

Année Universitaire : 2012-2013

Master Sciences et Techniques : CMBA
Chimie des Molécules Bio Actives



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Valorisation des protéines du lactosérum production de la Ricotta

Présenté par:

BOUMADIENE Soufiane

Encadré par:

- **Pr. Safia SABIR** (Faculté des Sciences et Techniques Fès)
- **Mr. Jamal El ALLAM** (Domaine Douiet Fès)

Soutenu Le 17 Juin 2013 devant le jury composé de:

- **Mr. Fouad OUAZZANI CHAHDI**
- **Mme. Ouafae SQALI**
- **Mme. Safia SABIR**

Stage effectué à : Domaine Douiet Fès

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques



Nom et prénom: BOUMADIENE Soufiane

Année Universitaire : 2012/2013

Titre: Valorisation des protéines du lactosérum : production de la Ricotta

Résumé

L'industrie agro-alimentaire doit faire face à un problème devenu au fil de ces dernières années de plus en plus crucial. Il s'agit de la pollution créée par les déchets et les rejets de cette industrie. L'industrie laitière en fait partie, puisqu'elle est à l'origine de la production de grandes quantités de lactosérum. Pour remédier ce problème, de nombreux procédés sont envisageables, Parmi lesquels on distingue la production de la Ricotta qui est un fromage frais obtenu par thermo-coagulation des séroprotéines contenues dans le lactosérum

L'unité de la production fromagère du Domaine Douiet rejette quotidiennement 38232 litres/mois de lactosérum, soit pour chaque kilogramme de fromage produit, un résidu de 8 à 12 kg de lactosérum est rejeté. Par sa composition biochimique (lactose, protéines, vitamines,..), le lactosérum est devenu un facteur de pollution redoutable.

Ce travail de recherche s'axe sur la production de la Ricotta pour deux raisons essentielles : Diminution de la quantité de lactosérum par la valorisation des séroprotéines d'une part, et augmentation de la rentabilité de l'entreprise par la fabrication d'un nouveau produit d'autre part.

Mots clés: Fromage, lactosérum, thermo-coagulation, séroprotéines, Ricotta

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition moyenne et distribution des protéines du lait..... 9

Tableau 2 : Constituants lipidiques du lait et localisation dans les fractions physicochimiques (g/100 g de matière grasse) 11

Tableau 3 : Constituants majeurs des matières salines du lait de vache... 1	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 4 : Teneurs en oligo-éléments du lait (µg/L)	13
Tableau 5 : Concentrations en vitamines du lait (mg/L)	13
Tableau 6 : Caractéristiques des deux catégories fromages à pâtes molle.....	17
Tableau 7 : Types des fromages fabriqués au Domaine Douiet	Erreur ! Signet non défini.3
Tableau 8 : Composition moyenne du lactosérum doux et acide.....	Erreur ! Signet non défini.8
Tableau 9 : Composition de la Ricotta	34
Tableau 10 : Les différentes types des acides gras de la Ricotta (g/100g).....	35
Tableau 11 : Les différentes types des vitamines et minéraux de la Ricotta (mg/100g) ..	35
Tableau 12 : Matériels et contrôles pour la fabrication de la Ricotta.....	41
Tableau 13 : Récapitulatif des résultats obtenus.....	49

Sommaire

Introduction générale [1](#)

Première Partie : Présentation du Domaine Douiet

- A. Historique du Domaine Douiet 3
- B. Filière Élevage-Culture 3

C.Filière d'Horticulture	3
D.Filière des produits laitiers	4

Deuxième Partie : Etude bibliographique

<u>I. Le lait</u>	8
<u>II. Analyse détaillée de la composition du lait</u>	8
1. Les matières azotées totales (MAT)	8
a. Caséines	<u>9</u>
b. Protéines solubles	<u>10</u>
c. Azote non protéique	<u>10</u>
2. Lipides	10
3. Glucides	11
4. Les minéraux	12
5. Les oligo-éléments	12
6. Les vitamines	13
<u>III. Traitement du lait</u>	14
<u>1. Dégazage</u>	14
<u>2. Thermisation</u>	14
<u>3. Standardisation</u>	14
<u>4. Pasteurisation</u>	14
<u>5. Homogénéisation</u>	15
<u>IV. Fromages</u>	<u>16</u>
1. Définition	16
2. Classification du fromage	16
a. Les fromages frais	<u>16</u>
b. Les fromages à pâte molle	<u>17</u>
c. Les fromages à pâte persillée	<u>18</u>
d. Les fromages à pâte pressée	<u>18</u>
e. Les fromages de chèvre	<u>18</u>
3. Valeur nutritionnelle des protéines du fromage	18
4. Principes généraux de fabrication du fromage	19
a. Préparation du lait	<u>19</u>
b. Coagulation	<u>19</u>
c. Egouttage	<u>19</u>
d. Salage	<u>22</u>
e. Affinage	<u>22</u>
<u>V. Processus de fabrication des fromages du Domaine Douiet</u>	23
1. Processus de fabrication des fromages à Pâte fraîche	23
2. Processus de fabrication des fromages à Pâte molle.	24
3. Processus de fabrication des fromages à Pâte pressée	25
<u>VI. Lactosérum.</u>	28

Troisième Partie : Valorisation des protéines du lactosérum Production de la Ricotta

Introduction	32
I. Valorisation du lactosérum issu de la fabrication fromagère	33
II. Généralités sur la Ricotta	33
1. Définition.	33
2. Aperçu sur la Ricotta	33
3. Composition de la Ricotta	34
4. Propriétés fonctionnelles de la Ricotta	36
<u>III. Matériels et méthodes</u>	36

1. Processus de fabrication de la Ricotta	36
2. Méthode de fabrication	37
a. Récupération du lactosérum et Préchauffage	37
b. Addition du lait et du sel	38
c. Chauffage et acidification	39
d. Flocculation et chambrage	39
e. Moulage	39
f. Egouttage et conditionnement	40
g. Stockage	40
3. Matériels et contrôles	41
4. Les analyses effectuées : analyses physico-chimiques	42
IV. Résultats et interprétations.	44
1. Résultats.	44
2. Interprétations.	49
Conclusion générale	51

Remerciements

Avant d'entamer la rédaction de ce rapport, il m'est agréable de présenter une dette de reconnaissance à toute personne, qui par son intervention a favorisé l'aboutissement de ce stage.

Je tiens à remercier le Directeur général du Domaine Douiet Mr BENIS qui m'a permis d'effectuer ce stage au sein de son entreprise.

Je tiens à remercier aussi Mr J. El ALLAM responsable du laboratoire de Recherche et développement du Domaine Douiet de m'avoir accueilli dans son laboratoire et m'avoir laissé développer tous les aspects passionnants tout au long de mon stage.

J'adresse mes remerciements également au professeur Madame Safia SABIR mon encadrant à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, qui a fait preuve d'une grande disponibilité pendant toute la durée de stage.

Ma reconnaissance va ensuite aux membres du jury, pour avoir accepté de prendre part à l'évaluation et la correction de ce travail.

Je remercie aussi tous les membres de ma famille, qui ont régulièrement pris des nouvelles de mes expériences, même si celles-ci doivent leur sembler légèrement obscures.... Rassurez-vous ça a fini par bien passer!!!

Les résultats de mes travaux menés au cours de ce rapport ont été enrichis par de multiples collaborations avec mes collègues et amies : Chahid asmae, Boundri hanae qui m'ont bien épaulé pendant les longues journées du stage !!!
UN GRAND MERCI.

Enfin, je souhaite associer à ces remerciements tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Introduction générale

Le besoin mondial en protéines s'accroît plus vite que le besoin alimentaire global. La production de protéines est marquée par une rareté véritable, même catastrophique dans beaucoup de pays du « Tiers Monde », Ceci a amené les industriels laitiers à valoriser les sous-produits comme **le lactosérum** de fromagerie à la fois pour des raisons de rentabilité et de lutte contre la pollution.

Les quantités de lactosérum disponibles dans le monde sont considérables, puisqu'elles représentent au moins 85% du lait transformé en fromage. La composition de ce dérivé varie avec la fabrication dont il provient.

Ce projet de fin d'études intitulé « **valorisation des protéines de lactosérum : production de la Ricotta** » a été réalisé dans le laboratoire de recherche et développement du Domaine Douiet à Fès.

Le choix du Domaine Douiet a été dicté par sa position stratégique en tant que leader national dans le domaine de la fabrication et la distribution des produits laitiers.

L'objectif de ce travail est la valorisation des protéines de lactosérum doux obtenu par plusieurs types du fromage afin de produire un fromage de lactosérum : **Ricotta**.

Ce mémoire comporte trois étapes:

- La première étape est une présentation de l'entreprise : Domaine Douiet
- La deuxième étape sera consacrée à une étude bibliographique sur le lait et ses différents composés et comporte également les différents processus de fabrication du fromage chez le Domaine Douiet.
- La troisième étape permettra de décrire la partie pratique de mon rapport « valorisation des protéines de lactosérum : production de la Ricotta » en détaillant les étapes et les opérations effectuées durant cette période de mon stage.

Première Partie. Présentation du Domaine Douiet

A. Historique du Domaine Douiet

Le domaine Douiet est une exploitation agricole qui s'étend sur une superficie d'environ 700 Ha dont 330 Ha cultivables et il dispose de 2 forages « Ain Allah » et « Bourkaize », situé à 15 Km au nord ouest de la ville de Fès. Il est constitué de divers secteurs de production animale, agricole et laitières et emploie un effectif d'environ 800 personnes.

- 1970 : Création de la ferme dont la production est destinée uniquement au propriétaire.
- 1997 : Construction de la nouvelle usine de la production laitière dans le but d'élargir le champ de commercialisation et de viser une nouvelle clientèle
- 1998 : Création de trois départements distincts (élevage, horticulture et produits laitiers.)
- 2000 : Mise en place du système HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point), « Analyses des dangers- point critiques pour leur maîtrise ». C'est un système qui identifie, évalue et maîtrise les dangers significatifs au regard de la sécurité des aliments.
- 2003 : Certification ISO 9001 version qui vise à accroître la satisfaction de ses clients.
- 2007 : Reconduction de la certification ISO 9001.
- 2007 : Certification ISO 22000 qui assure la sécurité du consommateur.

B. Filière Élevage-Culture

Le secteur élevage a deux activités principales : l'élevage des bovins (jeunes bovins, vaches laitières, génisses) et des caprins (chèvres). Ce secteur est considéré comme la base de la production laitière, car le volume et la qualité des produits laitiers sont tributaires de la quantité et de la qualité du lait collecté par jour. Le secteur comprend deux complexes placés sous la responsabilité du chef du département.

Le secteur Culture est scindé en trois zones : deux à Douiet et une à Ras ElMa.

C. Filière d'horticulture

Le secteur d'horticulture certifié EUREPGAP (satisfaction de clients) a trois activités principales :

- Production maraîchère (divers légumes)
- Arboriculture (pêche, vigne,...)
- Floriculture

D. Filière des produits laitiers

Le secteur de production et de transformation laitière a été créé en 1983. Après son évolution, le secteur atteint une surface de 2150 m² en 1997 et les six Hectares en 2011 qui assurent une production moyenne de 15000 litres par jour.

On peut distinguer trois lignes de fabrication :

➤ Ligne carton :

- Lait pasteurisé : entier et écrémé
- Leben : nature, aromatisé et beldi
- Jus de fruits au lait

➤ Ligne yaourt :

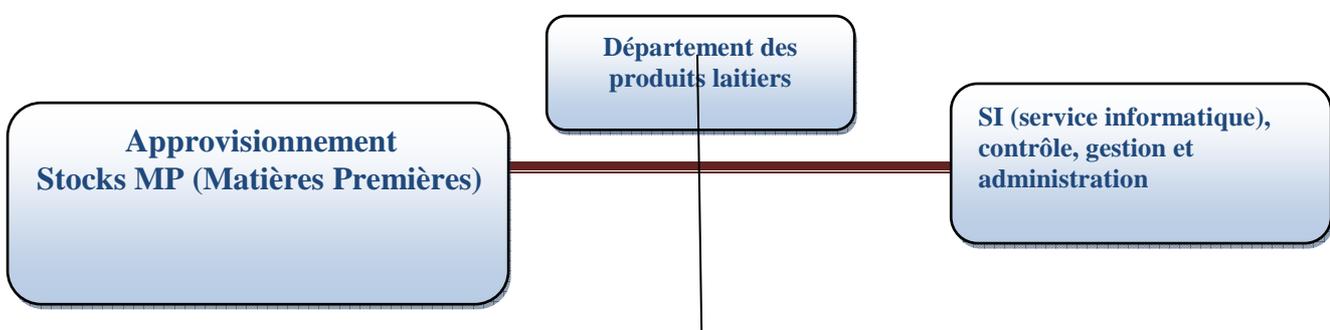
- Yaourt à boire : aromatisé (vanille, amande, fraise et pêche)
- Yaourt ferme : nature, chèvre et aromatisé
- Yaourt brassé
- Yaourt crémeux

➤ Fromagerie :

- Fromages frais et affinés : fromage blanc, 0% MG, tome, mini tome, Emmental, cottage cheese, Zouaghi, affiné de chèvre...
- Crème fraîche et beurre.

Les objectifs stratégiques du Domaine sont axés sur la production et la transformation de produits agricoles et agroalimentaires de qualité, dans le respect de l'environnement, tout en contribuant au développement technologique du secteur agricole du pays.

