qui désigne une pièce, un atelier, un laboratoire ou un site de collecte et de transformation du lait. La fromagerie peut faire partie d'une ferme ou servir à mettre en commun le lait de plusieurs éleveurs.

Une fromagerie suit les grandes étapes suivantes : collecte du lait > maturation du lait > caillage du lait > moulage du caillé > égouttage > salage > affinage du fromage.

Selon les régions, la fromagerie porte un nom plus local. Une fromagerie est un lieu d'exploitation et de transformation du lait en fromage dans des régions comme le Jura, la Savoie, ou les Alpes suisses.



## **6-4- Etapes de fabrication du fromage**

### **6-4-1-Préparation du lait pour la fabrication du fromage**

Lors de la fabrication, la préparation du lait en fromagerie comprend éventuellement une phase de traitement thermique du lait voire une étape de maturation. Cette étape consiste à produire des acides lactiques, après ajout au lait des ferments lactiques et un repos de 2 à 3 heures. Les bactéries préalablement développées, vont produire des acides lactiques. Aussi, cette maturation pourrait correspondre à une période de repos durant laquelle les micro-organismes du lait vont se développer. Elles vont consommer le lactose (sucre) et acidifier progressivement le lait. Ces acides vont interagir avec les enzymes lors de l'étape suivante (l'emprésurage), pour donner au lait une consistance solide. Le fromager peut également ajuster les taux de matière grasse pendant la fabrication (écrémage partielle, apport de matière grasse) et azotée (ajout de poudre de lait), éventuellement ceux de minéraux avant la fabrication

### **6-4-2-Coagulation**

Avant de procéder à la coagulation proprement dite, il est nécessaire de revoir les notions fondamentales concernant la micelle de caséine, les facteurs de sa stabilité et le mécanisme de coagulation lactique, enzymatique et mixte (voir cours du lait)

### **6-4-3-Moulage**

Il s'agit de donner une forme au fromage : on définit, sa forme son poids et ainsi l'incidence sur son affinage. C'est à ce moment qu'on lui donne une reconnaissance visuelle. Le moulage contribue à compléter l'égouttage du caillé (figure 1). Le moulage du fromage est légèrement différent suivant les familles de fromages :

- Pâtes pressées : sont moulées dans une toile disposée dans des formes en bois, appelées « planchets »
- Pâtes molles : on verse le caillé dans des moules perforés à l'aide d'une louche, d'une poche, afin que le petit lait puisse s'écouler. Il existe un grand nombre de variétés de matériel en fromagerie. Le moulage du fromage permet donc de séparer le caillé du lactosérum. Cette séparation donne naissance au petit lait, qui par la suite peut être utilisé indépendamment. Il existe quatre grands types de moulage :

Le moulage à la louche ou à la poche :

- Pour les caillés fragiles (lactiques).
- Pour certaines pâtes molles (Camembert, Brie)

Le moulage par retournement :

- Pour les caillés fragiles.
- Pour les caillés à coagulation lente.

Le moulage par répartition :

- Plus rapide et plus brutale.
- Pour les pâtes molles à coagulation mixte moins fragile.

Le moulage par dosage :

- Pour des caillés très égouttés comme le Roquefort
- Pour des fromages type Camembert ou les pâtes pressées.
- L'usage des mouleuses-doseuses ne nécessite pas de manipulation humaine.



**Figure 1 :** Illustration du moulage du caillé du lait

#### 6-4-4-Egouttage

Durant cette phase, ce sont presque 80% de l'eau contenue dans le caillé qui sont extraits. Lors de l'égouttage, deux types de facteurs interviennent : un facteur biologique : acidification ou « fermentation lactique », génératrice de porosité dans le caillé. Un facteur mécanique qui se déroule en plusieurs phases : le découpage, le brassage, le chauffage et enfin le pressage. Cette étape est essentielle car c'est la conjugaison de ces facteurs qui va déterminer la dureté et l'onctuosité du fromage à venir.

Pour obtenir un fromage frais au goût acidulé, on favorise la fermentation lactique. Le lait est maintenu pendant quelques heures (de 12h à 48h) à une température avoisinant les 15°C. Pendant ce laps de temps, les ferments se développent et produisent de l'acidité (le lactose devient de l'acide lactique). L'acide lactique déminéralise alors le caillé en lui enlevant une

grande partie de son calcium, et donc, de sa souplesse. On obtient alors un caillé « lactique », d'une grande porosité qui s'égoutte lentement et spontanément.

A l'opposé, pour obtenir des pâtes dures, on va fabriquer plus rapidement et à plus haute température de 30° à 40°C pour les pâtes pressées et de 53-57°C pour les pâtes pressées cuites. La montée en température doit être progressive, 1 à 2 °C toutes les 2 minutes, afin d'éviter la création d'une enveloppe imperméable (coiffage du grain) qui est rédhibitoire (frein) à toute exsudation et à la soudure des grains de caillé. L'égouttage se fait ici de manière mécanique. On découpe alors le caillé afin d'accélérer l'écoulement du lactosérum (« le petit lait »), on brasse et on chauffe. Le caillé se contracte alors sous le double effet du remous et de la chaleur. Quand il est suffisamment égoutté, il est mis en moule. Intervient alors la phase de pressage, plus ou moins forte selon le degré souhaité de dureté. Pour certains fromages de type pâte filée (mozzarella, provalone, kachkaval), le caillé après pressage est immergé dans le lactosérum à 70-85°C pendant 10-20 min. afin de lui donner une certaine élasticité et un pouvoir filant.

En privilégiant le facteur biologique, on se rapprochera des fromages frais avec des formats plutôt petits. A l'inverse, en favorisant le facteur mécanique, on produira des pâtes plutôt dures pouvant supporter des formats de plus en plus grands selon les différentes étapes d'égouttage. C'est ainsi qu'en combinant ces deux types de facteurs que l'on peut donner naissance à toutes les sortes de pâtes fromagères.

Ainsi, en fonction de ces différentes méthodes de fabrication, se dessinent les différentes familles de fromage : les pâtes molles (Camembert, Munster, etc.) sont uniquement découpées, les pâtes persillées (Roquefort, Bleu des Causses, etc.) sont découpées et brassées, les pâtes pressées (Tomme de Savoie, Saint-nectaire, etc.) sont découpées, brassés puis pressées, quant aux pâtes pressées cuites (Emmental, Comté, Beaufort, etc.) elles sont en plus chauffées. La figure 2 montre les différents modes d'égouttage du fromage.



**Figure 2 :** Illustration de l'égouttage du caillé de lait

#### 6-4-5-Salage

Le salage agit comme antiseptique, freine le développement des micro-organismes, favorise la bonne conservation du fromage, accélère le séchage et la formation d'une croûte. Le salage peut être fait en surface (salage à sec figure 3-1) ou par bain de saumure (figure 3-2).



**Figure 3 :** Illustration du salage en saumure (1) et en surface (2) du fromage

L'étape du salage dure en moyenne de deux à quatre jours. Certains fromages sontensemencés de moisissures afin d'obtenir une croûte fleurie (brie, Camembert) ou le persillage des fromages bleus (Roquefort, gorgonzola). Le développement de moisissures peut également se faire dans des conditions spécifiques d'entreposage. La pâte est ensuite affinée. Le salage peut être fait dans la masse (salage des grains de caillé), en surface (salage à sec) ou dans un bain de saumure. Il complète l'égouttage et contribue à la formation de la croûte, il agit directement ou par

intermédiaire de l'activité de l'eau du fromage ( $A_w$ ) sur la fabrication de microorganismes et les activités enzymatiques au cours de l'affinage, il apporte son goût caractéristique et a la propriété de masquer ou exhiler la sapidité de certaines substances formées au cours de l'affinage.

La teneur en sel des fromages varie selon le type de fromage, en moyenne elle est de dans la plupart des fromages de 0,5-2 g/100 g de fromage, dans certains cas (les fromages bleus et quelques fromages de chèvres), elle peut s'élever à 3-4 %. Par contre, certains fromages orientaux conservés en saumure ont des teneurs assez élevées (8-15 %). Les modalités de salage sont par saumurages (Emmental, et Camembert), salage à sec et salage en masse. Le salage en masse est utilisé dans les fabrications traditionnelles de quelques fromages typiques du bassin méditerranéen

#### **6-4-6-Affinage**

L'affinage est l'étape de maturation du fromage. C'est lors de cette période que le fromage mûrit, développe ses saveurs et acquiert sa texture définitive. A cette étape, la pâte se transforme sous l'action biochimique de la flore bactérienne contenue dans le fromage. C'est l'étape cruciale où se développent la consistance, l'odeur, la saveur et, si désiré, la croûte (les fromages à pâte fraîche ou les fromages fondus ne sont pas affinés).

##### **6-3-6-1-Agents d'affinage**

Les enzymes responsables de l'affinage ont plusieurs origines : le lait, l'agent de coagulation et les micro-organismes qui peuplent les pâtes.

##### **A<sub>1</sub>-Enzymes naturelles du lait :**

a/Plasmine : protéase alcaline présentant une thermorésistance élevée. Son activité est maximale à pH 7,5-8 à 37°C. Son action est déterminante dans divers types de pâtes notamment les pâtes pressées cuites et non cuites à affinage lent. Elle hydrolyse préférentiellement la caséine  $\beta$  en caséines  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  et  $\gamma_3$ . En revanche, la plasmine pourrait être associée à l'apparition de défauts d'amertume

b/Lipase : C'est une enzyme thermolabile. Elle peut intervenir dans les fromages à lait cru, particulièrement dans le cas des pâtes pressées non cuites à flore essentiellement lactique. Dans un cheddar par exemple, elle peut assurer 15 à 20 % du degré de la lipolyse.

c-Phosphatase acide : intervient dans la déphosphorylation des caséines et des phosphopeptides

d-Phosphatases alcaline : enzyme très thermosensible, aurait un rôle négligeable dans l'affinage des fromages obtenus de laits pasteurisés.

e-Protéase acide : enzyme thermorésistante, a un rôle dans l'hydrolyse de la caséine  $\alpha_{s1}$

### A<sub>2</sub>-Enzyme coagulante

Présure : Une faible quantité de l'agent coagulant ajouté au lait de fabrication se trouve dans le caillé et peut exprimer son activité de protéolyse générale au cours de l'affinage. La quantité retenue dans le fromage est proportionnelle à la quantité de présure mise en œuvre. La rétention de la présure dans le caillé est d'autant plus importante que le pH d'emprésurage est bas : elle est de 50% pour les pâtes molles, de 10 à 15 % pour les pâtes pressées non cuites (ex : gouda) et nulle pour les pâtes pressées cuites, car elle est détruite pendant la cuisson du grain de caillé.

A<sub>3</sub>-Grands groupes microbiens des fromages : La microflore des fromages est composée d'un grand nombre de micro-organismes ( $2 \text{ à } 3 \cdot 10^9 \text{ ufc.g}^{-1}$ ) de différentes origines (lait, atmosphère des locaux, matériel de fromagerie, levains, etc.) et appartiennent à des groupes et à des espèces très divers. Les microorganismes élaborent des enzymes qui agissent sur le substrat. Certaines de ces enzymes sont libérées au cours de la croissance (enzymes exocellulaires) ; d'autres le sont après la mort et l'autolyse des cellules (enzymes endocellulaires). On peut définir 5 groupes : les bactéries lactiques, les microcoques, les bactéries corynéformes, les bactéries propioniques, les levures et les moisissures. Cette microflore est en évolution constante ; certains germes se multiplient, d'autres disparaissent ; l'équilibre microbien n'est pas stable et on assiste à une succession de flores.

Les deux catégories des microorganismes des fromages sont la flore des ferments lactiques et la flore secondaire. Les bactéries des ferments lactiques sont impliquées à la fois dans l'acidification et dans la maturation des fromages alors que la flore secondaire est principalement impliquée dans l'affinage. Cette dernière regroupe les bactéries lactiques originaires désignées par NSLAB (Non-Starters Lactic Acid Bacteria) et les autres bactéries (bactéries de surface et bactéries propioniques), les levures et/ ou les moisissures. Les équilibres entre les différents groupes microbiens et, par suite, l'importance relative des populations, peuvent être fortement modifiées. Certaines espèces ou certains groupes se multiplient activement alors que d'autres tendent peu à peu à disparaître. Ainsi un groupe microbien resté inactif, peut -à un moment donné de l'affinage- jouer un rôle déterminant grâce à l'évolution du substrat.

6-3-6-2-Biochimie de l'affinage : La biochimie de l'affinage peut être subdivisée en processus primaires et processus secondaires de dégradation. Le processus primaire comporte : la fermentation du lactose résiduel, de l'acide lactique et de l'acide citrique, ainsi que la dégradation des protéines et des lipides. Suite à ces événements primaires, d'autres événements biochimiques secondaires prennent place et sont très importants pour le développement des

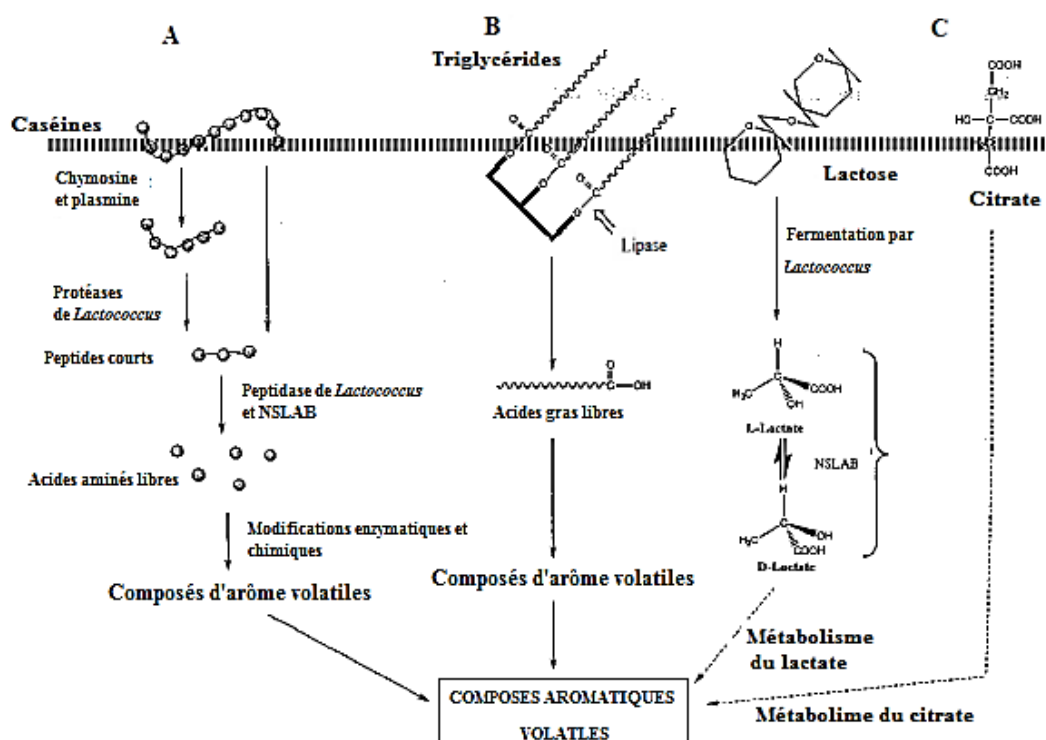
composés aromatiques. Le processus secondaire concerne donc la dégradation des acides aminés et des acides gras.

