

Chapitre II. Technologie de transformation laitière

I. Le lait

1. Définition

Le lait a été défini en 1908 au cours du congrès international de la répression des fraudes à Genève comme étant « le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne comportant pas de colostrum » (Veisseyre, 1975).

C'est un liquide sécrété par les glandes mammaires des femelles après la naissance du jeune. Il s'agit d'un fluide aqueux opaque, blanc, légèrement bleuté, d'une saveur douceâtre et d'un pH (6.6 à 6.8) légèrement acide, proche de la neutralité (Alais, 1984).

Le lait du point de vue physico-chimique est un système complexe et hétérogène dont la composition chimique varie en fonction de l'espèce, la race, l'âge, le stade et le nombre de lactation, ainsi que l'alimentation et les conditions de traitement (Walstra et al., 2005).

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 (Vignola, 2002). Ces éléments majeurs sont présentés dans le **tableau 1**.

Tableau 1 : Composition générale du lait en g p. 100 mL (Vignola, 2002).

Composants majeurs	Valeur moyenne (g/100mL)
Eau	87,5
Matières grasses	3,7
Protéines	3,2
Glucides	4,6
Minéraux	0,9

2.1. Matières azotées

On retrouve dans le lait deux types de matières azotées. Les protéines contiennent environ 95 % de matières azotées alors que l'azote non protéique en constitue environ 5 % du total. Une distribution des différentes fractions azotées dans le lait de vache est schématisée dans la **Figure 1** (Swaigood, 1992).

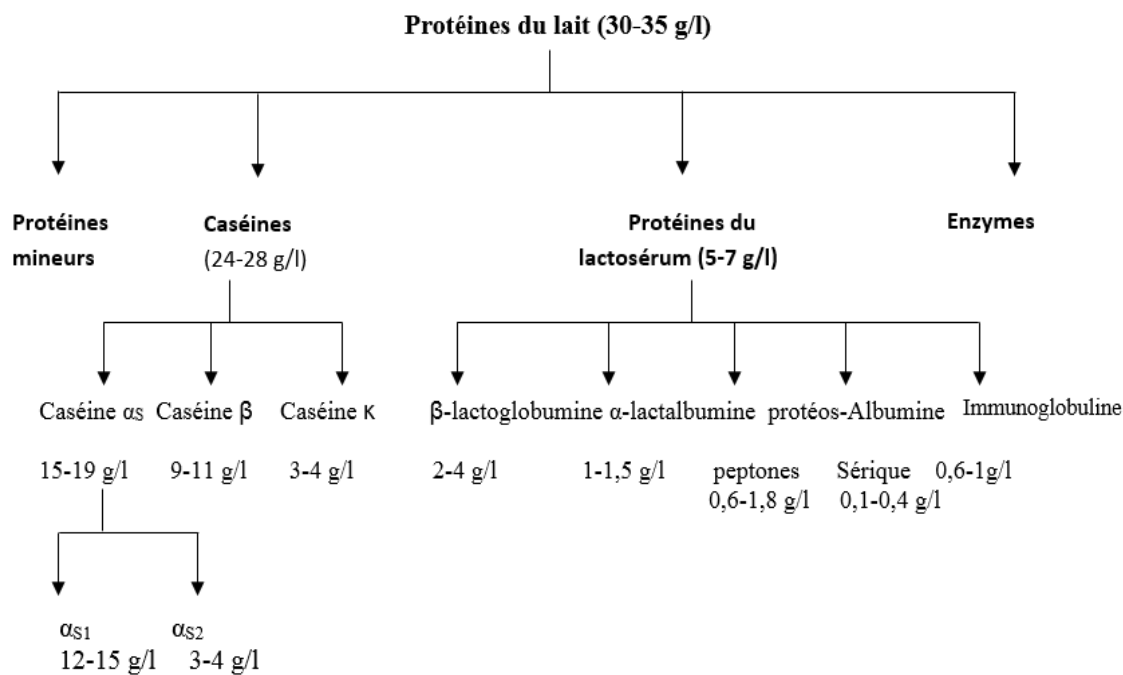


Figure 1: Distribution des fractions azotées du lait de vache (Swaigood, 1992)

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) (Alais et al., 2003) (tableau 2). La caséine entière représente 80% des protéines du lait de vache et se présente sous une forme micellaire. La micelle est formée par l'association des caséines α_{s1} , α_{s2} , β , κ et de composants salins dont les deux principaux sont le calcium et le phosphate. (Brule et al., 1997).

Le poids moléculaire des caséines α_{s1} , α_{s2} , β , κ , varie de 19 kDa pour la caséine κ à 23 kDa pour les caséines α_{s1} et β et jusqu'à 25 kDa pour la caséine α_{s2} (Swaigood, 1982);

Tableau 2 : Composition moyenne des matières azotées du lait de vache (Alais et al., 2003)

	Proportion	g/litre (moyenne)
Total	• 100	34,0
Protéine	• 95	• 32,3
Caséines :	• 78 100	• 26,5
• Caséine $\alpha_{1,1}$	• 36	• 9,55
• Caséine $\alpha_{2,2}$	• 10	• 2,65
• Caséine beta	• 34	• 9,0
Caséine k	• 13	• 3,45
• Caséine y	• 7	• 1,85
Protéines solubles :	17 100	5,8
• β -lactoglobuline	• 50	• 2,9
• A-lactalbumine	• 22	• 1,3
• Sérumalbumine	• 5	• 0,3
• Immunoglobulines	• 12	• 0,7
• Protéoses peptones	• 10	• 0,6
Substances azotées non protéiques	• 5	• 1,7

2.1.1. Composition de la caséine

On distingue essentiellement trois types de caséines : la caséine α_s , la caséine β et la caséine κ (**tableau 3**) Ces caséines représentent environ 78 % des composés azotés du lait.

La caséine précipite seul lorsqu'on acidifie le lait à pH 4,6 ou lorsqu'on fait réagir une enzyme spécifique comme la chymosine (**Cheftel et al., 1985**).

Tableau 3 : Caractéristiques des constituants majeurs de caséines (Cayot et Lorient., 1998).

	Caséines α 1	Caséines α 2	Caséines β	Caséines κ
Proportion(%)	36	10	34	13
Concentration (g/L)	9,6	6,7	9	3,5
Masse moléculaire (Da)	23600	25250	24000	19000
Nombre de d'acides aminés	199	207	209	169
Phosphore (%)	1,1	1,3	0,56	0,2
Glucide (%)	0	0	0	5
Proline (%)	17	10	35	20
Résidus cystéine /mol	0	2	0	2
pHi	4,4	-	4,9	3,7
Sensibilité à chymosine	+	-	+	+++
Fixation du calcium	++	+++	+	0

Légende: - : insensible ; + : peu sensible ; ++ : sensible ; +++ : très sensible

a/ Caséines α S

- **Caséine α S₁**

C'est la protéine la plus importante en masse, elle possède 199 AA et un poids moléculaire de 23 kDa. Cette caséine est très sensible au calcium au pH normal du lait (pH=6,7), quelle que soit la température et en présence de calcium, on constate une formation de flocons.

