

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département de Biochimie – Microbiologie



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de MASTER
Option : Biochimie Appliquée

Thème :

L'étude de l'impact de l'utilisation de la poudre de lait « Medium heat » sur la qualité nutritionnelle et organoleptique d'un fromage à pâte molle type Camembert ; effet des traitements technologiques sur sa qualité.

Proposé et Dirigé par : Mme OUALI-ABDOUNE S.

Maître assistante « A », chargée de cours à l'UMMTO

Présenté par :

 **RABET LAHNA**
 **MOKRANE AMEL**

Devant le jury :

Président :

M^R SAADOUDI R. Maître de conférences « B » à l'UMMTO.

Examineurs :

M^{elle} DERMECHE S. Maître assistante « A », chargée de cours à l'UMMTO.

M^{me} SENOUSSE C. Maître assistante « A », chargée de cours à l'UMMTO.

Promotion : 2014/2015



Remerciements



On remercie avant tout le Grand Dieu, qui nous a fait parcourir nos chemins avec des pas stables et avec beaucoup de patience.

On tient sincèrement à exprimer notre profonde reconnaissance à M^{ME}ABDOUNE-OUALI SAMIA notre promotrice, pour l'appui scientifique qu'elle nous a procuré, sa forte personnalité, sa compétence et sa qualité d'encadrement.

Qu'elle trouve ici l'expression de notre respect.

On remercie vivement le personnel et toute l'équipe de la laiterie « PATURAGE D'ALGERIE », et plus particulièrement M^{ME}MEZOUANE HAKIMA qui nous a soutenu, favorisé tous les moyens pour l'achèvement de ce travail.

Également on tient à témoigner notre profonde reconnaissance et notre respect à M^r RABET KHLIFA, pour son aide tout au long de la réalisation de ce projet.

On tient également à présenter nos plus vifs remerciements, à M^{ELLE}OUSLIMANI NADIA pour son aide.

On exprime notre reconnaissance à tous les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font d'avoir acceptés d'évaluer notre travail :

- ✚ M^R SAADOUDI R. Maitre de conférence « B » ;*
- ✚ M^{elle} DERMECHE S. Maitre assistante « A » ;*
- ✚ M^{me} SENOUSSE C. Maitre assistante « A ».*

Nos salutations respectueuses s'adressent aussi à tous nos enseignants du département Biochimie-Microbiologie pour leur contribution à notre formation durant nos études.

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

DEDICACES

*Je dédie ce travail à la mémoire de mon défunt père et mon beau-frère **MESSAOUDI KARIM** qui nous ont quittés très tôt mais qui sont toujours présent dans mon cœur.*

A ma très chère mère affable, honorable, aimable : tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

*A mes très chers sœurs **Tassadit** et **Shehrazed** ainsi qu'à leurs enfants.*

*A mes très chers frères **Ali** et **Kaci** ainsi qu'à ma belle-sœur **Sonia**.*

A tous les membres de ma famille, petits et grands, veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A tous mes amis, en témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble.

A ma meilleure amie AMEL, ainsi qu'à toute sa famille

Rien au monde, n'a pu ébranler notre amitié



LAHNA

Je dédie ce travail



A mon père et à ma mère

Une réserve inépuisable de courage vous a permis d'accomplir votre devoir tous les jours et de vous fier au bon DIEU pour le lendemain. C'est que vous avez toujours compris que toute réussite déguise une abdication. Puisse ce travail récompenser votre patience et persévérance et tous les sacrifices que vous avez consentis au nom de la famille

A mon très cher frère « Yanis » et ma très chère sœur « Sara »

Je vous réserve toujours une place dans mon cœur et mes pensées. Notre force résidera toujours dans notre sincère entente et notre esprit de fraternité.

A l'ensemble de ma famille

A tous mes oncles, mes tantes, cousins et cousines Pour leur soutien sans faille et leur encouragement.

A ma meilleure amie Lahna, ainsi qu'à toute sa famille

Rien au monde, n'a pu ébranler notre amitié

A tous mes amis

*Pour notre amitié et tous les bons moments passés et à venir,
Pour votre présence, et les bons moments partagés
Un très grand merci à tous et à toutes.*

AMEL

Liste des figures
 Liste des tableaux
 Liste des abréviations
 Résumé

1. INTRODUCTION..... 01

I. Synthèse bibliographique

1.1. Données générales sur le lait 03

 1.1.1 Définition 03

 1.1.2 Composition 03

 1.1.2.1. Eau 03

 1.1.2.2. Matière grasse 04

 1.1.2.3. Protéines 05

 1.1.2.3.1. Caséines 06

 1.1.2.3.2. Protéines lactosériques 08

 1.1.2.4. Lactose 10

 1.1.2.5. Enzymes 10

 1.1.2.6. Minéraux 11

 1.1.2.7. Vitamines 11

 1.1.3. Différents types de lait 12

 1.1.3.1. Lait cru 12

 1.1.3.2. Laits de conserve 13

 1.1.3.2.1. Généralités sur les poudres de lait 13

 1.1.3.2.1.1. Définition de la poudre de lait 13

 1.1.3.2.1.2. Classification de la poudre selon le traitement thermique subi 13

 1.1.3.3. Différents types de lait en poudre 14

 1.1.3.3.1. Lait reconstitué 14

 1.1.3.3.2. Lait recombinaison 14

1.2. Les Fromages 15

 1.2.1. Définition 15

 1.2.2. Différents types de fromages 15

 1.2.2.1. Classification basée sur le mode de coagulation 15

 1.2.2.2. Classification basée sur le type de pâte fromagère 16

 1.2.3. Fromage à pâte molle type *Camembert* 18

 1.2.3.1. Définition 18

 1.2.3.2. Composition et valeur nutritionnelle 18

 1.2.3.2.1. Constituant du Camembert 18

 1.2.3.2.1.1. Eau 18

 1.2.3.2.1.2. Matière grasse 19

 1.2.3.2.1.3. Protéines 20

 1.2.3.2.1.4. Glucides 20

 1.2.3.2.1.5. Minéraux 21

 1.2.3.2.1.6. Calcium et phosphore 21

1.2.3.2.1.7. Vitamines	22
1.2.3.3. Etapes de fabrication	22
1.2.3.3.1. Le lait de vache : matière première dans la fabrication du Camembert.....	22
1.2.3.3.2. Prétraitement du lait	23
1.2.3.3.2.1. Contrôle au quai de réception.....	23
1.2.3.3.2.2. Préparation physico-chimiques	24
1.2.3.3.2.2.1. Standardisation du lait en matières grasses et en matières protéiques	24
1.2.3.3.2.2.2. L'homogénéisation.....	24
1.2.3.3.2.2.3. Préparation microbiologiques	24
1.2.3.3.2.2.3.1. Assainissement du lait.....	24
1.2.4. Les étapes clés de fabrication du <i>Camembert</i>	25
1.2.4.1. Prématuration	25
1.2.4.2. L'ensemencement	25
1.2.4.3. Coagulation	26
1.2.4.4. Egouttage	28
1.2.4.5. Salage.....	28
1.2.4.6. Affinage	28
1.3. Les effets des traitements technologiques sur les principaux constituants du lait.....	30
1.3.1. Les traitements thermiques.....	30
1.3.1.1. Effet sur les protéines	30
1.3.1.2. Effet sur la matière grasse	33
1.3.1.3. Effet sur le lactose	34
1.3.1.4. Effet sur les minéraux	35
1.3.1.5. Effet sur les vitamines	35

II. Partie expérimentale

I. Matériels et Méthodes

I-1. Préparation du lait.....	36
I.2. Matériels et méthodes	36
I.2.1. Matériels et appareillages	36
I.2.2. Produits chimiques et réactifs utilisés.....	37
I.3. Méthodes.....	37
I.3.1. Échantillonnage.....	37
I.3.1.1. Camembert à base de lait de vache	37
I.3.1.2. Camembert à base de lait mixte	38
I.3.2. Processus de fabrication du <i>Camembert</i> au niveau de la laiterie- fromagerie « PATURAGE D'ALGERIE »	39
I.3.3. Méthodes d'analyses	40
I.3.3.1. Détermination de la densité	40

I.3.3.2. Détermination du pH.....	40
I.3.3.3. Détermination de l'acidité	40
I.3.3.4. Détermination du taux de matière grasse par la méthode acido-butyrométrique	40
I.3.3.5. Détermination de l'extrait sec total (EST) et l'extrait sec dégraissé (ESD)	41
I.3.3.6. Détermination de la teneur en chlorure par la méthode de BERTRAND (1988)	41
I.3.3.7. Détermination du taux protéique par la méthode de (BRADFORD, 1976)	41
I.3.3.8. Détermination du taux de dénaturation des protéines.....	42
I.3.4. L'analyse organoleptique.....	42
I.3.5. L'analyse statistique	43
II. Résultats et Discussion	45
II.1. Résultats des analyses physico-chimiques	45
II.1.1. Résultats des analyses physico-chimiques des laits destinés à la fromagerie	45
II.1.1.1. pH et l'acidité	45
II.1.1.2. Densité	47
II.1.1.3. Humidité	48
II.1.1.4. EST	49
II.1.1.5. ESD.....	50
II.1.1.6. Matière grasse.....	51
II.1.1.7. Chlorures	52
II.1.1.8. Protéines	53
II.1.1.8.1. Détermination du pourcentage de dénaturation.....	54
II.1.2. Résultats des analyses physico-chimiques au cours d'affinage des deux types du camembert (FLV et FLM)	58
II.1.2.1 pH	59
II.1.2.2 : Humidité	61
II.1.2.3. EST	63
II.1.2.4. ESD.....	64
II.1.2.5. Matière Grasse	66
II.1.2.6. Chlorures	68
II.1.2.7. Protéines	69
II.2. Résultats de l'analyse organoleptique	72
II.2.1. Le gout et l'odeur	73
II.2.2. La texture	74
II.2.3. L'aspect	75
Conclusion générale	76
Références bibliographiques	
Annexes	

Le fromage est l'un des plus anciens aliments manufacturés. Plus d'un millier de variétés de fromage sont répertoriées dans le monde. Cette étonnante diversité est la conséquence de multiples facteurs, notamment le type de lait utilisé, le procédé de fabrication et les pratiques et les références locales. Parmi cette diversité, on trouve le fromage à pâte molle type Camembert qui est considéré à juste titre comme un produit de base dans le modèle de consommation des populations.