Organigramme



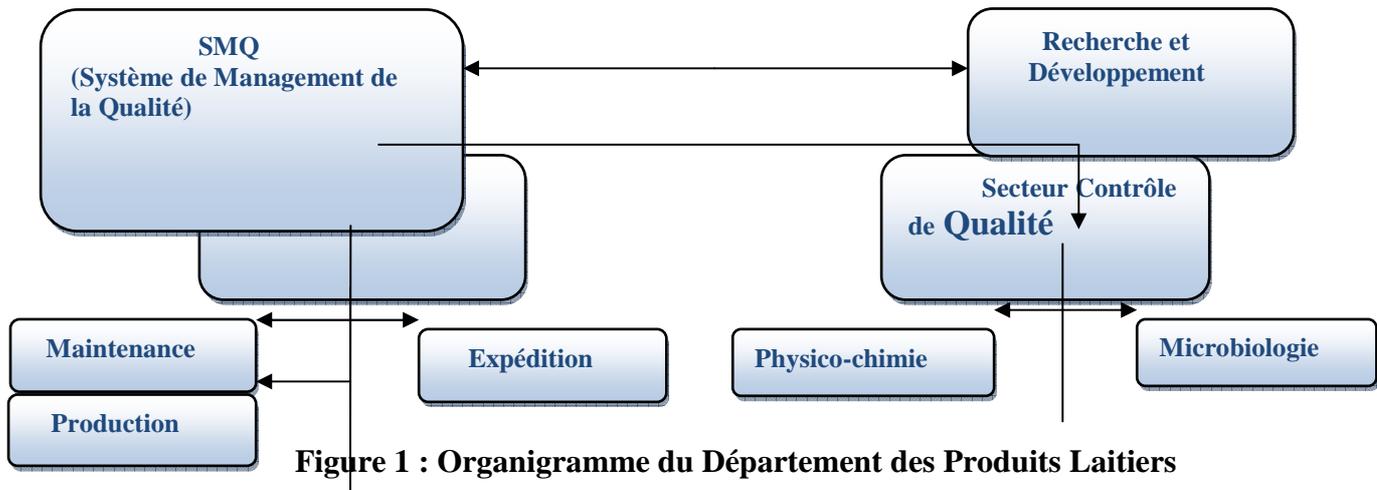


Figure 1 : Organigramme du Département des Produits Laitiers

Ce département est constitué d'une :

- ❖ Zone de réception du lait.
- ❖ Salle de préparation, où l'on réalise les traitements du lait pour en fabriquer les produits laitiers.
- ❖ Fromagerie où l'on fabrique toute sorte de fromage : affiné et frais.
- ❖ Laboratoire de recherche pour rechercher de nouveaux produits et améliorer la qualité microbiologique, physico-chimique, nutritionnelle et sensorielle des produits.

En plus, il existe une salle de conditionnement, où le produit fini est conditionné, mis dans des caisses puis dans des palettes. Le département comprend des chambres chaudes et des chambres froides où les produits laitiers sont stockés.

Deuxième Partie

Etude bibliographique

I. Le lait

Le lait est le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum, (colostrum est le produit de la sécrétion du pis récolté lors de la première traite).

Il apparaît comme un liquide opaque blanc, a une odeur peu marquée mais reconnaissable, plus ou moins jaunâtre selon la teneur en β - carotènes de la matière grasse.

Le lait est un mélange complexe constitué à 90% d'eau et comprend :

- une solution vraie contenant les sucres, les protéines solubles, les minéraux et les vitamines hydrosolubles.
- une solution colloïdale contenant les protéines, en particulier les caséines.
- une émulsion de matières grasses dans l'eau.

II. Analyse détaillée de la composition du lait de vache

Le lait se compose de :

- ✓ Quatre éléments majeurs : protéines, lipides, glucides et sels minéraux.
- ✓ Plusieurs éléments mineurs : vitamines, oligo-éléments, gaz dissous, lécithine, enzymes et nucléotide.

1. Les matières azotées totales (MAT)

La dénomination « matières azotées totales » regroupe les protéines (Taux Protéique), ainsi que l'azote non protéique (dont l'urée). Le taux Protéique est une caractéristique importante du lait. Il conditionne la valeur marchande du lait, plus le taux Protéique sera élevé par rapport à une référence et plus le lait sera payé cher au producteur. En effet, plus le taux protéique est élevé et plus le rendement de transformation fromagère sera bon. La teneur totale avoisine 34 à 35 g/L.

Les protéines du lait représentent 95% des matières azotées totales. Les 5% restants sont constitués :

- d'acides aminés libres et de petits peptides
- d'azote non protéique, essentiellement de l'urée (0,3 à 0,4 g/L) mais aussi de la créatinine, de l'acide urique,...

Les protéines sont constituées soit seulement d'acides aminés (β -Lactoglobuline et α -Lactalbumine), soit d'acides aminés et d'acide phosphorique (caséines α et β) avec parfois encore une partie glucidique (caséine k). Une vingtaine d'acides aminés interviennent dans la composition de ces protéines, leur séquence conférant à chaque protéine des propriétés propres. C'est sur la base de la précipitation à pH 4,6 (à 20°C) ou sous l'action de la présure qu'on sépare deux constituants : la ou plutôt les caséines (α , β , γ et k) et les protéines solubles ou protéines du lactosérum.

Les protéines du lait forment un ensemble assez complexe constitué de :

- 80% de caséines,
- 20% de protéines solubles : α -lactalbumines, β -lactoglobulines, sérum albumines, immunoglobulines...

Ces protéines ont des origines différentes :

- 90% des protéines du lait sont synthétisées par la mamelle (et sont spécifiques du lait), les caséines sont entièrement synthétisées par la mamelle, les lactoglobulines sont des protéines sanguines modifiées par la mamelle.
- 10% des protéines du lait (sérum albumines, immunoglobulines) proviennent directement du sang.

Tableau 1: Composition moyenne et distribution des protéines du lait

	Moyennes absolues (g/L)	Moyennes relatives (%)
Matières azotées totales	34	100
Protéines	32	94
<u>Protéines non solubles ou caséine entière</u>	26	82
<u>Protéines solubles</u>	6	18
α -lactoglobuline	2,7	45
β -lactalbumine	1.5	25
Sérum-albumine	0.3	5
Globuline immunes	0.7	2
Protéoses peptones	0.8	13
Substances azotées non protéiques	2	6

a. Caséines :

Les caséines sont des polypeptides phosphorés associés à des constituants minéraux, en particulier le calcium, mais aussi le phosphore, le magnésium et le citrate, de manière à former des micelles de phosphocasinatate de calcium. En présence de calcium, elles forment des unités qui agrègent plusieurs milliers de molécules, constituant les micelles de caséine dispersés dans la phase hydrique du lait (diamètre variant de 100 à 250 μm). Cette

configuration spatiale permet aux enzymes hydrolytiques (carboxypeptidases) une digestion plus aisée.

b. Protéines solubles :

Les protéines solubles représentent environ 20% des protéines totales du lait. Elles flocculent difficilement en présence d'acide ou de présure. Par contre, à l'exception des Protéases-peptones, elles sont dénaturées par la chaleur et sont entraînées lors de la coagulation de la caséine sous l'action de la présure. Après un chauffage à 80°C pendant une minute, on dénature environ 20%, mais, lors de la pasteurisation UHT (72°C pendant 15 à 20 secondes), la dénaturation est négligeable.

Le constituant essentiel est la β -lactoglobuline bovine (50-55%), son rôle n'est pas connu. La deuxième protéine soluble du lait est, par ordre d'importance, l' α -lactalbumine (20-25%), elle est présente dans le lait de tous les mammifères qui sécrètent du lactose puisque cette protéine est partie intégrante de l'enzyme de synthèse du lactose.

Parmi les protéines solubles restantes certaines, comme la sérum-albumine, ont une faible valeur nutritionnelle. D'autres comme les immunoglobulines et la lactoferrine n'en ont pas du tout.

Les protéines du lactosérum ont une valeur nutritive majeure en nutrition humaine, car elles sont riches en acides aminés essentiels. Les protéines du lait de vache est un profil en acides aminés différent.

c. Azote non protéique :

Le taux d'urée du lait est bas et ceux de taurine et de carnitine sont faibles.

2. Lipides

Les matières grasses sont présentes dans le lait sous forme d'une émulsion de globules gras. La teneur en matières grasses du lait est appelée taux butyreux.

Les termes «matières grasses» et «lipides» ne sont pas synonymes. En effet, la matière grasse obtenue par des moyens mécaniques (produit de l'écémage obtenu par centrifugation) représente le contenu du globule gras. De ce fait, elle ne contient pas les lipides polaires ou complexes (phospholipides, etc.), mais contient par contre des composés liposolubles qui ne sont pas des lipides au sens strict et que l'on nomme «substance lipoïde». Il s'agit essentiellement d'hydrocarbures (dont le carotène), d'alcools (dont le cholestérol et la vitamine E) et de vitamines liposolubles (A, D, K). Cette fraction encore appelée insaponifiable regroupe donc des composés variés et nombreux.

Les lipides (fraction saponifiable) constituent donc l'essentiel de la matière grasse (>98%).

Tableau 2 : Constituants lipidiques du lait et localisation dans les fractions physicochimiques (g/100 g 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
Séroïdes	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

3. Glucides

Le lactose, disaccharide composé de glucose et de galactose, est le seul glucide libre du lait présent en quantités importantes, sa teneur est très stable entre 48 et 50 g/L. Cette teneur présente de faibles variations à la différence du taux butyreux.

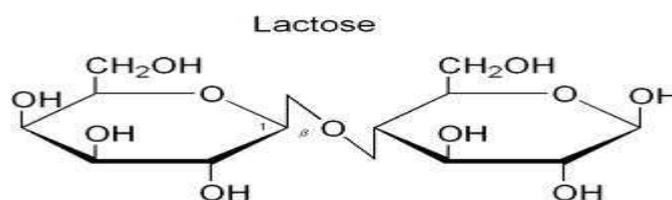


Figure 2 : Structure moléculaire du lactose

Il est synthétisé par la glande mammaire à partir du glucose prélevé dans le sang. Sa faible contribution à l'apport énergétique du lait (30%), ne fait pas de ce dernier un aliment équilibré en termes de répartition calorique (les recommandations théoriques prônent un apport de 50 à 60% de calories glucidiques).

Le lactose joue un rôle nutritionnel particulier et intervient également comme élément de fermentescibilité : Il est dégradé en acide lactique par des bactéries lactiques (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) ce qui provoque un abaissement du pH du lait entraînant sa coagulation; celui-ci est indispensable pour la fabrication du fromage et du lait fermenté. Il peut être hydrolysé par les acides forts, mais surtout par la lactase. La saveur

sucrée du lactose est faible; lorsqu'on impute au saccharose une valeur arbitraire de 100%, celle du lactose atteint environ le tiers (de 27 à 39%).

Le lait contient en quantités souvent négligeables (0,1g/L) d'oligosaccharides notamment du glucose et du galactose issus de la dégradation du lactose.

4. Les minéraux

Les minéraux (ou matières salines) sont présents dans le lait à hauteur de 7g/litre environ. Les plus représentés en quantité sont le calcium, le phosphore, le potassium et le chlore.

On retrouve ces matières salines soit en solution dans la fraction soluble, soit sous forme liée dans la fraction insoluble (ou colloïdale). Certains minéraux se trouvent exclusivement à l'état dissous sous forme d'ions (sodium, potassium et chlore) et sont particulièrement biodisponibles. Les autres (calcium, phosphore, magnésium et soufre) existent dans les deux fractions.

Dans la fraction soluble, ils existent en partie sous forme libre (calcium et magnésium ionisés), en partie sous forme saline (phosphates et citrates) non dissociée (calcium et magnésium), ou encore sous forme complexe (esters phosphoriques et phospholipides). Dans la fraction colloïdale, les minéraux (calcium, phosphore, soufre et magnésium) sont associés ou liés à la caséine au sein des micelles.

Tableau 3 : Constituants majeurs des matières salines du lait de vache (g/L)

Matière saline total (g/L)	7
calcium	1,25
phosphore	1,00
magnésium	0,12
sodium	0,50
potassium	1,25
chlore	1,00
autres (soufre, citrate...)	1,8

5. Les oligo-éléments

Leurs teneurs en oligo-éléments dans le lait varient fortement mais, au-delà de certaines limites, elles sont l'indice d'une contamination du lait et présentent un caractère toxique pour la santé et/ou nuisible en technologie laitière. Les teneurs en oligo-éléments du lait données dans la littérature sont seulement indicatives, dans la mesure où elles subissent l'influence de divers facteurs (alimentation, stade de lactation, etc.) et dépendent aussi des méthodes utilisées.

Tableau 4 : Teneurs en oligo-éléments du lait ($\mu\text{g/L}$)

Oligo-éléments	Teneurs
Brome	150
Cobalt	0,5
Cuivre	20-40
Fer	200-500
Fluor	70-200
Iode	10-300
Manganèse	10-30
Sélénium	10 -30
Zinc	3000-6000

6. Les vitamines

Toutes les vitamines connues sont présentes dans le lait de vache. Les techniques de traitement du lait peuvent modifier sensiblement les taux, surtout pour la vitamine C (acide ascorbique).

Tableau 5 : Concentrations en vitamines du lait (mg/L)

Vitamines hydrosolubles	Teneurs	Vitamines liposolubles	Teneurs
B ₁ (thiamine)	0,42	A	0,37
B ₂ (riboflavine)	1,72	β-carotène	0,21
B ₆ (pyridoxine)	0,48	D (cholécalférol)	0,0008
B ₁₂ (cobalamine)	0,0045	E (tocophérol)	1,1
Acide folique	0,053	K	0,03
Acide pantothénique	3,6		
Biotine	0,036		
C (acide ascorbique)	8		

III. Traitement du lait

Dans le but d'assainir le lait et de prolonger sa durée de conservation, on lui applique généralement un traitement thermique qui détruit partiellement ou complètement sa flore microbienne.

Au cours de traitement thermique, le lait passe par deux étapes essentielles : Standardisation et homogénéisation.

1. Dégazage

Après sa filtration, le lait subit un dégazage suivi d'un refroidissement à $4^{\circ}\text{C} \pm 2$ afin de limiter le développement des germes, puis il est stocké dans des cuves équipées d'agitateurs servant à homogénéiser la température du lait dans le bac.

2. Thermisation

C'est la première étape de la chaîne de production au sein de l'usine, elle a un double rôle : d'une part elle permet la destruction d'un nombre considérable de microorganisme et d'autre part elle facilite l'étape de l'écémage.