- **Caséine α S₂**

Elle représente 8 à 11% de la micelle de caséine, possède 207 AA et 13 à 10 phosphates (il s'agit de α S₂ ou α S₃ ou α S₄ ou α S₆ selon le nombre de phosphates) et son poids moléculaire estimé varie de 25kDa.

b/ Caséines β et γ :

Caséine β

Représentant 25 à 35% de la micelle, avec ses 209 AA et ses 5 groupements phosphates, elle possède beaucoup d'analogie avec la caséine α S₁.

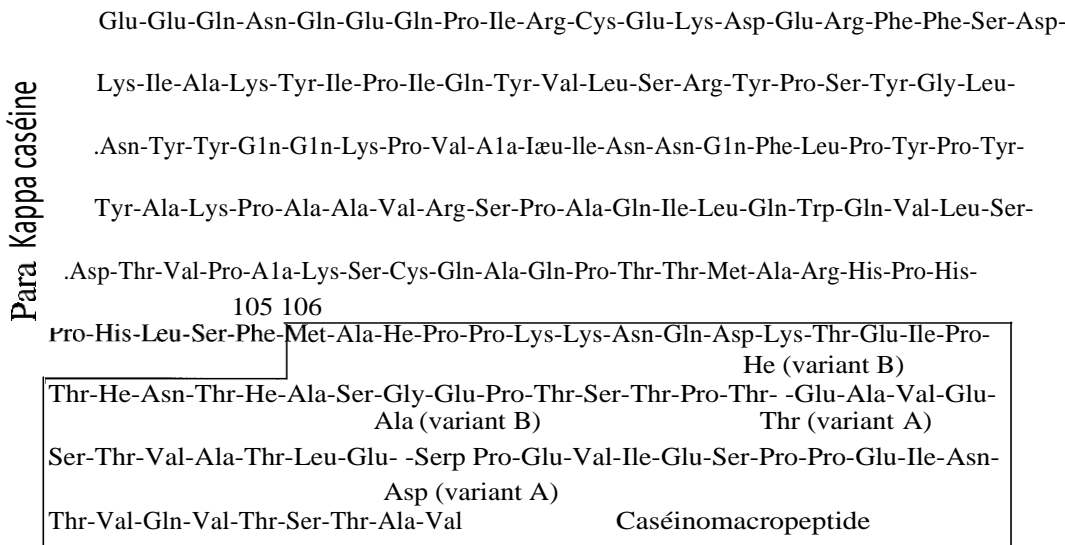
Caséine γ

Il s'agit des fragments C-terminaux résultant de la protéolyse de la caséine β par la plasmine.

c/ Caséine κ

Une grande majorité de cette caséine se trouve à la surface de la micelle, accessible à la présure. Il s’agit d’une protéine de 169 AA, phosphorylée (Serine 149) comportant 2 variantes génétiques A et B. Elle comporte un constituant majeur non glycosylé (**Figure 2**) et des constituants mineurs glycosylés dont la structure précise est élucidée (**Swaisgood ,1992**).

Au cours de la phase enzymatique, la présure hydrolyse 80 à 90 % de la caséine κ 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 κ (1-105). Ce taux d’hydrolyse correspond à 60 % du temps nécessaire pour obtenir une coagulation visible. 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

2 : Séquence primaire de la caséine kappa (Swaisgood ,1992).

D'un point de vue général, la protéolyse des caséines induit :

- 1) une diminution de leur poids moléculaire,
- 2) une augmentation du nombre de groupes ionisés (NH₃⁺ et COO⁻), et
- 3) un changement de conformation avec exposition de groupes hydrophobes.

En conséquence de cette dégradation protéolytique, la taille, le point isoélectrique et la flexibilité moléculaire des caséines modifient leurs techno-fonctionnalités (**Broyard et Gaucheron, 2015**)

2.1.2. Micelle de caséine

La micelle de caséine est une particule de taille variant de 100 à 500 nm avec un diamètre moyen de 180 nm (**Amiot et al., 2002 ; Fox, 2004**), elle est formée par l'association des caséines α_1 , α_2 , β , κ et de quelques fragments peptidiques de caséines γ et de composants salins dont le calcium et le phosphate. Son poids moléculaire moyen est de l'ordre de 108 Da et renferme entre 20 000 et 150 000 molécules de caséine.

En raison de l'importance des micelles de caséine pour le comportement fonctionnel des produits laitiers, la nature et la structure des micelles de caséine ont été largement étudiées, mais la structure exacte des micelles de caséine est encore à étudier. Différents modèles de structure micellaire de caséine ont été proposés. La plupart des modèles proposés se répartissent en trois catégories générales, à savoir: les modèles à enveloppe, les modèles de structure interne et les sous-unités (sous-micelles) (**Phadungath, 2005**).

Le modèle de sous-micelles suggère que la micelle serait constituée de sous-micelles de forme sphérique (10 nm de diamètre) qui sont reliées entre elles par des phosphates de calcium colloïdal (CCP). (**Figure 3**)

Les submicelles pourraient être constituées d'environ 10 molécules des 4 caséines en proportion variable avec une répartition de caséine κ (hydrophile) en surface, ce qui la stabilise. Les portions C-terminales de la caséine κ hérissent la micelle et l'enveloppent d'une chevelure périphérique particulièrement hydrophile (**Cayot et Lorient., 1998**).

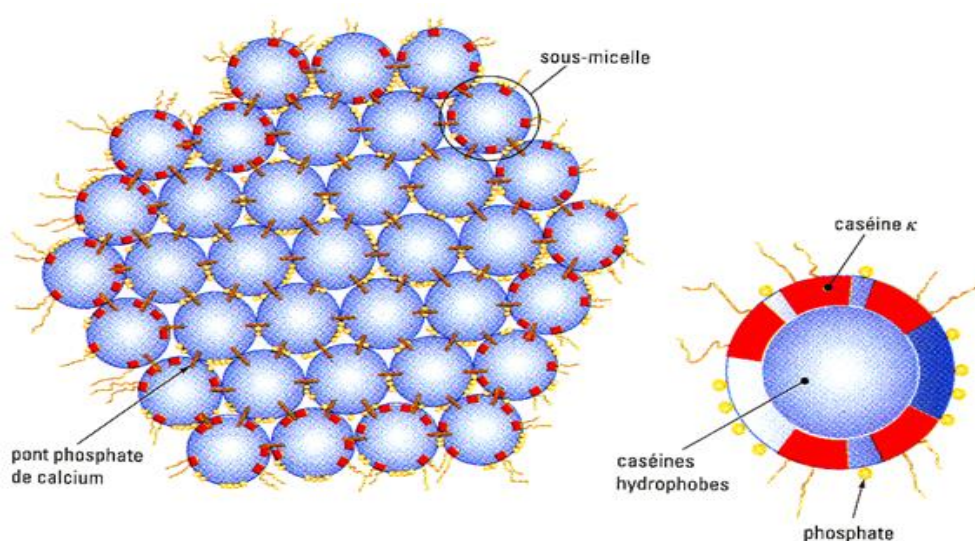


Figure 3 : Micelle de caséine et sous-micelle de caséine. Adapté de Tetra Pack Processing System, 1995 (**Vignola, 2002**).

Les travaux récents de **Marchin et al. (2007)**, **Dalgleish et Corredig (2012)**, proposent des modèles ouverts, souvent dits en éponge (**Figure 4**). En effet, **Marchin et al. (2007)** ont montré, en utilisant des techniques d'observation de cryo-microscopie à transmission, que la caséine κ n'était pas uniquement à la surface de la micelle de caséine.