Ce travail s'est articulé autour de trois axes de recherche, le premier concernait les analyses physico-chimiques des laits destinés à la fromagerie (LV, LM) avant et après pasteurisation, ainsi que les fromages à pâte molle type *Camembert* issu de ces laits. Le second concernait la détermination du taux de dénaturation des protéines des laits utilisés (LV, LM, LR). Le troisième axe concernait l'évaluation sensorielle des deux types de fromages à pâte molle type *Camembert*.

Suite à une analyse statistique, les résultats obtenus ont indiqué des différences très hautement significative entre les deux types de fromages à pâte molle selon leur caractéristiques physico-chimiques (pH, Humidité, EST, ESD, MG, Chlorures, Protéines).

Les résultats obtenus concernant le taux de dénaturation des protéines, ont révélé un taux élevé pour le lait recombinaé seul, avec un pourcentage avoisinant 7.82, par rapport au lait de vache et le lait mixte qui présentait un pourcentage de 4 et 5.51 respectivement.

Sur le plan organoleptique, on a révélé une préférence pour le Camembert à base de lait vache fabriqué au niveau de la laiterie « PATURAGE D'ALGERIE » qui présentait la typicité recherchée.

Mots clés : lait de vache, lait mixte, lait recombinaé, *Camembert*, dénaturation, affinage, protéines.

Cheese is one of the oldest manufactured foods. More than a thousand varieties of cheese are listed in the world. This amazing diversity is the result of multiple factors, including the type of milk used, the manufacturing process and practices and local references. This diversity include cheese to dough soft type Camembert, which is considered as a commodity in the model of consumption of people.

This work is articulated around three axes of research, the first concerned physico-chemical analyses of the milk for the cheese factory (LV, LM) before and after pasteurization, as well as the soft cheeses type *Camembert* from these milks. The second concerned the determination of the rate of denaturation of proteins of used milk (LV, LM, LR). The third axis the sensory assessment of the two types of cheeses *Camembert* soft types.

Following a statistical analysis, the results indicated differences very highly significant between the two types of soft cheeses according to their physico-chemical characteristics (pH, humidity, dry extract total, dry extract defatted, fat, chloride, proteins).

The results obtained concerning the rate of denaturation of proteins, have revealed a high rate for the recombinant alone, with a percentage around 7.82 compared to cow's milk and mixed milk which featured a 4 percent and 5.51 respectively.

Organoleptically, it was revealed a preference for Camembert cheese made from cow's milk produced at the level of the dairy "PATURAGE D'ALGERIE" which featured the desired characteristics.

Key words: milk cow, mixed milk, milk recombinant, denaturation, proteins, Camembert.

Liste des figures :

<u>Figures</u>	<u>Pages</u>
Figure01: La lactogenèse simplifiée des composants principaux.	04
Figure02: Composition de la fraction protéique du lait de vache.	05
Figure03: Micelles de caséine vues au microscope électronique.	06
Figure04 : Micelle de caséine et sous-micelles de caséine.	07
Figure05 : Pont phosphate de calcium.	07
Figure06 : Critères de fromageabilité du lait.	22
Figure07 : Phases de coagulation enzymatique du lait et formation du réseau	27
Figure08 : Principaux mécanismes biochimiques de l'affinage : (a) protéolyse, (b) lipolyse, (c) métabolisme de lactose, de lactate, de citrate.	29
Figure09 : Représentation schématique de l'effet thermique sur la β -Lg à pH>6.8 et une température comprise entre 20 et 150°C	32
Figure10 : Diagramme de fabrication du Camembert suivi à la laiterie-fromagerie « PATURAGE D'ALGERIE ».	39
Figure11 : Courbe étalon DO=f(BSA) pour le dosage des protéines par la méthode de BRADFORD (1976).	42
Figure12 : Diagramme de variation du pH du LV et LM avant et après pasteurisation	46
Figure13 : Diagramme de variation de l'acidité du LV et LM avant et après pasteurisation.	46
Figure14 : Diagramme de variation de la densité du LV et LM avant et après pasteurisation.	48
Figure15 : Diagramme de variation d'humidité du LV et du LM avant et après pasteurisation.	49
Figure16 : Diagramme de variation d'EST du LV et du LM avant et après pasteurisation.	49
Figure17 : Diagramme de variation d'ESD du LV et du LM avant et après pasteurisation.	50
Figure18 : Diagramme de variation des teneurs en MG du LV et LM avant et après pasteurisation.	51
Figure19 : Diagramme de variation de la teneur en chlorures du LV et LM avant et après pasteurisation.	52
Figure20 : Diagramme de variation de la teneur en protéines du LV et LM avant et après pasteurisation.	53
Figure21 : Diagramme de variation du % de dénaturation du LV, LM, LR.	55
Figure 22 : Traitements thermiques à appliquer suivant le WPNI désiré	56
Figure23 : Diagrammes d'évolution du pH de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.	59

Figure24 : Voies métaboliques de dégradation du lactose.	60
Figure25 : Diagrammes d'évolution d'humidité de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.	62
Figure26: Diagrammes d'évolution d'EST de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.	63
Figure27 : Diagrammes d'évolution d'ESD de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.	65
Figure28 : Diagrammes d'évolution de la MG de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.	66
Figure29: Diagrammes d'évolution des chlorures de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.	68
Figure30 : Diagrammes d'évolution des protéines de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage	69
Figure31 : Protéolyse des caséines et catabolisme des acides aminés pendant l'affinage des fromages.	71
Figure32 : Catabolisme des acides gras saturés.	74

Liste des tableaux

<u>Tableaux</u>	<u>Pages</u>
Tableau. I : Propriétés et caractéristiques des protéines solubles (à pH= 4,6 et à 20°C).	08
Tableau. II : Composition en résidus d'acides aminés des six protéines majeures du lait de vache. Les résultats sont donnés en nombre de moles de résidus par mole de protéine.	09
Tableau. III : Caractéristiques des principaux enzymes du lait.	10
Tableau. IV : Composition du lait en minéraux.	11
Tableau. V : Teneurs moyennes en certains oligoéléments du lait de vache en µg/l.	11
Tableau. VI : Teneur moyenne des principales vitamines du lait.	12
Tableau. VII : Composition des laits en poudre (% m/m).	13
Tableau. VIII : Les différents types de fromage.	17
Tableau. IX : Valeurs nutritionnels pour 100 g de fromage.	18
Tableau. X : Teneur en eau des fromages.	19
Tableau. XI : Teneur réelle en matière grasse pour 100g de fromage.	19
Tableau. XII: Teneur protéique des fromages.	20
Tableau. XIII : Analyse synthétique de la valeur énergétique des fromages à pâte Molle comparée à celle du lait.	20
Tableau XIII: Teneur en calcium des fromages.	21
Tableau. XV : Teneur en phosphore des principaux fromages.	21
Tableau. XVI : Effet des traitements thermiques sur la composition vitaminique du lait : perte en %.	35
Tableau. XVII : Résultats des analyses physico-chimiques des deux laits destinés à la fromagerie.	45
Tableau. XVIII : Le taux protéique des trois laits analysés avant et après pasteurisation	54
Tableau. XVIII : Evolution des paramètres physico-chimiques au cours de l'affinage des deux types de <i>Camembert</i> (FLV et FLM).	58
Tableau XX : Résultats d'analyse organoleptique des deux Camemberts LM et LV en (%)	72

Liste des abréviations

AFNOR : association française de normalisation

aw : activité de l'eau

α -Lac : α -Lactalbumine

β -Lg : β -Lactoglobuline

BSA : Albumine sérique bovine

α S1-CN : caséine α S1

α S2-CN : caséine α S2

β -CN : caséine β

CMP : Caséinomacropeptide

CPG : chromatographie en phase gazeuse

D° : Degré Dornic

EST : extrait sec totale

ESD : extrait sec dégraissé

FAO : Organisation des nations unis pour l'alimentation et l'agriculture

FIL : Fédération international de laiterie

FLV : Fromage à base de lait de vache

FLM : Fromage à base de lait mixte

J : Jour

KCAL: Kilo calories

KJ: Kilo joule

LM: Lait mixte

LR: Lait recombiné

M : Molarité

Met-106 : Méthionine 106

Phe-105 : Phénylalanine105

P-value : Probabilité-value

Sec : seconde

Ser-P : Sérine-phosphorylée

UHT : Ultra haute température

INTRODUCTION

La filière lait en Algérie se trouve actuellement dans une phase critique, face à une production locale insuffisante, aggravée par un taux de collecte très faible et une augmentation des prix de la matière première sur les marchés internationaux. La production laitière en Algérie régulièrement croissante depuis les années 80 est très faiblement intégrée à la production industrielle des laits et dérivés.

D'après les experts, les besoins annuels de l'Algérie en matière de lait est estimée à 120 litres /habitant/année. Pour maintenir un même niveau de consommation par habitant et un même taux de couverture de la demande par l'offre de lait cru, l'ALGERIE fourni un effort non négligeable où la production locale est estimée à 3 milliards de litres en 2010, dont 2.2 milliards est assurée essentiellement par le cheptel bovin qui représente 75 % de la production laitière algérienne (**PARTSCH C, 2013**).

Malheureusement, plusieurs facteurs dont : le manque de terres agricoles, les conditions naturelles difficiles, la sécheresse, la faible mécanisation, l'usage insuffisant d'engrais, la faiblesse des productions fourragères et la pauvreté des « parcours » sur lesquels sont élevés les troupeaux, la croissance démographique, font que l'ALGERIE est déficitaire à hauteur de 60 % en lait, et sa production locale ne couvre qu'un tiers de la consommation annuelle.

Afin de combler ce déficit en cette matière de base, l'ALGERIE a eu recours à l'importation de la poudre laitière plus simple à utiliser et à stocker.

En effet, selon les statistiques douanières, les importations algériennes portent annuellement sur 250 à 300 000 tonnes de poudre de lait (2/3 poudre entière, 1/3 de lait écrémé). La France est avec la Nouvelle Zélande, le principal fournisseur du marché algérien.

L'incorporation de cette poudre importée au lait cru, constitue en lui-même une nouvelle matière première nécessitant par voie de conséquence qu'une étude préalable soit menée pour évaluer ses aptitudes à la transformation en produits dérivés.