Cette opération se déroule en trois étapes :

- ✓ Le lait cru entre avec une température de 4°C pour passer à 45°C.
- ✓ Le lait à 45°C est envoyé à l'écrémeuse (pour les laits écrémés) puis revient au thermiseur avec la même température.
- ✓ La température du lait augmente de 45°C à 75°C, par la suite, cette température diminue avec le contact du lait entrant au thermiseur.

En fin, un refroidissement final à 4°C est réalisé par contact avec l'eau glacée.

3. Standardisation

Selon les espèces, le type d'alimentation et les saisons, la composition du lait est variable. Le taux de matière grasse peut s'élever de 30 à 70 g par litre.

L'écrémeuse-standardisatrice permet d'harmoniser la composition du lait provenant de différentes exploitations. En particulier, pour faire correspondre le taux de matière grasse à celui exigé par la législation dans le lait de consommation et les produits laitiers.

La standardisation c'est l'ajout des différents ingrédients entrant dans la composition du Mix ; la poudre du lait 1% ou 26%, le sucre, le texturant et les arômes.

4. Pasteurisation

La pasteurisation est la combinaison temps-température capable d'assurer la destruction des germes pathogènes.

La pasteurisation est une opération de stabilisation du produit, pour augmenter sa durée de conservation et élargir les possibilités de commercialisation et de consommation. Elle assure les fonctions suivantes :

- La destruction de 90% de la flore banale et tous les germes pathogènes.
- La formation de l'acide formique qui active les bactéries lactiques.

Le lait passe par une vanne de dérivation à fin d'être boucler s'il n'est pas bien pasteurisé, cette opération peut être automatique ou forcée. Il entre alors dans le pasteurisateur pour être préchauffé, au niveau de la deuxième section (section de réception de chaleur), il ressort du pasteurisateur pour pénétrer dans l'homogénéisateur ensuite il se fait projeter à travers un clapet de diamètre réglable à une grande pression (154 bar).

5. Homogénéisation

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

L'objectif est d'éviter que la matière grasse ne remonte à la surface, ne gêne l'écoulement du lait ou ne se dépose pas sur l'emballage lors du traitement thermique de conservation.

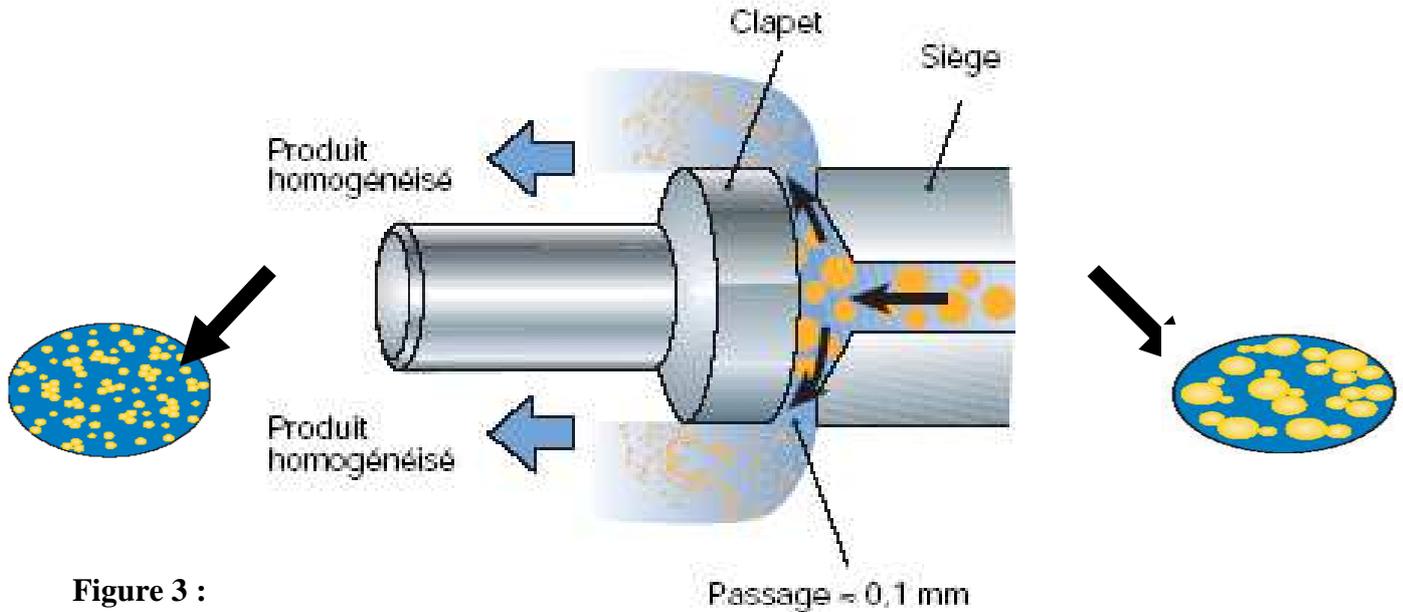


Figure 3 :

L'homogénéisation entraîne le fractionnement des globules gras en des globules plus petit

IV. Fromages

Les premières traces de fabrication du fromage remontent à l'an 2800 avant Jésus-Christ, cependant sa découverte reste sans aucun doute le fruit d'un heureux hasard. On oublie du lait près du feu, ou dans un sac fait avec l'estomac d'un animal, le caillé (solide) et le lactosérum (liquide) se séparent ; et l'homme découvre que sa denrée la plus précieuse peut être conservée sous forme de fromage et que la présure présente dans l'estomac de l'animale qui le donne fait office de coagulant.

1. Définition

Le fromage est le produit frais ou affiné, solide ou semi-solide, dans lequel le rapport protéines de lactosérum/caséine n'excède pas celui du lait, obtenu:

- Par coagulation du lait entier, lait écrémé, lait partiellement écrémé, crème de lactosérum, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés, et par l'égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation.
- Par l'emploi de techniques de fabrication entrainant la coagulation du lait ou/et des matières obtenues à partir de lait, présentant des caractères physiques, chimiques et organoleptiques similaires à ceux du produit définit plus haut.

2. Classification du fromage

Il n'existe pas un system universel pour identifier les fromages, mais sont généralement classés selon leur fermenté, qui varie suivant le degré d'humidité. Les pâtes dures contiennent moins de 30% d'humidité tandis que les pâtes molles ou fraîches peuvent en contenir jusqu'à 80%. Ce système de classement définit 5 classes différentes : les fromages frais, les fromages affinés à pâte molle, les fromages affinés à pâte pressée, les fromages à pâte persillée et les fromages de chèvre.

a. Les fromages frais

Ce sont des fromages peu égouttés qui n'ont pas été affinés. Ils sont obtenus à partir du lait pasteurisé, ils ne subissent que la fermentation lactique et non pas par l'ajout de présure.

Les fromages frais sont facilement reconnaissables à leur blancheur, leur aspect généralement luisant et leur absence de croûte. Au delà de leurs caractéristiques communes, décrites ci-dessous, leur diversité est importante particulièrement en termes de texture :

- **Saveur** : Laitéuse, avec une acidité douce, d'une fraîcheur citronnée ou légèrement âcre comme celle du yaourt ou la crème fraîche.
- **Matière grasse** : ils ont le plus bas taux de matière grasse de toutes les catégories de fromages, environ 19% à 21%.
- **Humidité** : ils ont le taux d'humidité le plus élevé de toutes les catégories de fromages, ce qui signifie que leur durée de vie est très courte.
- **Âge** : de 7 jours, ou jusqu'à 12 mois marinés dans de la saumure ou de l'huile.
- **Croûte** : pas de croûte, il y a donc peu de différence entre l'intérieur et l'extérieur.
- **Texture** : les types de textures varient énormément : souple, friable, à tartiner, mousseuse, crémeuse, fibreuse ...
- **Couleur** : de couleur blanche en général luisante.

Cette catégorie inclut : Cottage cheese, Mozzarella, Halloumi...

b. Les fromages à pâte molle

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 pâtes molles,ensemencés en surface avec une moisissure qui provoque par affinage en cave l'apparition d'une croûte.

Les fromages à pâte molle se répartissent en deux catégories définies par l'aspect de la croûte : les fromages à croûte fleurie (recouverts d'une mince couche de duvet blanc ou moisissure) comme le Camembert et le Brie... et les fromages à croûte lavée (par une saumure légère qui aide à maintenir l'humidité et la souplesse de la pâte et de la croûte) comme Pavé d'Auge, Munster.....

Tableau 6 : Caractéristiques des deux catégories fromages à pâtes molle

Caractéristiques	les fromages à croûte fleurie	les fromages à croûte lavée

Matière grasse	Ils ont un faible pourcentage de matière grasse : de 24% à 26%	Ils ont un taux de matière grasse de 22% à 30%
Croûte	fine et craquante recouverte d'une moisissure blanche, à épaisse et duveteuse	Elle peut être à peine formée ou bien grise et épaisse comme le cuir, en passant par orange, luisante et collante
Texture	Légèrement crayeuse quand ils sont jeunes, elle s'assouplit et devient crémeuse lorsqu'ils s'affinent	Caoutchouteuse et élastique à souple, voire coulante
Âge	On considère qu'ils sont à maturité à partir de 21 jours en fonction de leur taille	On considère qu'ils sont à maturité entre 3 semaines et 3 mois
Couleur	La couleur est blanche	La couleur de l'intérieur varie de jaune paille à crème
Humidité	Ils ont un taux d'humidité élevé qui maintient les graisses à un niveau assez bas	Ils ont un fort taux d'humidité, car ils ne sont pas du tout pressés.

c. Les fromages à pâte persillée

Les fromages à pâte persillée ou à pâte à moisissure interne ou encore Bleus sont des fromages ni cuits ni pressés dont le caillé estensemencé de moisissures déposées dans la pâte à l'aide de longues aiguilles, pour obtenir une fermentation s'effectuant de l'intérieur vers l'extérieur.

La plupart des fromages Bleus ont un intérieur humide qui favorise le développement des moisissures, donc leurs texture varie fortement; elle peut aller de dense et compacte à crémeuse et collante, et leur durée de la maturation à partir de 6 à 24 semaines. Exemple : le Roquefort, le Gorgonzola et le Stilton.....

d. Les fromages à pâte pressée

Le terme à pâte pressée se dit d'un fromage dont le caillé est pressé au moment du moulage afin d'éliminer le maximum de lactosérum, puis laissé à l'affinage.

Deux catégories se distinguent :

- La pâte des fromages non cuite subit une légère pression pendant quelques heures, ce qui leur donne une consistance dense et une couleur jaune pâle. Parmi eux on trouve : Cantal, Reblochon, Gouda et Edam....

- La pâte des fromages pressée et cuite c'est-à-dire que le caillé est chauffé pendant moins d'une heure afin de l'affermir, le résultat donne une pâte compacte ornée parfois d'une croûte résistante et dont la texture peut être granuleuse, dans ce type de pâte on trouve : Gruyère, Emmental, Beaufort, Brunost et Jarlsberg...

e. Les fromages de chèvre

Les fromages de chèvre sont des fromages à pâte molle et à croûte naturelle et peuvent être mélangés à du lait de vache. Ils présentent généralement une pâte fraîche ou molle à croûte fleurie, sont plus blancs que les fromages de lait de vache et ont une saveur crémeuse lorsqu'ils sont jeunes, leur saveur prend petit à petit un goût d'amandes pilées et devient intensément âcre et puissante au fur et à mesure que les fromages vieillissent.

Dans cette catégorie, on trouve le Crottin de Chavignol, le Selles-sur-Cher ...

3. valeur nutritionnelle des protéines du fromage

La qualité nutritionnelle des fromages émane de leur teneur élevée en protéines riches en acides aminés essentiels, c'est-à-dire de haute valeur biologique. Comme pour le lait, les acides aminés limitants sont les composés soufrés, surtout dans certains fromages à pâte molle.

Lors de la fabrication, c'est essentiellement la caséine qui constitue le fromage, tandis que **les protéines solubles**, de bonne qualité nutritionnelle, restent dans **le lactosérum**. C'est pourquoi la valeur biologique des protéines fromagères est quelque peu inférieure à celle des produits laitiers, mais supérieure à celle de la caséine isolée. La transformation du lait en fromages n'altère pas la qualité nutritive des protéines. La durée du processus (de 3 à 5 mois) n'influence pas davantage l'utilisation protéique nette des substances peptidiques et azotées.

4. Principes généraux de fabrication du fromage

Le fromage est le produit obtenu par coagulation du lait suivie d'un égouttage du coagulum. Il est essentiellement constitué d'un gel de caséine retenant les globules gras et une partie plus ou moins importante de la phase aqueuse du lait. La fabrication du fromage comprend trois étapes distinctes :

- Coagulation ou formation du gel (coagulum)
- Egouttage ou déshydratation du gel aboutissant à un caillé
- Affinage ou digestion enzymatique du caillé

Cette dernière étape n'existe pas dans le cas des fromages frais consommés après égouttage. Ces trois étapes sont généralement précédées d'une phase préalable de préparation du lait.

a. Préparation du lait

La préparation du lait comprend plusieurs opérations, certaines pouvant être facultatives ou obligatoires selon la technologie, la réglementation, les produits voulus, etc.

- ✚ **Standardisation du lait en matières grasses et en matières protéiques** : l'ajustement de la teneur en matières grasses se fait soit par l'apport du lait écrémé dans du lait entier, ou bien par l'apport de la crème dans du lait entier. La standardisation en matières protéiques se fait par ajout au lait de poudre de lait, de caséine ou encore par concentration du lait par ultrafiltration. La teneur en protéines du lait fromagerie est plus souvent comprise entre 33 et 40 g/litre au maximum.