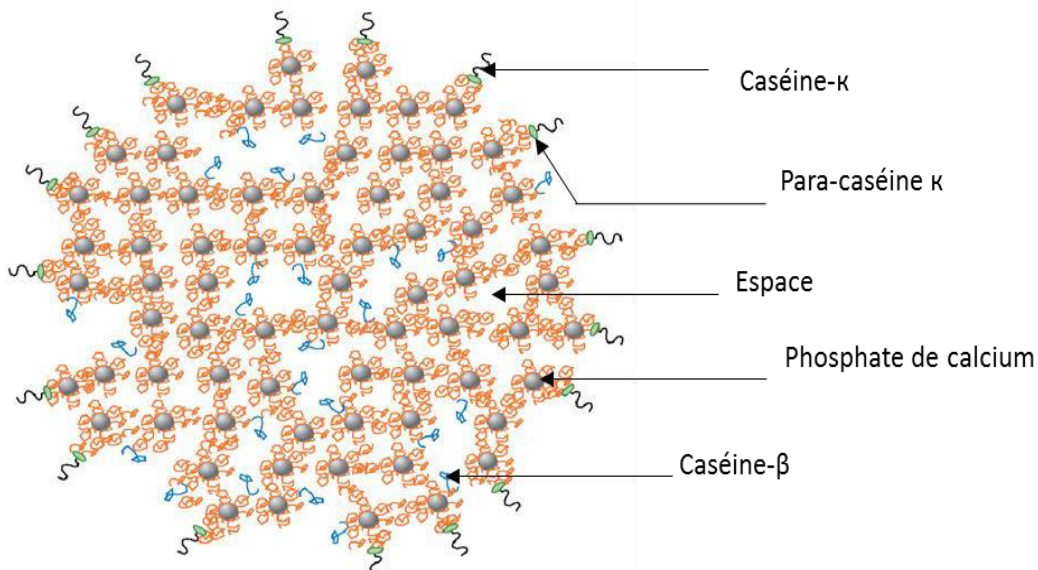


Figure 4. Structure en éponge de la micelle de caséine (**Dalgleish et Corredig, 2012**).

2.1.3. Protéines du lactosérum

Elles représentent 17 % de la matière azotée. Elles se retrouvent dans le lactosérum et sont qualifiées de solubles parce qu'elles ne précipitent pas au pHi de la caséine entière. Les deux principales protéines du lactosérum sont l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline (**tableau 4**) elles sont les plus immunogènes et leur composition en acides aminés est très différente de celle des caséines en ce qu'elles contiennent moins d'acide glutamique et proline mais sont plus riches en acides aminés soufrés (**Ramet et Weber, 1980**). Le lactosérum referme également des protéoses-peptones qui sont des substances glycoprotéiques peu abondantes dans le lait (**Vetier et al., 2000**).

Tableau 4 : Caractéristiques des constituants des protéines du lactosérum (**Cayot et Lorient., 1998**).

Nature	Composition (g/L)	Poids moléculaire et nombre de résidus	pH	caractéristiques
β - Lactoglobuline	2,7	18000 (162)	5,2	2 ponts disulfures
α -lactalbumine	1,5	163 (132)	5,1	4 ponts disulfure /groupement

				thiol libre
sérumalbumine	0,5	65000 (582)	4,7	17 ponts disulfures
Immunoglobuline	0,7	150000 à 1800000	7,5	Majorité anticorps
Protéose-peptone	0,5	-	-	Protéine très hétérogène
Protéines mineures	0,30	43000 à 86000	-	Composition complexe et hétérogène

2.2. Eau

C'est l'élément quantitativement le plus important. Elle conditionne l'état physique des autres constituants, en intervenant dans l'émulsion de la matière grasse et la dispersion des micelles de caséines lors de la transformation (75 à 80%) de cette eau se retrouve dans le lactosérum. De plus l'eau intervient dans le développement bactérien et les altérations du lait (**Mahaut et al., 2003**).

2.3. Glucides

Le sucre principal du lait est le lactose, disaccharide constitué par l'association d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose. On ne relève que 70 mg.L⁻¹ de glucose et 20 mg.L⁻¹ de galactose ainsi que des traces d'autres glucides.

Le constituant principal de la matière sèche du lait est le lactose qui présente une moyenne de 50 g/L (**Linden et Lorient., 1994**).

D'autres glucides peuvent être présents en faible quantité, comme le glucose et le galactose qui proviendraient de l'hydrolyse du lactose, en outre certains glucides peuvent se combiner au protéines (**Amiot et al ., 2002**).

2.4. Lipides

Les lipides du lait n'ont aucun rôle dans le phénomène de coagulation. Ils sont constitués en majeure partie de triglycérides qui représentent 97 à 99% des lipides totaux. Ces lipides se solidifient à température ambiante (**Boyaval, 1995**).

La composition des lipides du lait varie avec l'espèce ; 35g/l environ pour celui de la femme et de la vache ; 40 à 50 g/l pour les autres espèces.

En plus des triglycérides, on trouve des phospholipides, stérols cholestérol notamment qui constituent le reste (1 à 3 % des lipides totaux) (**Linden et Lorient, 1994**).

2.5. Minéraux

Ils sont présents dans le lait à 7 g/l environ. Les plus représentés, en quantité, sont le calcium, le phosphore, le potassium et le chlore (**tableau 5**). On retrouve ces matières salines soit en solution dans la fraction soluble, soit sous forme liée dans la fraction insoluble. Certains minéraux se trouvent exclusivement à l'état dissous sous forme d'ions (sodium, potassium et chlore) et sont particulièrement bio disponibles. Les autres (calcium, phosphore, magnésium et soufre) existent dans les deux fractions (**Libouga et al., 2013**).

Tableau 5 : Composition du lait en minéraux (Julliard et Richard, 1996).

Minéraux	Teneur (mg/kg)	Minéraux	Teneur (mg/kg)
Sodium (Na)	445	Calcium (Ca)	1180
Magnésium (Mg)	105	Fer (Fe)	0,50
Phosphore (P)	896	Cuivre (Cu)	0,10
Chlore (Cl)	958	Zinc (Zn)	3,80
Potassium (K)	1500	Iode (I)	0,28

2.6. Vitamines

Toutes les vitamines sont présentes dans le lait frais en quantité plus ou moins grande à l'exception de la vitamine B 12. A noter la richesse en vitamine B 12. (**Tableau 6**). Le lait est une bonne source en vitamines, on distingue les vitamines hydrosolubles (vitamines B1, B2, B6) et les vitamines liposolubles (Vitamine A, D, E, K) (**Debry, 2001**).

Tableau 6 : Teneur moyenne des principales vitamines du lait (Debry, 2001).

Vitamines	Teneur moyenne (µg/ml)
Vitamines liposolubles	
Vitamine A (+ carotènes)	40µg/100ml
Vitamine D	2,4µg/100ml
Vitamine E	100µg/100ml
Vitamine K	5µg/100ml
Vitamines hydrosolubles	
Vitamine C (acide ascorbique)	2/ µg 100ml
Vitamine B1 (thiamine)	45µg/100ml
Vitamine B2 (riboflavine)	175µg/100ml
Vitamine B6 (pyridoxine)	50µg/100ml
Vitamine B12 (cyanocobalamine)	0,45µg/100ml
Niacine et niacinamide	90µg/100ml
Acide pantothénique	350µg/100ml
Acide folique	5,5µg/100ml
Vitamine H (biotine)	3,5µg/100ml

2.7. Enzymes

Ce sont des substances organiques de nature protidique, produites par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Environ 60 enzymes 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 (**Pougheon, 2001**).