Pour cela, de nombreux travaux ont été menés au niveau recherche pour voir comment cette nouvelle matière première pourrait évoluer dans les différentes fabrications de fromage, et plus particulièrement le fromage à pâte molle type Camembert.

Les industriels utilisent les fromages à pâte molle type Camembert comme ingrédients capables de répondre à plusieurs utilisations. Ils recherchent des fonctionnalités technologiques liées à leurs traitements industriels mais également aux attentes des consommateurs. Ces caractéristiques fonctionnelles doivent de plus être constantes dans le temps et répondre à des objectifs de performance très spécifique (**ABBAS K, 2012**).

Cette performance est liée à la caractéristique physico-chimique qui reste un élément majeur de la qualité de fromage à pâte molle. Une modification de certains paramètres physico-chimiques du fromage en particulier la matrice protéique. Peut être à l'origine d'une modification notable de la texture et de la typicité.

Pour cela nous avons orienté notre étude sur les points suivants :

- Etudier la qualité physico-chimique des deux laits destinés à la fromagerie ;
- Evaluer la qualité physico-chimique de deux fromages à pâte molle type Camembert (FLV et FLM) depuis leur introduction dans les hâloirs pour l'affinage jusqu'au produit fini ;
- Déterminer le taux de dénaturation des protéines des laits (LV, LM, LR) ;
- Réaliser une étude organoleptique pour déterminer le fromage le plus apprécié.

I. Synthèse bibliographique

1.1. Données générales sur le lait :

1.1.1. Définition :

Le lait est sécrété par les glandes mammaires des femelles mammifères dont l'activité chez la vache commence à la mise bas et se poursuit pendant une dizaine de mois, tant que dure la traite.

Le lait est synthétisé dans les acini à partir d'éléments puisés dans le sang et, le plus souvent remaniés pour donner les substances spécifiques du lait dont les principales, en masse, sont le lactose, les caséines, la β -lactoglobuline, l' α -lactalbumine, les acides gras courts (C4 à C10) et l'acide citrique (DEBRY, 2005).

92% de la matière sèche du lait est ainsi synthétisée par les cellules lactogènes à partir des matériaux simples choisis dans le sang (Figure 1) ; les autres constituants proviennent directement du plasma en passant au travers des cellules glandulaires sans subir de modification.

1.1.2. Composition :

Le lait, proche du plasma sanguin, est un sérum comportant :

- Une émulsion de matière grasse (4,2%), qui peut donner naissance à la crème, une couche de globules gras rassemblés à la surface du lait par effet de gravité ;
- La suspension colloïdale micellaire (2,6%), qui peut donner naissance au caillé obtenu par la coagulation des caséines suite à l'action de micro-organismes ou d'enzymes ;
- La phase aqueuse, qui contient l'eau (87% du lait) et les produits solubles pouvant donner naissance au lactosérum (lactose, sels, protéines solubles, composés azotés non protéiques, biocatalyseurs tels que vitamines hydrosolubles ou enzymes) (DEBRY, 2005).

1.1.2.1. Structures et propriétés générales des constituants du lait :

. Eau :

L'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion. La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire. Ce caractère polaire est ce qui lui permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum (VIGNOLA, 2002).

🚩 Matière grasse :

La matière grasse du lait de vache représente à elle seule la moitié de l'apport énergétique du lait. Elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés dont 3% sont polyinsaturés. Elle présente :

- une très grande variété d'acides gras (150 différents) ;
- une proportion élevée d'acides gras à chaînes courtes, assimilés plus rapidement que les acides gras à longues chaînes ;
- une teneur élevée en acide oléique (C_{18:1}) et palmitique (C_{16:0}) ;
- une teneur moyenne en acide stéarique (C_{18:0}) (JEANTET *et al*, 2008).

La matière grasse du lait est donc un mélange très complexe composé pour l'essentiel de triglycérides et secondairement de diglycérides, lipides complexes et substances liposolubles insaponifiables.

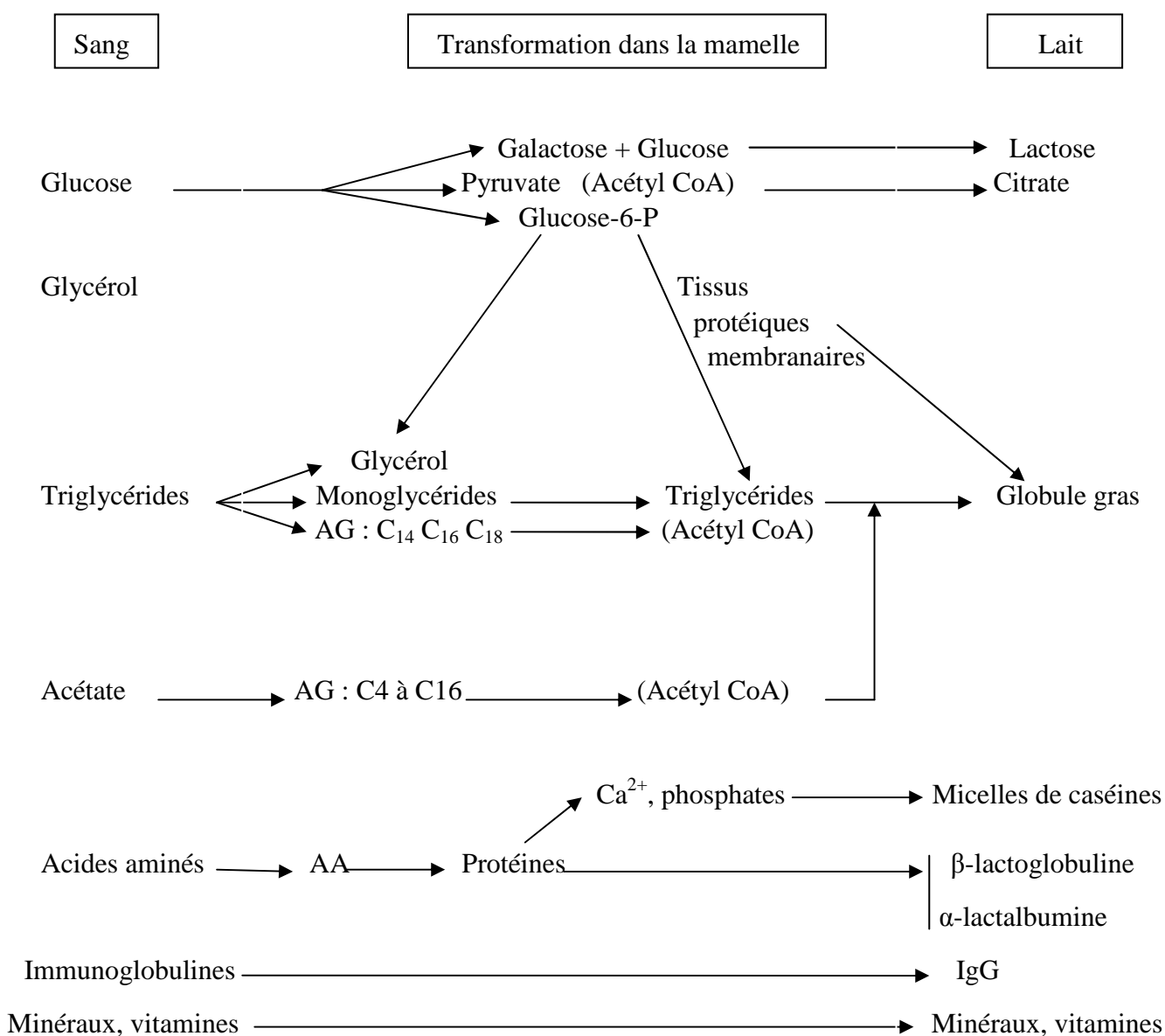


Figure 1 : La lactogénèse simplifiée des composants principaux (DEBRY, 2005).

Les protéines :

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers. L'analyse du lait par minéralisation, appelée méthode Kjeldahl, permet d'évaluer que 95% de la quantité totale d'azote est présente dans les protéines dont la concentration moyenne est de 3,2%.

Les composés azotés non protéiques sont principalement des protéoses, des peptones et de l'urée. On les classe en deux catégories d'après leur solubilité dans l'eau et leur stabilité (Figure 2) (VIGNOLA, 2002).