**Fermentation du lactose :** L'acide lactique, produit de dégradation du lactose par les microorganismes est un substrat de plusieurs réactions de l'affinage des fromages. Les bactéries lactiques vraies produisent l'acide lactique presque pur, sans gaz selon la voie d'EMBEN-MEYERHOF-PARNAS. Les lactocoques sont souvent choisies pour leur capacité acidifiante rapide. L'acide lactique subit d'autres fermentations produisant l'acide propionique, l'acide acétique, l'acide butyrique et le CO<sub>2</sub>. Ces produits peuvent être transformés en composants de flaveur comme les aldéhydes et les cétones.

**Protéolyse :** La protéolyse apparaît comme l'un des phénomènes majeurs pendant l'affinage des fromages et c'est le plus complexe. Elle contribue à la texture des pâtes, au goût, à l'ouverture et au croûtage par dégradation biochimique des protéines. Cette dégradation est réalisée par les systèmes enzymatiques des microorganismes, des enzymes coagulantes et des enzymes du lait. L'importance de la protéolyse peut être très limitée comme dans le cas du fromage mozzarella, à très importante, cas des fromages bleu moisissés.

**Lipolyse :** La lipolyse est un phénomène limité qui participe positivement à l'élaboration des qualités gustatives des fromages. Les enzymes lipolytiques dans les fromages proviennent du lait, de la présure et des microorganismes. Le lait contient une lipase lipoprotéique (LPL) qui reste assez active dans les fromages au lait cru. D'autre part plusieurs microorganismes peuvent intervenir dans la lipolyse des fromages comme principalement les moisissures et les microcoques. Les bactéries lactiques sont dotées d'endolipases qui activent dans les fromages après lyses des cellules. Les changements dans la saveur et l'arôme des fromages sont attribués à la lipolyse selon la teneur en acides gras libérés. Il faut noter qu'un taux de lipolyse élevé induit l'apparition de goût de rance et de savon dans le fromage.

La figure 4 regroupe les principales réactions enzymatiques de l'affinage des fromages.



**Figure 4 :** Principaux mécanismes biochimiques de l'affinage Protéolyse(A), lipolyse (B) métabolisme de lactose, de lactate et de citrate (C)

### 6-3-6-3-Conditions de l'affinage

**Activité de l'eau :** Le choix de l'hygrométrie doit tenir compte de la sensibilité à l' $A_w$  des catégories de micro-organismes dont il convient de favoriser en surface le développement ou au contraire, l'inhibition. D'où une hygrométrie généralement élevée (90 – 95 % d'humidité relative) pour les fromages à flore bactérienne superficielle, une hygrométrie légèrement plus basse (85 – 90 %) pour ceux à flore fongique. Pour les fromages à croûte sèche, l'hygrométrie est ajustée à une valeur faible (80 – 85 %) pour limiter au maximum le développement des flores contaminantes de surface. Il convient de noter par ailleurs que les réactions d'ordre biochimique intervenant dans le substrat en cours d'affinage correspondent pour la plupart à des réactions d'hydrolyse qui fixent de l'eau. En conséquence, elles entraînent une diminution de l'eau libre et donc celle de l' $A_w$ .

Considérée globalement, l'activité de l'eau du fromage entier est la résultante d'un ensemble de phénomènes complexes de nature physique (égouttage, évaporation de l'eau, diffusion du sel), chimique (interaction substrat - chlorure de sodium) et biochimique (protéolyse, lipolyse, glycolyse), dont la connaissance encore fragmentaire rend difficile la pleine maîtrise.



**Température** : La température est le facteur majeur de développement des microorganismes et de l'activité enzymatique au cours de l'affinage. Les températures optimales de développement microbien varient selon les espèces :

-levures et moisissures, bactéries de surface : 20-25 °C

-bactéries lactiques mésophiles : 30-35°C

-bactéries lactiques thermophiles : 40-45°C

Les activités enzymatiques sont maximales dans l'intervalle 35°C cas des lipases et 45°C cas des protéases. Les températures d'affinage sont d'autant plus basses que la pâte du fromage est humide, exemple : pour les pâtes pressées non cuites (ex : cheddar), 12-13°C (cave froide), pour les pâtes pressées cuites sans ouvertures (ex : Comté), 16-17°C (cave chaude) et pour les pâtes pressées cuites à ouvertures (ex : Emmental) (cave chaude) de 20-22°C.

La cave chaude favorise la croissance des bactéries propioniques qui sont à l'origine de l'apparition des ouvertures et de la production d'acide propionique dans les pâtes pressées cuites.

**pH** : D'une manière générale, les levures et les moisissures sont capables de se développer en milieu acide à pH 4,5 et au-dessous. Les bactéries préfèrent les milieux neutres. Selon les technologies, les pH des caillés sont variables :

- Les caillés de type Camembert ont un pH voisin de 4,5 qui est incompatible avec le développement de certaines bactéries utiles telles que les microcoques, les corynébactéries. L'affinage nécessite une neutralisation de la pâte qui est assurée par le développement des levures et moisissures à partir de l'acide lactique comme source de carbone dans le cas des pâtes molles fleuries ou par action conjuguée des levures, du *Geotrichum* et de l'atmosphère ammoniacale des caves d'affinage des pâtes molles à croûte lavée.
- Les caillés des pâtes pressées cuites et non cuites ont des pH supérieurs à 5,0. L'action des protéases est donc possible. Il convient seulement d'éviter « une postacidification » après égouttage. Ce risque est maîtrisé grâce au pouvoir tampon élevé de ces caillés, dû à leur richesse en calcium, et par l'élimination quasi-totale du lactose au cours du lavage du grain de caillé, de l'égouttage et de l'acidification sous presse.

#### **6-4-7 -Lavage**

C'est une phase de l'affinage. Pour les fromages à croûte lavée, de type Munster, Livarot, Langres, etc., il s'agit de développer les « ferments rouges » qui caractérisent cette famille de fromage. Souvent de goût plus typé, on assiste l'affinage en frottant le fromage dès son premier

stade de protéolyse, avec une liqueur, de l'eau salée, un mélange d'herbes, etc. Cette opération peut être poursuivie jusqu'à l'étal du fromager. La figure 5 montre le lavage des croûtes de certains fromages.



**Figure 5 :** Illustration de lavage de pièces de fromage lors de l'affinage

### Exemples d'affinage de fromage

L'affinage peut être plus ou moins long (de 24 heures à 3 ans dans le cas de certains parmesans); plus l'affinage est long, moins la pâte a conservé d'humidité, et plus le fromage est dur et de saveur prononcée. Les pâtes molles s'affinent de l'extérieur vers l'intérieur car leur flore de surface est active. Le moelleux apparaissant d'abord à l'extérieur. La durée de l'affinage du fromage est estimée entre 4 et 12 semaines.

#### Exemples de certains affinages de fromage à point :

**Pâtes molles à croûte fleurie :** Fleur marbrée et croûte ondoyante, coupe homogène et texture onctueuse et saveur épanouie. **Pâtes molles à croûte lavée :** Croûte rouge orangé nette, coupe homogène, texture onctueuse et saveur relevée et odeur typée.

**Pâtes persillées :** s'affinent de l'intérieur vers l'extérieur. L'affinage du fromage est estimé entre 12 et 30 semaines.

**Affinage à point :** Persillage homogène et bleu affirmé, pâte grasse et beurrée, goût franc et typé.

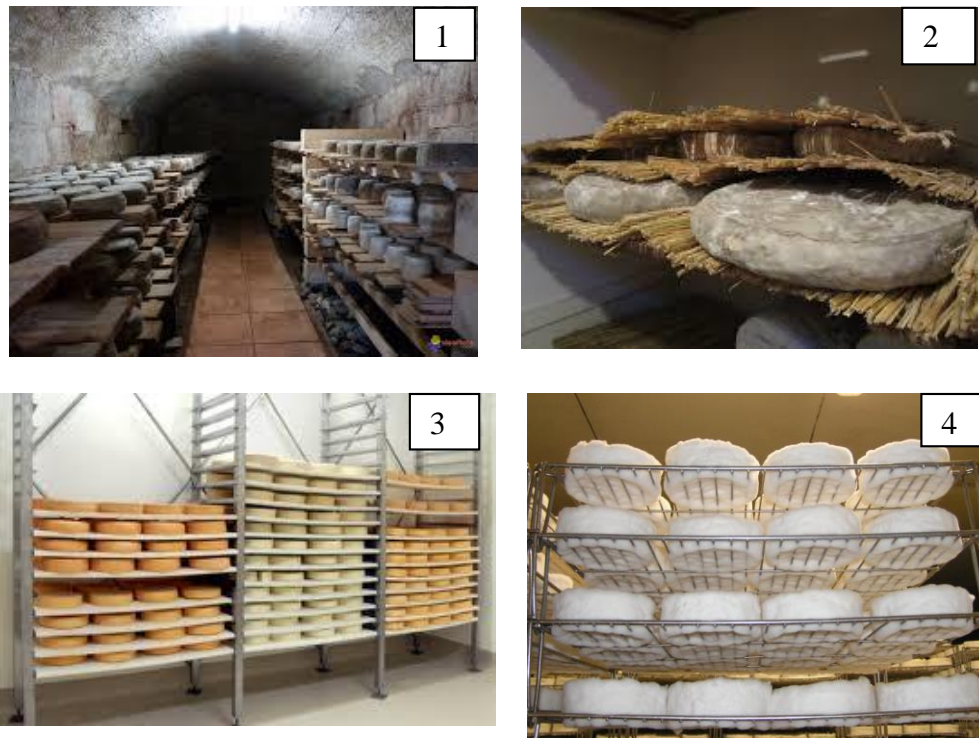
**Pâtes pressées** ne s'affinent que de l'intérieur, c'est pourquoi leurs croûtes sont sèches. Ils s'affinent entre 9 et 24 mois.

**Affinage à point :** Couleur affinée et nette, texture liée homogène et souple, goût développé et typé.

**Fromages de chèvres** peuvent s'apprécier à tous les stades de l'affinage, qui dure normalement quelques jours ou quelques semaines.

**Affinage à point :** Croûte épaisse et ondulée, pâte onctueuse, goût de chèvre typé.

La figure 6 montre les photos de certaines caves (1&2) et d'hâloirs (3&4) d'affinage des fromages



**Figure 6** : Illustration des caves de l'affinage de fromages

Ainsi, la fabrication du fromage peut être résumée comme le montre la figure 7.



**Figure 7** : Principales étapes illustrées de la fabrication du fromage

Beaucoup de fromages prennent le nom de la région ou de la localité où ils sont fabriqués : cantal, gruyère, Roquefort, Camembert, saint-marcellin, parmesan, cheddar, hollandaise, gorgonzola, etc.

## **6-5- Classification des fromages**

La classification des fromages est complexe et peut tenir compte de divers facteurs. Ils sont généralement classés selon leur fermeté qui varie selon le degré d'humidité. Les pâtes dures contiennent aussi peu que 30% d'humidité tandis que les pâtes molles ou fraîches peuvent en contenir jusqu'à 80%. On retrouve donc les fromages frais (ou non affinés), les fromages affinés à pâte molle, à pâte demi-ferme, à pâte ferme, à pâte persillée ; les fromages fondus; les succédanés de fromages et les fromages de chèvre.

### **6-5-1-Fromages frais (non affinés).**

Ces fromages ont coagulé sous l'action des ferments lactiques et non par l'ajout de présure. Ils ne sont ni affinés, ni fermentés mais seulement égouttés (cottage, ricotta, mascarpone, fromage à la crème, petit suisse, quark, etc.). Faits de lait pasteurisé, écrémé, partiellement écrémé, entier ou enrichi de crème ou de lait partiellement écrémé mélangé à du lactosérum pour la ricotta, ils ne sont pas vieillis et doivent être consommés rapidement. Les fromages frais contiennent jusqu'à 80% d'eau. Ils sont généralement maigres (entre 0,1 et 13% de matières grasses) et peu énergétiques. Ils deviennent gras et énergétiques lorsqu'ils sont fabriqués avec de la crème (jusqu'à 30% de matières grasses dans le cas du fromage à la crème). Plusieurs contiennent des additifs, notamment des colorants, des agents épaississants et des agents de conservation. Les fromages frais sont lisses, crémeux ou granuleux, de saveur douce ou légèrement acidulée. On les utilise principalement en pâtisserie et dans des entremets. Ils sont disponibles nature ou assaisonnés de légumes, de fruits ou d'épices. Leur durée de conservation est plutôt courte, environ 1 semaine, et varie selon la teneur en eau et les conditions d'entreposage.

### **6-5-2-Fromages à pâte filée non affinée**

Sont obtenus par le pétrissage et l'étirement du caillé qui baigne jusqu'à l'obtention de la consistance désirée. Ce procédé leur donne une texture souple. Dans cette catégorie, on trouve la mozzarella, le scarozza, le provolone, les bocconcini et le caciotta. La mozzarella est surtout utilisée pour gratiner les pizzas et les pâtes.

### **6-5-3-Fromages à pâte molle**

Sont des fromages affinés durant une période relativement courte, égouttés et moulés, mais non pressés et non cuits. Le taux d'humidité varie entre 50 et 60% et les matières grasses représentent 20 à 26% du poids du fromage. Ils acquièrent une croûte plus ou moins veloutée.

Ils subissent une fermentation importante qui va de la surface de la pâte vers l'intérieur. Ils sont très peu utilisés en cuisine car ils perdent beaucoup de saveur lorsqu'ils sont chauffés.