3. Caractéristiques du lait

3.1. Caractéristiques organoleptiques

3.1.1. Couleur

Le lait est un liquide blanc mat, opaque à cause des micelles de caséinates, ou parfois bleuté ou jaunâtre du fait du bêta carotène ou de la lactoflavine contenue dans la matière grasse. (**Sousa et Malcata, 2002**).

3.1.2. Odeur

Toujours faible et variable en fonction de l'alimentation de la femelle productrice

3.1.3. Saveur

Elle est douceâtre, faiblement sucrée, en raison de sa richesse en lactose dont le pouvoir sucrant est inférieure à celui du saccharose.

3.1.4. Viscosité

- La viscosité en fonction de l'espèce, on distingue : Un lait visqueux chez les monogastriques (jument, ânesse, carnivores, et femme), on parle de lait albumineux.
- Un lait moins visqueux chez les herbivores (lait de brebis plus visqueux que celui de la vache), ce lait est dit caséineux.

3.2. Caractéristiques physico-chimiques

3.2.1. Densité

Elle oscille entre 1,028 et 1,034. Elle doit être supérieure ou égale à 1,028 à 20°C.

La densité des laits de grand mélange des laiteries est de 1,032 à 20°C. La densité des laits écrémés est supérieure à 1,035 (**Vierling, 2008**).

3.2.2. Acidité de titration ou acidité Dornic

Le lait présente une acidité qui peut être titrée par une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénophtaléine à 1 % comme indicateur coloré. Cette acidité est exprimée en degré dornic, c'est-à-dire en

décigramme d'acide lactique par litre. Le mouillage du lait provoque une diminution de son acidité qui se situe normalement entre 15 et 18°D pour un lait frais (AFNOR, 1986).

3.2.3. Point de congélation

Le point de congélation du lait est l'une de ses caractéristiques physiques la plus constante. Sa valeur moyenne, si l'on considère des productions individuelles de vache, se situe entre -0,54 °C et -0,55°C.

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Il peut varier de -0,530°C à -0,575°C avec une moyenne à -0,555°C. (Mathieu, 1998).

3.2.4. pH

Le pH du lait n'est pas une valeur constante, il est de l'ordre de 6,6 et 6,8; il peut varier au cours du cycle de lactation et sous l'influence de l'alimentation. Le pH représente l'acidité actuelle du lait, c'est celle-ci que dépendent des propriétés importantes comme la stabilité de la caséine. le pH permet de déterminer le vieillissement du lait (Vetier et al., 2000 in Beka, 2011).

3.2.5 Chleur spécifique : 0.93

4. Au niveau de la ferme

4.1. La traite

La traite représente une opération très importante dans la conduite d'un troupeau laitier. Elle est généralement effectuée deux fois par jour. Sa réalisation dans de mauvaises conditions, peut entraîner des diminutions de production et des accidents sanitaires. Selon Jean et Roger (1961), on distingue deux types de traite :

4.1.1. La traite manuelle

La traite est effectuée encore manuellement dans de nombreuses fermes, ce sont les mêmes personnes qui l'effectuent tous les jours, et les vaches stimulées rapidement par le simple fait d'entendre les sons familiers de la préparation de la traite.

La traite à la main comprend les quatre phases suivantes :

- ❖ Nettoyage et préparation de la mamelle.
- ❖ Contrôle du lait.
- ❖ Traite proprement dite.
- ❖ Egouttage de la mamelle.

La traite doit débuter dès que le lait descend. On connaît trois manières de traite suivantes :

- ❖ Traite à la poigne.
- ❖ Traite au pouce.
- ❖ Traite à la pince.

4.1.2. La traite mécanique

Les moyennes et grandes exploitations laitières utilisent généralement des trayeuses

mécaniques, l'installation de traite comprend une pompe à vide, un récipient sous vide, qui sert également à collecter le lait, des gobelets trayeurs raccordés par un tuyau au récipient sous vide, et un pulsateur qui, alternativement, aspire le lait et met les gobelets à la pression atmosphérique.

Après la traite, le trayeur transporte le seau (récipient sous vide) dans une chambre à lait ou il vide le lait dans un bidon ou une cuve de refroidissement. Pour éliminer la tâche laborieuse et pénible du transport des seaux remplis vers la chambre à lait, on peut installer un système de canalisation sous vide pour transférer le lait directement à la chambre à lait. Ces systèmes permettent d'acheminer le lait dans un circuit fermé directement de la vache à une cuve collectrice, ce qui représente un avantage énorme du point de vue bactériologique

4.2. La Collecte du lait

La collecte de lait qui fait l'objet d'un intérêt particulier des autorités publiques connaît une tendance à la hausse. Nous signalerons avec prudence l'augmentation du taux de collecte en 2009, 2010 et 2011. Pour la période 2009-2011, le taux est respectivement de 13, 15 et 18 % (**Brabez, 2011**). La dynamique de la collecte de lait est enclenchée depuis 2009. Elle peut en partie s'expliquer par la revalorisation de la prime à la collecte. En effet, en 2009, la filière lait est marquée par l'augmentation des primes à destination des producteurs, collecteurs et éleveurs. La perception de ces primes étant liée à une convention dite de fourniture de lait cru. L'éleveur s'engage à fournir un lait :

- ✓ Non mouillé ni écrémé
- ✓ Non mélangé avec le colostrum, et non issu de vaches malades ou traitées aux antibiotiques
- ✓ Réfrigéré à une température de 4° à 8°C
- ✓ Ne doit pas être mélangé avec aucun autre type de laits (lait reconstitué, lait de chèvre...etc.)
- ✓ Ne contenant pas d'impuretés physiques, ni être coloré, ni avoir de mauvaise odeur
- ✓ De densité comprise entre 1028 et 1033 à 20° C
- ✓ Non acide au moment de l'enlèvement.

5. Réception du lait à la laiterie

Arrivé à l'usine, Le lait cru doit être reçu dans des camions citernes réservés au transport du lait cru qui remplissent les exigences de la réglementation prise en application de la Loi sur le lait. Lorsque du lait cru de vache ou de chèvre arrive à l'usine, il doit être classé par un préposé au

classement du lait et de la crème en usine accrédité en fonction des exigences du règlement pris en application de la Loi sur le lait, qui ne remplit pas les exigences doit être rejeté.

Si le camion-citerne a été scellé, il faut vérifier les registres pour s'assurer que le programme de scellage a été respecté. Si des dispositifs de scellage sont manquants et n'ont pas été retrouvés, la cargaison est susceptible d'avoir été altérée et doit être rejetée. Si une explication logique est fournie, la cargaison peut être acceptée. Dans ce cas, il faut consigner la raison pour laquelle le dispositif de scellage était manquant. Est réceptionné par l'industriel qui vérifie les quantités ramassées et prélevé des échantillons pour effectuer un contrôle de qualité (Veisseyre, 1975). Les laiteries sont équipées de stations de réception qui prennent en charge le lait provenant des exploitations laitières. La première tâche effectuée à la réception est l'estimation de la qualité du lait par la mesure du (PH, l'acidité, MG, la température et la densité) (FAO, 1985).