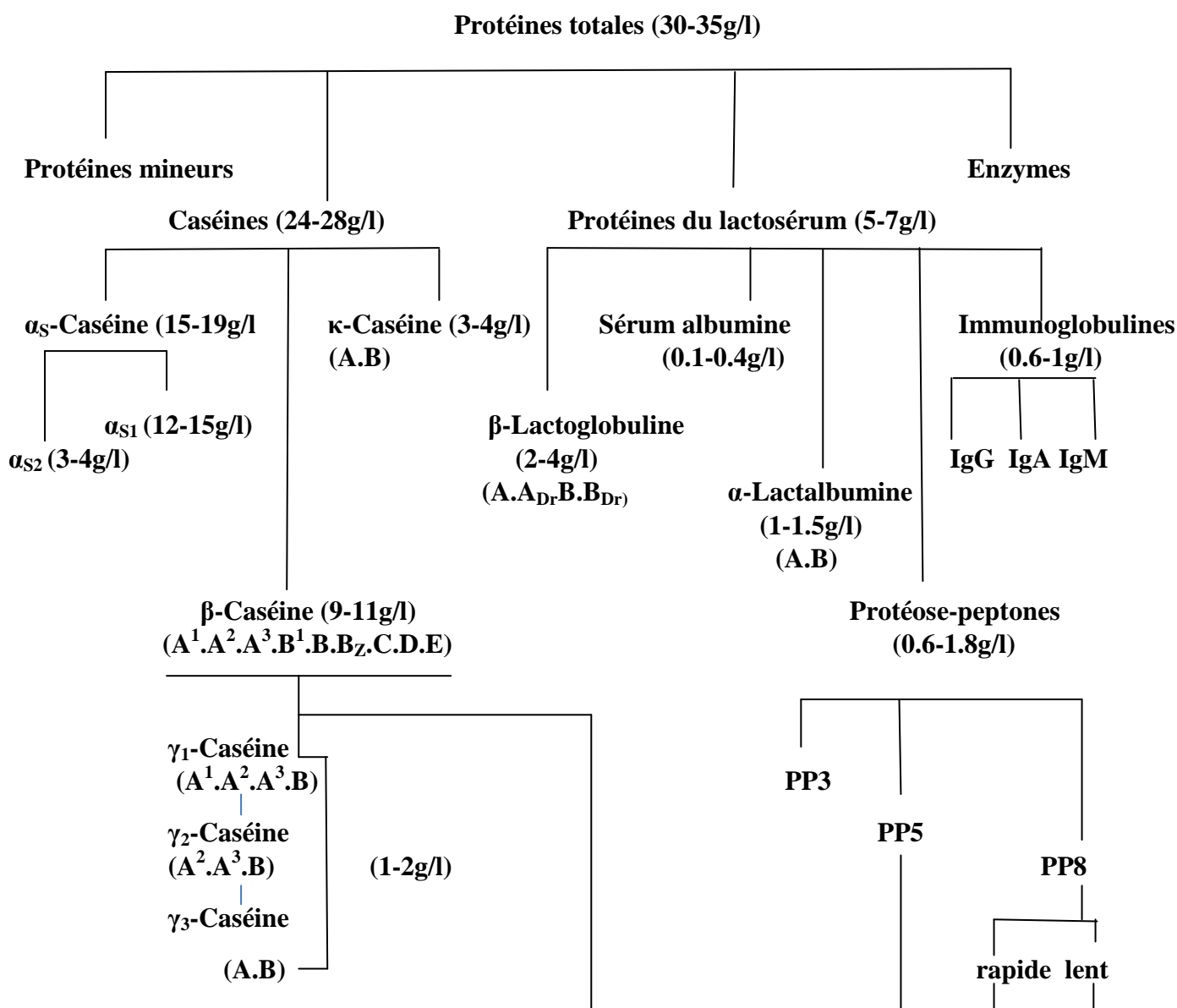


Figure 2 : Composition de la fraction protéique du lait de vache (SWAISGOOD, 1982).

✓ Caséines :

Les caséines forment près de 80% de toutes les protéines présentes dans le lait ; leur point isoélectrique moyen est de 4,65.

L'élucidation de la structure tridimensionnelle permet d'affirmer que les caséines se regroupent sous forme sphérique appelée micelle. La taille des micelles se situe entre 100 et 500 nm, avec un diamètre moyen près de 180 nm (figure3), et elle varie principalement selon l'espèce animale, la saison, le stade de lactation.

Les micelles de caséine sont constituées de 92% de protéines et de 8% de minéraux. Les quatre principales protéines contenues dans les micelles sont les caséines α_{S1} , α_{S2} , β et κ dans les proportions respectives suivantes : 36% ; 10% ; 34% et 13%.

Les micelles sont formées de sous-micelles reliées ensemble par des ponts phosphate de calcium. Les sous-micelles périphériques sont plus hydrophiles et contiennent une plus grande proportion de κ -caséine (Figure 4).

La figure 5 illustre un modèle du pont phosphate de calcium. Les liaisons en question se font à partir de la chaîne latérale d'un résidu de sérine phosphorylée (Ser-P). Certains acides aminés acides, par le biais de leurs chaînes latérales $-\text{COO}^-$, peuvent également être engagés dans certains ponts phosphate de calcium (VIGNOLA, 2002).

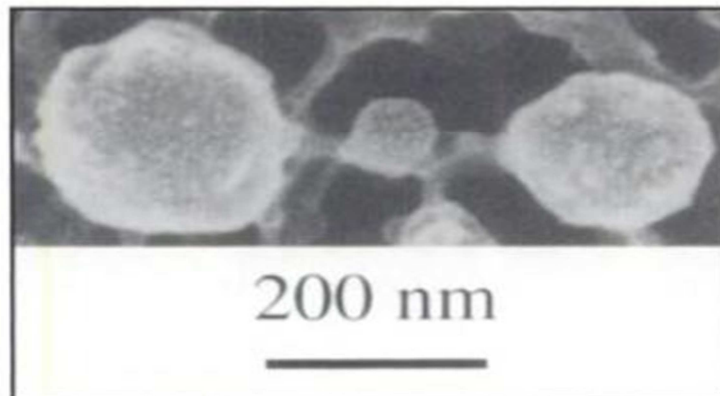


Figure 3 : Micelles de caséine vues au microscope électronique (CAYOT. P et LORIENT. D. 1998).

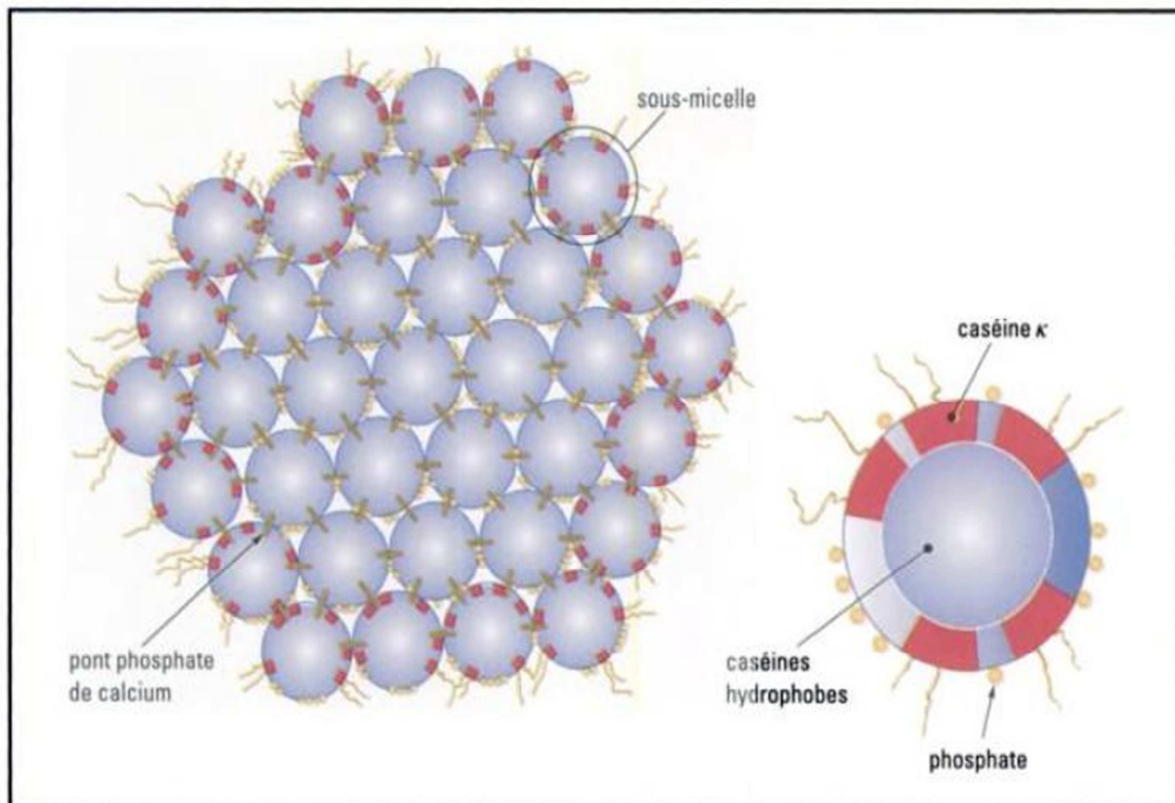


Figure 4 : Micelle de caséine et sous-micelles de caséine (SCHMIDT, 1982).

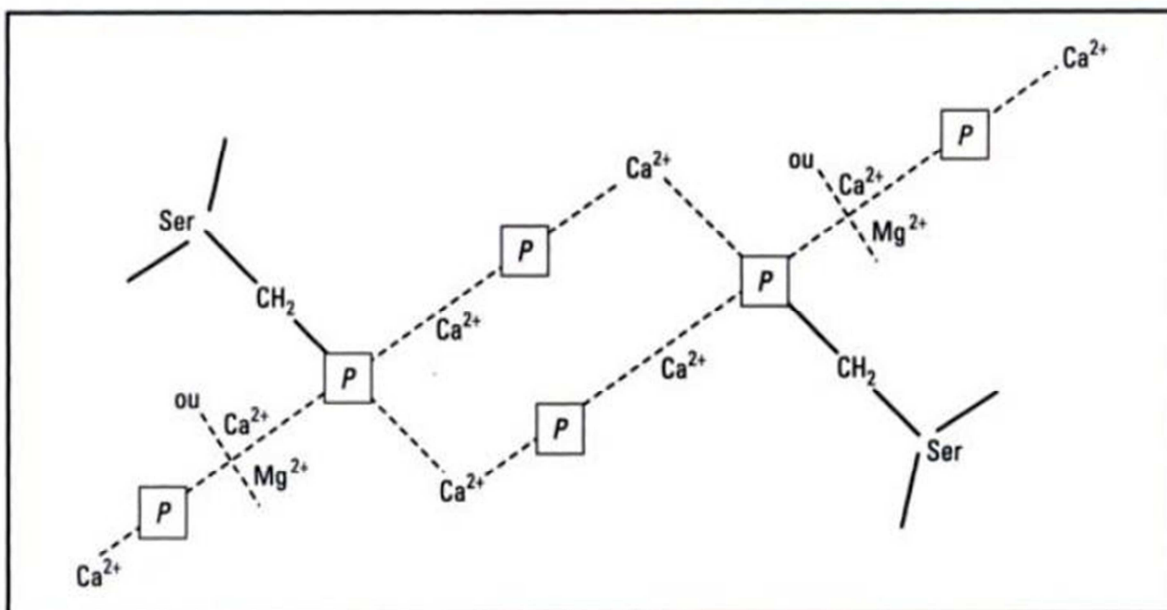


Figure 5 : Pont phosphate de calcium (CAYOT et LORIENT, 1998).

✓ **Protéines lactosériques:**

Elles représentent 15 à 28% des protéines du lait de vache et 17% des matières azotées. Elles demeurent en solution dans le « sérum isoélectrique » obtenu à pH= 4,6 à 20°C ou dans le sérum présure exsudé par le coagulum formé lors de l' emprésurage (DEBRY, 2005).

Les protéines lactosériques se composent généralement de β -lactoglobuline, d' α -lactalbumine, d'immunoglobulines, de sérum albumine, de lactoferrine et de lysozyme (Tableau I).