- ✚ **Rééquilibrage en calcium** : pour redonner au lait pasteurisé un comportement normal au cours de la coagulation et de l'égouttage, il suffit généralement de lui ajouter du chlorure de calcium anhydre à une dose maximale de 0.2g/litre.
- ✚ **Maturation** : elle a pour but d'améliorer le lait en tant que milieu de culture pour les bactéries lactiques et d'amener le lait à son pH optimum d'emprésurage. Secondairement, elle contribue à reconstituer les équilibres physico-chimiques du lait ayant pu être perturbés par des traitements antérieurs (réfrigération principalement). Il existe divers méthodes de maturation dont le choix est fonction de la qualité du lait reçu, de l'organisation du travail et de la nature du fromage.

b. Coagulation

La coagulation du lait correspond à une déstabilisation de l'état micellaire original de la caséine. Les micelles de caséine doivent leur stabilité à deux facteurs :

- ✓ **La charge de surface** : les caséines ont un caractère acide très net : au pH normal du lait, elles ont un fort excès de charges négatives. Les micelles sont aussi chargées et de fortes répulsions électrostatiques, empêchent leur rapprochement.
- ✓ **Le degré d'hydratation** : l'eau fixée par les micelles est importante (3,7g par 1g de protéines), une partie de cette eau forme autour de chaque micelle une enveloppe d'hydratation protectrice.

En fromagerie, la déstabilisation est réalisée soit par voie fermentaire à l'aide de bactéries lactiques, soit par voie enzymatique à l'aide d'enzymes coagulants, en particulier la présure.

- **Coagulation par acidification lactique** : sous l'action des bactéries lactiques, le lait s'acidifie progressivement. Cette acidification entraîne une neutralisation des charges négatives portées par les caséines. En même temps, elle se produit une déminéralisation progressive des micelles qui se désintègrent en sous unités.

Lorsque le pH est voisin de 5, la charge des micelles est très réduite et la précipitation s'amorce. A pH=4,6 (point isoélectrique de la caséine), la neutralisation des charges est complète ; les micelles de caséine flocculent et se soudent formant au repos un gel homogène qui emprisonne le lactosérum et occupe entièrement le volume du lait au cours de la déminéralisation du complexe phosphocaseinate de calcium, le calcium colloïdal migre dans le sérum.

- **Coagulation par action de la présure** : Diverses enzymes protéolytiques ont la propriété de coaguler le lait. Elles sont soit d'origine animale (présure, pepsine), soit d'origine végétale (broméline, ficine), ou bien d'origine microbienne (enzymes de certaines moisissures ou de bactéries). Les enzymes utilisées en fromagerie sont la présure, la pepsine et celles d'origine fongique. La plus employée est la présure constituée d'un mélange de chymosine (80%) et de pepsine (20%); elle est sécrétée dans la caillette des jeunes ruminants nourris au lait. Outre son activité coagulante, spécifique sur la

caséine, la chymosine a une activité de protéolyse générale pouvant se manifester sur toutes les protéines.

La coagulation du lait par la présure comprend deux phases: une phase enzymatique, au cours de laquelle la chymosine dégrade la caséine k de façon spécifique, et une phase de coagulation, qui correspond à la formation du gel par agrégation des micelles modifiées.

✚ **Phase enzymatique :** Il existe différentes enzymes capables d'hydrolyser la liaison Phe(105)-Met(106) de la k-caséine. Cette hydrolyse coupe la molécule en deux, on obtient d'une part le CMP (Caseino-Macro-Peptide) hydrophile et soluble, diffusé à l'extérieur de la micelle de caséines ; d'autre part le PCK (Para-Caséine-Kappa) hydrophobe, qui reste à l'intérieur. La chymosine est une hydrolase permettant cette coupure protéolytique, la rapidité du déroulement dépend du pH et de la température. L'action optimale de la présure est à 40°C et à pH 5,8.

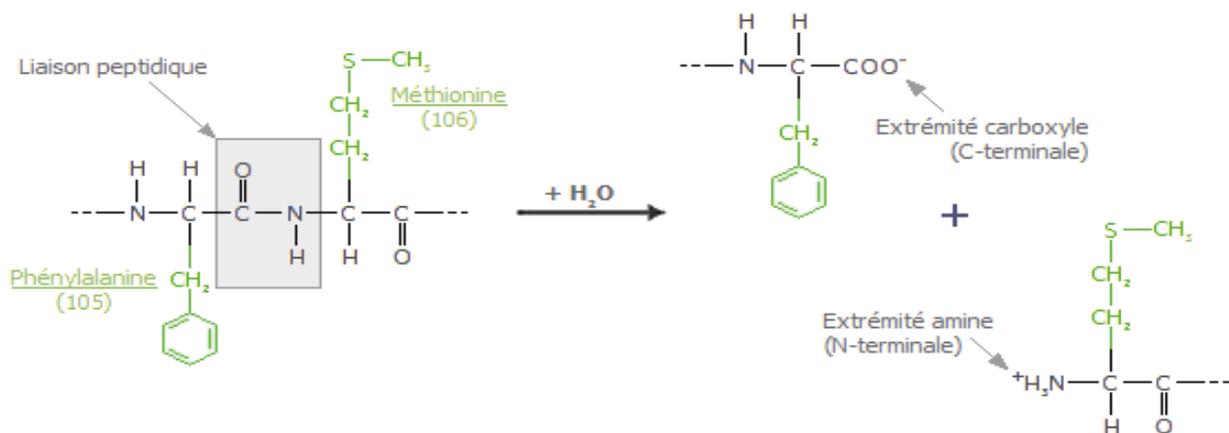


Figure 4 : Hydrolyse de la K-caséine

✚ **La phase de coagulation ou de formation du caillé :** La perte des Caséino-Macro-Peptides dans les micelles de caséines fait que les k-caséines ne se repoussent plus : le caractère hydrophobe des micelles augmente. Le fractionnement du phospho caséinate laisse des liaisons libres qui peuvent être occupées par le calcium ionisé (cation bivalent) qui va former des ponts calciques; et peut être la formation de ponts disulfures. C'est une réaction irréversible qui produit un gel souple : c'est le caillé présure. La vitesse de formation du coagulum ainsi que de son durcissement, augmente avec la température. Elle est très faible à 15°C et très forte à 55°C.

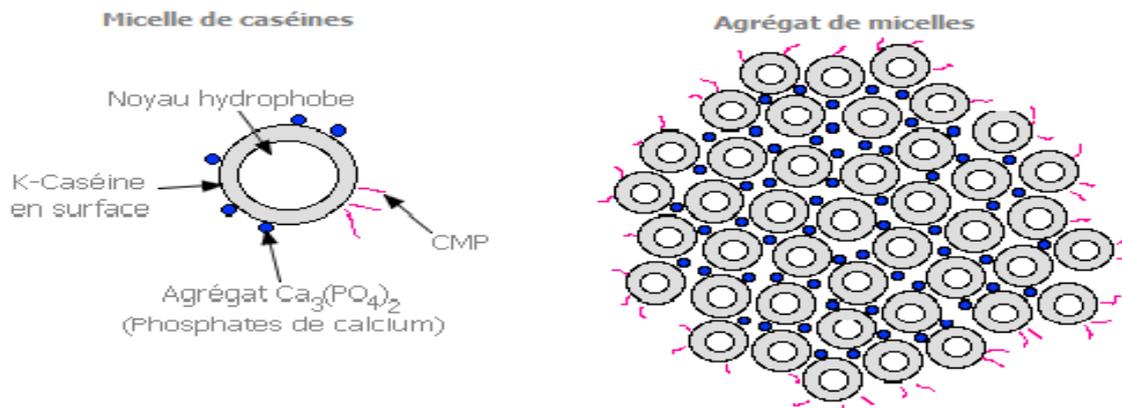


Figure 5 : Flocculation micellaire du lait

c. Egouttage

Le gel formé par acidification ou par action de la présure est dans un état physique instable. Plus ou moins rapide selon la nature du coagulum, la phase dispersante se sépare spontanément du coagulum sous forme de lactosérum.

L'égouttage est le résultat de deux phénomènes physiques différents:

- Un phénomène actif, la synérèse, qui est dû à la contraction du gel; il est particulièrement important dans les coagulums présure.
- Un phénomène passif, résultant de l'aptitude du coagulum à laisser s'écouler le lactosérum occlus; cette exsudation spontanée du sérum, liée à la perméabilité du coagulum.

La séparation du lactosérum s'accompagne d'une ségrégation des différents composants originaux du lait: la plus grande partie de l'eau et du lactose ainsi qu'une petite fraction de la matière grasse et des **protéines** sont éliminées par le sérum; la plus grande partie des protéines et de la matière grasse est retenue par le caillé.

d. Salage

Il a un triple rôle:

- Il complète l'égouttage et contribue à la formation de la croûte;
- Il règle l'activité de l'eau (A_w) du fromage et par là favorise, freine ou oriente le développement des micro-organismes et les activités enzymatiques au cours de l'affinage;
- Il relève la saveur du fromage et masque ou exalte le goût de certaines substances formées au cours de l'affinage.

On utilise deux procédés de salage:

- Le salage à sec des fromages par saupoudrage à la main ou à la machine, par frottage ou par incorporation dans le caillé;
- Le salage en saumure généralement saturée (318 g/litre).

La plupart des fromages ont une teneur en sel de 1,5% à 2,5%.

e. Affinage

A la fin de l'égouttage, le caillé se trouve sous forme d'un gâteau de volume, de forme et de composition déterminés. Sauf dans le cas où ce caillé est consommé à l'état frais, il subit alors un affinage (ou maturation) qui va modifier sa composition, sa valeur nutritive, sa digestibilité et ses caractères organoleptiques (aspect, consistance, saveur, odeur).

L'affinage correspond à un ensemble de dégradations enzymatiques, simultanées ou successives, du substrat (caillé) préparé par la coagulation et l'égouttage. Il constitue un processus très complexe en raison de la nature du substrat, de la diversité des agents responsables, de la variété des transformations et du nombre de produits formés. Il est dominé par plusieurs phénomènes biochimiques dont les plus importants sont la fermentation du lactose, la dégradation enzymatique des protéines et l'hydrolyse de la matière grasse. Les protéines sont hydrolysées en éléments de plus en plus simples et à sapidité croissante: polypeptides, peptides, acides aminés, ammoniac.. Les triglycérides sont hydrolysés en acides gras et glycérol, eux mêmes pouvant être transformés en résidus plus sapides et aromatiques (aldéhydes, cétones).

V. Processus de fabrication des fromages du Domaine Douiet

Le secteur fromagerie des domaines Douiet regroupe un certain nombre de fromage présentés sur le tableau suivant :

Tableau 7 : Types des fromages fabriqués au Domaine Douiet

Type de pâte	Produits
Pâte fraîche (frais)	Fromage frais (Jben 0%)/Fromage blanc /Cottage cheese
Pâte molle	Tomme/mini-Tomme
Pâte pressée non cuite	Zouaghi

Pâte pressée cuite	Emmental
--------------------	----------

1. Processus de fabrication des fromages à Pâte fraîche

On distingue deux types de fromages frais ou à Pâte fraîche : le Jben frais à 0% de matière grasse (MG) où l'on utilise le ferment lactique (Flora Danica) et la présure dont le goût est acide ; et le Cottage où l'on utilise que la présure dont l'acidité n'est plus recherchée.

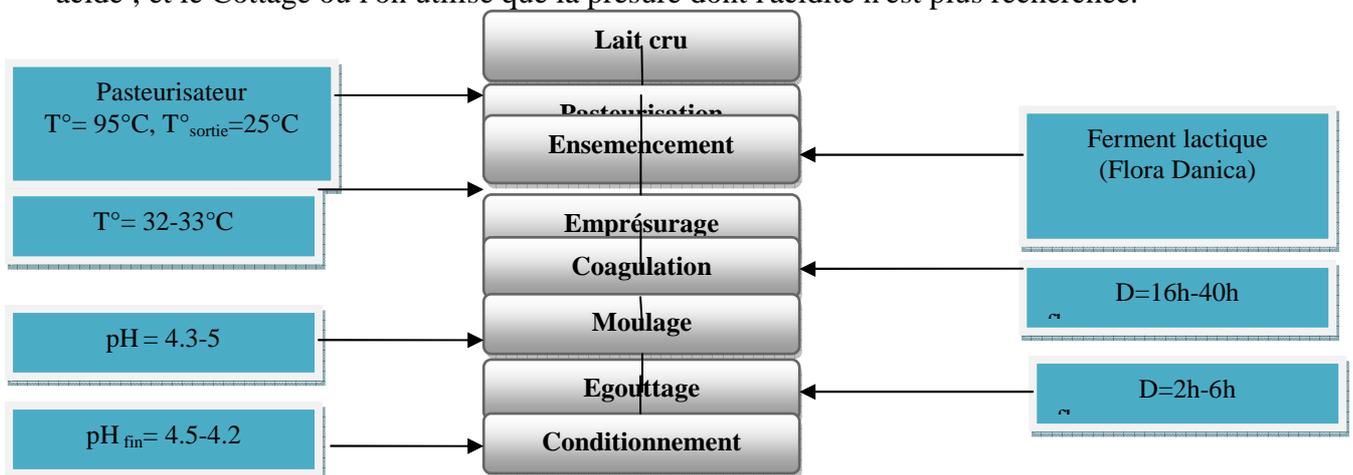


Figure 6 : Processus de fabrication de jben 0% MG

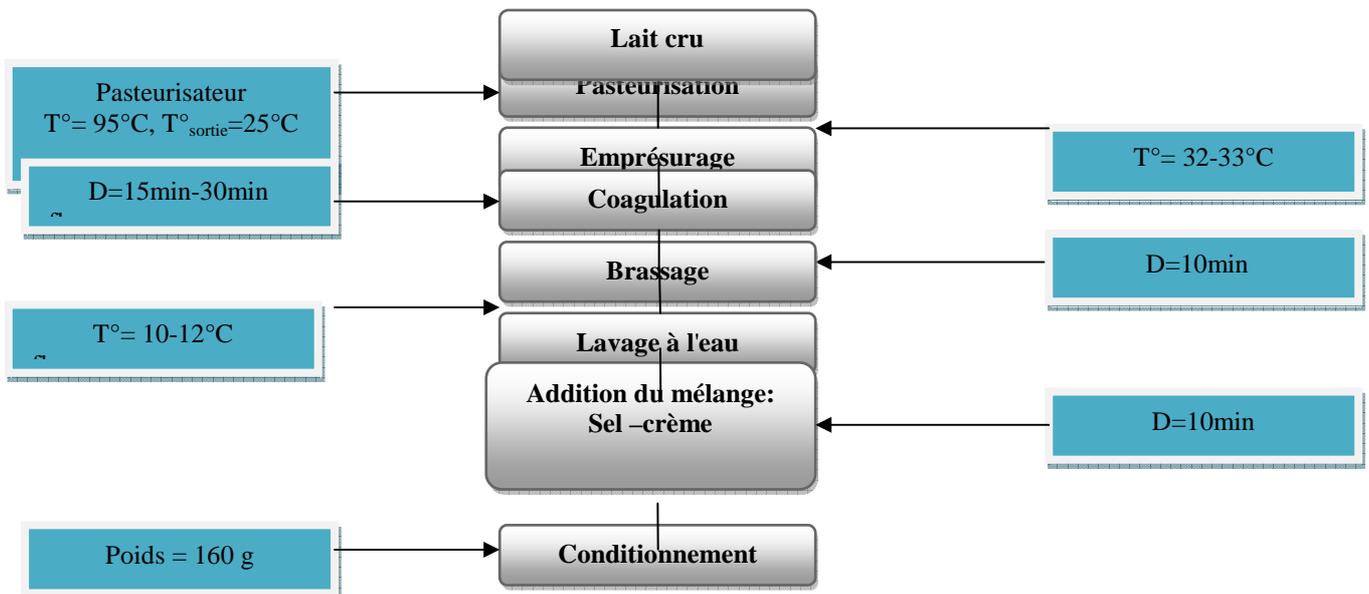


Figure 7 : Processus de fabrication de cottage cheese

2. Processus de fabrication des fromages à Pâte molle

Le seul fromage à pâte molle produit par le domaine Douiet est le **Tomme** (sous deux formes : Tomme et mini-Tomme) c'est un fromage produit à partir de lait entier de vache, à croûte fleurie blanche agréable obtenue grâce au développement du *penicillium candidum* qui est un champignon filamenteux ou moisissure de couleur blanche, il lutte contre les polluants