5.1. Préchauffage

L'opération consiste à amener le lait reconstitué à une température de 50°C pendant 30 min afin d'assurer une bonne dissolution de la poudre (Avesard, 1980).

5.2. Standardisation

Cette étape consiste à l'addition de la matière grasse et les protéines au taux désiré.

- Matière grasse

La crème et le lait écrémé sortant d'un séparateur ont des teneurs en matière grasse constantes si les autres paramètres concernés sont également constants. Le principe de standardisation identique (Fig 08.), que la commande soit manuelle ou automatisée (Fig 09.).

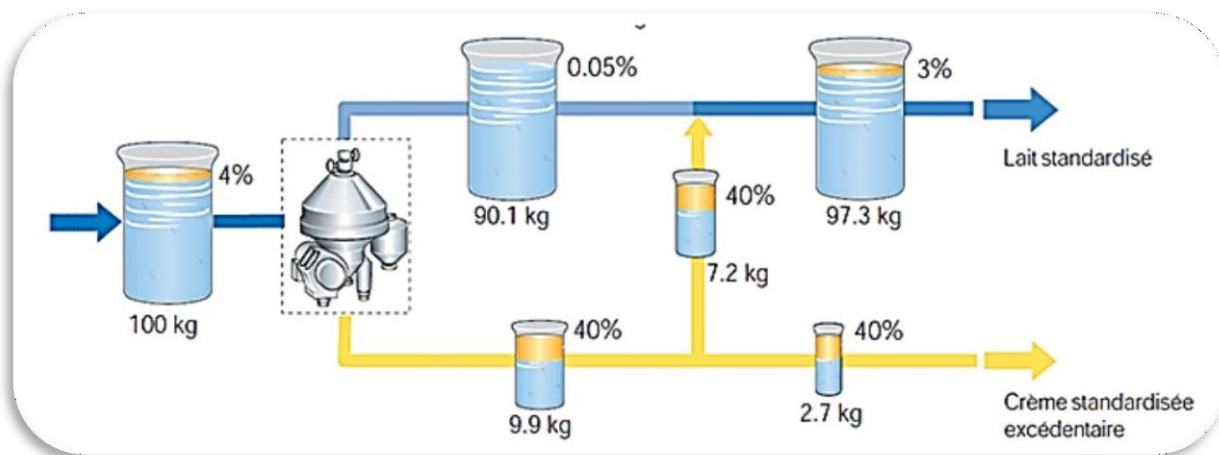


Figure 5. Principe de standardisation de la matière grasse.

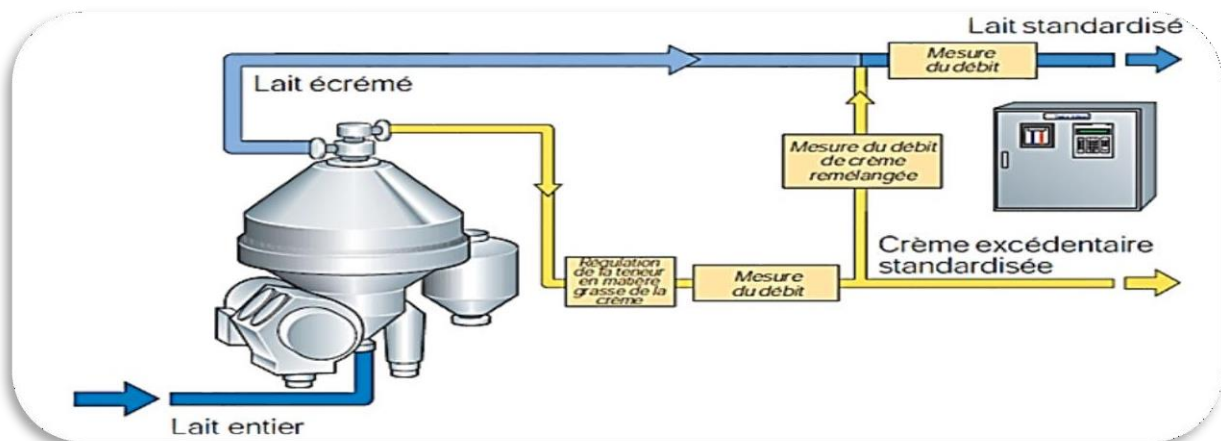


Figure 6. Principe de standardisation directe en ligne de la crème et du lait.

5.3 L'homogénéisation

Ce traitement physique par pression fait éclater les globules de matière grasse en fines particules homogènes.

Pour éviter que la matière grasse ne remonte à la surface, ne gêne l'écoulement du lait ou ne se dépose sur l'emballage lors du traitement thermique de conservation. L'homogénéisation est inutile pour les laits concentrés sucrés, facultative pour le lait pasteurisé, mais indispensable pour les autres types de lait (ABDOUNE, 2003).

5.4. Pasteurisation

C'est un traitement thermique du lait elle permet l'élimination des germes pathogènes du lait qui se fait à une température de 72°C pendant 15 secondes pour ne pas altérer les propriétés organoleptiques du lait (MAJDI, 2009).

Trois types de pasteurisation sont distingués :

✚ **Pasteurisation basse (62-65°C/30min)** : c'est une méthode lente et discontinue, mais qui présente l'avantage de ne pas modifier les propriétés du lait. (Jeantet *et al.*, 2008)

✚ **Pasteurisation haute (71-72°C/15-40sec) ou HTST (High temperature short time)** : elle est réservée au lait de bonne qualité hygiénique. Au plan organoleptique et nutritionnel, la pasteurisation haute n'a que peu d'effets. Au niveau biochimique, la phosphatase alcaline est détruite ; par contre la peroxydase reste active et les taux de dénaturation des protéines sériques et des vitamines sont faibles. la DLC des laits ayant subi une pasteurisation haute et de sept jours après conditionnement. (Jeantet *et al.*, 2008)

✚ **Flash pasteurisation (85-90°C/15-20s)** : Elle est pratiquée sur les laits crus de qualité moyenne ; la phosphatase est la peroxydase sont détruites. (Jeantet *et al.*, 2008)

5.5. Refroidissement

Tous les microorganismes n'étant pas éliminés par la pasteurisation, ce traitement thermique doit être suivi d'un brusque refroidissement. Le lait doit être refroidi très rapidement entre 4 à 6°C pour qu'il puisse par la suite être conditionné et stocké. Ceci pour éviter d'exposer pendant longtemps le lait aux Températures de développement des microbes (M'boya, 2001).

5.6. Stockage

Après refroidissement le lait est stocké à une température de 6°C (Avesard, 1980).

5.7. Conditionnement

L'étape la plus critique est le conditionnement Destiné à véhiculer les produits laitiers fluides dans les réseaux de production et de distribution, le contenant doit avoir certaines qualités. En effet, les risques d'introduire des microbes dans le lait pasteurisé sont importants, si les règles d'hygiène élémentaires ne sont pas respectées et si le conditionnement ne s'effectue pas très rapidement, le lait pasteurisé, prend un mauvais goût ou coagule (M'boya, 2001). IL doit être refroidi à une température n'excédant pas les six degrés Celsius (J.O.R.A, 1993).

5.8.Commercialisation

Après les analyses microbiologiques et physicochimiques, un bon de conformité à la consommation est délivré. A la commercialisation, le lait conditionné est transporté par camion frigorifique à une température entre 4 à 6°C (M'boya, 2001).