**Tableau I : Propriétés et caractéristiques des protéines solubles (à pH= 4,6 et à 20°C)
(MATHIEU, 1997).**

	β -lactoglobuline	α -lactalbumine	Sérum-albumine	Immunoglobuline	Protéoses-peptones
Nombre d'acides aminés	162	123	582		28 à 107
Masse molaire (g/mol)	18 363 (A)	14 175 (B)	66 267 (A)	146 000 à 1 000 000	<15 000
Nombre de résidus de cystéines	5 (2) -S-S- ; 1-SH	8 (4)-S-S-	35 (17)-S-S- ; 1-SH	?	-
pH	5,23 (A) 5,30 (B)	4,3	4,8	5,6-7,3	3,3-3,7
Origine	mammaire	mammaire	Sanguine	(mammaire) sanguine	B-CN
En g/l dans le lait	2-4	1-1.5	0.1-0.4	0.6-1	0.6-1.8

Différentes structures et propriétés physicochimiques distinguent les protéines du lait (Tableau II)

Tableau II : Composition en résidus d'acides aminés des six protéines majeures du lait de vache. Les résultats sont donnés en nombre de moles de résidus par mole de protéine (CHEFTEL *et al*, 1985).

	Caséines				Protéines sériques majeurs	
	$\alpha_{s1}B$	$\alpha_{s2}B$	βA_2	K	β -Lg A	α -La B
Asp	7	4	4	4	11	9
Glu	24	25	18	13	16	8
Asn	8	14	5	7	5	12
Gln	15	15	21	14	9	5
Thr	5	15	9	14	8	7
Ser	8	6	11	12	7	7
SerP	8	11	5	1	0	0
Pro	17	10	35	20	8	2
Gly	9	2	5	2	3	6
Ala	9	8	5	15	14	3
Val	11	14	19	11	10	6
Ile	11	11	10	13	10	8
Leu	17	13	22	8	22	13
Phe	8	6	9	4	4	4
Tyr	10	12	4	9	4	4
Met	5	4	6	2	4	1
Cys (R-SH)	0	0	0	0 ou 2	1	0
Cystine/2	0	2	0	0 ou 2	4	8
Lys	14	24	11	9	15	12
His	5	3	5	3	2	3
Arg	6	6	4	5	3	1
Trp	2	2	1	1	2	4
Total	199	207	209	169	162	123

🚩 Lactose :

Le lactose est le glucide, ou l'hydrate de carbone, le plus important du lait puisqu'il constitue environ 40% des solides totaux.

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 aux protéines. Ainsi, le lait contient près de 4,8% de lactose, tandis que la poudre de lait écrémé en contient 52% et la poudre de lactosérum, près de 70%.

🚩 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 (**BLANC, 1982**).

Le lait contient principalement trois groupes d'enzymes : les hydrolases, les déshydrogénases (ou oxydases) et les oxygénases. Les deux principaux facteurs qui influent sur l'activité enzymatique sont le pH et la température. En effet, chaque enzyme possède un pH et une température d'activité maximale (Tableau III).

Tableau III : Caractéristiques des principaux enzymes du lait (VIGNOLA, 2002).

Activité maximale				
Groupes d'enzymes	Classes d'enzymes	pH	Température (°C)	Substrats
Hydrolases	Estérases :			
	Lipases	8.5	37	Triglycérides
	Phosphatase alcaline	9-10	37	Esters phosphoriques
	Phosphatase acide	4.0-5.2	37	Esters phosphoriques
	Protéases :			
	Lysozyme	7.5	37	Paroi cellulaires Microbiennes
	Plasmine	8	37	Caséines
Déshydrogénases ou oxydases	Sulphydryle oxydase	7	37	Protéines, peptides
	Xanthine oxydase	8.3	37	Bases puriques
Oxygénases	Lactoperoxydase	6.8	20	Composés réducteurs +H ₂ O ₂ .
	Catalase	7	20	H ₂ O ₂

🚩 Minéraux :

La quantité des minéraux contenus dans le lait après incinération varie de 0,60 à 0,90%. Ils prennent plusieurs formes ; ce sont le plus souvent des sels, des bases, des acides. Le Tableau (IV) indique la composition du lait en minéraux (VIGNOLA, 2002).

Tableau IV : Composition du lait en minéraux (VIGNOLA, 2002).

Minéraux	Teneur (mg/kg)	Minéraux	Teneur (mg/Kg)
Sodium (NA)	445	Calcium (CA)	1 180
Magnésium (Mg)	105	Fer (Fe)	0.50
Phosphore (P)	896	Cuivre (Cu)	0.10
Chlore (Cl)	958	Zinc (Zn)	3.80
Potassium (K)	1 500	Iode (I)	0.28

A cette liste s'ajoutent certains éléments, comme le soufre présent dans les protéines et les oligo-éléments qui sont présents à faible concentrations ou à l'état de trace (Tableau V).

Tableau V : Teneurs moyennes en certains oligoéléments du lait de vache en µg/l (GUEGUEN, 1979).

Éléments indispensables	Teneur moyenne	Éléments non indispensables	Teneur moyenne
Zinc	3 800	Rubidium	2 500
Fer	460	Strontium	300
Cuivre	150	Brome	300
Fluor	120	Titane	200
Iode	80		
Molybdène	50		

🚩 Vitamines :

Ce sont des molécules plutôt complexes mais de taille beaucoup plus faible que les protéines, de structures très variées ayant un rapport étroit avec les enzymes car elles jouent un rôle de coenzyme associée à une apoenzyme protéique.

On classe les vitamines en deux grandes catégories :

-les vitamines hydrosolubles (vitamines du groupe B et vitamine C) de la phase aqueuse du lait ;

-les vitamines liposolubles (vitamines A, D, E et K) associées à la matière grasse, certaines sont au centre du globule gras et d'autres à sa périphérie (Tableau VI) (**DEBRY, 2005**).

Tableau VI : Teneur moyenne des principales vitamines du lait (VIGNOLA, 2002).

Vitamines	Teneur moyenne
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)	1.8mg/100ml
Vitamine B1 (thiamine)	45µg/100ml
Vitamine B2 (riboflavine)	175µg/100ml
Vitamine B6 (pyridoxine)	50µg/100ml
Vitamine B12 (cyanocobalamine)	0.45µg/100ml
Niacine et niacinimale	90µg/100ml
Acide pantothénique	350µg/100ml
Acide folique	5.5µg/100ml
Vitamine H	3.5µg/100ml

1.1.3. Différents types de lait :

1.1.3.1. Lait cru :

La **règlementation (CE) n°853/2004** définit le lait cru comme le lait produit par la sécrétion de la glande mammaire d'animaux d'élevage et non chauffé à plus de 40 °C, ni soumis à un traitement d'effet équivalent. Ce lait n'a donc subi aucun traitement autre que la réfrigération mécanique immédiate après la traite à la ferme.

La mention « lait cru » ou « lait cru frais » est obligatoire sur l'emballage. Sa date limite de consommation est très limitée. Il se conserve réfrigéré.

1.1.3.2. Laits de conserve :

Leur fabrication permet de conserver le lait sous un volume réduit et d'en faciliter ainsi le report et l'usage dans le temps et dans l'espace. Ils sont obtenus par chauffage et dessiccation. Un simple apport d'eau permet de reconstituer le lait liquide initial.

On distingue deux catégories de produits :

- Les laits concentrés obtenus par dessiccation partielle ;
- les laits en poudre obtenus par dessiccation plus poussée (**LUBIN, 1995**).

Généralités sur les poudres de lait :

✓ Définition de la poudre de lait :

Les laits en poudre sont des produits résultant de 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 et al, 2011**). Ils ont l'avantage de pouvoir :

- Se stocker et se transporter aisément ;
- S'utiliser après reconstitution pour la préparation de nombreux produits :

Laits liquides de consommation, laits fermentés, fromages.

Aux termes de la **norme n° A5 (1971)** du code des principes, on distingue trois catégories de lait en poudre : entier, partiellement écrémé et totalement écrémé, dont la composition est donnée au Tableau VII. Selon cette norme, ils peuvent faire l'objet, dans certaines conditions, d'additifs alimentaires (stabilisants, émulsifiants, antiagglomérants).

Tableau VII : Composition des laits en poudre (% m/m) (LUBIN, 1995).

Composants	Lait entier	Lait partiellement écrémé	Lait écrémé
Matière grasse laitière :			
Minimum	26	>1,5	-
Maximum	<40	<26	1,5
Eau maximum	5	5	5

✓ Classification de la poudre de lait selon le traitement thermique subi :

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

Plusieurs méthodes permettent de classer les poudres de lait. L'une des plus courantes est l'indice des protéines solubles, le plus souvent désigné par les initiales anglaises WPNI. Elle est

fondée sur la quantité de protéines de lactosérum non dénaturées et restées à l'état soluble après traitement thermique. Cette quantité est exprimée en milligrammes d'azote par gramme de poudre. Plus l'indice des protéines est élevé, plus faible a été la dénaturation, ce qui indique un traitement thermique du lait limité rendu possible par sa bonne qualité microbiologique. On distingue ainsi quatre catégories de poudres :

* **Poudres *low heat*** avec WPNI égal ou supérieur à 6. Le traitement thermique du lait est resté faible (pasteurisation à température inférieure à 80°C). Il s'agit des poudres de meilleure qualité convenant aussi bien à la préparation du lait de consommation que de celui destiné à la fromagerie ;

* **Poudres *medium heat*** avec WPNI compris entre 4,5 et 5,9 : possèdent une bonne capacité d'hydratation et d'activité de surface. Elles sont utilisées notamment dans les fabrications de crèmes glacées...etc ;

* **Poudres *medium-high*** avec WPNI compris entre 4,4 et 1,5 ;

* **Poudres *high heat*** avec WPNI à 1,5. Ce type de poudre trouve une utilisation dans les produits structurés (boulangerie, biscuiterie, et la confiserie) (**CASTRO-MOREL et HARPER, 2003**).

1.1.3.3. Différents types de lait en poudre :

✓ Lait reconstitué :

-**La reconstitution**, qui consiste à mélanger de l'eau et du lait en poudre écrémé afin d'obtenir un produit dont la teneur en matière sèche est voisine de celle du lait liquide initial (ou conforme à un rapport eau/matière sèche donné). La reconstitution peut aussi être la dilution d'une poudre de lait grasse dans l'eau. La température de reconstitution varie entre 35-45°C (**LUBIN, 1995**).