(Mucor, bleu,...), les pénicilliums candidums sontensemencés en pulvérisation sur les fromages après salage ou mis directement dans le lait avant l'emprésurage.

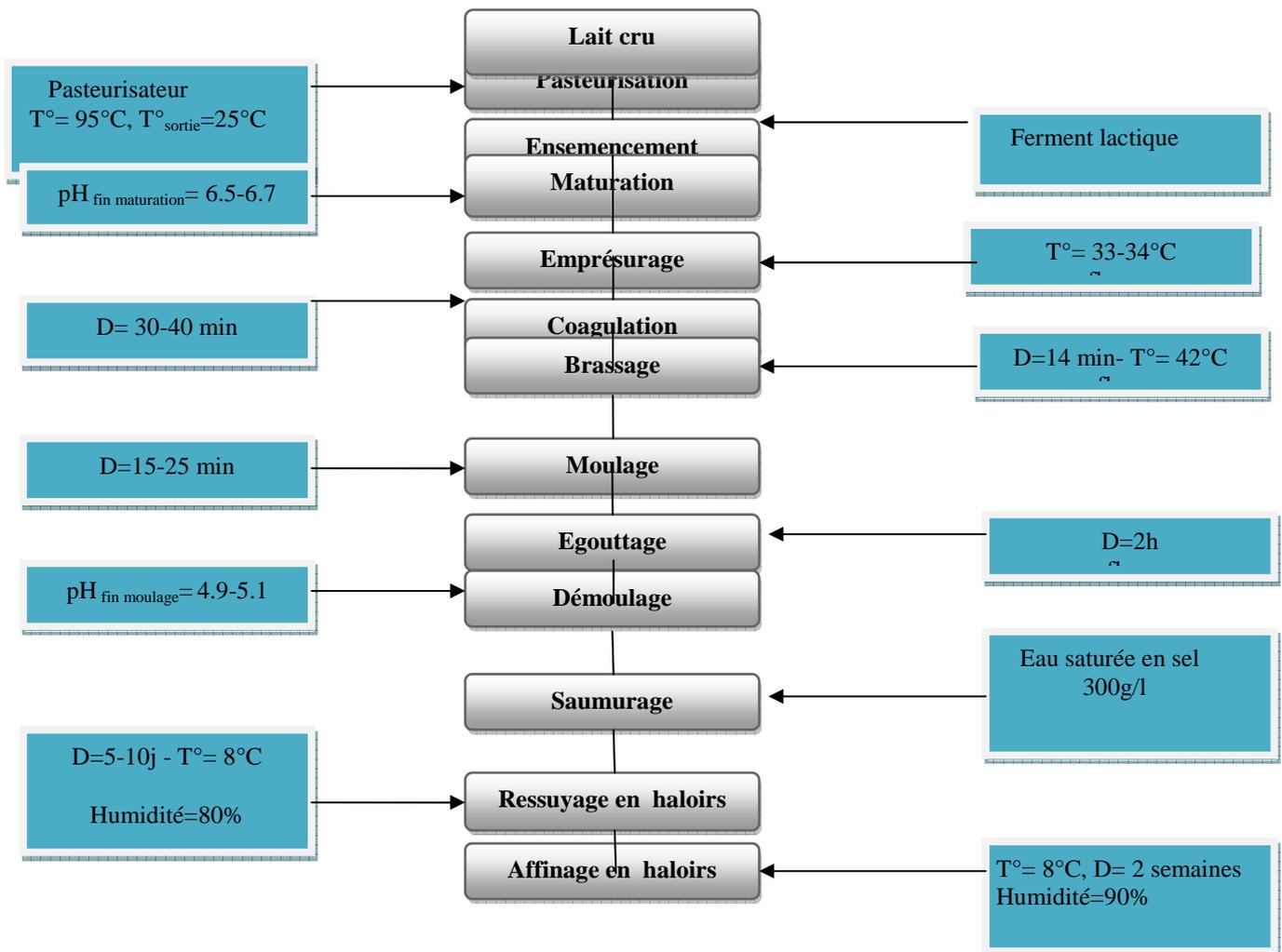
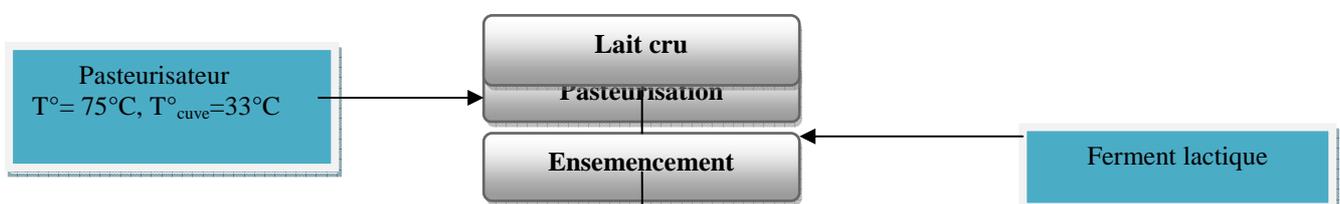


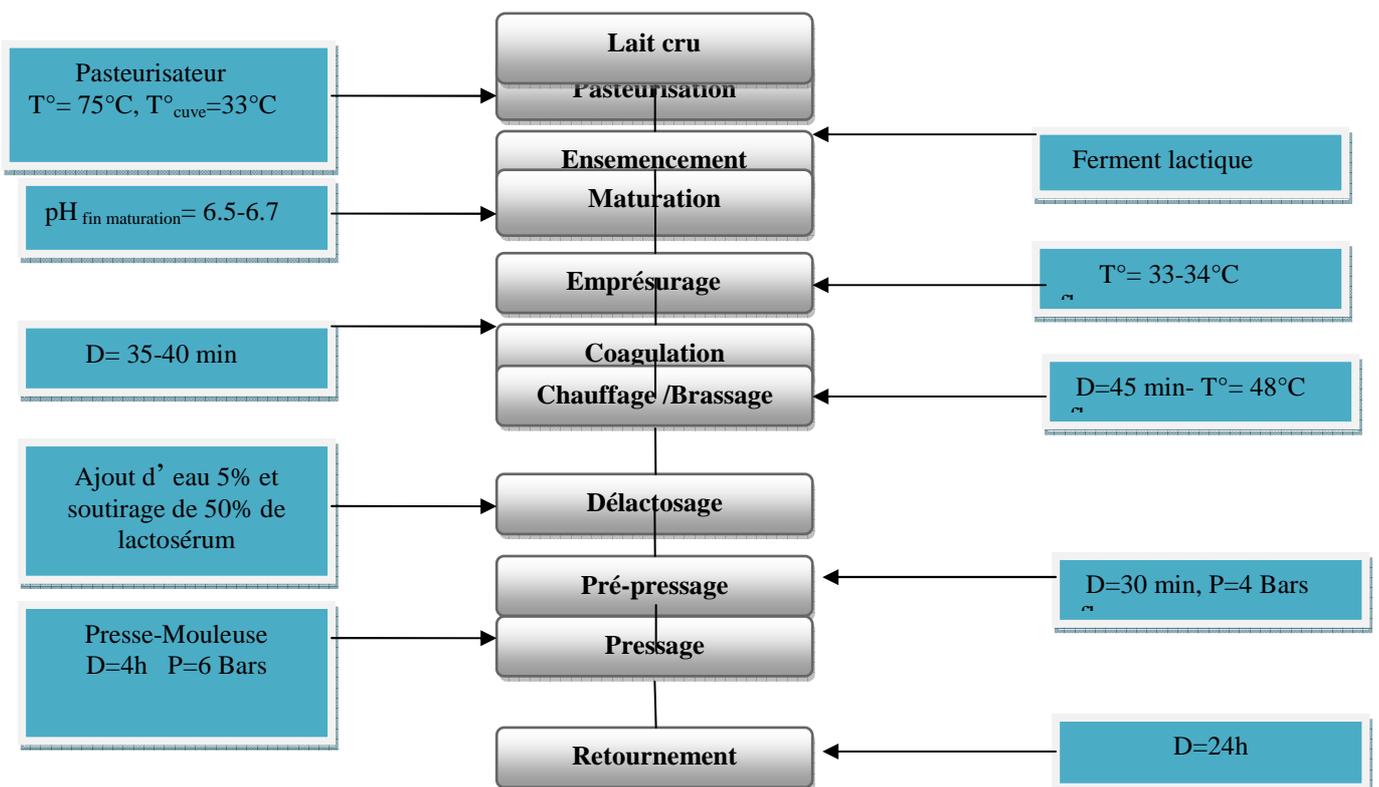
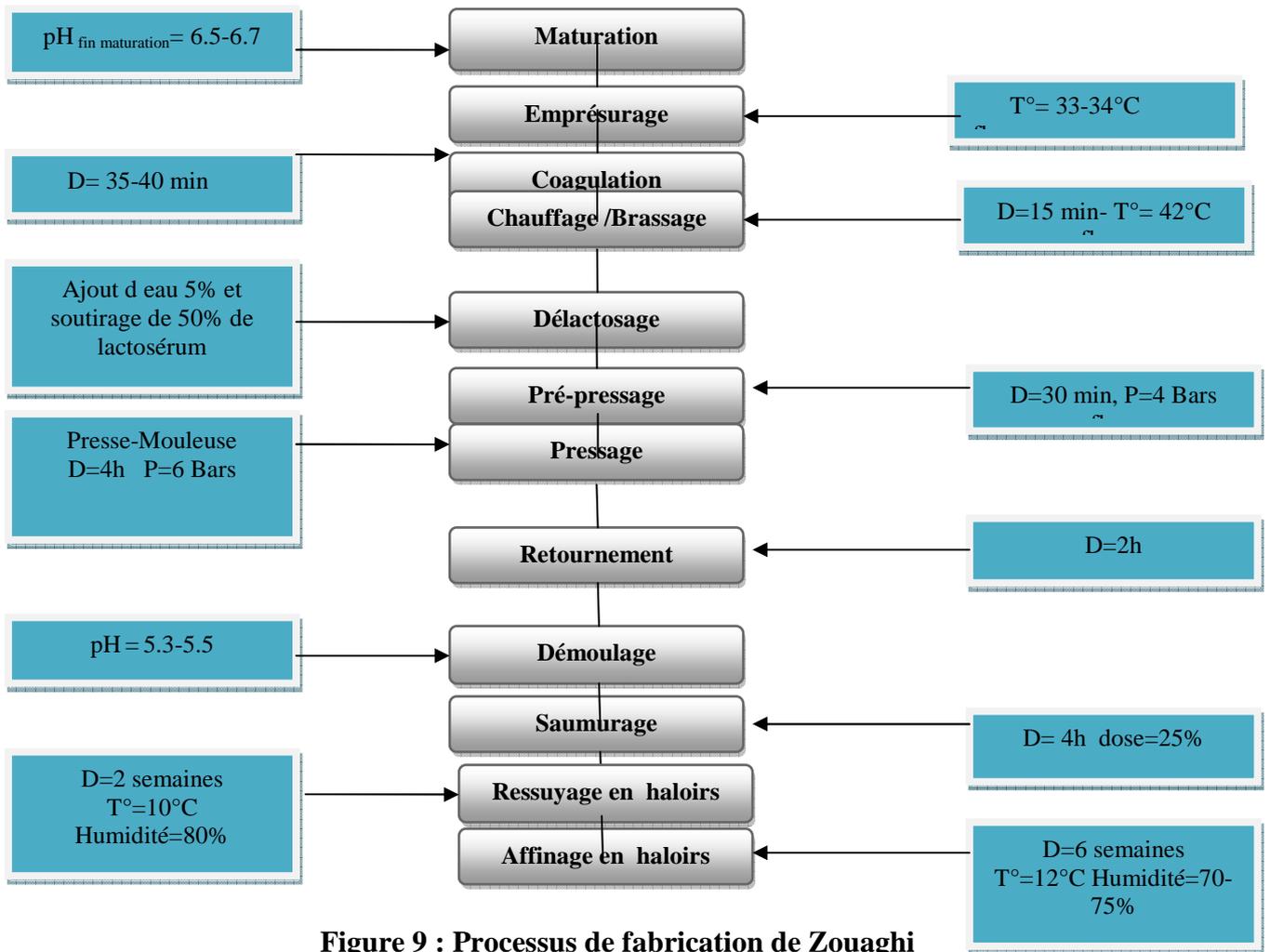
Figure 8 : Processus de fabrication de Tomme