5.8.1.Les laits commercialisés

Le terme "Laits de consommation" désigne les différentes catégories de laits vendus à l'état liquide. Ces laits sont présentés obligatoirement en emballages fermés jusqu'à la remise au consommateur (CNERNA., 1981).

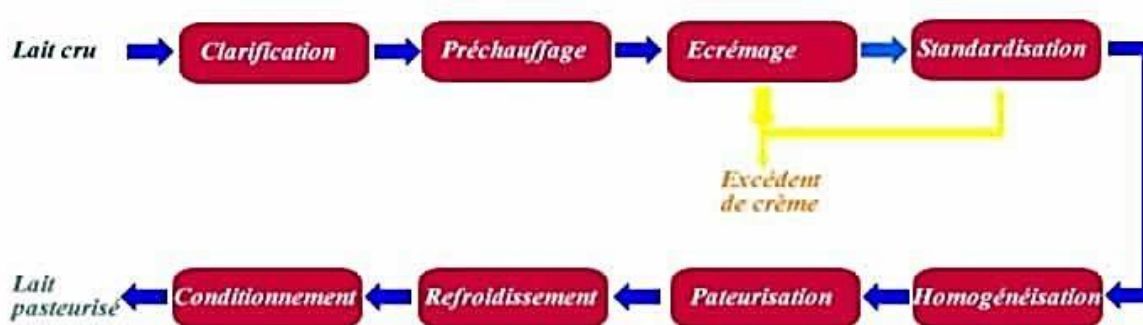


Figure 7. Diagramme de fabrication de lait pasteurisé.

II. Lait reconstitué

1. poudre de lait

Le lait en poudre ou lait sec, désigné réglementairement sous le terme de « lait totalement déshydraté » est le produit solide obtenu directement par l'élimination partielle de l'eau du lait et l'évaporation autant que possible de sorte que l'eau est perdue et le lait devient poudre (ARIE F. et al., 2012). On distingue trois catégories de lait en poudre : entier, partiellement écrémé et totalement écrémé.

2. Différents types de poudre de lait

Le lait en poudre est un produit solide obtenu directement par l'élimination de l'eau du lait totalement ou partiellement écrémé, de la crème ou, d'un mélange de ces produits, et dont la teneur en eau n'excède pas 5 % en poids du produit fini. On distingue les laits en poudre suivants, répartis selon leur pourcentage en matière grasse (ARIE F. et al., 2012) :

- Le lait en poudre riche en matières grasses ou poudre de lait riche en matières grasses : lait déshydraté contenant, en poids, au moins 24 % de matières grasses.
- Le lait en poudre entier ou poudre de lait entier : lait déshydraté contenant, en poids, au moins 26% de matières grasses.
- Le lait en poudre partiellement écrémé ou poudre de lait partiellement écrémé : lait déshydraté dont la teneur en matières grasses est, en poids, supérieure à 1,5 % et inférieure à 26 % en termes de poids.
- Le lait en poudre écrémé ou poudre de lait écrémé : lait déshydraté contenant, en poids, au maximum 1.5% de matières grasses.
- Le lait en poudre constitue généralement une alternative au lait liquide à moindre coût et a de nombreuses applications. Il existe un divers type de laits en poudre, ayant chacun des taux d'apports différents ceci est représenté dans le tableau 02 ci-dessous.

Tableau 7.Exemples de poudres laitières (lait de vache) et leurs applications potentielles
ZOUARI A. (2019).

Type de poudres	Technique de production	Applications	Apports
Poudre de lait entier	Cylindre chauffé (la plus utilisée) et atomisation.	- Industrie chocolatière.	- Richesse en matière grasse libre.
Poudre de lait écrémé	Atomisation.	- Fortification du Yaourt brassé.	- Propriétés texturantes.
Poudre de lait écrémé délactosé	Atomisation.	- Reconstitution - Produits laitiers enrichis en protéines.	- Produits laitiers destinés aux intolérants au lactose.
Isolats et concentrés de Protéines de lait écrémé : MPC, MPI	Atomisation.	- Produits émulsifiés - Reconstitution.	- Propriétés émulsifiantes - Propriétés texturantes.
Poudre de lactosérum	Atomisation.	- Produits de la pâtisserie.	- Amélioration de couleur.
Isolats et concentrés de protéines de lactosérums : WPC, WPI	Atomisation.	- Mousses laitières - Produits émulsifiés.	- Propriétés moussantes et émulsifiantes.
Isolats et concentrés de caséines micellaires	Atomisation.	- Produits gélifiés (ex. fromage).	- Propriétés coagulantes.
Poudre de caséinates de sodium	Atomisation.	- Fortification du Yaourt brassé.	- Amélioration de la fermeté du gel.

3- Différence entre les deux procédés de séchage cylindres pulvérisation du lait sec « SPRAY »

Par le procédé des cylindres, la poudre obtenue a une consistance en paillette, une couleur plus ou moins jaune, le lactose y est à l'état cristallin, la caramélisation et le brunissement non enzymatique sont avancées. En ce qui concerne le procédé par pulvérisation, la poudre est moins jaune que la précédente et le lactose est amorphe (KON S. K., 1995), le tableau 03 résume les propriétés physicochimique du lait en poudre par rapport à chaque une des deux procédés étudiés.

Tableau8. Aperçu des propriétés physico-chimiques du lait en poudre (KON S. K., 1995).

Propriétés	Atomisations (SPRAY)	Sur cylindre (HATMAKER)
Structure des particules	Particules sphériques, inclusions d'air	Compacte, forme irrégulière, pas d'inclusions d'air
Surface des particules		
Dimension des particules	10-250µm	
Densité apparente [g/cm]	0.50-0.70	0.3-0.5
Solubilité, dénaturation	Dénaturation de protéines peu élevée ◇bonne solubilité	Taux de dénaturation élevé des protéines ◇mauvaise solubilité
Exigences relatives à la teneur en métaux lourds	Cuivre <105mg/kg Fer <10.0mg/kg	Idem
Teneur en Oxygène résiduel dès les poudres contenant des matières grasses	≤0.01ml O ₂ /g	
Brunissement dû à la réaction de Maillard	Peu marqué	Plus marqué

3.1 Technologie

Après les traitements d'épuration, de standardisation, de pasteurisation ou de préchauffage à haute température, on procède en deux étapes principales : la concentration et le séchage. La concentration se fait par évaporation et l'ébullition se fait sur une surface chaude (**Figure 6**). Pour des raisons de qualité, on cherche à limiter la température du lait et à réduire son temps de séjour d'où le traitement sous vide et en film mince. Pour des raisons énergétiques, on utilise l'effet multiple, la compression mécanique des vapeurs et le préchauffage du liquide. Il est ainsi possible d'évaporer plusieurs kg d'eau avec l'énergie de vaporisation de 1 kg d'eau, alors il demande l'énergie de plus de 1 kg de vapeur pour sécher 1 kg d'eau. Il y a donc intérêt à concentrer au maximum avant de procéder au séchage (**FAO,2008**).