✓ Lait recombinaison :

-**La recombinaison**, qui consiste à ajouter à l'eau et à la poudre de lait de la matière grasse laitière anhydre, de façon à obtenir un lait entier ou partiellement écrémé présentant à la fois les rapports eau/matière sèche totale et matière grasse/matière sèche dégraissée conformes au produit désiré (**LUBIN, 1995**).

1.2. Les Fromages :

1.2.1. Définition :

Les fromages sont des formes de conservation et de report ancestrales de la matière utile du lait (protéines, matière grasse ainsi qu'une partie du calcium et phosphore), dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'homme dans presque toutes les régions du globe (JEANTET *et al*, 2008).

La définition « fromage » est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir de matières d'origine exclusivement laitières (lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, babeurre), utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la phase aqueuse. La teneur minimale en matières sèches du produit ainsi défini doit être de 23g pour 100g de fromage (Décret 2007-628).

1.2.2. Différents types de fromage :

Il existe plusieurs centaines de dénominations commerciales de fromages, mais probablement moins d'une cinquantaine de types de préparations, qu'on peut classer selon divers critères : mode de coagulation (Tableau VIII), dureté de la pâte (teneur en eau), existence d'une phase d'affinage, formation de gaz, etc. Il n'existe pas de classement idéal, ou officiel, quoique de nombreux fromages soient dotés d'une définition légale (CHEFTEL H et CHEFTEL J-C, 1992).

- **Classification basée sur le mode de coagulation :**

Cette classification basée sur le mode de coagulation permet de distinguer 4 types de fromages :

- **Les fromages à coagulation lactique naturelle lente :**

Sans aucun apport extérieur correspond donc à une coagulation strictement biologique (flore lactique). Parmi eux se trouvent tous les fromages frais et les faisselles qui se caractérisent par une pâte fraîche.

- **Les fromages à coagulation mixte de type coagulation lactique :**

Avec un léger apport de présure (5 à 10 ml de présure/ 100 ml de lait) donc à coagulation lente. Ils se caractérisent par une pâte molle et souple.

- **Les fromages à coagulation mixte de type coagulation présure :**

Avec un apport moyen de présure (15 à 25 ml/100 litres de lait) donc à coagulation rapide en 1 à 2 heures. Ils se caractérisent également par une pâte molle et souple.

➤ **Les fromages à coagulation de type présure :**

Avec un apport important de présure (25 à 40 ml/100 litres de lait) donc à coagulation rapide (PARADAL, 2012).

• **Classification basée sur le type de pâte fromagère :**

Cette classification permet de distinguer quatre types de fromage :

- Fromage à pâte fraîche.
- Fromage à pâte pressée :
 - ❖ Fromage à pâte pressée cuite.
 - ❖ Fromage à pâte pressée non cuite.
- Fromage à pâte persillée.
- Fromage à pâte molle :
 - ❖ fromage de pâte molle à croûte fleurie.
 - ❖ fromage de pâte molle à croûte lavée (PARADAL, 2012).

Tableau VIII : Les différents types de fromage (CHEFTEL H et CHEFTEL J-C, 1992).

Type de fromage	Fromage de type lactique	Fromage de type présure	Fromage de type mixte
Caractéristique	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenus essentiellement par coagulation biologique appelé aussi coagulation lactique ou coagulation par acidification. - Ce sont des fromages à <u>pâte fraîche</u>. - Ils sont fabriqués à une température qui va de 16 à 23°C. - Ce type de fromage demande pour sa fabrication 3 à 10ml de présure pour 100 l de lait. 	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenus essentiellement par coagulation chimique appelé aussi coagulation par l'action des enzymes (la présure). - Ce sont des fromages à <u>pâte pressée</u>, à <u>pâte ferme cuite</u> et à <u>pâte ferme non cuite</u>. - Ils sont fabriqués à une température qui va de 34 à 40°C. - Ce type de fromage demande pour sa fabrication 25 à 35 ml de présure pour 100 l de lait. 	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenus par coagulation chimique et par coagulation biologique. - Ce sont des fromages à <u>pâte molle</u>. - Ils sont fabriqués à une température de 28 à 37°C. - Ce type de fromage demande pour sa fabrication 15 à 25 ml de présure pour 100 l de lait.
Exemples	<p>Fromage à pâte fraîche :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Petit suisses -Fromage demi-sel -Chabichou -Mothais sur feuille -Rocamadour -Picodons 	<p>Fromage à pâte pressée :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Saint-Nectaire -Tome de Savoie -Saint-Paulin -Port-Salut -Reblochon <p>Fromage à pâte ferme non cuite :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Cantal -Laguiole <p>Fromage à pâte ferme cuite :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Comté -Emmenthal -Beaufort 	<p>Fromage à pâte molle :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Camembert -Brie -Carré de l'est -Bleu -Roquefort -Munster -Pont-l'évêque -Maroille -Livarot

1.2.3. Fromage à pâte molle type *camembert* :

1.2.3.1. Définition :

Le *Camembert* est un fromage à pâte molle, affiné en surface par une microflore fongique et possède une croûte fleurie (SWEENEY *et al*, 2004), à caillé non divisé en forme de cylindre plat de 10 à 11 cm de diamètre et de 3 cm d'épaisseur. Il peut être fabriqué à partir de lait cru ou pasteurisé.

Il renferme au moins 40% de matière grasse et 110 g de matière sèche (ALAIS *et al*, 2003), contient généralement entre 50 et 56% d'humidité et entre 17 et 21% de protéines (GILLIS, 2004). Le pH en fin d'affinage du camembert atteint environ 7,4 en surface et 6,9 au centre (GENIGEORGIS *et al*, 1991).

1.2.3.2. Composition et valeur nutritionnelle :

Du point de vue nutritionnelle, les fromages à pâte molle constituent des concentrés protéiques de grande valeur, et souvent très stables (Tableau IX). L'élimination du lactosérum représente un appauvrissement du fromage en sels minéraux et en vitamines hydrosolubles et en protéines intéressantes a propriétés fonctionnelles (protéines sériques) (CHEFTEL H et CHEFTEL J-C, 1992).

Tableau IX: Valeurs nutritionnels pour 100 g de fromage (CHEFTEL H et CHEFTEL J-C ,1992).

Energie (kcal)	276 kcal
Protéines	20g
Lipides	21,9g
Glucides	0,1g
Eau	54,9g

- **Constituants du Camembert :**

- **L'eau :**

Selon la quantité retenue dans le caillé, l'eau a une incidence directe sur la fermeté du fromage, donc sur la texture.

L'extrait sec est le complément à 100 de la teneur en eau. Il est en fonction de la matière grasse du lait et de la crème ajoutée, et de l'importance de l'égouttage.

Une pâte molle peut contenir plus de 50% (g/100g) d'eau (Tableau X), de plus, l'eau est un facteur déterminant de la durée de conservation d'un fromage (VIERLING, 2008).

Tableau X : Teneur en eau des fromages (VIERLING, 2008).

	Teneur en eau en %	Teneur moyenne en eau en %
Fromage blanc	≥ 80	≥80
Fromage à pâte molle		50
Camembert 30% MG	58	
45% MG	50	
50% MG	45	
60% MG	43	
Munster 45% MG	52	
Bleu 50% MG	43	
Roquefort 50% MG	40	
Fromage à pâte demi-dure		45
Edam 30% MG	50	
40% MG	45	
45% MG	42	
Cantal 52% MG	42	
Tome 48% MG	45	
Fromage à pâte dure		35
Emmental 45% MG	36	
Comté 50% MG	33	
Parmesan 40% MG	25	
Fromage fondu		50
25% MG	65	
45% MG	52	
60% MG	48	

➤ **Matière grasse (lipides):**

Se retrouvent dans la majorité des fromages sauf dans les fromages « maigres ». Et avec un pourcentage de 23 % dans les fromages à pâte molle (ALAIS et LINDEN, 1993).

Le tableau XI présente la teneur réelle en matière grasse pour 100 g de fromage (fromage frais 45% et Camembert 45%).

Tableau XI : Teneur réelle en matière grasse pour 100g de fromage (DUPIN *et al*, 1992).

	Fromage frais 45%	Camembert 45%
La teneur en eau pour 100 g de fromage est de :	80 g	54 g
L'extrait sec est donc de :	20 g	46g
La teneur réelle en matière grasse pour 100 g de fromage est de :	$\frac{20 \times 45}{100}, \text{ soit } 9 \text{ g de MG}$	$\frac{46 \times 45}{100}, \text{ soit } 21 \text{ g de MG}$

➤ **Protéines :**

Le *Camembert* est une source importante de protéines (Tableau XII), qui sont les constituants de base de l'organisme (VIERLING, 2008).

Tableau XII: Teneur protéique des fromages (VIERLING, 2008).

Fromages Teneur protéique	Exemples	Teneur protéique en g pour 100g	Concentration par rapport au lait
Fromages blancs		7 à 10	2,5 à 3
Pâte molle	Camembert Munster	20 21	6 à 7
Pâte persillée	Bleu, Roquefort	22	6 à 7
Pâte demi-dure	Gouda	25-26	7 à 8
Pâte dure	Emmental	28-30	8 à 9
Fromage fondu (à partir de fromage à pâte dure)		14 à 20	4,5 à 7
Fromage fondu (à partir de fromage à pâte fraîche)		9 à 11	3

➤ **Glucides :**

La teneur en glucides du *Camembert* est négligeable car ils sont pratiquement éliminés avec l'eau lors de la fabrication (Tableau XIII) (VIERLING, 2008).

Tableau XIII : Analyse synthétique de la valeur énergétique des fromages à pâte Molle comparée à celle du lait (VIERLING, 2008).

	Exemples	Dérivés azotés totaux x 6,25	Lipides	Glucides	KJ environ	Kcal environ
Lait		3,2	3,6	5	260	67
Fromage à pâte molle	Camembert (45% MG)	20-22	22,5	Négligeable	1 250	300
	Munster (45% MG)	21,5	22,5	-	1 270	305

➤ **Minéraux :**

• **Sodium :**

Les fromages ont subi lors de leur fabrication l'adjonction de chlorure de sodium ou/et autres sels de sodium (**VIERLING, 2008**). La teneur en sodium pour 100 g de fromage à pâte molle est d'une valeur moyenne acceptable (selon leur fabrication : adjonction de sel, pâte lavée à l'eau salée, etc...) (**ALAIS et LINDEN, 1993**).