Le terme à pâte molle s'applique à un fromage qui ne subit au moment de sa fabrication ni chauffage, ni pressage. La pâte est alors onctueuse voire coulante à pleine maturation du fromage. Les fromages à pâte molle se répartissent en 2 catégories définies par l'aspect de la croûte :

**A-les fromages à croûte fleurie** sont recouverts d'une mince couche de duvet blanc ou moisissure, d'aspect velouté (Camembert, brie, brillat-savarin, coulommiers); cette croûte fleurie est comestible mais devrait être enlevée si son goût est trop prononcé;

**B- les fromages à croûte lavée** sont des fromages soumis à des lavages de saumure légère qui ont pour but de maintenir l'humidité, la souplesse de la pâte et de la croûte et d'éliminer certains ferments (munster, pont-l'évêque, livarot, bel paese, époisses). Ces fromages ont une saveur délicate et un parfum intense. Pour assurer un taux d'humidité interne convenable et une fermentation adéquate, ces fromages sont placés en atmosphère humide, près de 90% d'humidité, et à une température tempérée entre 12 et 15°C. L'affinage de certains de ces fromages se termine par un trempage dans un alcool, comme le vin ou la bière.

#### **6-5-4-Fromages à pâte demi-ferme**

Sont des fromages à pâte pressée non cuite qui subissent une période d'affinage assez longue en atmosphère fraîche (7-10°C) et très humide (90%). Le caillé est réduit en petits grains, puis pressé et ensuite démoulé et trempé dans une saumure. Les fromages à pâte demi-ferme (cheddar, cantal, reblochon, gouda, edam, fontina, saint-nectaire, morbier, tommes, tilsit, monterey jack) ont une consistance dense et une pâte de couleur jaune pâle.

#### **6-5-5-Fromages à pâte ferme (ou dure)**

Sont des fromages à pâte pressée et cuite, c'est-à-dire dont le caillé est chauffé pendant moins d'une heure afin de l'affermir, ce qui formera une pâte compacte après le pressage. Le fromage est pressé avec des poids en inox pour obtenir une pression théorique de 10 grammes / cm<sup>2</sup> soit 40 kg d'inox apportés sur la surface du moule. Ces fromages (gruyère, emmental, jarlsberg, comté, raclette, beaufort, parmesan, romano) sont ornés ou non d'une croûte résistante, qui est parfois enduite d'huile pour réduire la déshydratation, ou lavés et raclés, ce qui favorise la maturation de la pâte. Leur longue fermentation qui dure généralement de 4 à 12 mois active l'action des bactéries. Les bactéries propioniques interviennent dans l'affinage des fromages à pâtes pressée cuite de types gruyère et emmental. Elles se développent en cave chaude, au cœur de la pâte, leur nombre pouvant atteindre 10<sup>8</sup> à 10<sup>9</sup> par gramme. Leur principale fonction est la

transformation des lactates en acide propionique, acide acétique et CO<sub>2</sub>, les acides volatils sont des composants de l'arôme typique de ces pâtes, le gaz carbonique assurant la formation des ouvertures ou trous (yeux) de grosseur et en nombre variables, propres à chaque variété de fromage. La texture de la pâte est généralement ferme mais peut être parfois très granuleuse comme dans le cas du parmesan et du romano. Certaines meules de ces fromages pèsent entre 40 et 130 kg.

#### **6-5-6-Fromages à pâte persillée (bleus)**

Sont des fromages ni cuits ni pressés, dont le caillé est d'abord réduit en morceaux, moulé, égoutté, salé, puisensemencé de moisissures telles que *Penicillium Roqueforti*, *Penicillium glaucum* ou *Penicillium gorgonzola* déposées dans la pâte à l'aide de longues aiguilles. C'est ce champignon qui est à l'origine des moisissures de couleur bleue.

##### A-Rôle du piquage

Les fromages à pâte persillée sont affinés dans des caves ventilées car l'oxygène est indispensable au bleuissement. C'est là que la technique du piquage, propre aux bleus, entre en jeu : les fromages sont piqués, à la main ou de façon mécanique, avec de grandes aiguilles. Celles-ci créent des trous permettant de faire pénétrer l'air nécessaire au bon développement des moisissures de *Penicillium*. Ce dernier ayant à tendance à se répartir du centre vers les bords, les bleus sont les seuls fromages qui s'affinent de l'intérieur vers l'extérieur. Tout un réseau de veinures bleu-vert se constitue sous l'action des moisissures, réseau qui se densifie avec le temps. Ces fromages (Roquefort, gorgonzola, bleu de Bresse, bleu danois, stilton) ont un goût poivré, fort et piquant et leur texture est habituellement friable.

##### B-Cas du bleu de Termignon

Les moisissures de ce fromage rare et original, produit par une poignée de fromagers savoyards entre juin et septembre, sont spontanées. Concrètement, la pâte n'est pasensemencée avec du *Penicillium*. Les vaches à l'origine du bleu de Termignon se nourrissent de végétaux sur lesquels se trouvent des moisissures. Celles-ci passent dans le lait puis dans le fromage. La technique du piquage reste utilisée pour favoriser leur prolifération. Dans tous les cas, ce sont ces précieuses moisissures qui donnent leurs arômes caractéristiques aux bleus, produits phares du patrimoine fromager.

#### **6-5-7-Fromages fondus (à pâtes recuites)**

Sont des fromages fabriqués à partir d'un ou de plusieurs fromages à pâte pressée, cuite ou non, refondus, additionnés de lait, crème ou beurre; ces fromages ont l'avantage de se conserver longtemps. On ajoute à la pâte, selon le produit, des agents stabilisateurs, des émulsifiants, du

sel, des colorants, des édulcorants (sucre, sirop de maïs) et des assaisonnements (herbes, épices, fruits, noix, kirsch). On obtient une texture plus ou moins molle et élastique et une saveur peu prononcée. En Amérique du Nord, ces fromages sont surtout faits à base de cheddar tandis qu'en Europe l'emmental et le gruyère prédominent. Les fromages fondus portent des noms différents selon la quantité de fromage qu'ils contiennent (fromage fondu, préparation de fromage fondu, fromage à tartiner).

### **6-5-8-Fromages de chèvre**

Sont des fromages à pâte molle et à croûte naturelle et peuvent être fabriqués à 100% de lait de chèvre (pur chèvre) ou être mélangés à du lait de vache (mi-chèvre s'il contient au moins 25% de lait de chèvre). Ces fromages présentent une pâte fraîche, ou une pâte molle à croûte fleurie, et à l'occasion une pâte dure. Ils sont plus blancs que le fromage de vache et de saveur plus prononcée. Le fromage de chèvre est généralement humide et lisse; l'intensité de sa saveur dépend de la race et de l'alimentation de l'animal, de la saison et des procédés de fabrication. Les fromages de chèvre sont souvent très salés, afin de prolonger leur durée de conservation. Aujourd'hui, la plupart sont fabriqués à partir d'un mélange de lait de chèvre et de lait de vache, ce qui les rend doux et crémeux. Certains fromages de chèvre portent des noms évocateurs (chabichou, crottin de Chavignol, Valencay, chevrotin). Dans cette catégorie on trouve la feta, fabriquée à partir de lait de brebis, de vache, ou d'un mélange avec du lait de chèvre.

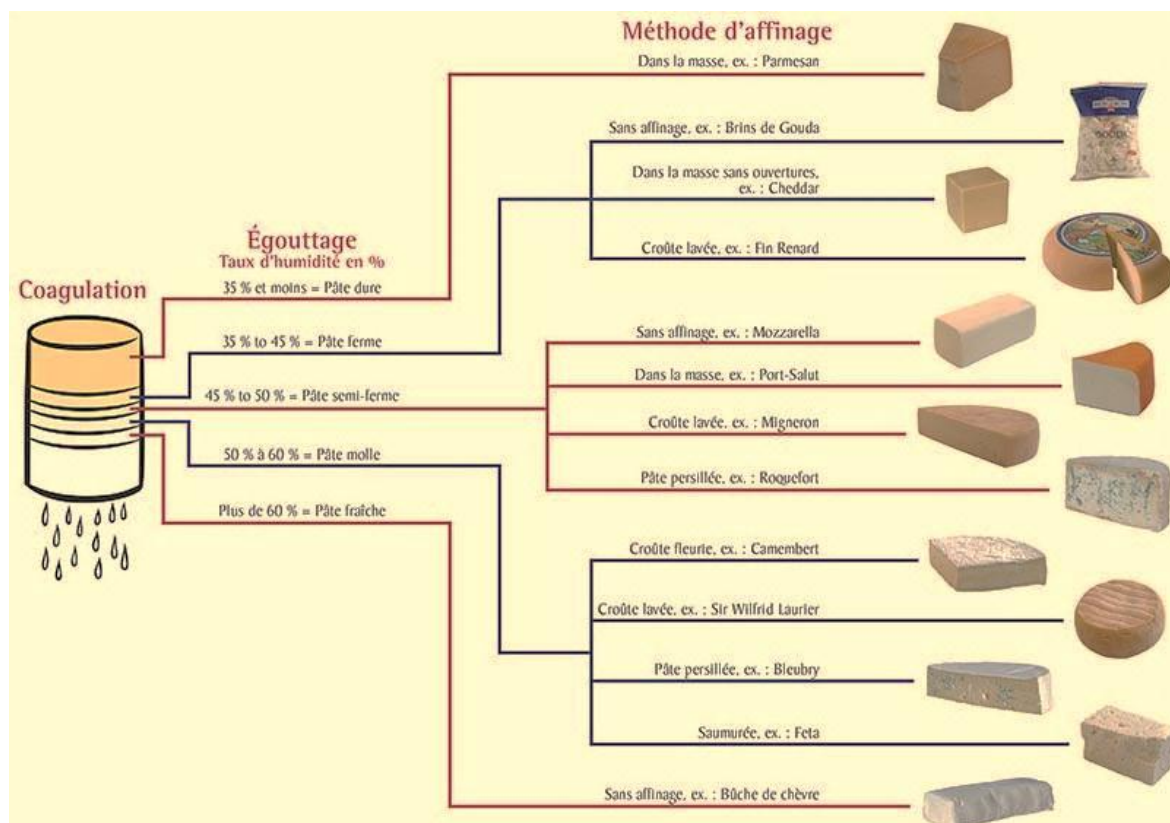
Les différentes technologies décrites permettent d'aboutir à une grande diversité de fromages. Pendant longtemps, l'homme a cherché à disposer de ressources alimentaires régulières afin de prolonger la durée de vie de ses aliments et obtenir un report sur des périodes plus ou moins longues. Située dans ce contexte, la fabrication du fromage correspond à un procédé particulier de conservation du lait qui repose sur deux principes :

- abaissement de l'activité de l'eau par concentration partielle de la matière sèche ;
- abaissement du pH du milieu par acidification qui inhibe le développement des bactéries d'altération et réduit les activités enzymatiques indésirables.

### **6-5-9-Succédanés de fromage**

Sont des simili-fromages parfois composés d'un seul constituant du lait, soit la caséine, auquel on ajoute des émulsifiants (phosphate disodique, citrate de sodium), des arômes et des colorants artificiels. On incorpore aussi certains ingrédients naturels (soya, maïs) auxquels on fait subir des transformations à leur structure moléculaire.

L'ensemble des fromages obéit à des étapes de fabrication synthétisées dans la figure 8



**Figure 8 :** Illustration de quelques types de fromages

En effet, après coagulation du lait, l'état de ses constituants changent, adoptent de nouvelles dispositions et se répartissent dans la masse fromagère avec de nouvelles proportions comme le montre le tableau 1.



**Tableau 1** : Répartition des constituants du lait après coagulation dans le fromage

	LAIT	FROMAGES
EAU	Environ 87%	- Éliminée en partie par la fabrication. Teneur en eau varie de : 35 % (pâte cuite dure), 50 % (pâte molle), 80 % (Fromage frais)
GLUCIDES	- Lactose 5 % Les ferments lactiques transforment le lactose en acide lactique, ce sucre peut être également transformé en alcool.	- Pratiquement éliminé avec l'eau par la fabrication.
LIPIDES	- Environ 4 % * Sous forme de globules gras très petit en émulsion dans le liquide ; • Ce sont en majeure partie des triacylglycérols (beaucoup d'oléine) avec un peu de lécithines.	- Se retrouvent dans la majorité des fromages sauf dans les fromages « maigres » : 23 % fromages à pâte molle, 30 % fromages à pâte dure.
PROTEINES	- Environ 3,5 %. Les plus importantes en quantités sont les caséines : 3 % Les protéines du sérum sont aussi d'un apport non négligeable.	- La caséine coagulant avec la présure, est l'élément essentiel de tout les fromages (même maigre) : 18 % fromages à pâte molle, 19 % fromages blancs au lait écrémé, 24 % fromages à pâte ferme.
MINÉRAUX	- Très intéressante valeur minérale car très riche en calcium et en phosphore. Le calcium étant plus abondant que le phosphore, le rapport $Ca / p = 1,39$ donc le lait est recalcifiant. - Contient aussi potassium et chlorure de sodium : - Pas de fer.	- Grande richesse en calcium et en phosphore, surtout dans les fromages à pâte ferme rapport $Ca / p = 1,26$ en moyenne, donc aliment recalcifiant ; - Plus au moins riches en chlorures de sodium selon leur fabrication (adjonction de sel, pâte lavée à l'eau salée, etc...)
VITAMINES	- B <sub>1</sub> en petite quantité - B <sub>2</sub> assez importante. - C en quantité variable dans le lait frais, mais pratiquement détruite au contact de l'air durant les manipulations et le transport et par la pasteurisation et l'ébullition. - A en quantité importante dans la matière grasse, donc absente dans les laits écrémés. - D en quantité variable selon la saison.	- Les fromages fermentés à pâte molle, notamment les fromages bleus, sont de bonnes sources de vitamines B, du fait des synthèses réalisées par les moisissures. - Se retrouve dans le fromage selon la teneur en matières grasses