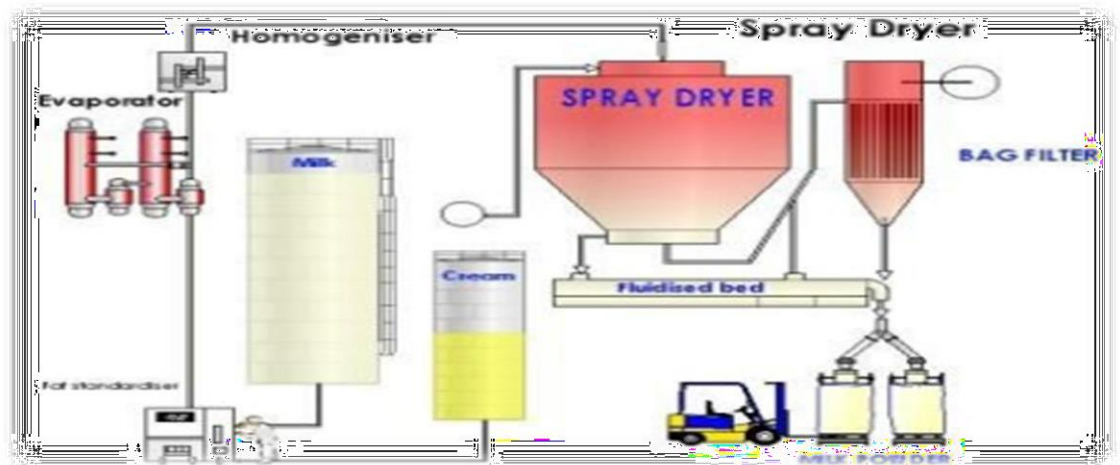


Figure 6. Cyclone des différentes étapes de la production de la poudre de lait (Soyb, 2011).

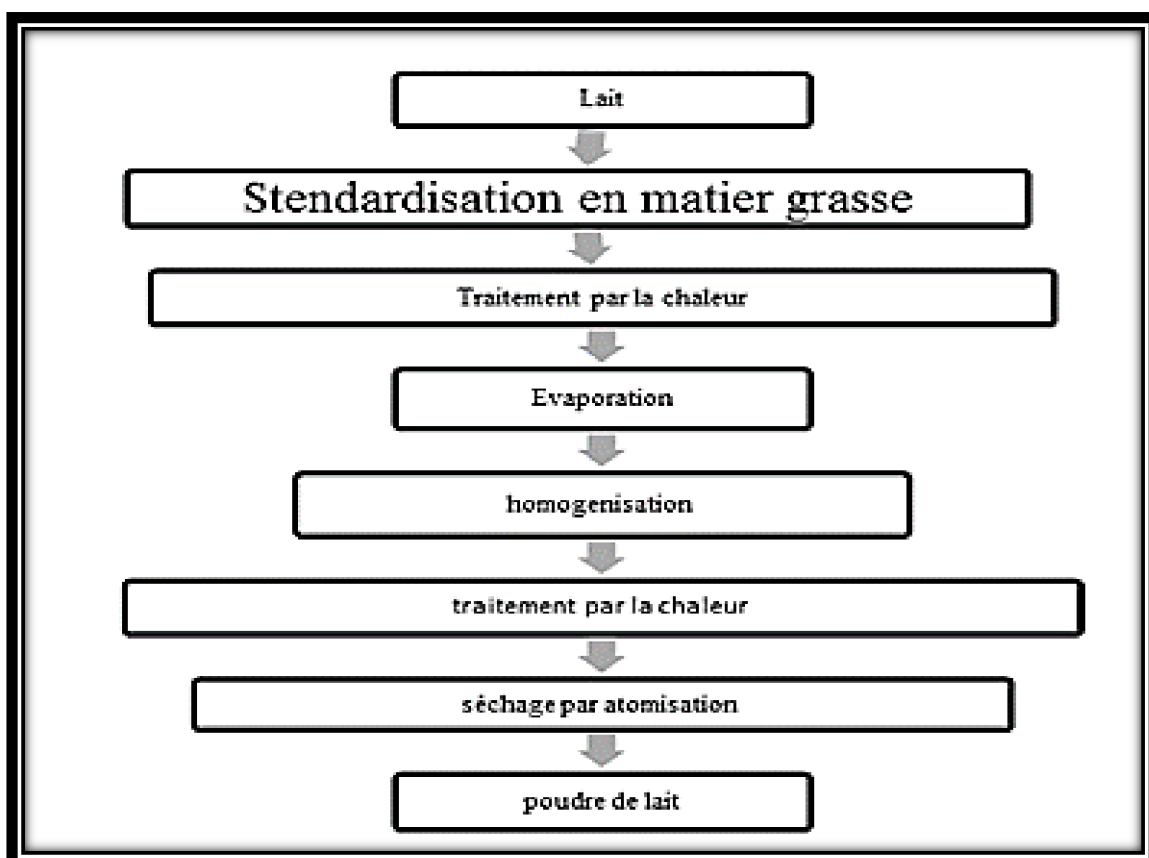


Figure 7. Diagramme de fabrication de lait en poudre (TOURE O., 2001).

III. Fromage frais

1. Généralités

La qualité et les propriétés du lait de mélange issu de la ferme, ont un effet direct sur les propriétés fonctionnelles du fromage. Des facteurs tels que: la race des bovins, le stade de la lactation, la saison de traite et l'alimentation affectent la composition du lait, et donc les propriétés du fromage (**Lucey et al., 1992**). La standardisation du lait est réalisée pour minimiser certaines variations en composition avec un rapport caséine-matière grasse cible. (**Scott et al., 1998**).

Les fromages fabriqués en Algérie restent peu nombreux. Il s'agit essentiellement du camembert et autres pâtes pressées, des fromages frais et des fromages fondu (**Khoualdi, 2017**).

Les fromages frais sont traditionnellement des fromages qui résultent d'une coagulation lente du lait par action de l'acidification combinée ou non de celle d'une faible quantité de présure, ils sont fabriqués à partir de laits ou de crème propres à la consommation humaine. Les fromages frais présentent une grande diversité selon le degré d'égouttage du coagulum et la teneur en matière grasse du lait mis en œuvre. Les différents fromages à pâte fraîche sont caractérisés par (**Mahaut et al., 2000**)

2. Différents types de fromage frais

Il existe deux types de fromage frais (**Veisseyre, 1979**) :

- ✓ A coagulation Lente :
 - Fontaine bleu
 - Neufchâtel frais
 - Suisse

- ✓ A coagulation Rapide :
 - Fromage à la pie

3. Petit suisse

La définition précise du petit suisse, se traduit par les caractéristiques suivantes :

- Forme cylindrique
- Poids de 60g environ,
- Teneur en matière grasse de 4 %
- Teneur en extrait sec totale 30 % de fromage. (**Veisseyre, 1979**).

4. Fabrication du fromage

4.1. Préparation du lait

La qualité du lait de fromagerie peut être définie comme son aptitude à donner un bon fromage dans les conditions de travail normales avec un rendement satisfaisant. Elle dépend d'un certain nombre de caractéristiques du produit : sa composition chimique notamment sa richesse en caséines, sa charge microbienne, la nature de sa microflore et son aptitude au développement des bactéries lactiques. Elle dépend aussi de son comportement vis-à-vis de la présure (**Thapon, 2005**).

4.2. Standardisation

La standardisation consiste à ajuster la composition du lait de mélange afin d'obtenir une teneur minimale en extrait sec (ES) et en matières grasses (MG) dans le fromage élaboré. Elle est réalisée par le mélange du lait entier à du lait écrémé ou de la crème à du lait écrémé dans des proportions calculées.