3. Processus de fabrication des fromages à Pâte pressée

Il existe deux types des fromages à Pâte pressée qui ne diffèrent que par : la nature de ferment lactique, la dose de la présure et les barèmes de température/temps, on distingue :

- Le fromage à Pâte pressée non cuite : **Zouaghi**
- Le fromage à Pâte pressée cuite : l'**Emmental**





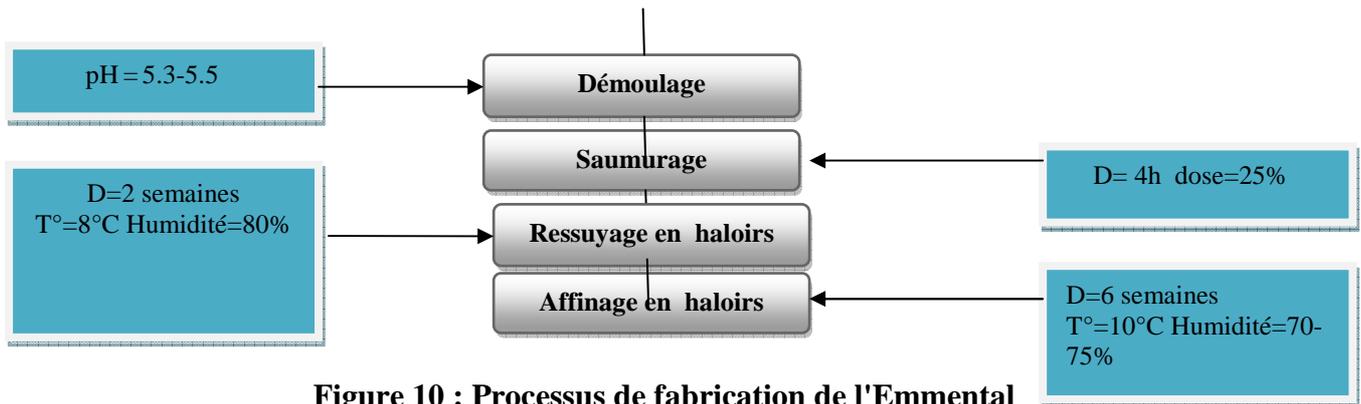


Figure 10 : Processus de fabrication de l'Emmental

VI. Lactosérum

Le lactosérum, (petit-lait ou sérum) est la partie liquide issue de la coagulation du lait. La composition de ce dérivé de l'industrie laitière varie avec la fabrication dont il provient.

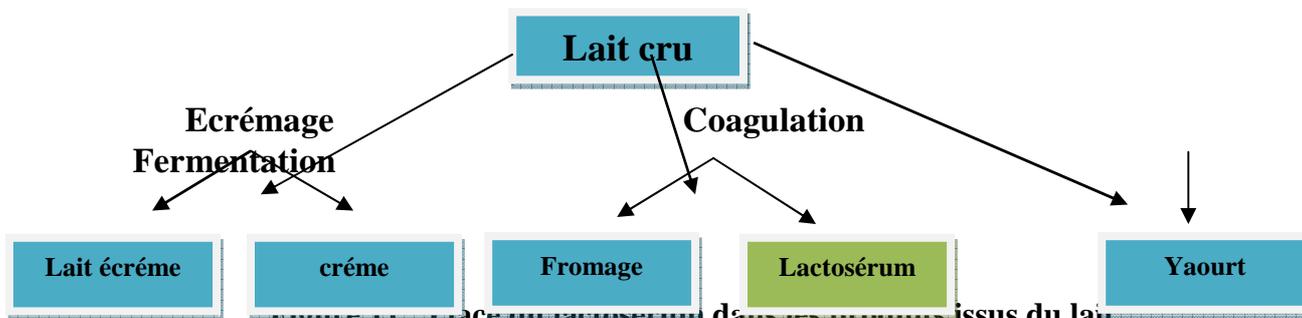


Figure 11 : Place du lactosérum dans les produits issus du lait.

On distingue généralement deux catégories de lactosérum, selon son acidité qui est inférieure ou supérieure à 1,8 g d'acide lactique par litre:

- **le lactosérum doux** issu de la fabrication de fromage à pâte pressée cuite ou non cuite (Emmental, Saint-paulin, etc.),
- **le lactosérum acide** issu des autres fromages obtenus par coagulation mixte ou lactique.

D'une façon générale, les sérums acides contiennent moins de lactose et davantage de minéraux, notamment de calcium et de phosphore, du fait de la déminéralisation de la micelle de caséine. Les protéines sont constituées principalement de protéines solubles.

Tableau 8 : Composition moyenne du lactosérum doux et acide

Composants	lactosérum doux (g/l)	lactosérum acide (g/l)
Extrait sec totale	66	63
Protéines	6.6	6.1
azote non protéique	0.37	0.30
Lactose	52	44

Lipides	0.20	0.30
Minéraux	5	7.5
Calcium	0.5	1.6
Phosphore	1	2
Sodium	0.53	0.51
Zinc	0.3	2.3
pH	6	4.6

Les composants essentiels de lactosérum utilisé pour la fabrication des fromages de sérum sont : les Protéines de lactosérum

✓ **Protéines de lactosérum**

Les protéines du sérum, représentent environ 20% des protéines totales, les deux principales sont la β -lactoglobuline et l' α -lactalbumine ; les autres protéines sont les immunoglobulines, le sérum albumine bovine et la lactoferrine.

La β -lactoglobuline est la plus importante des protéines du sérum puisqu'elle en représente environ 55%. Son point isoélectrique est 5,1. Sa structure compte 162 acides aminés, dont 5 Cystines qui proviennent de la présence des ponts disulfure dans la structure tertiaire. La structure tertiaire montre une petite poche hydrophobe qui lui permet de fixer la vitamine A et certaines acides gras. L'addition d'une forte concentration de sels modifie cette partie de la structure.

Leu Ile Val Thr Gln Thr Met Lys Gly Leu Asp Ile Gln Lys Val Ala Gly
 Thr **Trp** Tyr Ser Leu Ala Met Ala Ala Ser Asp Ile Ser Leu Leu Asp Ala
 Gln Ser Ala Pro Leu Arg Val Tyr Val Glu Glu Leu Lys Pro Thr Pro Glu
 Gly Asp Leu Glu Ile Leu Leu Gln Lys **Trp** Glu Asn Gly Glu **Cys₆₆** Ala
 Gln Lys Lys Ile Ile Ala Glu Lys Thr Lys Ile Pro Ala Val Phe Lys Ile Asp
 Ala Leu Asn Glu Asn Lys Val Leu Val Leu Asp Thr Asp Tyr Lys Lys Tyr
 Leu Leu Phe **Cys₁₀₆** Met Glu Asn Ser Ala Glu Pro Glu Gln Ser Leu Ala
Cys₁₁₉ Gln **Cys₁₂₁** Leu Val Arg Thr Pro Glu Val Asp Asp Glu Ala Leu
 Glu Lys Phe Asp Lys Ala Leu Lys Ala Leu Pro Met His Ile Arg Leu Ser
 Phe Asn Pro Thr Gln Leu Glu Gln **Cys₁₆₀** His Ile



Figure 13 : La Structure chimique de la β -lactoglobuline

L' α -lactalbumine est une métalloprotéine qui représente environ 22% des protéines, c'est une petite protéine qui compte 123 acides aminés et un cation, soit le Ca^{2+} , elle possède également une portion hydrophobe qui semble être le site de fixation de la galactosyltransférase, qui joue un rôle dans la biosynthèse du lactose.

Glu Gln Leu Thr Lys **Cys₆** Glu Val Phe Arg Glu Leu Lys Asp Leu Lys
 Gly Tyr Gly Val Ser Leu Pro Glu **Trp** Val **Cys₂₈** Thr Thr Phe His Thr
 Ser Gly Tyr Asp Thr Gln Ala Ile Val Gln Asn Asn Asp Ser Thr Glu Tyr
 Gly Leu Phe Gln Ile Asn Asn Lys Ile **Trp** **Cys₆₁** Lys Asp Asp Gln Asn
 Pro His Ser Ser Asn Ile **Cys₇₃** Asn Ile Ser **Cys₇₇** Asp Lys Phe Leu **Asp₈₂**
 Asp Asp Leu Thr **Asp₈₇** **Asp₈₈** Ile Met **Cys₉₁** Val Lys Lys Ile Leu Asp Lys
 Val Gly Ile Asn Tyr **Trp** Leu Ala His Lys Ala Leu **Cys₁₁₁** Ser Glu Lys
 Leu Asp Gln **Trp** Leu **Cys₁₂₀** Glu Lys Leu

Les immunoglobulines constituent environ 13% des protéines du sérum. Ce sont des glycoprotéines jouant le rôle d'anticorps. Leurs points isoélectriques varient de 5,5 à 8,3.

Le sérum albumine bovine, dite SAB, représente environ 7% des protéines du sérum. Elle est constituée de 582 acides aminés.

Troisième Partie

Valorisation des protéines du lactosérum : production de la Ricotta

Introduction

De nombreux sous-produits de l'industrie alimentaire sont rejetés dans la nature et constituent de ce fait, un facteur de pollution très important. Parmi ceux-ci, nous nous sommes intéressés à l'industrie laitière.

Le lactosérum, sous-produit de la fabrication du fromage ou de la caséine, peut être défini comme étant un lait privé de caséine. L'intérêt porté à ce produit dépend essentiellement de la **fraction protéique**, du lactose et des vitamines hydrosolubles qu'il renferme. Les autres constituants (sels minéraux et acide lactique) sont considérés très souvent comme des facteurs limitant l'utilisation.

La ligne « fromagerie » du Domaine du Douiet fabrique chaque mois 3461 kg de fromages (Emmental, Zouaghi, Tomme) c'est-à-dire 40863 litres du lait par mois. En général, le Domaine du Douiet perd 38232 litres de lactosérum qui est considéré comme un sous-produit de l'industrie du fromage.

Vu cette importance, je me suis intéressé au cours de mon stage à valoriser les protéines (fraction protéique) de lactosérum doux de deux types de fromages (Emmental, Tomme) afin de produire un nouveau fromage frais : c'est la **Ricotta**.

Cette partie comporte :

- ✚ Valorisation de lactosérum issu de la fabrication fromagère
- ✚ Généralités sur la Ricotta
- ✚ Matériels et méthodes
- ✚ Résultats et interprétations
- ✚ Conclusion

I. Valorisation du lactosérum issu de la fabrication fromagère

La valorisation du lactosérum a deux raisons principales :

➤ Raison écologique

Pour éviter la pollution d'environnement où le lactosérum serait à l'origine de pollution grave, due à la fermentation de ses matières organiques et à la diminution de la teneur en oxygène dissous de l'eau au-dessous d'un seuil acceptable. La DBO (demande biologique d'oxygène) du sérum est de 40000, c'est-à-dire qu'un litre de sérum nécessite 40 g d'oxygène pour que ses matières organiques soient détruites par oxydation microbienne. Dans ces conditions, il est devenu indispensable de le traiter de sorte qu'il ne constitue plus une matière gravement polluante. Encore faut-il que son traitement soit économiquement acceptable.

➤ Raison économique

Le lactosérum est un coproduit qui peut être une source financière pour l'entreprise.

II. Généralités sur la Ricotta

1. définition

La Ricotta est un fromage du lactosérum (de vache, de chèvre ou de buffle) restant de la production du fromage. Comme d'autres fromages de lactosérum, il est obtenu par coagulation des protéines, qui restent après que la caséine a été utilisée pour la fabrication du fromage, notamment L' α -lactalbumine et de la β -lactoglobuline.

La Ricotta est un fromage à pâte fraîche de couleur blanche et de texture crémeuse, au goût délicat et frais.

2. Aperçu sur la Ricotta

La Ricotta est un fromage obtenu par acidification ou par traitement thermique et qui peut être fabriqué de lait entier ou de lait écrémé. Un produit connexe qui s'appelle « ricotone » est fabriqué, selon un processus semblable, à partir d'un mélange de lait et de lactosérum. Le lait cru peut être utilisé comme matière première pour la production du fromage Ricotta, puisque le traitement thermique imposé durant la formation du caillé répond aux exigences calorifiques de manière plus que satisfaisante. Au cours de la première étape du processus, de l'acide est ajoutée au lait pour réduire la valeur du pH à 5,9-6,0. L'acidification peut résulter de l'utilisation d'organismes comme levain ou de l'ajout direct de lactosérum acide ou d'un acide de catégorie alimentaire tel que l'acide acétique ou citrique. Le mélange est ensuite chauffé à 88-90°C, durant environ 10 à 20 minutes.

Ce traitement thermique et l'effet de l'acidification occasionnent la précipitation du caillé.

Le caillé ainsi formé, est composé de caséine et de protéines de lactosérum, contrairement au caillé traditionnel qui est constitué presque entièrement de caséine. La texture du caillé de la Ricotta se distingue aussi de celle du caillé présure traditionnel par la compacité et l'occlusion d'air. Il en résulte un caillé ayant une densité relativement faible et qui remonte à la surface durant la fabrication, soit une caractéristique de la Ricotta. Un contrôle approprié du pH et du niveau d'agitation est nécessaire pour s'assurer que le caillé reste à la surface. On recueille les caillés flottants et on les laisse s'égoutter entre 4 et 6 heures dans une chambre froide, jusqu'à ce que le fromage soit prêt à être consommé.