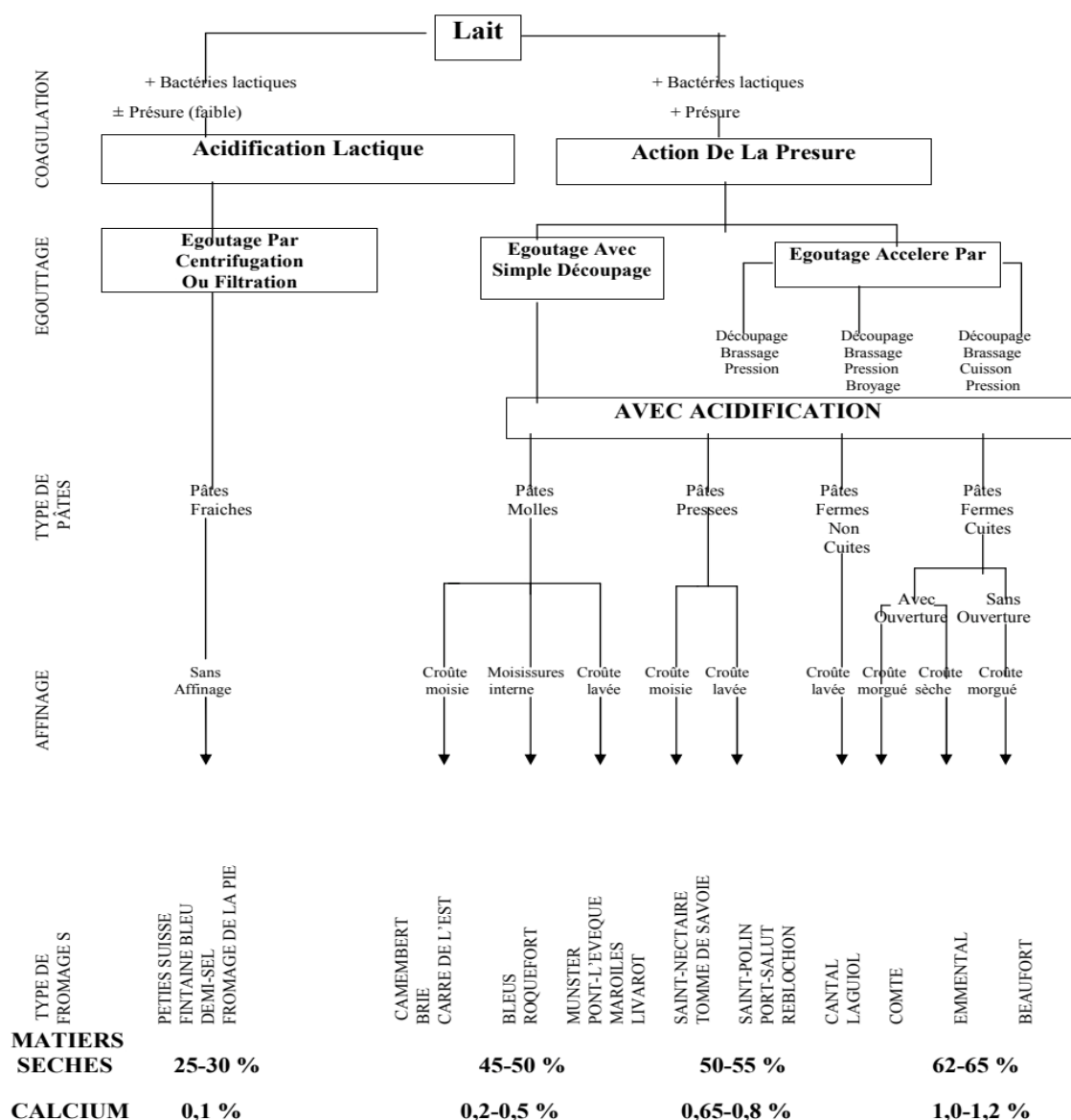
Les constituants du lait sont répartis de manière différente dans la masse fromagère. Cette répartition diffère en quantité pour chaque élément constitutif du lait, comme il est présenté dans le tableau 1

D'autre part, le fromage obéit à une classification officielle dictée par les normes la norme CODEX STAN A-6 (1978) indiquée en tableau 2

**Tableau 2 : Classification des fromages selon la norme CODEX STAN A-6 (1978).**

Formule I		Formule II		Formule III
TEDF (%)	Le présent élément de la dénomination sera	MGES (%)	Le second élément de la dénomination sera	Dénomination d'après les principales caractéristiques d'affinage
< 51 49-56	Pâte extra dure Pâte dure	> 60 45-60	Extra gras Tout gras	Affiné principalement en surface principalement dans la masse Affiné aux moisissures principalement en surface principalement dans la masse
54-63 61-69	Pâte demi-dure Pâte demi-molle	25-45 10-25	Mi-gras Quart-gras	
< 67	Pâte molle	<10	Maigre	

En résumé, la figure 9 représente un schéma récapitulatif de la classification didactique des fromages avec leurs principaux modes de fabrication.



**Figure 9 : Classification didactique des fromages.**

La figure 10 illustre les principaux fromages de France : Couleur forme et noms.



**Figure 10** : Principaux fromages de France

## 6-6-Micro-organismes dans le domaine fromager

Dans le domaine de la fabrication fromagère, de multiples microorganismes utiles sont impliqués comme les bactéries, les moisissures, les levures.

### 6-6-1-Bactéries

Les bactéries lactiques : Ce sont des bactéries produisant de l'acide lactique par fermentation des glucides simples (fermentation lactique). Elles ont pour rôles essentiels d'acidifier le lait et le caillé, de participer à la formation du goût (protéolyse, production d'arômes), de la texture et de l'ouverture des produits laitiers. Ces bactéries sont maintenant largement utilisées sous formes de levains sélectionnés.

Les bactéries propioniques. Ce sont des bactéries fermentant les lactates pour donner de l'acide acétique et propionique, ainsi que du  $\text{CO}_2$  (fermentation propionique). Ils participent à la formation du goût et de l'ouverture des fromages à pâte pressée cuite (Emmental, Comté, Gruyère).

Les microcoques, les staphylocoques non pathogènes interviennent à la formation du goût des fromages, notamment des fromages à croûte lavée, fleurie ou croûte mixte (Munster, Camembert, Pont l'Evêque, etc.). *Ce sont* des bactéries constituant de la flore de surface des fromages affinés. Ils jouent un rôle essentiel dans l'affinage du fromage.

### 6-6-2-Levures

Les levures sont retrouvées de manière plus importante (en moyenne 100 fois plus) à la surface des fromages (à pâte molle notamment) qu'à l'intérieur. Elles interviennent dans la désacidification de la pâte en début d'affinage, permettant ainsi l'implantation ultérieure d'une flore acide et interviennent également dans la formation du goût.

### 6-6-3-Moisissures

*Penicillium Camemberti*, *Penicillium Roqueforti*, *Mucor*, etc.

- ✓ *Penicillium Camemberti* est présent à la surface des fromages à pâte molle à croûte fleurie comme le Camembert ou les fromages de chèvre.
- ✓ *Penicillium Roqueforti* ou *Penicillium candidum* est la moisissure interne des bleus comme le Bleu d'Auvergne (lait de vache) ou le Roquefort (lait de brebis).
- ✓ *Mucor* est la moisissure dominante à la surface de la Tomme de Savoie et est présente également à la surface du Saint Nectaire fermier. Par leurs aptitudes biochimiques, les moisissures jouent un rôle déterminant dans la formation des caractéristiques sensorielles des fromages.

### 6-6-4- Flore d'altération de fromages

Du fait même de leur composition et des conditions de production, le lait et les produits laitiers peuvent être contaminés par des micro-organismes qui, en se multipliant dans le milieu, provoquent des transformations nuisibles à la qualité des produits par dégradation de leurs constituants (protéines, lipides, lactose) et libération en leur sein de composés indésirables. Ces dégradations peuvent être dues à des bactéries, levures et moisissures et se traduisent par des défauts de goût, d'odeur, d'aspect et de texture.

Les bactéries coliformes peuvent être responsables de gonflements précoces dans les fromages, conduisant notamment en pâte molle, à des accidents spectaculaires (fromage à aspect spongieux). Ce gonflement est dû principalement à la formation d'hydrogène très peu soluble dans le fromage. Lors de leur développement dans le lait et les produits laitiers, ces enzymes peuvent provoquer des défauts de goût dans les fromages (goût de rance, amertume). Les levures et moisissures se manifestent dans le fromage. Ainsi, *Mucor* est responsable de l'accident dit « poil de chat » principalement en fromage à pâte molle, se caractérisant par un défaut d'aspect des fromages, et par l'apparition de mauvais goûts. De même, *Geotrichum candidum* peut devenir un agent d'altération (défaut de texture et de goût) en technologie pâte

molle s'il est amené à trop se développer (accident de la « graisse » ou de la « peau de crapaud »).

Il est à noter que le regroupement des microorganismes en flore utile ou flore d'altération est à nuancer en fonction des technologies considérées. Par exemple, le *Mucor* est utile en Tomme de Savoie, mais nuisible en Camembert (accident du « poil de chat »).

Le maintien des productions au lait cru dans les années à venir ne sera possible que si nous réussissons à préserver les flores d'intérêt technologique tout en éliminant les flores pathogènes. Les mesures à mettre en place pour y parvenir doivent s'appuyer sur des données scientifiques concernant l'incidence des facteurs amont (production et traite des animaux), sur les équilibres microbiens du lait et la compréhension des dynamiques microbiennes en cours d'affinage du fromage.

La préservation *in situ* de la diversité microbienne tout au long de la chaîne de production permet de maintenir une biodiversité microbienne qui garantit la richesse et la diversité sensorielles des fromages traditionnels au lait cru. Elle doit s'appuyer sur une démarche rationnelle pour la mise en place des pratiques de production et de transformation du lait visant à favoriser les flores d'intérêt au détriment des flores pathogènes.

## 6-7- Expression du rendement en fromagerie

### 6-7-1- Expression du rendement sur base humide

Le rendement fromager ou le rendement de transformation du lait en fromage est l'expression mathématique de la quantité de fromage obtenu à partir d'une quantité donnée de lait.

$$\text{Rendement sur base humide} = \frac{\text{Quantité du caillé frais}}{\text{Quantité du lait}} \times 100$$

### 6-7-2- Expression du rendement sur base sèche

Pour cette expression, on établit le « bilan extrait sec » de la fabrication à partir de 100 kg de lait qui se transforment en X kg de caillé et (X- 100 kg) kg de sérum (s'il n'y a pas de perte). On admet généralement 1% de perte. On peut donc écrire :

$$100 \text{ kg} \times \text{ES lait} = X \times \text{ES caillé} + (100 - X) \times \text{ES Sérum}$$

On obtient en résolvant l'équation

$$\text{Rendement sur base sèche} = \frac{100 (\text{ES lait} - \text{ES sérum})}{\text{ES caillé} - \text{ES sérum}}$$

La connaissance du rendement nécessite donc la mesure de trois paramètres :

- ES lait (extrait sec du lait), en grammes pour un kilogramme
- ES caillé (extrait sec du caillé), en grammes pour un kilogramme
- ES sérum (extrait du sérum), n grammes pour un kilogramme

La difficulté se situe au niveau de la mesure de l'extrait sec du caillé, car il est difficile d'obtenir une stabilité parfaite de ce paramètre dans le temps, au cours du processus de fabrication. Ces difficultés sont d'ailleurs en cours de résolution par la mise en place d'une régulation automatique de l'extrait sec du caillé reposant sur la relation existante entre la viscosité apparente du caillé et son extrait sec.

## **6-8- Matériel de fromagerie**

Le matériel de fromagerie a constamment évolué à travers les époques. Les outils traditionnels ont également un intérêt technologique, en dehors de leur valeur historique et affective. Le matériel (figure 11) de fromagerie est un élément clé de la production. Chaque région a développé un matériel et un outillage spécifique au fromage fabriqué.

### **6-8-1-Gerle en bois dans la fromagerie**

La gerle en bois n'a pas qu'une portée symbolique. Elle favorise la richesse sensorielle des fromages et permet de conserver la notion de terroir et de diversité. La gerle en bois joue un rôle important dans la croissance de la flore et des micro-organismes, ce qui est difficile avec l'usage de matériel inox. Au début de la saison (estives), la gerle en bois estensemencée en la plongeant trois semaines dans le lactosérum qui est renouvelé tous les jours. Une espèce de film microbien s'installe sur le bois et restitue à chaque fabrication une partie de la flore du lait.

### **6-8-2-Cuve en cuivre dans la fromagerie**

Très utilisée dans la production des pâtes cuites, type Beaufort, Comté ou Gruyère, le cuivre est un excellent conducteur thermique qui permet une bonne répartition de la chaleur. Le matériel de fromagerie en inox donne de moins bons résultats. Le cuivre favorise également des échanges ioniques avec le lait, gage de qualité. En effet, les ions cuivre passent dans le lait et font office d'activateurs ou d'inhibiteurs au cours de la fermentation, améliorant le goût des fromages. La saveur des fromages fabriqués dans des cuves en cuivre est meilleure que dans les cuves en inox car le cuivre provoque des réactions enzymatiques avec le lait.

### **6-8-3-Moule dans la fromagerie**

Le moule doit s'adapter à la fabrication, au volume du caillé et à la capacité d'égouttage. Le moule est un matériel qui permet d'obtenir la forme et le poids souhaité pour le fromage. Il existe deux grandes familles de moules : celle des pâtes molles et celle des pâtes pressées. En pâte molle, on utilise un ensemble de moulage composé du plateau, du store, du bloc-moule et de la rehausse. En pâtes pressées, le matériel utilisé en fromagerie se limite à des moules individuels ou des blocs-moules micro-perforés. Les matériaux traditionnels en bois et en aluminium sont compliqués à nettoyer et ont quasiment disparu.

### **6-8-4-Louche dans la fromagerie**

Dans certains cas, le bon matériel de fromagerie commence simplement avec la louche, dont l'usage pour le moulage préserve le caillé. En effet, la louche est un matériel qui évite de casser le caillé et permet donc de réaliser un égouttage lent pour obtenir une texture souple. Certains fromages doivent avoir une pâte souple et donc éviter le caillé pré-égoutté ou brisé par un outillage inadapté.

### **6-8-5-Pelle dans la fromagerie**

L'usage de la pelle est un matériel de fromagerie obligatoire pour la fabrication du Brie de Meaux. La pelle à Brie permet de trancher le caillé horizontalement et de déposer délicatement le caillé par fines couches successives dans le moule. L'usage manuel de ce matériel a une incidence sur la texture du fromage. Comme pour la louche, il s'agit de ne pas briser le caillé afin d'éviter le pré-égouttage qui donne un fromage plus sec.

### **6-8-6-Planches d'affinage en bois en fromagerie**

De nombreuses études ont confirmé qu'une flore microbienne présente sur les planches d'affinage en bois limite la croissance de *Listeria*. Le bois est utilisé dans les caves d'affinage de nombreuses filières fromagères comme le Reblochon, le Comté, le Munster, l'Ossau Iraty. C'est un matériel traditionnel qui participe à la typicité des fromages. Le bois permet même d'éliminer les microbes pathogènes : il immunise en quelque sorte le fromage. Par ailleurs, le bois joue aussi un rôle en terme de régulateur hydrique car il absorbe et restitue constamment l'humidité.