• **Calcium et phosphore :**

Le Tableau XIII illustre l'apport calcique comparé des dérivés laitiers et des fromages. Il montre la perte importante en calcium, consécutive au caillage et à l'égouttage lent lors de la fabrication traditionnelle des fromages à pâte molle.

Tableau XIII: Teneur en calcium des fromages (VIERLING, 2008)

Fromages	Teneur en calcium mg pour 100 g	Procédé responsable de la teneur
Fromage blanc	100	Caillage lactique
Petit-suisse	100	Caillage lactique
Brie	200	Egouttage lent
<i>Camembert</i> traditionnel	200	Egouttage lent
<i>Camembert</i> industriel	300 à 550	La filtration précède le caillage, rendu plus court
Pâte molle à croûte lavée	300 (Munster) 500 (Pont-l'évêque)	Egouttage lent

Le rapport calcium/phosphore de 1,4 dans le lait reste à peu près équivalent dans la plupart des fromages. Sauf dans les fromages à caillage lactique, à égouttage lent où il est de 1,2, le phosphore restant plus lié aux matières organiques (**VIERLING, 2008**).

Le Tableau XV illustre la teneur en phosphore des principaux fromages.

Tableau XV : Teneur en phosphore des principaux fromages (ALAIS *et al*, 2003).

Variété de fromages	Phosphore (mg/100 g)
Bleu	280
<i>Camembert</i>	139
Fromage frais	91
Gruyère	600

• Vitamines :

Certaines vitamines du groupe B sont synthétisées par les moisissures. Les fromages à moisissures internes contiennent une quantité 4 fois supérieure à celle du lait en vitamines B₂, B₆.

Par rapport au lait, les vitamines présentes sont modifiées :

- par destruction de certaines lors de la maturation (oxydase) ;
- par élimination de certaines lors de l'égouttage ;
- par la synthèse d'autres.

Comme les sels minéraux, elles sont plus concentrées à la périphérie des fromages (VIGNOLA, 2002).

1.2.3.3. Etapes de fabrication :

1.2.3.3.1. Le lait de vache : matière première dans la fabrication du *Camembert* :

La fabrication du fromage à pâte molle type Camembert exige l'emploi d'un lait de haute qualité bactériologique et physico-chimique. Ainsi, dans les pays à grande tradition fromagère tel que la France, ce fromage est élaboré, soit directement à partir du lait cru, soit à partir du lait pasteurisé.

REMEUF *et al* (1991) soulignent que la fromageabilité du lait c'est à dire l'aptitude à la transformation du lait en fromage est dépendante d'un certain nombre de paramètres (Figure 6) dont :

- sa composition chimique (richesse en caséines) ;
- son comportement vis-à-vis de l'enzyme coagulante la présure ;
- son aptitude au développement des bactéries lactiques (présence de résidus d'antibiotiques) ;
- enfin, sa charge microbienne et la nature de sa microflore.

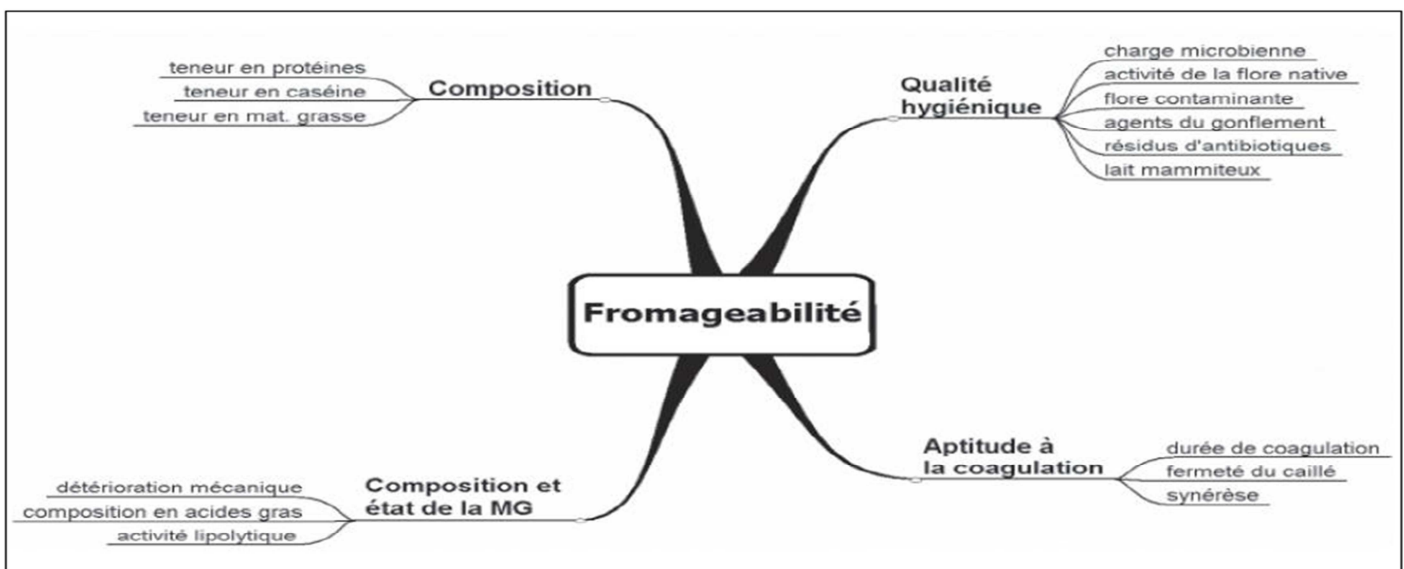


Figure 6 : Critères de fromageabilité du lait (JAKOB et HANNI, 2004).

1.2.3.3.2. Prétraitements du lait :

Autrefois les services officiels se contentaient le plus souvent de veiller à ce que le lait ne soit pas mouillé. Bien que cette adultération continue à poser un problème, même dans les régions les plus développées, l'observation du rôle que peut jouer le lait dans la propagation des maladies a souligné la nécessité d'assurer l'innocuité des approvisionnements laitiers. La recherche régulière des germes pathogènes n'est pas pratiquement possible, mais il a semblé que plus la production et la manipulation du lait seraient faites avec soin, moins le consommateur courrait de danger.

A de nombreux égards, la réception et le préposé à l'inspection du lait sont les éléments clés de la qualité du lait ou des produits laitiers. Ce préposé doit toutefois être aidé par le laboratoire de contrôle, d'une part, et par le service consultatif ou d'inspection à la ferme, d'autre part (**JOHNS, 1959**).

➤ **Contrôle au quai de réception :**

Il s'agit de contrôles nécessairement rapides destinés à savoir si le lait présenté est acceptable ou doit être refusé.

- **Dosage de l'acidité :**

C'est une épreuve brute de qualité, surtout applicable aux approvisionnements de qualité médiocre. Elle consiste à titrer un volume donné de lait à l'aide d'une solution alcaline étalon (hydroxyde de sodium (NaOH)). Le résultat est souvent exprimé incorrectement en « pour cent d'acide lactique ». Ce dernier étant le principal produit de l'activité bactérienne. Une teneur de 0,03% en acide lactique a été suggérée comme limite utile d'acceptabilité (**SOMMER, 2000**).

- **Epreuve à l'alcool :**

C'est la plus rapide des épreuves objectives. Habituellement, on mélange à volumes égaux le lait et l'éthanol à 70° ; tout lait dont l'échantillon caille est rejeté. Cette épreuve est surtout appliquée aux laits destinés aux industries de transformation (**CLEGG, 1995**).

- **Mouillage :**

Lorsque le lait semble anormalement fluide, on peut déterminer sa densité à l'aide d'un lactomètre (**American Public Health Association, 1960**). Si la lecture est anormalement faible, le lait peut être rejeté. Il est toutefois bon de faire un contrôle de confirmation en déterminant le point de congélation (**SHIPE, 1960**).

- **Recherche des antibiotiques :**

La présence de quantités décelables d'antibiotiques dans le lait a récemment suscité quelque inquiétude dans l'industrie laitière. Bien qu'ils soient parfois ajoutés délibérément au lait, les antibiotiques que l'on trouve dans ce produit sont le plus souvent des résidus du traitement de la mammites. Ils peuvent inhiber la croissance des bactéries à tel point que le lait soit considéré comme meilleur qu'il n'est ; ils peuvent aussi gêner le processus d'acidification dans la fabrication des produits laitiers de fermentation (**JOHNS, 1959**).

Une fois que le lait est accepté à l'usine, il doit être valorisé pour pouvoir produire des fromages de composition régulière et de qualité hygiénique et organoleptique bonne et constante. Pour cette raison, on est amené à faire subir au lait des correctifs avant de le mettre en fabrication (**LUBIN, 1995**). Après un entreposage à basse température (3-4°C), il va subir certains traitements technologiques (dont notamment l'homogénéisation et le traitement thermique) qui ont pour objectifs de permettre l'obtention d'un bon rendement de fabrication (**LENOIR, 1974 ; MIRANDA et GRIPON, 1986**).

➤ Préparation physico-chimiques :

- Standardisation du lait en matières grasses et en matières protéiques :

L'ajustement de la teneur en matières grasses se fait soit par apport de lait écrémé dans du lait entier, soit par apport de crème dans le lait entier (la teneur en matière grasse doit se situer autour de 28 g/l de lait) (**BERTRAND, 1988**). La standardisation en matières protéiques se fait par ajout au lait de poudre de lait, de caséine ou de caséinates. La teneur en protéines du lait de fromagerie est le plus souvent comprise entre 33 et 40 g/litre au maximum (**VIGNOLA, 2002**).

-L'homogénéisation :

L'homogénéisation est un traitement physique qui a pour objet de réduire la matière grasse en des globules de dimension plus petite (< 1 µm). Ce procédé permet ainsi de retarder la remontée de globules de gras et d'assurer une meilleure homogénéité du produit (**POULIOT et al. 1997**).

➤ Préparation microbiologiques:

-Assainissement du lait :

Il se fait très généralement à l'aide d'un traitement thermique. Il faut rappeler que la pasteurisation peut entraîner diverses modifications de la composition et de la structure physico-chimique du lait défavorables aux fabrications fromagères. Le choix d'une combinaison temps/température en fromagerie se pose dans les termes suivants : ou bien le chauffage est suffisant pour assurer la destruction des tous les micro-organismes pathogènes, mais le lait subit des modifications gênantes pour certaines fabrications ; ou bien le chauffage est modéré et ne modifie pas les aptitudes fromagères du lait, mais la sécurité hygiénique risque d'être insuffisante (**LUBIN, 1995**).