La Ricotta est un fromage non affiné, le traitement thermique servant à la coagulation des protéines de manière à détruire les organismes utilisés comme levain. Le manque d'affinage et l'absence de présure restreignent la protéolyse de manière à produire un fromage au goût très léger. La Ricotta présente un fort taux d'humidité et un pH relativement élevée. Sa période de conservation au détail est donc assez courte. L'ajout des protéines de lactosérum durant la formation du caillé produit un haut rendement en protéines de qualité élevée. Cependant, en raison de la teneur élevée en humidité de la Ricotta, la concentration réelle de protéines est inférieure à celle de la plupart des fromages à pâte dure.

La Ricotta est employée comme ingrédient dans une foule de recettes, pour rehausser l'arôme et la valeur nutritive des aliments, en plus d'améliorer leur attrait sensoriel. La Ricotta est obtenue à partir du lait partiellement écrémé ou bien du lait entier, qui sont une source de calcium, de phosphore, de zinc, de riboflavine, de vitamine A et de vitamine B₁₂.

3. Composition de la Ricotta

Il ya une déférence entre la Ricotta faite du lait entier et celle faite du lait partiellement écrémé :

Tableau 9 : Composition de la Ricotta

Variété	Humidité	protéines	Matière grasses	Glucides	Minéraux
Ricotta faite du lait entier	72%	11.5%	13%	5%	1%
Ricotta faite du lait partiellement écrémé	74,5%	11%	8%	3%	1%

Tableau 10 : Les différentes types des acides gras de la Ricotta (g/100g)

Variété	Acides gras saturés	Acides gras monoinsaturés	Acides gras polyinsaturés	cholestérol
Ricotta faite du lait entier	8,3	3,6	0,4	0,051
Ricotta faite du lait partiellement écrémé	4,9	2,3	0,3	0,031

Tableau 11 : Les différentes types des vitamines et minéraux de la Ricotta (mg/100g)

Vitamines et minéraux	Ricotta faite du lait entier	Ricotta faite du lait partiellement écrémé
Sodium	125	89
Potassium	125	105
Calcium	272	207
Phosphore	183	158
Magnésium	15	11
Zinc	1,34	1,16
Fer	0,44	0,38
Cuivre	0.034	0,021
Manganèse	0,010	0,008
Sélénium	0,0145	0,0167
Vitamine A	0,134	0,113
Thiamine	0,013	0,021
Riboflavine	0,195	0,185
Niacine	0,104	0,078
Vitamine B6	0,043	0,020
Acide folique	0,012	0,013
Vitamine B12	0,00034	0,00029
Acide pantothénique	0,213	0,242
Vitamine C	0	0
Vitamine E	0,350	0,214

Selon les normes microbiologiques, la teneur en *Escherichia coli* et en *Staphylococcus aureus* de tous les fromages faits du lait pasteurisé, doit être inférieure à 100 unités par gramme.

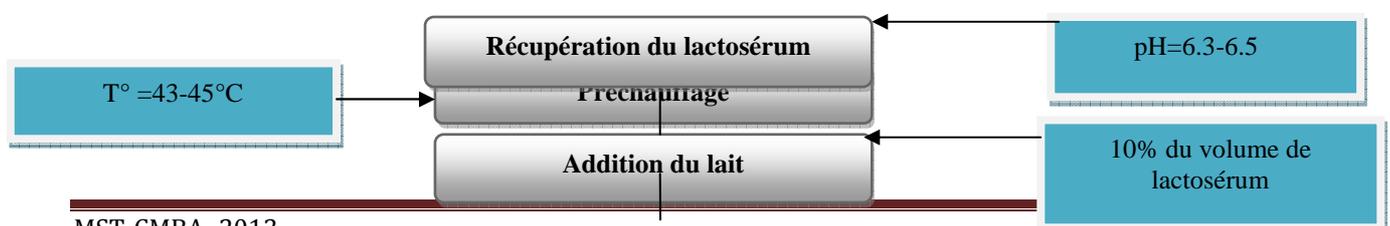
4. Propriétés fonctionnelles de la Ricotta

- ✓ Le fromage Ricotta a un goût léger et doux qui agrmente de nombreux ingrédients.
- ✓ En raison de sa texture légère, la Ricotta s'ajoute bien entre autres aux sauces italiennes, ou peut se substituer à d'autres fromages dans des plats pour les alléger, ou pour des préparations de gâteau au fromage.
- ✓ Ajouté à des plats cuisinés, la Ricotta les empêche de sécher grâce à son taux élevé d'humidité.
- ✓ Le fromage Ricotta fondu peut ajouter de la viscosité aux soupes et aux sauces.

III. Matériels et méthodes

1. Processus de fabrication de la Ricotta

La fabrication de la Ricotta s'obtient par chauffage du lactosérum riche en protéines solubles provenant préférentiellement de fromages à pâtes pressées et à pâtes molles, (dans notre fabrication on va utiliser Emmental et Tomme) obtenues par coagulation enzymatique dominante du lait de vache en milieu acide. Ce traitement provoque la floculation des protéines. Les protéines concernées sont β -lactoglobuline et L' α -lactalbumine ; c'est-à-dire leur agrégation en flocons, on obtient alors une pate consistante.



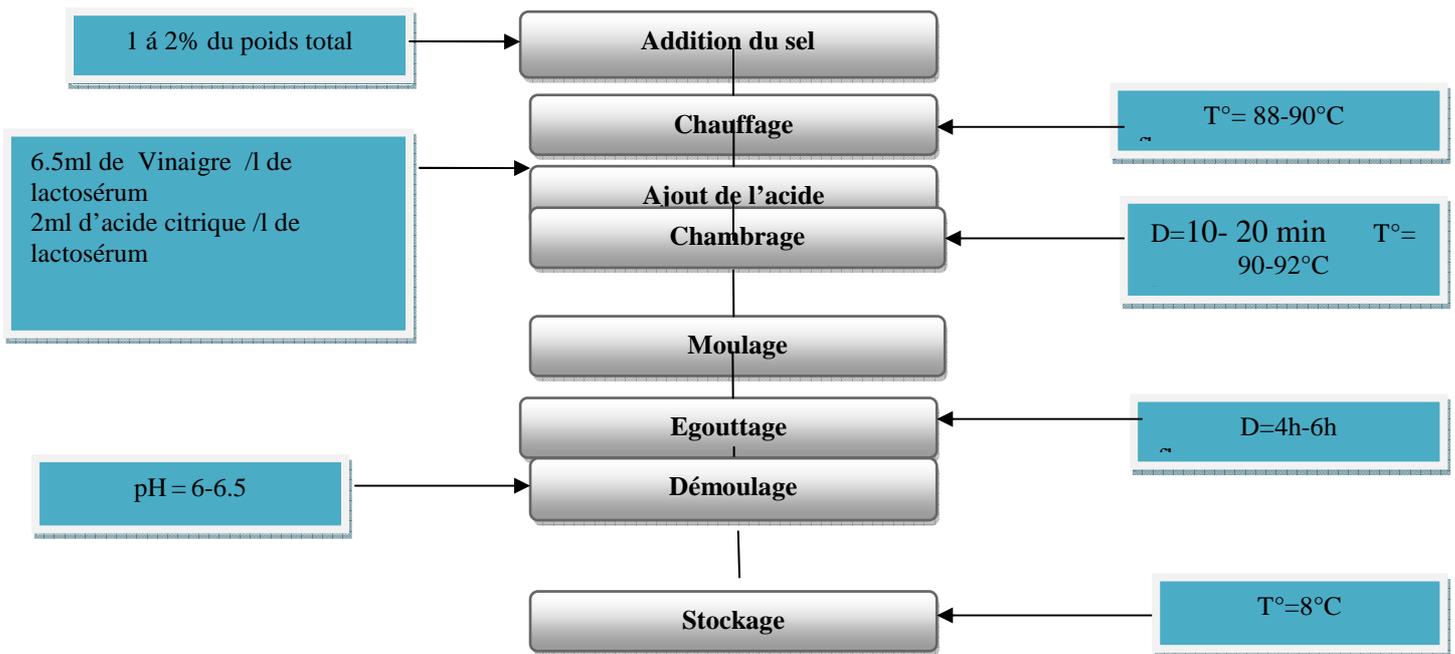


Figure 15 : Processus de fabrication de la Ricotta

2. Méthode de fabrication

La fabrication de la Ricotta se déroule selon les étapes suivantes :

a. Récupération du lactosérum et PréChauffage

Le lactosérum utilisé dans la fabrication, va être doux et non acidifié. Plus l'acidité est faible, plus la Ricotta est ferme et le rendement est bon.

Le lactosérum est alors chauffé dans un bassin à une température de 45 °C pour arrêter la croissance bactérienne, c'est l'étape de préchauffage. Le chauffage doit être progressif (2°C/min). En effet, un chauffage trop rapide a un effet négatif sur la floculation des protéines. L'écumage est difficile et le floculat est fragile au démoulage.



Figure 16 : Cheese vat (bassin de la préparation de la Ricotta)
b. Addition du lait et de sel

Pour la fabrication de la ricotta on n'utilise pas seulement le lactosérum parce que :

- Lactosérum doux avec un $\text{pH} > 6,4$ n'est pas toujours disponible.
- le processus d'écémage traditionnel à la main pour enlever le caillé flottant, est chaud et fastidieux.
- les rendements sont faibles

Tous ces problèmes sont évités ou réduits par l'ajout du lait entier ou écrémé avant le chauffage. Le pH du lactosérum aussi bas que 6,1 est alors acceptable, le caillé peut être récupéré par des moyens mécaniques et le rendement est augmenté.

On ajoute le lait frais de vache à raison de 10% maximum du volume du lactosérum. On mélange à l'aide d'un brassoire et on ajoute 1% à 2% de sel. Il faut bien mélanger pour éviter que le sel ne s'agglomère au fond de la cuve.

c. Chauffage et acidification

Le chauffage se fait à 88-90°C. La température est un paramètre très important pour la floculation des protéines du lactosérum. Le chauffage doit être progressif (2°C/min), avec un brassage doux.

On ajoute un acide alimentaire (acide citrique, acide acétique ou acide lactique...) pour deux raisons principales :

- Correction de l'acidité (la valeur moyenne de pH de Ricotta est 6,1)

- Induire la coagulation maximum de caséines et des protéines de lactosérum.

On doit veiller à ne pas trop acidifier le mélange. Au delà de 15° Dornic (1°Dornic correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de lait), le rendement diminue fortement et les flocons sont très fins.

d. Flocculation et chambrage

Sous l'effet de la chaleur et de l'acidité, les protéines du lactosérum flocculent. Elles se regroupent pour former des graines qui remontent à la surface. On parle de flocculat.

Dès l'apparition de ce phénomène, il faut maintenir la température à feu doux entre 90-92°C durant 10 à 20 min.

Le chambrage permet au flocculat de durcir pour former une pâte consistante.

Une durée de chambrage inférieure à 10 min donne un sérac trop mou et difficile à mouler, les pertes sont importantes et le rendement est faible. Au-delà de 20 min, se produit le phénomène de sur cuisson.

e. Moulage

Le flocculat est retiré de la cuve à l'aide d'une écumoire puis moulé dans des moules perforés. L'opération doit être effectuée délicatement pour ne pas briser la structure.



Figure 17: Bloc moule

f. Egouttage et conditionnement

L'égouttage dure de 4 à 6 heures. La Ricotta est alors démoulée puis conditionné et prête à la vente.



g. Stockage

La Ricotta est conservée en chambre froide à 8°C.



3. Matériels et contrôles

Tableau 12 : Matériels et contrôles pour la fabrication de la Ricotta

Méthode	Contrôle
---------	----------

Matières et intrants	Matériel	Etapes	Paramètres	Paramètres
Sérum doux	Cuve double paroi Acidimètre pH-mètre	Préchauffage	10-15 6.3-6.5	Acidité (°Dornic) pH
	Bruleur à gaz	Préchauffage	2°C/min 45°C	Temps Température
Lait de vache pasteurisé		Addition	10l/100l	Volume
Sel		Addition	1% à 2%	Poids
	bruleur à gaz	Chauffage	2°C/min 88°C- 90°C	Temps Température
Acide citrique		Acidification	2ml/l	volume
Vinaigre d'alcool			6.5ml/l	
		Chambrage	90°C- 92°C 10min-20min	Temps Température
	Ecumoire	Moulage	Mouler doucement	
	Moules perforés	Egouttage en moule	de 4 à 6 heures	Temps
		Démoulage et conditionnement	Pots	Poids des pots
		Stockage	8°C à 6 jours	Température

4. Les analyses effectuées : analyses physico-chimiques

a. Mesure du pH

- **Principe** : mesurer l'acidité d'un produit
- **Matériel** : pH mètre à électrode de KCl

- **Réactifs** : solution tampon 4 et 7, solution saturée de KCl, Eau distillée
- **Mode opératoire** :
 - Etalonnez l'appareil
 - Rincez l'électrode et séchez-la
 - Prolongez l'électrode dans le produit et attendez jusqu'à stabilisation puis notez la valeur.
 - Rincez à nouveau l'électrode et la replongez dans la solution KCl.



Figure 18: pH mètre

b. Mesure de la teneur en matière grasse (%MG)

Le but est de déterminer la teneur en matière grasse du produit. On utilise la méthode butyrométrique de Gerber.

- **Matériel** : butyromètre
- **Réactifs** : Acide sulfurique, alcool isoamyle
- **Mode opératoire** :
 - Introduire dans un butyromètre 10 ml d'acide sulfurique en évitant de mouiller le col
 - Ajouter avec une pipette 11 ml de l'échantillon puis verser 1ml de l'alcool isoamyle
 - Boucher le butyromètre et procéder à l'agitation par retournement jusqu'à dissolution des protéines.
 - Mettre les butyromètres dans une centrifugeuse pendant 5min à une vitesse de 600 tr/min.
- **lecture et expression des résultats** : on tient le butyromètre bien vertical, puis on examine le plan inférieur de colonne et on l'amène en coïncidence avec une division par une manœuvre appropriée du bouchon, puis on effectue la lecture. La teneur en matière grasse en pourcentage est donnée par la formule suivante : $(N_1 - N_2) * 100$ avec :

N_1 : valeur atteinte par le niveau supérieur de la colonne

N_2 : valeur atteinte par le niveau inférieur de la colonne



Figure 19 : Butyromètre

c. Détermination de l'extrait sec totale (EST)

La matière sèche est la fraction massique de substances restantes après la dessiccation complète de l'échantillon. Elle est exprimée en pourcentage ou gramme par litre g/l.