### **6-8-7-Toile de soutirage du caillé en fromagerie**

Le matériel d'une fromagerie inclue souvent une toile pour remplir trois fonctions : permettre l'égouttage du caillé pendant le pressage en facilitant le drainage, protéger le fromage en évitant

le dessèchement et enfin créer une empreinte de croûtage qui favorise l'implantation de la morge en début d'affinage.

Nous rappelons que la morge est la solution de frottage à base de saumure utilisée en cave au cours de l'affinage dans le but d'apporter une certaine quantité de sel, pour obtenir un taux de sel final sur le fromage affiné variable selon la fabrication, et ensemercer les fromages en blanc avec des bactéries d'affinage qui vont permettre d'obtenir une « croûte » caractéristique à chaque fromage.

Cette croûte peut être dure en brun-fauve sur les fromages à pâte pressée cuite ou les fromages à pâte pressée non cuite. Elle est souple et un peu collante sur les fromages à pâte molle à croûte lavée. Au cours de cette maturation plus ou moins longue, le fromage fait l'objet de soins attentifs favorisant le développement organoleptique qui s'opère naturellement au fil du temps. La morge est responsable de l'affinage des fromages et ses proportions en sel et en ferments d'affinage influencent directement le goût, l'aspect et la texture du produit final.

La figure 11 illustre les différents matériaux utilisés dans la fabrication de fromage



Cuve en cuivre



Moules et louche



Gerle en bois



Pelles pleine

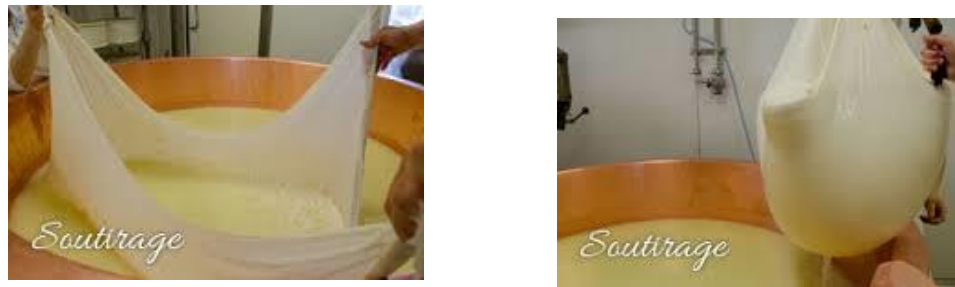


Pelle perforée



Planches d'affinage en bois





Toile de soutirage du caillé

**Figure 11 :** Illustration du matériel de fromagerie

### **6-9- Réglementation du matériel de fromagerie.**

Il n'existe pas de matériaux prescrits pour la fabrication de fromage. C'est la réglementation générale sur les matériaux aptes au contact alimentaire qui s'applique, avec une particularité, la possibilité de demander une dérogation pour les matériaux traditionnels comme le bois. Longtemps en bois, le matériel de fromagerie a connu l'époque des instruments en aluminium, un matériau qui se travaille facilement et qui est bon marché. Il a quasiment disparu car les détergents l'abîment et parce qu'il perd des particules dans le lait. Seuls les bidons de lait sont encore en aluminium, car l'inox est fragile et que le plastique pose des problèmes bactériologiques à cause de sa porosité.

# **Chapitre 7**

## **Desserts lactés**

Les desserts lactés commencent leur cycle de fabrication par la collecte et le traitement du lait. Celui-ci, collecté dans des fermes laitières, est acheminé vers des laiteries pour être stocker. Puis ce lait est analysé pour vérifier sa qualité et est traité par pasteurisation (72°C pendant 15 secondes) ou stérilisé UHT (à ultra haute température (140°C pendant 2 secondes).



Figure 1 : Principaux desserts lactés

1. Mousse au chocolat, 2. Flan au caramel, 3. Ile flottante, 4. Crème au riz, 5. Crème aux œufs.

Les desserts lactés sont composés à 50% minimum de lait, toutefois dans la plupart d'entre eux le pourcentage de lait s'élève à 75%. Ces desserts peuvent être fabriqués à partir de différents types de lait, entier, demi-écrémé, écrémé (dessert plus légers), lait en poudre également, ou encore lait concentré ou protéines de lait existants sous différentes formes. Etre sucrés ou parfumés. Ils ne contiennent généralement pas de ferments lactiques, car la préparation est souvent cuite, ce qui détruit ainsi tout ferment encore présent.

### 7-1-Catégories des desserts lactés

Il existe 14 catégories de desserts lactés :

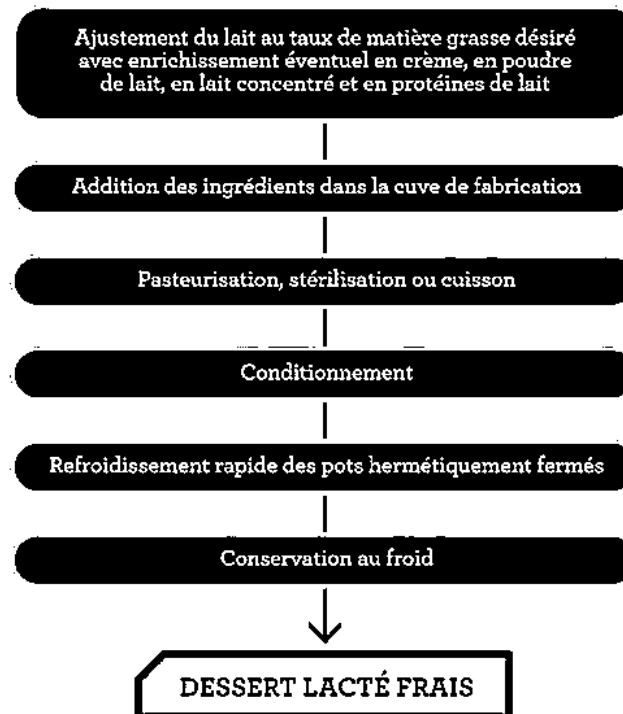
1. **Laits emprésurés aromatisés** : ils sont composés de lait caillé aromatisé, faiblement acide. Ils contiennent parfois des ferments lactiques.
2. **Laits gélifiés aromatisés** : ils sont composés de lait, de sucre ou de matières sucrantes, d'arômes, et éventuellement de colorants, de gélifiants ou d'épaississants (dans la limite de 2% en poids de produit fini).

3. **Laits gélifiés avec crème fouettée** : ils sont faits de lait gélifié recouvert d'une crème foisonnée (technique permettant de rendre la crème mousseuse), et incluent des matières sucrantes, des arômes, des gélifiants ou des épaississants.
4. **Crèmes dessert** : à base de lait additionné ou non de crème, elles contiennent des matières sucrantes, des arômes, des gélifiants, des épaississants. Elles peuvent être fraîches (auquel cas on les trouve au rayon froid) ou appertisées, en boîtes de conserve au rayon épicerie.
5. **Mousses et assimilés** : desserts frais et foisonnés contenant, outre le lait, des matières sucrantes, des matières aromatisantes, des gélifiants, des agents de foisonnement et des épaississants, éventuellement des œufs et de la crème.
6. **Crèmes brûlées** : elles intègrent de la crème (à 30% de matière grasse au minimum), des œufs (10% minimum pour les desserts « traditionnels ») et des matières sucrantes. La cuisson au four est obligatoire. Aucun gélifiant n'est autorisé.
7. **Iles flottantes** : elles contiennent des blancs d'œufs battus en neige (au minimum 10% pour les produits « traditionnels ») et de la crème anglaise élaborée avec au minimum 7% de jaunes d'œufs. Elles sont cuites au four ou au bain-marie.
8. **Gâteaux de riz** : les composants « clé » en sont le lait, le riz (pas moins de 10% pour les desserts lactés « traditionnels » et 5% pour les autres) et les œufs (5% minimum). Le riz doit être cuit dans le lait pour que le gâteau de riz puisse être de qualité traditionnelle.
9. **Gâteaux de semoule** : ils doivent répondre aux mêmes critères que les gâteaux de riz mais avec la semoule pour céréale principale. Le pourcentage de semoule est de 7% minimum pour les produits « traditionnels » et 5% pour les autres.
10. **Œufs au lait** : les œufs doivent y être présents dans une proportion de 15% minimum pour les desserts « traditionnels ». La cuisson se fait au four et les gélifiants sont proscrits.
11. **Flans aux œufs** : comme pour les œufs au lait, le lait est majoritaire (toujours 50% minimum) et les œufs présents à hauteur de 5% minimum.
12. **Crèmes caramels** : les œufs entrent pour un minimum de 15% (desserts « traditionnels ») ou 5% (desserts courants) dans leur composition. La crème y est présente à 3% minimum pour les produits traditionnels. Le caramel dépasse les 6% pour les produits traditionnels qui requièrent par ailleurs une cuisson au four (5% pour les autres).

13. **Riz au lait** : le riz entre pour 8% dans la composition des desserts lactés « traditionnels » (5% pour les autres) et doit être cuit dans le lait pour que le riz au lait puisse être qualifié de traditionnel.

14. **Crèmes aux œufs** : elles doivent contenir plus de 15% de crème et 10% d'œufs pour les produits « traditionnels ».

La fabrication des différentes crèmes dessert obéissent généralement au diagramme suivant :



**Figure 1** : Principales étapes de fabrication des crèmes dessert

## 7-2-Crèmes dessert et gélifiants

Les principales crèmes dessert qui utilisent des gélifiants dans leur préparation sont :

1. **Panna cotta** : Une crème dessert italienne traditionnelle à base de crème, de sucre et de gélatine. L'agar-agar peut également être utilisé à la place de la gélatine.
2. **Crème brûlée** : Une crème anglaise cuite, généralement gélifiée à l'aide d'œufs et cuite au four. La gélatine peut également être ajoutée pour une texture plus ferme.
3. **Flan** : Un dessert à base de lait, d'œufs et de sucre, qui est souvent gélifié à l'aide d'œufs et de chaleur. Certains flans peuvent également contenir de l'agar-agar ou d'autres gélifiants.

4. **Crème catalane** : Un dessert espagnol similaire à la crème brûlée, gélifié à l'aide d'œufs et parfois d'amidon.
5. **Crème renversée** : Une crème dessert cuite qui contient généralement des œufs pour la gélification.
6. **Mousse au chocolat** : Une mousse légère à base de chocolat, d'œufs et de crème, souvent gélifiée avec de la gélatine pour maintenir la structure de la mousse.
7. **Bavarois** : Un dessert composé d'une base de crème anglaise gélifiée, mélangée à de la crème fouettée et d'autres ingrédients, puis prise au froid.
8. **Crème pâtissière** : Une crème à base de lait, d'œufs, de sucre et d'amidon, utilisée comme garniture dans de nombreux desserts, et gélifiée grâce à l'amidon.
9. **Desserts à base de yaourt** : Certains desserts à base de yaourt, comme le "yogurt panna cotta", utilisent des gélifiants tels que l'agar-agar pour épaissir le mélange.
10. **Desserts végétaliens** : Les desserts végétaliens peuvent utiliser des gélifiants végétaux comme l'agar-agar ou les gommes de guar/xanthane pour obtenir des textures similaires sans ingrédients d'origine animale.

### 7-3-Crèmes dessert et émulsifiants

Les émulsifiants sont souvent utilisés dans divers desserts pour maintenir une texture homogène et empêcher la séparation des ingrédients à base d'eau et d'huile. Les principales crèmes qui utilisent des émulsifiants sont :

1. **Crèmes glacées** : Les émulsifiants sont fréquemment utilisés dans les crèmes glacées pour empêcher la formation de cristaux de glace et pour obtenir une texture lisse et crémeuse.
2. **Mousses au chocolat** : Les émulsifiants aident à maintenir une texture légère et mousseuse dans les mousses au chocolat.
3. **Crèmes fouettées** : Les émulsifiants peuvent être ajoutés aux crèmes fouettées pour améliorer la stabilité et la texture.
4. **Crèmes dessert aromatisées au café ou au thé** : Les émulsifiants peuvent être utilisés pour maintenir une texture homogène dans les crèmes dessert aromatisées au café ou au thé.
5. **Crèmes dessert à base de fruits** : Les émulsifiants peuvent être ajoutés aux crèmes dessert à base de fruits pour empêcher la séparation des ingrédients.

6. **Desserts à base de yaourt** : Les émulsifiants peuvent être utilisés pour maintenir une texture homogène dans les desserts à base de yaourt.
7. **Desserts sans produits laitiers** : Les émulsifiants sont souvent utilisés dans les crèmes desserts sans produits laitiers, comme les desserts à base de lait végétal, pour maintenir une texture similaire à celle des produits laitiers.
8. **Desserts à base de noix** : Les émulsifiants peuvent être ajoutés aux desserts à base de noix pour empêcher la séparation de l'huile de noix.
9. **Desserts à base de chocolat** : Les émulsifiants peuvent être utilisés pour stabiliser la texture et l'homogénéité des desserts à base de chocolat.

Les émulsifiants sont souvent utilisés en petites quantités et peuvent ne pas toujours être énumérés explicitement dans la liste des ingrédients. Ils sont ajoutés pour améliorer la qualité et la stabilité des produits finaux.

#### 7-4-Gélifiants et épaississants utilisés dans les crèmes dessert

Les crèmes dessert peuvent utiliser différents types de gélifiants pour obtenir leur texture caractéristique. Voici quelques-uns des gélifiants couramment utilisés dans les crèmes dessert

1. **Gélatine** : La gélatine est souvent utilisée dans les crèmes dessert pour créer une texture lisse et légèrement gélifiée. Elle peut être fondue et incorporée à la base de la crème avant qu'elle ne refroidisse et prenne sa consistance.
2. **Amidon** : Les amidons tels que la fécule de maïs ou la poudre de tapioca sont parfois utilisés pour épaissir les crèmes dessert. Ils peuvent être cuits avec les autres ingrédients pour former une liaison et épaissir la crème au refroidissement.
3. **Pectine** : La pectine, un gélifiant naturel présent dans les fruits, peut également être utilisée pour épaissir les crèmes dessert tout en leur donnant une texture lisse.
4. **Agar-agar** : L'agar-agar est un gélifiant végétal qui peut être utilisé dans les crèmes dessert pour créer une texture plus ferme et plus gélatineuse.
5. **Carraghénane** : Le carraghénane est un gélifiant extrait d'algues qui peut être utilisé pour améliorer la stabilité et la texture des crèmes dessert.
6. **Gomme de guar et gomme de xanthane** : Ces gommes végétales peuvent être utilisées pour stabiliser et épaissir les crèmes dessert, en particulier dans les produits sans produits laitiers.
7. **Protéines modifiées** : Certaines protéines modifiées peuvent agir comme gélifiants dans les crèmes dessert, améliorant la texture et la stabilité.