4.3. Homogénéisation

L'homogénéisation mécanique est un traitement industriel employé principalement pour stabiliser l'émulsion de la matière grasse du lait afin d'éviter la séparation de la crème par gravité. Elle a pour but principal de diminuer le diamètre des gouttelettes de la phase dispersée en fractionnant les globules gras en de plus petits globules.

Parce qu'elle présente l'avantage de stabiliser l'émulsion de la matière grasse uniformément dispersée dans tout le liquide, l'homogénéisation possède d'autres effets sur le lait, tel que le blanchiment de sa couleur, l'augmentation de sa tendance à mousser, la réduction de la prédisposition à l'auto oxydation et ainsi à la formation de flaveurs non désirées. Enfin, les globules gras perdent leur capacité de s'agglutiner au cours du refroidissement, à la suite de l'inactivation des agglutinines. Ce traitement donne au lait une saveur et une texture plus douces, plus onctueuses pour la même teneur en matière grasse (**Eck et Gillis 1997**).

4.4. Traitement thermique

La pasteurisation est un chauffage suffisant pour détruire tous les germes pathogènes. La température de la pasteurisation la plus fréquente est comprise entre 65 à 75°C et parfois 80°C pendant 15 à 20 secondes. Ensuite, le lait pasteurisé est conduit vers des tanks de stockage où la température est de 10 à 12°C (**Veisseyre, 1975**).

4.5. Prématuration

La prématuration a pour objectif d'enrichir le lait en phosphate mono calcique, chlorures de calcium et d'autres ingrédients, afin de renforcer la coagulation et la cohésion du caillé et de rétablir l'équilibre chimique des composants du lait (**Lenoir et al., 1983**).

4.6. Maturation

L'addition des levains lactiques en maturation chaude (30 – 35°C) pendant 1 à 2 heures a pour rôle d'acidifier le lait au pH d'emprésurage désiré et de diriger l'acidification pendant la phase d'égouttage. La microflore lactique doit être présente dans le lait avant l'emprésurage (**Lenoir et al., 1983**).

4.7. Emprésurage

Il correspond au moment où l'on ajoute la présure en vue de provoquer la coagulation : Cette dernière se traduit par une floculation des micelles de caséines qui s'unissent pour former un gel accompagné d'une phase liquide appelée lactosérum. Après maturation, le lait est additionné de 19 à 23 ml de présure pour 100 litres de lait. Le caillage est obtenu au bout de 10 à 15 min (**Pointurier et al., 1985**).

4.8. Coagulation

La coagulation du lait, se traduit par la formation d'un gel, résulte des modifications physico-chimiques intervenant au niveau des micelles de caséine. Les mécanismes proposés dans la formation du coagulum diffèrent totalement suivant que ces modifications sont induites par acidification et /ou action d'enzymes coagulantes (**Ramet, 2006**).

4.9. Egouttage

L'égouttage résulte d'un processus actif, la synérèse, qui est un phénomène physique de séparation de la phase dispersante, fréquent dans les systèmes biologiques contenant des polymères organisés en réseau et l'aptitude d'écoulement du gel. Macroscopiquement, l'égouttage se traduit par une élimination progressive du lactosérum qui s'accompagne et qui correspond au fromage (**Mahaut et al., 2000**).

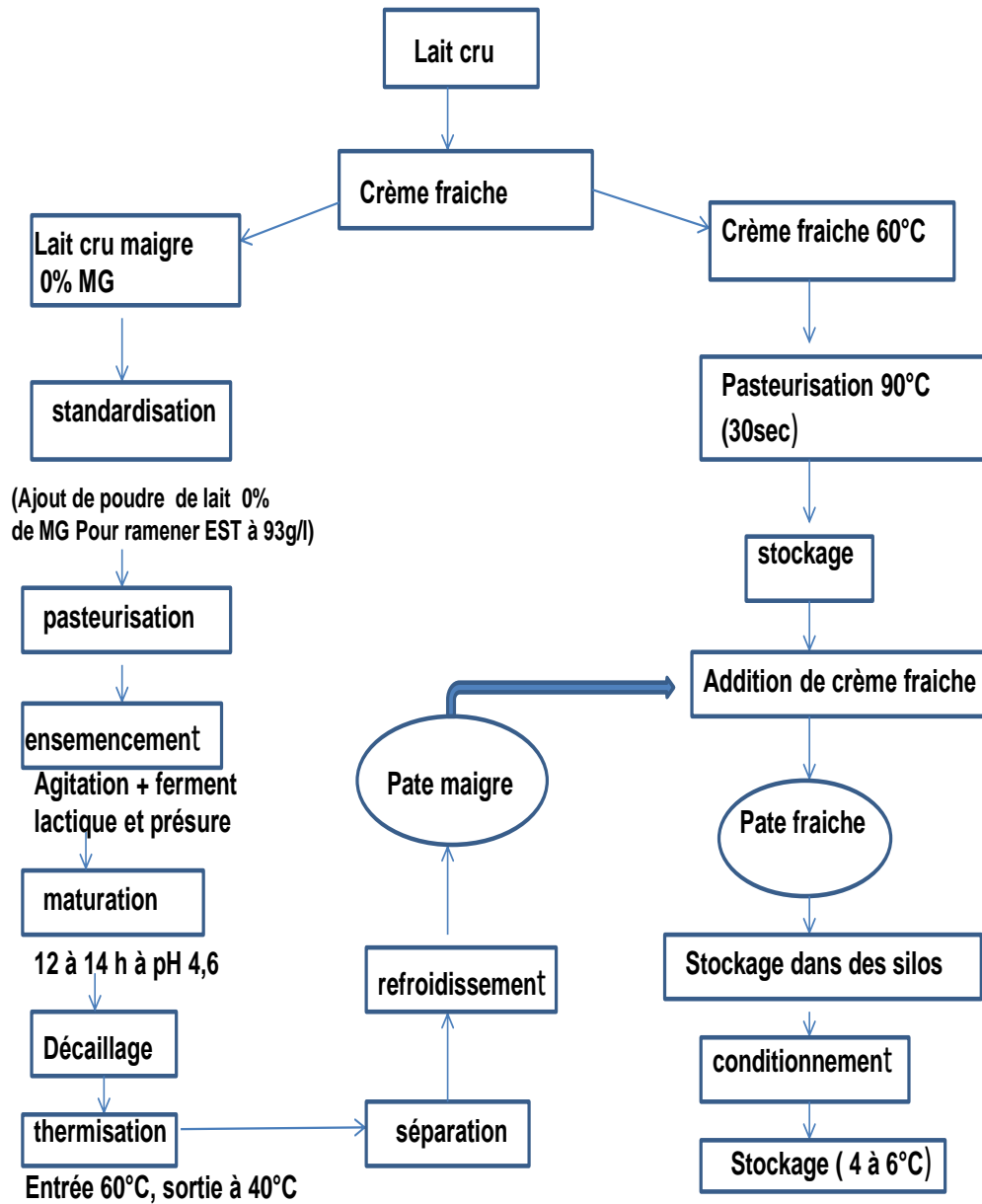


Figure 8 : Diagramme de fabrication du fromage petit suisse par la laiterie ARIB (GIPLAIT)