- ✓ **Matériel** : capsule en plastique. Etuve
- ✓ **Mode opératoire** :
 - Placer la capsule sur la balance puis noter le poids affiché.
 - Déposer l'échantillon à analyser bien étalé, puis démarrer l'analyse en plaçant la capsule dans l'étuve à 104 °C pendant 3 heures.
 - Peser tout de suite la capsule de nouveau.
- ✓ **Expression des résultats** : le taux d'extrait sec total ou d'humidité est calculé en faisant la différence entre les deux poids.



Figure 20 : Etuve

IV. Résultats et interprétations

1. Résultats

Pour la fabrication de la Ricotta, le travail était effectué sur des prises d'essai de 90 litres de lactosérum, et on a utilisé deux types de lactosérum : lactosérum de Tomme et de l'Emmental, et on a utilisé aussi deux acides alimentaires qui ont le rôle d'acidification : l'acide acétique (vinaigre d'alcool) et l'acide citrique (jus de citron).

Pour chaque essai de la fabrication on a mesuré :

- ✓ La teneur en matière grasse (%MG)
- ✓ L'extrait sec total (EST)
- ✓ Le potentiel hydrogène (pH)
- ✓ Le rendement (R%)

Pour le calcul du rendement, on utilise la relation suivante : $R\% = (m_{\text{exe}} / m_{\text{thr}}) * 100$

Avec : m_{exe} = masse expérimentale

m_{thr} = masse théorique (extrait sec total des matières)

➤ 1^{er} essai de la fabrication

Pour le 1^{er} essai on a utilisé le lactosérum issu de la fabrication de l'Emmental.

Le calcul de la masse théorique se fait à partir du calcul des extraits sec des matières utilisées.

matières	extrait sec	Proportions	ESC/proportion
Lactosérum	60g/kg	90 litres	5400g
Lait	125g/l	10 litres	1250g
Sel	97%	1500 grammes	1455g
vinaigre d'alcool	71%	650 ml	4,615g
Totale			8109,615g

La masse expérimentale : $m_{\text{exe}} = 7000\text{g}$

Donc le rendement est : $R\% = (7000/8109.615)*100$

$R\% = 86,3\%$

Les analyses physico-chimiques effectuées (page 40-41):

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
1	Emmental	12	41,7	6,3	86,3

➤ 2^{ème} essai de la fabrication

Pour le 2^{ème} essai on a utilisé le lactosérum issu de la fabrication de Tomme.

La masse théorique:

matières	extrait sec	Proportions	ESC/proportion
Lactosérum	60g/kg	90 litres	5400g
Lait	125g/l	10 litres	1250g
Sel	97%	2400grammes	2328g
vinaigre d'alcool	71%	650 ml	4,615g
Totale			8982,615g

La masse expérimentale : $m_{\text{exe}} = 4500\text{g}$

Donc le rendement est : $R\% = (4500/8982,615)*100$

$R\% = 50,1\%$

Les analyses physico-chimiques effectuées :

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
2	Tomme	13,8	22,6	6,1	50,1

➤ **3^{ème} essai de la fabrication**Lactosérum utilisé : **Tomme**

Calcul de la masse théorique :

matières	extrait sec	Proportions	ESC/proportion
Lactosérum	60g/kg	90 litres	5400g
Lait	125g/l	10 litres	1250g
Sel	97%	1800 grammes	1746g
vinaigre d'alcool	71%	650 ml	4,615g
Totale			8400,615g

La masse expérimentale : **m_{exe} = 4318g**Donc le rendement est : **R% = (4318/8400.615)*100****R% = 51,4%**

Les analyses physico-chimiques effectuées :

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
3	Tomme	13	32,8	6	51,4

➤ **4^{ème} essai de la fabrication**Lactosérum utilisé : **Tomme**

Calcul de la masse théorique :

matières	extrait sec	Proportions	ESC/proportion
Lactosérum	60g/kg	90 litres	5400g
Lait	125g/l	10 litres	1250g
Sel	97%	1800 grammes	1746g
Acide citrique (citron)	60.8g/kg	200 ml	14g
Totale			8410g

La masse expérimentale : **m_{exe} = 5150g**Donc le rendement est : **R% = (5150/8410)*100****R% = 61,3%**

Les analyses physico-chimiques effectuées :

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
4	Tomme	10	30,1	6,2	61,3

➤ **5^{ème} essai de la fabrication**Lactosérum utilisé : **Tomme**

Calcul de la masse théorique :

matières	extrait sec	Proportions	ESC/proportion
Lactosérum	60g/kg	90 litres	5400g
Lait	125g/l	10 litres	1250g
Sel	97%	1000 grammes	970g
vinaigre d'alcool	71%	650 ml	4.615g
Totale			7624,615

La masse expérimentale : **m_{exe} = 1500g**

Donc le rendement est : $R\% = (1500/7624.615)*100$

$$R\% = 19,8\%$$

Les analyses physico-chimiques effectuées :

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
5	Tomme	13	24,2	6,2	19,8

➤ **6^{ème} essai de la fabrication**

Lactosérum utilisé : **Tomme**

Calcul de la masse théorique :

matières	extrait sec	Proportions	ESC/proportion
Lactosérum	60g/kg	90 litres	5400g
Lait	125g/l	10 litres	1250g
Sel	97%	1000 grammes	970g
vinaigre d'alcool	71%	650 ml	4,615g
Totale			7624,615

La masse expérimentale : $m_{\text{exe}} = 4003\text{g}$

Donc le rendement est : $R\% = (4003/7624.615)*100$

$$R\% = 52,5\%$$

Les analyses physico-chimiques effectuées :

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
6	Tomme	15	33,4	6	52,5

➤ **7^{ème} essai de la fabrication**

Lactosérum utilisé : **Tomme**

Calcul de la masse théorique :

matières	extrait sec	Proportions	ESC/proportion
Lactosérum	60g/kg	90 litres	5400g
Lait	125g/l	10 litres	1250g
Sel	97%	1000 grammes	970g
vinaigre d'alcool	71%	650 ml	4,615g
Totale			7624,615

La masse expérimentale : $m_{\text{exe}} = 6120\text{g}$

Donc le rendement est : $R\% = (6120/7624.615)*100$

$$R\% = 80,26\%$$

Les analyses physico-chimiques effectuées :

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
7	Tomme	15	25,8	6,2	80,26

➤ **8^{ème} essai de la fabrication**

Lactosérum utilisé : **l'Emmental**.

Calcul la masse théorique à partir du calcul des extraits sec des matières utilisé

matières	extrait sec	Proportions	ESC/proportion
Lactosérum	60g/kg	90 litres	5400g
Lait	125g/l	10 litres	1250g

Sel	97%	1000 grammes	970g
vinaigre d'alcool	71%	650 ml	4,615g
Totale		7624,615g	

La masse expérimentale : $m_{\text{exe}} = 7000\text{g}$

Donc le rendement est : $R\% = (6519/7624.615)*100$

$R\% = 85,5\%$

Les analyses physico-chimiques effectuées :

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
8	Emmental	12	45,06	6,1	85,5

➤ **9^{ème} essai de la fabrication**

Lactosérum utilisé : **l'Emmental**.

Calcul la masse théorique à partir du calcul des extraits sec des matières utilisé

matières	extrait sec	Proportions	ESC/proportion
Lactosérum	60g/kg	90 litres	5400g
Lait	125g/l	10 litres	1250g
Sel	97%	1000 grammes	970g
Acide citrique (citron)	60.8g/kg	200 ml	14g
Totale		7634 g	

La masse expérimentale : $m_{\text{exe}} = 7012\text{g}$

Donc le rendement est : $R\% = (7012/7634)*100$

$R\% = 91,8\%$

Les analyses physico-chimiques effectuées :

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
9	Emmental	12	49.25	6.1	91.8

➤ **Tableau récapitulatif**

Essai	Type de lactosérum	MG%	EST (g/l)	pH	R%
1	Emmental	12	41.7	6.3	86.3
2	Tomme	13.8	22.6	6.1	50.1
3	Tomme	13	32.8	6	51.4
4	Tomme	10	30.1	6.25	61.3
5	Tomme	13	24.2	6.2	19.8
6	Tomme	15	33.4	6	52.5
7	Tomme	15	25.8	6.2	80.26
8	Emmental	12	45.06	6.1	85.5
9	Emmental	12	49.25	6.1	91.8

Tableau 13 : Récapitulatif des résultats obtenus

2. Interprétations

Le rendement de la Ricotta issue de lactosérum de l'Emmental (Essai n° 1,8 et9) est plus important que celui de la Ricotta issue de lactosérum de Tomme (Essai n° 2, 3, 4, 5, 6,7) car le lactosérum de l'Emmental est plus riche en composés laitiers, notamment le calcium, le phosphore et les vitamines hydrosolubles, et pour la même raison on a l'extrait sec total (EST) de Ricotta de lactosérum de l'Emmental est plus grand que celui de Ricotta de lactosérum de Tomme .

Pour la Ricotta issue de lactosérum de Tomme (Essai n° 2, 3, 4, 5, 6,7) on a une différence remarquable dans le rendement ceci peut être expliqué par la différence de temps d'égouttage parce que on a utilisé différents temps d'égouttage (entre 4h et 6h) donc on a remarqué la diminution de rendement avec l'augmentation de temps d'égouttage car le produit perd une quantité importante de l'eau, et le même raisonnement pour la Ricotta issue de lactosérum de l'Emmental (Essai n° 1,8 et9).

Dans les essais 4 et 9, on a utilisé l'acide citrique (citron) au lieu de l'acide acétique et on a constaté que le rendement et l'extrait sec total (EST) ont augmenté et cette augmentation se traduit par l'efficacité de l'acide citrique dans la coagulation de caséines et des protéines de lactosérum par rapport à l'acide acétique, et aussi il donne un goût très agréable pour le produit.

On remarque aussi la diminution du rendement avec l'ajout de quantité très importante de sel, donc il faut diminuer la quantité de sel mais pas moins de 1% parce qu'une quantité suffisante de sel facilite l'égouttage.

Egalement, nous avons constaté une élévation en matières grasses dans la Ricotta issue de lactosérum de Tomme (Essai n° 2, 3, 4, 5, 6,7) par rapport à la Ricotta issue de lactosérum de l'Emmental (Essai n° 1,8 et 9), cette élévation est expliquée par la différence en composés lipidique (Phospholipides, acides gras libres) entre les deux types de lactosérum (de Tomme et Emmental).

Pour la valeur du pH on obtient une valeur, en général, constante parce qu'on utilise l'acide comme un correcteur d'acidité.

Dans le 5^{ème} essai, on a obtenu un rendement très faible car on a changé le matériel de travail (Cheese vat page 38) et on a utilisé un autre matériel qui est adiabatique c'est-à-dire ne change pas la température avec le milieu. Donc la température reste constante pendant le chambrage, de ce fait, les protéines flocculent de manière incomplète et remontent peu à la surface consistant de purée, alors le rendement est faible.

Conclusion générale

Dans ce manuscrit, nous avons présenté la valorisation des protéines de lactosérum, issue de deux types de fromages fabriqués par La ligne « fromagerie » du Domaine du Douiet, à partir de la fabrication de fromage à pâte fraîche : Ricotta

Le rendement de la fabrication de la Ricotta atteint 91.8% pour la Ricotta issue de lactosérum de l'Emmental et 80.26% pour la Ricotta issue de lactosérum de Tomme, on doit avoir un rendement de 90% (Normes françaises de la fabrication de la Ricotta fraîche) donc on peut se baser sur ces résultats pour faire la préparation de la Ricotta.

La préparation de plusieurs essais permet de définir les différents dangers et difficultés rencontrés qu'on doit éviter afin d'atteindre un rendement élevé, et pour avoir un fromage ferme avec des caractères organoleptiques très remarquables, un goût très typique. Une texture très onctueuse et une qualité sanitaire élevée.

La quantité de lactosérum utilisé pour produire le fromage Ricotta peut atteindre 10%, donc on a réussi, au niveau écologique, de minimiser La DBO (demande biologique d'oxygène) du sérum jusqu'à 10%.



Références bibliographiques

Alais, C.1984. Science du lait-principes des techniques laitières. Paris, Editions Sepaic. 4^{ème} édition. 814 pages. J

Jenness, R and Sloan R.E. 1970. The composition of milk of various species : a review. Dairy Sciences Abstract. 32: 599-612

Rogan W.J. Bagniewska, A.and Damstra, T. 1980. Polluants in breast milk. N, Engel, J. Med, 302: 1450-1453

FAO, 1988. Le fromage ; Technique et Documentation Lavoisier, Paris France.

BLANC (B.) (1969). - Lactosérum et produits dérivés: aspects compositionnels et nutritionnels (dans le cas de l'homme). Séminaire F.LL.-LD.F. de Weihenstephan, 11-13 nov.

De Santis, E.P.L. et Mazzette, R. (2002). La Ricotta : Un substrato ideale. Caseus, 5 : 42-44.

Mucchetti, G., Carminati, D. et Pirisi, A. (2002). Ricotta fresca vaccina e ovina : Osservazioni sulle CEPIL. Le lait matière première de l'industrie laitière. Paris, INRA

International Dairy Federation, 1982. Cheese and processed cheese. Determination of total solids contents. Brussels. Belgium : FIL-IDF Standard no. 4A

Commission canadienne du lait, Ingrédients laitiers, Fromage Ricotta

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine, Collection FAO: Alimentation et nutrition, 1998, n° 28, ISBN 92-5-20534-6

Alves de Oliveira L, Composition chimique du lait, [en ligne], Cours de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, Alimentation des Animaux
[<http://www2.vet-lyon.fr/ens/nut/webBromato/cours/cmlait/compolai.html>]