Le choix du gélifiant dépendra des préférences du fabricant en termes de texture, de stabilité et d'autres propriétés souhaitées pour le produit final. Il est également possible d'utiliser des combinaisons de gélifiants pour obtenir des résultats spécifiques.

### 7-5-Emulsifiants utilisés dans les crèmes dessert

Les émulsifiants sont des ingrédients utilisés pour stabiliser les émulsions, qui sont des mélanges de substances généralement non miscibles, comme l'eau et l'huile. Dans le contexte des crèmes dessert, les émulsifiants sont souvent utilisés pour maintenir une texture lisse et crémeuse, en aidant à mélanger les ingrédients à base d'eau et d'huile. Voici quelques émulsifiants couramment utilisés dans les crèmes dessert :

1. **Lécithine** : La lécithine, généralement dérivée du soja, est un émulsifiant fréquemment utilisé dans les produits alimentaires. Elle aide à stabiliser les émulsions en réduisant la tension entre les ingrédients à base d'eau et d'huile, contribuant ainsi à obtenir une texture homogène dans les crèmes dessert.
2. **Mono- et diglycérides d'acides gras** : Ces émulsifiants sont souvent d'origine végétale (à partir d'huiles végétales) ou synthétique. Ils sont utilisés pour stabiliser les émulsions dans les produits laitiers, y compris les crèmes dessert.
3. **Stéaroyl lactylate** : Cet émulsifiant peut-être d'origine végétale ou synthétique. Il est utilisé pour améliorer la texture et la stabilité des produits laitiers, y compris les crèmes dessert.
4. **Polysorbate** : Les polysorbates, tels que le polysorbate 80, sont des émulsifiants solubles dans l'eau et l'huile. Ils sont utilisés pour stabiliser les émulsions et empêcher la séparation des ingrédients.
5. **Glycérol monostéarate** : Cet émulsifiant est dérivé d'acides gras et est souvent utilisé pour améliorer la texture et la stabilité des crèmes dessert.
6. **Carraghénane et gomme de caroube** : Bien que principalement des gélifiants, ces ingrédients peuvent également avoir des propriétés émulsifiantes, ce qui les rend utiles pour améliorer la texture et la stabilité des crèmes dessert.

### 7-6-Cas des mousses dessert

Le foisonnement dans les mousses alimentaires est un processus physique qui consiste à incorporer de l'air ou d'autres gaz dans une matière liquide ou semi-liquide pour créer une structure légère et aérée. Ce phénomène est couramment utilisé dans la préparation d'aliments



tels que les mousses, les mousselines, les émulsions, les crèmes fouettées, les blancs d'œufs battus en neige, etc. Il est essentiellement obtenu grâce à l'utilisation de bulles d'air qui s'accumulent dans la matière, créant ainsi une texture mousseuse.

### 7-6-1-Types de foisonnement

Le foisonnement peut être réalisé de différentes manières selon l'aliment :

1. **Mécanique** : Il s'agit de l'incorporation d'air par agitation mécanique. Par exemple, en fouettant vigoureusement une crème, une mousse ou un blanc d'œuf, l'air est piégé dans la matière, ce qui augmente son volume et crée une texture légère.
2. **Chimique** : Certaines recettes utilisent des agents chimiques comme la levure, le bicarbonate de soude ou la poudre à lever pour provoquer la libération de gaz, qui créent des bulles dans la préparation. Ces bulles d'air sont piégées dans la matière, augmentant ainsi son volume.
3. **Thermique** : Lors de la cuisson, l'eau ou les autres liquides dans la préparation peuvent se transformer en vapeur d'eau sous l'effet de la chaleur. La vapeur se coince dans la matière, créant des bulles d'air et augmentant le volume de l'aliment.
4. **Utilisation de gaz sous pression** : Dans certains cas, des gaz comme le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), également connu sous le nom de gaz hilarant, sont utilisés pour injecter directement des bulles d'air dans la matière, créant ainsi une mousse.

Le foisonnement est un processus délicat et il est souvent nécessaire de manipuler avec précaution la matière pour éviter de perdre l'air emprisonné et de maintenir la texture mousseuse. Certaines mousses, comme les mousses au chocolat, peuvent nécessiter une attention particulière pour maintenir leur légèreté jusqu'à la dégustation.

En résumé, le foisonnement dans les mousses alimentaires implique l'incorporation d'air ou de gaz dans une matière liquide ou semi-liquide, ce qui crée une texture légère et aérée dans le produit final

### 7-6-2-Etapes de fabrication de la mousse

1. **Ingrédients** : Les ingrédients de base, tels que le lait, la crème, le sucre, les arômes et autres ingrédients spécifiques au dessert lacté, sont rassemblés.
2. **Mélange** : Les ingrédients sont soigneusement mélangés dans des proportions appropriées pour former une préparation homogène.
3. **Incorporation d'émulsifiants** : Des émulsifiants peuvent être ajoutés à la préparation pour stabiliser la mousse et faciliter l'incorporation de l'air.

4. **Chauffage** : La préparation est chauffée à une température contrôlée pour favoriser la dissolution des ingrédients et améliorer la fluidité du mélange.
5. **Refroidissement** : Après le chauffage, la préparation est refroidie à une température adéquate pour faciliter le processus de foisonnement.
6. **Foisonnement** : De l'air est incorporé dans la préparation pour créer une texture mousseuse et légère. Cela peut être réalisé de différentes manières, comme le fouettage mécanique, l'injection d'air comprimé ou l'utilisation de gaz propulseurs.
7. **Refroidissement** : La mousse formée est ensuite refroidie pour stabiliser la structure et conserver sa légèreté.
8. **Conditionnement** : La mousse lactée est placée dans des contenants appropriés, tels que des pots, des coupes ou des pots en plastique.
9. **Emballage** : Les desserts lactés sont emballés dans des matériaux adaptés pour préserver leur fraîcheur et leur qualité.
10. **Stockage** : Les desserts lactés conditionnés sont stockés dans des entrepôts ou des réfrigérateurs à des températures contrôlées jusqu'à leur distribution.
11. **Distribution** : Les desserts lactés sont ensuite distribués aux points de vente, supermarchés ou directement aux consommateurs.

Ce schéma détaillé illustre le processus général de foisonnement dans les desserts lactés, mais il convient de noter que certaines étapes ou détails peuvent varier en fonction du type spécifique de dessert lacté et des techniques de fabrication utilisées par les fabricants.

## 7-7-Crèmes glacées

Une crème glacée est une glace alimentaire obtenue par la congélation d'un mélange foisonné de lait, de crème, de matières grasses, de sucre, d'arômes divers, et pouvant contenir d'autres ingrédients, notamment ceux qui sont utilisés en confiserie. Les étapes de la transformation de la crème glacée comprennent : mélange d'ingrédients, mélange pasteurisé, homogénéiser, vieillir le mélange, ajouter des colorants et des arômes liquides, congeler, ajouter des noix, des fruits et des arômes épais, emballer et surgelé.

### 7-7-1-Etapes de fabrication de crèmes glacées

**1. Mélange des ingrédients** : La matière grasse du lait, les solides non-gras, les stabilisants et les émulsifiants sont mélangés pour assurer un mélange complet des ingrédients liquides et secs.

**2. Pasteurisation du mélange :** Le mélange de crème glacée est pasteurisé à 68,3 °C pendant 30 minutes ou 79,4 °C pendant 25 secondes. Les conditions de pasteurisation du mélange de crème glacée sont supérieures à celles utilisées pour le lait de consommation en raison de l'augmentation de la viscosité due à la teneur plus élevée en matières grasses, en solides et en édulcorants et à l'ajout de jaunes d'œufs dans les produits de crème pâtissière.

**3. Homogénéisation :** Le mélange de crème glacée est homogénéisé (2500 à 3000 psi) afin de diminuer la taille des granules de gras du lait pour former une meilleure émulsion et contribuer à une crème glacée plus lisse et plus crémeuse. L'homogénéisation garantit également que les émulsifiants et les stabilisants sont bien mélangés et répartis uniformément dans le mélange de crème glacée avant qu'il ne soit congelé.

**4. Vieillessement du mélange :** Le mélange à crème glacée est vieilli à 5 °C pendant au moins 4 heures ou toute la nuit. Le vieillissement du mélange le refroidit avant la congélation, permet à la matière grasse du lait de se cristalliser partiellement et donne aux stabilisateurs de protéines le temps de s'hydrater. Cela améliore les propriétés de brassage du mélange.

**5. Ajout des colorants et des arômes liquides :** Les colorants et les arômes liquides peuvent être ajoutés au mélange avant la congélation. Seuls les ingrédients liquides peuvent être ajoutés avant la congélation, afin de s'assurer que le mélange circule correctement à travers les machines de congélation.

**6. Congélation :** Le procédé consiste à congeler le mélange et à y incorporer de l'air. Le mélange de crème glacée peut être congelé en discontinu ou en continu et les conditions utilisées dépendront du type de congélateur. Les congélateurs par lots sont constitués d'un baril rotatif qui est habituellement rempli d'un tiers à la moitié d'un mélange de crème glacée. Au fur et à mesure que le baril tourne, l'air dans le baril est incorporé dans le mélange de crème glacée. Les congélateurs à crème glacée conçus pour un usage domestique sont des congélateurs par lots. Les congélateurs continus se composent d'un baril fixe qui a une lame à l'intérieur qui racle constamment la surface du baril de congélation. Le mélange de crème glacée est pompé d'un réservoir de vrac jusqu'au tonneau de congélation et l'air est incorporé avec une autre pompe juste avant qu'il n'entre dans le tonneau de congélation. Le processus de congélation en continu est beaucoup plus rapide que le processus de congélation par lots. L'ajout d'air est appelé débordement et contribue à la légèreté ou à la densité de la crème glacée. Jusqu'à 50 % du volume de la crème glacée finie (dépassement de 100 %) peut être de l'air qui est incorporé pendant la congélation. Le niveau de dépassement peut être réglé à volonté pour ajuster la densité du produit fini. Les crèmes glacées de qualité supérieure ont moins de débordement (environ 80 %) et sont plus denses que la crème glacée ordinaire. Au point de sortie du

congélateur (température d'étirage), seulement 50 % environ de l'eau contenue dans la crème glacée est congelée. C'est à ce stade du processus de congélation que la crème glacée molle est produite.

**7. Ajout des noix, des fruits et des arômes épais :** Les fruits, les tourbillons et tout type d'arômes épais (bonbons, noix, etc.) sont ajoutés à ce stade. Ces ingrédients ne peuvent pas être ajoutés avant la congélation ou ils pourraient nuire au bon déroulement du mélange dans le congélateur. La crème glacée à ce stade est molle et il est facile de mélanger les arômes épais pour qu'ils soient distribués uniformément dans toute la crème glacée. Le mélange des arômes épais après la congélation empêche également d'endommager les morceaux et leur permet de rester entiers ou en gros morceaux.

**8. Emballage :** Selon les besoins, en fonction du produit.

**9. Durcissement :** La glace est refroidie le plus rapidement possible jusqu'à une température de maintien inférieure à -25°C. Les températures et les temps de refroidissement dépendent du type de congélateur de stockage. Le refroidissement rapide favorisera la congélation rapide de l'eau et créera de petits cristaux de glace. L'entreposage à -25 °C aidera à stabiliser les cristaux de glace et à maintenir la qualité du produit. A cette température, il y a encore une petite portion d'eau liquide. Si toute l'eau présente dans la crème glacée était congelée, la crème glacée serait aussi dure qu'un cube de glace.

# **Chapitre 8**

## **Co-produits laitiers**

## 8-1- Différence entre co-produit et sous-produit

Un coproduit est une matière, intentionnelle et inévitable, créée au cours du même processus de fabrication et en même temps que le produit principal. Les coproduits peuvent être valorisés économiquement. En revanche, un sous-produit est un produit résidu sous forme de déchet qui apparaît durant la fabrication ou la distribution d'un produit fini.

## 8-2-Co-produits laitiers

Les co-produits laitiers sont le lactosérum obtenu après égouttage du caillé destiné à la fromagerie et le babeurre soutiré lors de la fabrication du beurre. Existe aussi, le lait écrémé et les caséines qui peuvent être utilisés à des fins non alimentaires.

### 8-2-1- Lait écrémé

Il est utilisé frais pour l'alimentation animale (porcs). Produit riche en protéines et sels minéraux, il est stocké en poudre pour l'alimentation humaine (de nombreux usages dans l'industrie alimentaire : pâtisserie, biscuiterie, fromagerie, charcuterie, etc.) ou l'alimentation animale.

### 8-2-2-Caséine

Elle est préparée industriellement à partir du lait écrémé par coagulation à la présure ou par des acides forts. On obtient un caillé particulier appelé « caillebotte ». Les caséinates et les caséines sont utilisées par les industries alimentaires, pour leurs propriétés texturantes, émulsifiantes, stabilisantes, et moussantes et par les industriels de la nutrition adulte pour leurs propriétés nutritionnelles et aussi fonctionnelles. D'autre part, les caséines sont aussi, utilisées pour la fabrication, de certains matériaux plastiques, du papier couché ou de textiles artificiels.

### 8-2-3-Babeurre (Butter-milk)

Il est de composition proche de celle du lait écrémé, sert à l'alimentation diététique ou à l'alimentation animale. Il est donc plus faible en matières grasses et en calories que le lait ordinaire. Il est riche en potassium, en vitamine B<sub>12</sub> et en calcium que le corps absorbe aisément car le babeurre se digère plus facilement que le lait. Cru, le babeurre se consomme comme boisson, soit nature, soit aromatisé (notamment avec de la grenadine). Le babeurre peut aussi être cuit, ce qui lui donne une consistance crémeuse ou pâteuse, selon le degré de cuisson. *Le babeurre est aussi le bâton qui sert à battre le beurre dans la baratte.*

### 8-2-3-1-Types de babeurre

Le terme babeurre est une définition globale et très flexible qui inclut un large éventail de produits laitiers avec différentes compositions selon la matière première, les conditions de prétraitement et le type de procédé de fabrication. La figure 14 présente la fabrication des cinq différents types de babeurre.

Toutefois, le nom babeurre se retrouve principalement associé à deux variantes : La première correspond au babeurre traditionnel autrement appelé *L'ben* traditionnel et la deuxième correspond au babeurre de culture aussi appelé *L'ben* industriel.

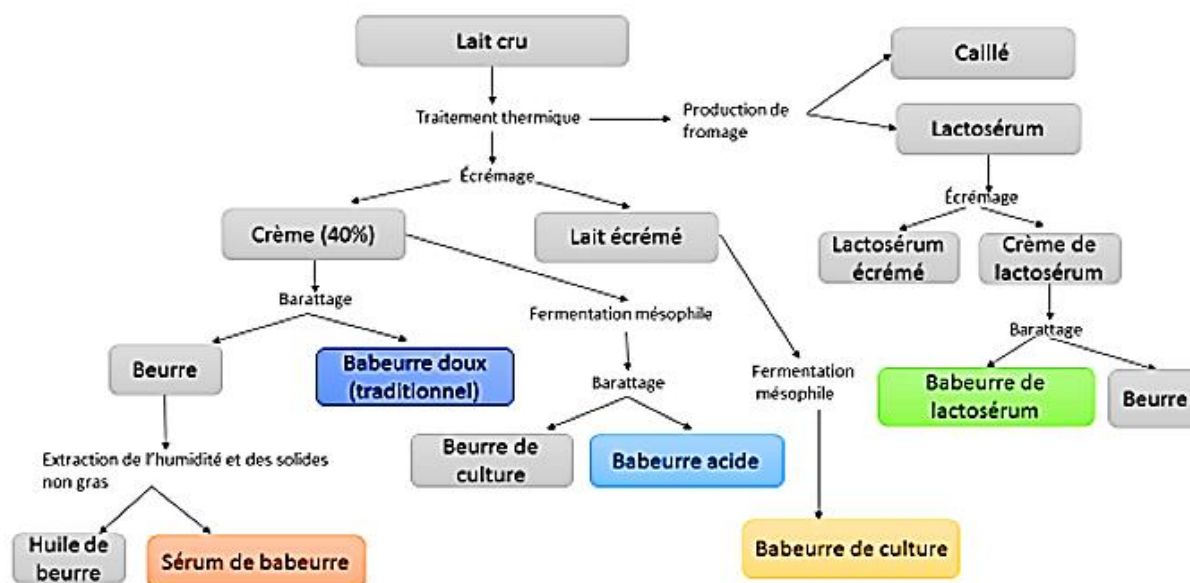
**A-Babeurre traditionnel** représente la phase aqueuse, presque exempte de matière grasse laitière, qui reste après la fabrication du beurre à partir de crème fermentée, ou non fermentée. Il existe deux types de babeurre traditionnel :

- ✓ **babeurre doux** : provient de la fabrication du beurre à partir de crème fraîche douce (la crème n'est pas acidifiée avant d'être transformée en beurre) ;
- ✓ **babeurre acide** : obtenu lors de la fabrication du beurre de culture. La crème subit alors une acidification par les lactobacilles, ce qui entraîne la formation d'un babeurre légèrement acidulé dont les propriétés fonctionnelles sont différentes du babeurre doux.

**B-Babeurre de culture** résulte de la fermentation du lait écrémé ou allégé, soit par acidification spontanée grâce à l'action de bactéries acidifiantes ou aromatisantes, ou bien par inoculation du lait par des cultures lactiques mésophiles. Quelques fois, des flocons de beurre y sont ajoutés pour que les caractéristiques organoleptiques du babeurre de culture se rapprochent de celles du babeurre traditionnel.

Deux autres produits laitiers, moins répandus, portent aussi le nom de babeurre, à savoir le babeurre de lactosérum et le sérum de babeurre. Le premier est issu indirectement de la fabrication du fromage. Le lactosérum, obtenu après la coagulation du lait est dégraissé et sa crème (crème de lactosérum) est par la suite utilisée pour la production de beurre. La phase aqueuse obtenue après le barattage de cette crème de lactosérum est appelée babeurre de lactosérum.

Enfin, le sérum de babeurre qui est le coproduit de fabrication de l'huile de beurre (99,6% de matière grasse). Le beurre produit par le barattage de la crème subit un traitement entraînant l'élimination quasi-totale de l'eau et des solides non gras. Ces deux fractions (eau et extrait sec non gras) constituent le sérum de babeurre. La figure 1 récapitule les modes d'obtention des différents babeurre.



**Figure 1 :** Schéma de fabrication de différents types de babeurre

### 8-2-3-2- Composition du babeurre

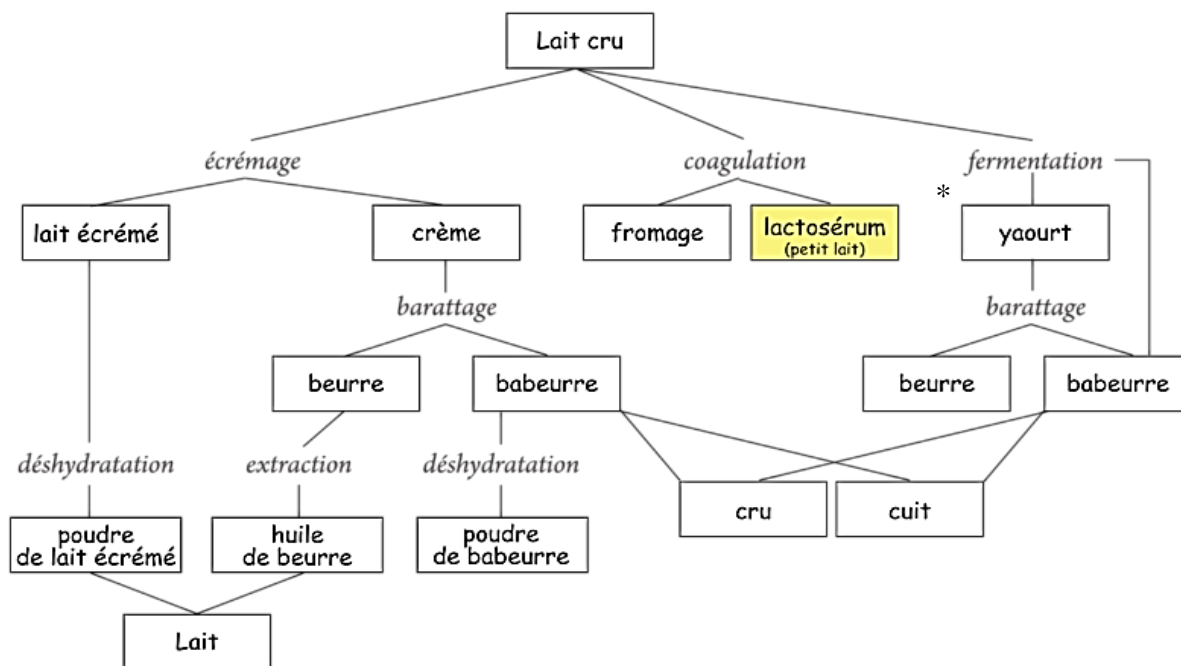
Le babeurre possède une composition similaire à celle du lait écrémé à l'exception du fait qu'il contient plus de matières grasses, soit environ 5,8 % comparativement à 0,8 %, lorsqu'exprimé sur base sèche. Avec une composition similaire au lait écrémé, ce co-produit est principalement constitué de composés hydrosolubles de la crème tels que les protéines laitières solubles, les minéraux et le lactose. Cependant, le babeurre diffère substantiellement du lait écrémé en raison de la présence de lipides polaires qui proviennent de la membrane du globule gras du lait (MGGL). Les constituants de cette dernière incluent diverses protéines membranaires, ainsi que des phospholipides possédant d'intéressantes propriétés nutraceutiques et fonctionnelles. Le tableau 1 présente la composition du babeurre en comparaison avec celle du lait écrémé.

**Tableau 1 :** Composition du babeurre en comparaison avec celle du lait écrémé

Composants	Babeurre	Lait écrémé
Solide totaux (%)	9,50 – 10,6	9,40
Protéines totales (%)	3,30-3,90	3,36
Lactose (%)	3,60 – 4,30	4,80
Lipides totaux (%)	0,30-0,70	0,07
Minéraux (%)	0,70-0,88	0,88



La figure 2 montre les différents produits laitiers provenant du babeurre tels que la poudre du babeurre, huile de babeurre et babeurre cru ou cuit.



**Figure 2** : Principaux produits issus du babeurre

#### 8-2-4- Lactosérum

Le lactosérum est le liquide obtenu après que le lait a été caillé et filtré. C'est un co-produit de la fabrication du fromage ou de la caséine. Il a plusieurs utilisations commerciales. Le lactosérum doux est un co-produit résultant de la fabrication de types de fromages à pâte dure à présure, comme le cheddar ou le permesan. Le lactosérum acide est un co-produit issu de la fabrication de produits laitiers de type acide, tels que les fromages frais.

##### 8-2-4-1-Composition

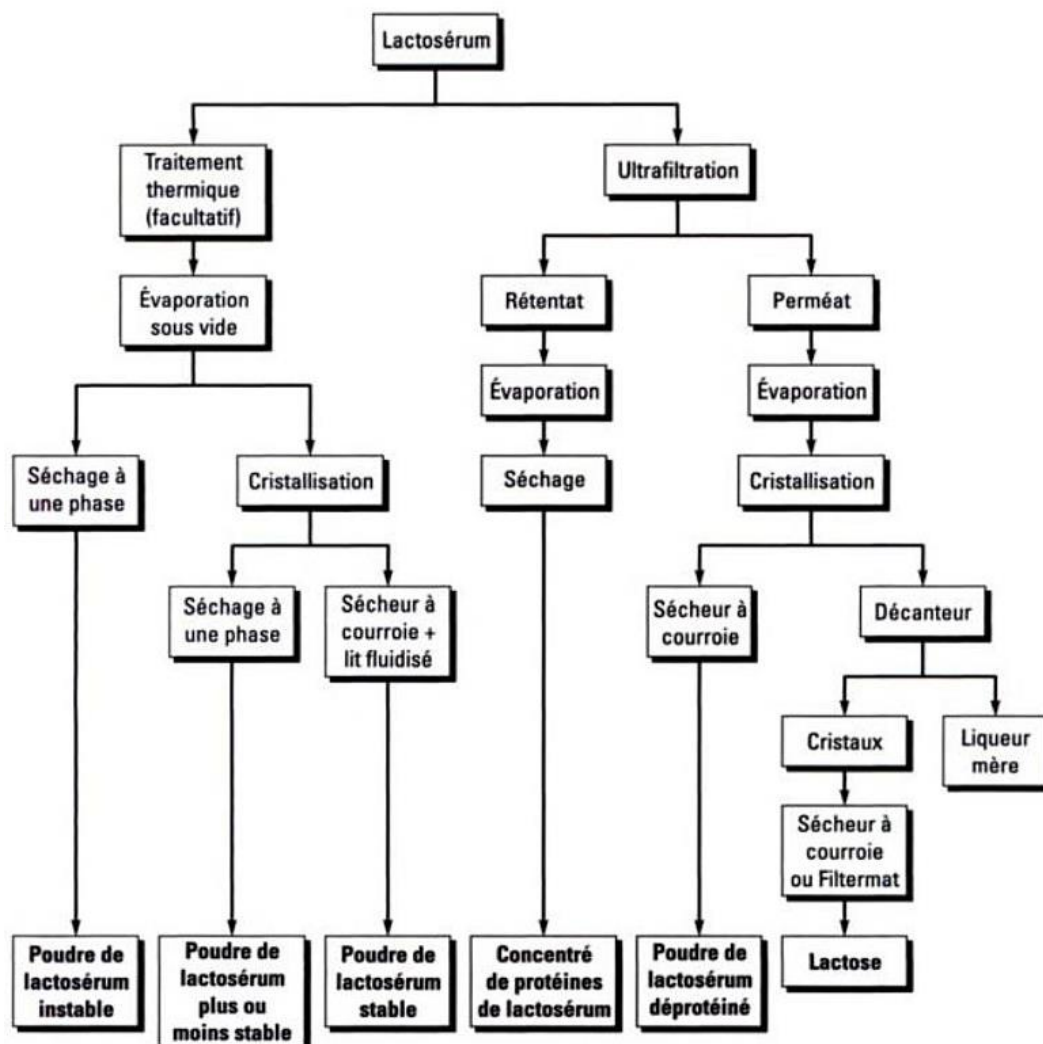
Le lactosérum doux et le lactosérum acide sont similaires dans l'analyse nutritionnelle brute. En masse, les deux contiennent 93 % d'eau, environ 0,8 % de protéines et environ 5,1 % de glucides. Le lactosérum doux contient environ 0,4 % de matières grasses tandis que le lactosérum aigre contient environ 0,1 % de matières grasses. Les glucides sont principalement du lactose. Les protéines de lactosérum sont constituées de  $\alpha$ -lactalbumine, de  $\beta$ -lactoglobuline, d'albumine sérique, d'immunoglobulines et de péptones. Le lactosérum contient également des minéraux.

\*) : En Inde, la fabrication du beurre commence d'abord par la fabrication d'un yaourt entier de manière traditionnelle, en faisant bouillir du lait, qui une fois tiède estensemencé avec les ferments adéquats, puis mis à refroidir pendant la nuit. Le lendemain, on ajoute de l'eau au yaourt (plus ou moins selon la température ambiante) et on le baratte pour en obtenir beurre et babeurre. Ensuite; on garde une petite quantité de ce dernier pour l'ensemencement du lait qui deviendra yaourt et beurre le jour suivant.

### 8-2-4-2-Utilisation

Il est utilisé, en nature ou en poudre, pour l'alimentation animale. On en extrait aussi du lactose, de l'acide lactique et de la riboflavine (vitamine B2). Il est particulièrement adapté à l'industrie alimentaire dans les boissons, boulangerie, pâtisserie et confiserie. Également dans la composition de divers produits diététiques ou de régime. La figure 2 présente certains produits issus du lactosérum. Pour récapituler, le lait peut être utilisé à plusieurs niveaux et ses sous produits sont également réutilisable comme nous l'avons vu précédemment.

Les différents procédés utilisés pour l'obtention de produits de lactosérum sont récapitulés dans la figure 3



**Figure 3 :** Récapitulatif des différents produits issus du lactosérum

## **Références consultées**

## Références consultées

### -A-

**AFNOR., (1993)** Contrôle de la qualité des produits alimentaires : lait et produits laitiers : analyses physico-chimiques. 4<sup>ème</sup> édition, France, Paris, 581p.

**AFNOR., (1980)** Recueil des normes françaises. Lait et produits laitiers, 286 p.

**ALAIS C., (1984)** Sciences du lait, principes des techniques laitières, 4<sup>ème</sup> édition, SEPAIC, 818 p.

### -B-

**BRITTEN, M., LAMOTHE, S., & ROBITAILLE, G. (2008)** Effect of cream treatment on phospholipids and protein recovery in butter making process., International Journal of Food Science and Technology, 43 (4), p. 651-657. doi : 10.1111/j.1365-2621.2007.01501.x

**BRULE G., LENOIR J. ET REMEUF F, (1997)** La micelle de caséine et la coagulation du lait. In : Les mécanismes généraux de la transformation du lait en fromage. Le fromage. Eck A. and Gillis J. C. 3<sup>ème</sup> Edition Tec et Doc Lavoisier. Paris: 7-41, 891 p.

**BYLUND G. (1995)** Dairy processing handbook-Tetra pak processing systems AB S-221 86 , Lund ,Sweden : 18, 23-381, 436 p.

### -C-

**CASTILLO M., PAYNE F.A., HICKS C.L. and LOPEZ M.B. (2000)** Predicting cutting and clotting time of coagulating goat's milk using diffuse reflectance : Effect of pH, temperature and enzyme concentration. International Dairy Journal, 10 : 551-562.

**CAYOT P. et LORIENT D. (1998)** Structures et technofonctions des protéines du lait. Arilait Recherches, Lavoisier Tec. et Doc. 363 p.

**CECCHINATO, A., PENASA, M., CIPOLAT GOTET, C., DE MARCHI, M., BITTANTE, G., (2012)** Short communication: Factors affecting coagulation properties of Mediterranean buffalo milk. J. Dairy Sci.; 95:1709-1713.

**CHANDAN R.C. (2011)** Nutritive and Health Attributes of Dairy Ingredients, in Dairy Ingredients for Food Processing, Wiley-Blackwell. p. 387-419.

**CHEFTEL J. C., CHEFTEL H. et BESANÇON P. (1992)** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments, Volume 2, Lavoisier, Tec. et Doc., 7<sup>ème</sup> tirage, 420 p.

**CHOI J., HORNE D.S. and LUCEY J.A. (2007)** Effect of insoluble calcium concentration on rennet coagulation properties of milk. J. Dairy Sci. 90 : 2612-2623.

**CHOISY C., DESMAZEAUD M., GRIPON J. C., LAMBERET G. et LENOIR J. (1997)** La biochimie de l'affinage in « Le fromage, Eck, A., et Gillis J.C.(coordonnateurs), pp : 87-161, 3<sup>ème</sup> édition, Lavoisier Tec. & Doc. 891 p.

**CODEX ALIMENTARIUS (1995)** Norme générale codex pour les additifs alimentaires 192-1995.

**CODEX ALIMENTARIUS (1978)** Norme générale pour le fromage. CODEX STAN A-6-1978, Rev.1-1999, Amendé en 2006, (CXS 283-1978).

**CODEX ALIMENTARIUS (1973)** Norme pour le fromage à la .CODEX STAN C-31-1973. Adoptée en 1973. Révisée en 2007. Amendée en 2008, 2010, 2016, 2018, 2021. (CXS 275-1973).

**CONTARINI G., & POVOLO M (2013)** Phospholipids in Milk Fat: Composition, Biological and Technological Significance, and Analytical Strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(2), 2808-2831 <https://doi.org/10.3390/ijms14022808>.

**CONWAY V., COUTURE P., RICHARD C., GAUTHIER S. F., POULIOT Y., & LAMARCHE, B. (2013)** Impact of buttermilk consumption on plasma lipids and surrogate markers of cholesterol homeostasis in men and women. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 23(12), 1255-1262.

**CONWAY V., GAUTHIER S. F., & POULIOT Y. (2014)** Buttermilk: Much more than a source of milk phospholipids. *Animal Frontiers*, 4(2), 44-51.

**CROGUENNEC T., JEANTET R., ET BRULE G. (2008).** *Fondements physicochimiques de la technologie laitière*, Tec et Doc, Lavoisier, Paris. 176 p.

**-D-**

**DALGLEISH D.G. (2007)** The casein micelle and its reactivity. *Lait* (87): 385-387.

**DALGLEISH D.G., SPAGNUOLO P.A. & GOFF H.D. (2004)** A possible structure of the casein micelle based on high resolution field-emission scanning electron microscopy. *International Dairy Journal* : 14, 1025–1031.

**DALGLEISH D. G. (1998)** Casein micelles as colloids : Surface, structures and stabilities. *J. Dairy Sci.*, 81 : 3013-3018.

**DALGLEISH D.G. (1997)** The enzymatic coagulation of milk, In : *Advanced in Dairy Chemistry -1, proteins*, pp. 579-619, Ed., Fox P.F., Blackie and Son Ltd, 1088 p.

**DALGLEISH D.G. & HOLT C. (1988)** A geometrical model to describe the initial aggregation of partly renneted casein micelles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 123: 80-84.

**DALGLEISH D.G. (1983)** Coagulation of renneted bovine casein micelles : dependence on temperature, calcium ion and ionic strength. *J. Dairy Res.*, 50 : 331-340.

**DALGLEISH D.G. (1980)** A mechanism for the chymosin induced flocculation of casein micelles, *Biophys. Chem*, 11 : 147-155.

**DAVIAU C., FAMELART M. H., PIERRE A., GOUDEDRANCHE H. & MAUBOIS J.L. (2000)** Rennet coagulation of skim milk and curd drainage: Effect of pH, casein concentration, ionic strength and heat treatment. *Lait* 80 : 397–415.

**DAVIAU C., PIERRE A., FAMELART M. H., GOUDEDRANCHE H., JACOB D., GARNIER M. & MAUBOIS J.L. (2000)** Residual amount of water in a draining curd of Camembert cheese and physicochemical characteristics of the drained curd as modified by the pH at renneting, the casein concentration and the ionic strength of milk. *Lait* 80 : 555– 571.

**DAVIAU C., PIERRE A., FAMELART M. H., GOUDEDRANCHE H., JACOB D., GARNIER M. and MAUBOIS J.L. (2000)** Whey drainage during soft cheese manufacture and properties of drained curd as modified by casein concentration, whey protein to casein ratio, and pasteurisation of milk. *Lait* 80 : 573–587.

**DAVIAU C., PIERRE A., FAMELART M. H., GOUDEDRANCHE H., JACOB D., GARNIER M. and MAUBOIS J.L. (2000)** Characterisation of whey drainage kinetics during soft cheese manufacture in relation with the physicochemical and technological factors, pH at renneting, casein concentration and ionic strength of milk. *Lait* 80 : 417–432.

**De KRUIF C.G. (1999)** Casein micelle interactions. *International Dairy Journal* 9 : 183-188.

**De KRUIF C. G. (1998)** Supra-aggregates of casein micelles as a prelude to coagulation. J. Dairy Sci., 81 : 3019-3028.

**DEWETTINCK K., ROMBAUT R., THIENPONT N., LE T. T., MESSENS K. & VAN CAMP J. (2008)** Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane material. International Dairy Journal, 18, 436-457.

**DOUGLAS GOFF H. & RICHARD W HARTE, (2013)** Ice Cream, Springer Science & Business Media, 7e edition 462 p.

**-E-**

**ECK A. GILLIS J. C. (1997).** Le fromage. 3<sup>ème</sup> édition, Paris : technique et documentation. Lavoisier, 890p.

**ECK A., (1990)** Le fromage. 2<sup>ème</sup> édition, Paris : technique et documentation. Lavoisier 539p.

**-F-**

**FAVIER J.C., (1985)** Composition du lait de vache-Laits de consommation. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 1985, 20 (5), pp : 355-363.

**FOX P. F., GUINEE T. P., COGAN T.M., McSWEENEY P.L.H. (2017)** Fundamentals of cheese science; 2<sup>nd</sup> edition, Springer New York, 799 p.

**-G-**

**GRAPPIN R., POCHET S. BEUVIER E., BOUTON Y. (1999).** Advances in the biochemistry and microbiology of Swiss-type cheeses. Lait. Inra/Elsevier, Paris, pp : 3 -22.

**GILLIS J. C. & AYERBE A. (2018).** Le fromage, 4<sup>ème</sup> édition, Paris : technique et documentation. Lavoisier, 983p.

**-J-**

**JEANTET R., CROGUENNEC T., MAHAUT M., SCHUCK P., & BRULE G. (2008)** Les produits laitiers ,2<sup>ème</sup> édition, Tec et Doc, Lavoisier, Paris. 184 p.

**JUDITH A. NARVHUS, ROGER K. ABRAHAMSEN, (2022)** Yogurt: Types and Manufacture, Encyclopedia of Dairy Sciences, 10.1016/B978-0-12-818766-1.00234-8, (502-510).

**JUDITH A. NARVHUS, ROGER K. ABRAHAMSEN, (2022).** Buttermilk Products, Encyclopedia of Dairy Sciences, 10.1016/B978-0-12-818766-1.00228-2, (409-416).

**-L-**

**LAMOTHE, S., ROBITAILLE, G., ST-GELAIS, D., ET BRITTEN, M. (2008)** Fabrication du beurre à partir de crèmes caprines: Effet du traitement de lavage sur la distribution des protéines membranaires des phospholipides et des globules de matières grasses du lait. Journal of Dairy Research, 75(4), 439-443. doi:10.1017/S002202990800349X.

**LECOQ R., (1965).** Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles, tome II, éditions DOIN-DERENET Cie, France, 1240 p.

**LIBUDZISZ, Z., & STEPANIAK, L. (2002) Fermented Milks | Buttermilk.** Encyclopedia of Dairy Sciences, 489–495. doi:10.1016/b978-0-12-374407-4.00183-7.

**-P-**

**POINTURIER H., (2003)** La gestion matière dans l'industrie laitière, Tec et Doc, Lavoisier, France, 388 p.

**-R-**

**RAMACHANDRA R. H. G., LERWIS M. 1., N GRANDISON A. S. (1995)** Effect of pH on flux During Ultrafiltration of sweet whey and buttermilk. Journal of Dairy Research, 62, 441-449pp.

**ROESCH R. R., RINCON A., & CORREDIG M. (2004)** Emulsifying Properties of Fractions Prepared from Commercial Buttermilk by Microfiltration. Journal of Dairy Science, 87(12), 4080-4087. doi: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73550-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73550-X)

**-S-**

**SOUSA M. J. and MALCATA F. X. (1997)** Comparative biochemical evolution during ripening of bovine, ovine and caprine cheeses manufactured with extracts of flowers of *Cynara cardunculus*. Z. Lebensm. Unters. Forch, 205, 104-107.

**SOUSA M. J. and MALCATA F. X. (1998)** Identification of peptides from ovine milk cheese manufactured with animal rennet or extracts of *Cynara cardunculus* as coagulant. J. Agric.Food Chem., 46 : 4034-4041.

**SOUSA M.J. and Mc SWEENEY P.L.H., (2001)** Studies on the ripening of Cooleeney, an Irish farmhouse Camembert-type cheese. Irish J. Agric. Food Res. 40, 83-95.

**SOUSA M.J., ARDÖ Y and Mc SWEENEY P.L.H., (2001)** Advances in the study of proteolysis during cheese ripening. Int. Dairy J., 11, 327-345.

**SPITSBERG V. L. (2005).** Bovine milk fat globule membrane as a potential nutraceutical. Journal of Dairy Science, 88, 2289-2294.

**-T-**

**TARODO DE LA FUENTE B.& ALAIS C. (1975)** Physico-chemical studies on the enzymatic coagulation of milk. Chimia, 9 : 379-383.

**TARODO DE LA FUENTE, B., LABLEE, J. et CUQ, J.L. (1999)** Le lait-coagulation et synérèse. I.A.A, 116 : 19-26.

**-V-**

**VANDERGHEM C., BODSON P., DANTHINE S., PAQUOT M., DEROANNE C., & BLECKER C. (2010)** Milk fat globule membrane and buttermilks: from composition to valorization. Biotechnologie Agronomie Société Et Environnement, 14(3), 485- 500.

**VEISSEYRE R., (1979)** Technologie du fromage, 3ème édition. Maison Rustique, 714 p.

**VÉTIER N, BANON S., RAMET J.P. and HARDY J. (2000)** Hydratation des micelles de caséine et structure fractale des agrégats et des gels de lait. Lait (80) 237-246.

**VIGNOLA C.L., (2002)** Science et technologie du lait ; édition Montréal, 600 p.

**-W-**

**WALSTRA P. (2006)** Fermented Milks Dairy Science and Technology, Second Edition (pp. 551-575): CRC Press.

**WALSTRA P., WOUTERS J. T. M., & GEURTS T. J. (2006)** Dairy Science and Technology. BocaRaton, FL, USA: CRC Press.

**WALSTRA, P.& VAN VLIET, T. (1986)** The physical Chemistry of curd making. *Neth. Milk Dairy J.*, 39 : 209-246.

**-Z-**

**ZHOU N.& MULVANEY J. (1998)** The effect of milk fat, the ratio of casein to water and the temperature on the viscoelastic properties on rennet casein gels. *J. Dairy Sci* 81 : 2561-2571.

**ZOON P., VLIET V.& WALSTRA P. (1988)** Rheological properties of rennet induced skim milk gels. 3-The affect of calcium and phosphate. *Neth. Milk Dairy J.* 42 : 295-312.

**ZOON P.T., VLIET V.& WALSTRA P. (1988)** Rheological properties of rennetinduced skim milk gels. 1-Introduction *Neth.Milk Dairy J.* 42 : 249-269.

### **SITES CONSULTES**

**FAO., (1985).** La fromagerie et les variétés de fromages du bassin Méditerranéen, Rome, p. 271. <https://www.fao.org/3/x6551f/X6551F00.htm#TOC> consulté le 22/03/2021.

**FAO, (1988).** La transformation laitière au niveau villageois. <https://www.fao.org/3/x6934f/X6934F00.htm#TOC>. , consulté 7/07/2020.

**FAO., (1998).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine, Collection FAO: Alimentation et nutrition, n° 28. <http://www.fao.org/docrep/t4280f/t4280f04.htm>, consulté le 20/03/2020.

[www.universalis.fr/encyclopedie/lait](http://www.universalis.fr/encyclopedie/lait) consulté le 29/11/2020.

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=9lSO2eWV&id> consulté le 20/03/2020.

<https://www.produits-laitiers.com/> consulté le 20/02/2021

<https://www.oqlf.gouv.qc.ca/> consulté le 16/08/2020.

<https://www.techniques-ingenieur.fr/> consulté le 2/03/2020.