Pour éviter la confusion entre la pasteurisation et les traitements thermiques moins sévères utilisés en fromagerie, on leur réserve souvent le terme de thermisation.

La thermisation est un traitement qui a lieu à 64°C pendant 15 à 20 secondes, est surtout utilisée pour détruire les bactéries psychrotrophes, qui se développent dans un lait ayant subi, soit une réfrigération à la ferme, soit un stockage réfrigéré au niveau de la fromagerie. Ces bactéries surtout les espèces des genres : *Pseudomonas*, *Achromobacter* et *Flavobacterium*,

produisent des lipases et des protéases exocellulaires résistantes à la pasteurisation (72-74°C, 15-20 sec) et même à la stérilisation UHT (132°C, 1-2 sec) (**LENOIR et al, 1983**). Ces enzymes peuvent être responsables de goûts désagréables (malté, amer, rance), et de pertes de rendements fromagers.

Les industries fromagères font recours à la pasteurisation pour assurer la protection de la santé du consommateur.

Ce traitement permet une meilleure conservation des aliments (**ESCO, 2012**).

Trois types de pasteurisation sont pratiqués en fonction des couples temps/température :

- **Pasteurisation basse** (15-30 min/60-65°C).
- **Pasteurisation haute** (15-20 s/70-75°C).
- **Flash pasteurisation** (1-2 s/85-95°C) (**JEANTET et al, 2006**).

1.2.4. Les étapes clés de fabrication du camembert :

✚ **Prématuration :**

Elle consiste à un rééquilibrage en calcium. Pour redonner au lait pasteurisé (comme au lait refroidi) 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 0,2 g/l (**FAO, 1995**)

✚ **L'ensemencement-maturation :**

Le lait est généralementensemencé en levains lactiques et flores d'affinage de manière à mieux contrôler les écosystèmes microbiens en activité lors de la fabrication et de l'affinage. Le lait (un petit volume) estensemencé par des ferments lactiques mésophiles à une dose de 1,5 à 2% (**LENOIR et al, 1983**). Un temps de maturation suffisant est laissé dans le but de permettre la multiplication et le développement des souches de bactéries lactiques inoculées (**BERTRAND, 1988**). Une fois ses souches revivifiées, le levain (tel que préparé) servira à ensemencer les grandes cuves de coagulation.

On introduit également des levains fongiques qui jouent un rôle important dans le phénomène de l'affinage. Il s'agit de spores de *Penicillium Camemberti*, *Penicillium caseicolum* ainsi que *Geotrichum candidum*.

Coagulation :

La **coagulation** consiste en la formation d'un gel à la suite de la dénaturation des micelles de caséines du lait (**SOUSA, 2003**). L'organisation structurale de la protéine peut, en effet, être modifiée par une voie acide, enzymatique ou mixte. D'abord, la coagulation acide résulte de l'action de ferments lactiques mésophiles, habituellement un mélange de souches de *Lactococcus* et/ou *Lactobacillus* et/ou *Leuconostoc* et/ou *Streptococcus* (**CHAMPAGNE, 1998 ; SPINLER et GRIPON, 2004**). Ces ferments métabolisent le lactose en acide lactique, ce qui provoque l'abaissement du pH. Le phosphate de calcium colloïdal, qui assure la stabilité de la micelle, est alors solubilisé (**VIGNOLA, 2002**).

La coagulation enzymatique est, quant à elle, provoquée lors de l'ajout au lait de présure, dont la chymosine est l'enzyme principale. Cette dernière est une endopeptidase qui, par une réaction d'hydrolyse spécifique coupe la caséine κ au niveau de la liaison (Phe105-Met106) en deux fragments : paracaséine κ (1-105) hydrophobe, liée à la micelle, et la caséinomacropeptide (CMP) (106-169) hydrophile libérée dans le lactosérum (figure 7), permet la gélification du lait (**FARKYE, 1999**).

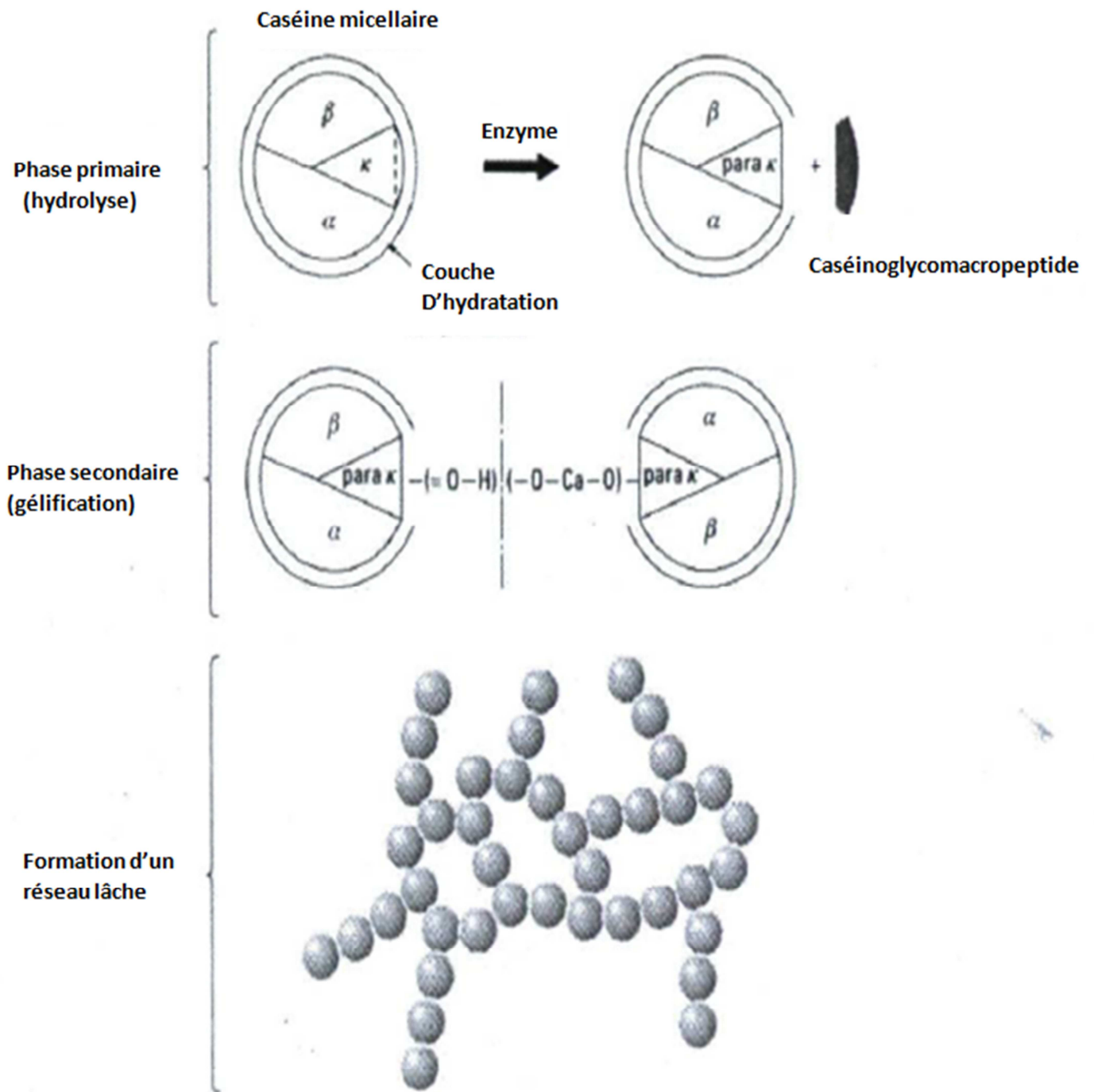


Figure 7: Phases de coagulation enzymatique du lait et formation du réseau (PAYENS, (1979); ALAIS, (1984); MIETTON, (1995)).

Pour le fromage Camembert, la coagulation est mixte à tendance lactique, c.-à-d. qu'elle résulte des deux processus enzymatiques d'acidification et d'hydrolyse (VIGNOLA, 2002). En effet, la température du lait entre 28 et 35 °C et le pH à l'emprésurage autour de 6,3-6,4 sont des conditions idéales à la fois pour les bactéries lactiques et pour les enzymes. Pour orienter la coagulation mixte vers le type lactique ou présure, il est possible de faire varier la dose de présure utilisée, la température ainsi que le temps de coagulation.

L'égouttage :

L'égouttage est défini par un phénomène de synérèse, permettant l'expulsion du lactosérum à la suite de la contraction du gel (**SOUSA, 2003**). Lors de cette étape, selon le type de fromage fabriqué, diverses techniques sont utilisées pour favoriser l'expulsion du lactosérum. Dans le cas du Camembert, des traitements mécaniques tels que le découpage, le brassage, le moulage et les retournements sont utilisés pour permettre l'élimination du lactosérum (**VIGNOLA, 2002**). Puisque l'humidité de ce type de fromage est élevée, au maximum 56 % , l'égouttage du caillé Camembert est très modéré comparé à d'autres variétés de fromages.

Salage :

Une des étapes intermédiaires de la fabrication fromagère implique le salage du caillé, lequel est habituellement effectué à la fin de la période d'égouttage, permettant de compléter cette étape en augmentant la pression osmotique dans la matrice. La concentration en sel varie en fonction du type de fromage fabriqué. Plusieurs facteurs permettent d'établir la teneur en sel d'un fromage, notamment le type de pâte, les paramètres d'affinage (humidité relative, température, composition de l'atmosphère) ainsi que les microorganismes utilisés pour sa fabrication. Bien qu'il n'existe pas de normes quant à la teneur en NaCl dans le Camembert, un pourcentage final entre 1,5 et 2,5 % est généralement souhaité (**RYSER et MARTH, 1987b ; SOUSA, 2003**).

Affinage :

L'affinage est la dernière étape de la transformation fromagère. Sa durée varie de quelques jours à quelques mois selon le type de fromage et ce, afin d'obtenir les qualités texturales et organoleptiques désirées. La période d'affinage du Camembert est généralement courte, soit entre 12 et 45 jours et se déroule à une température variant habituellement entre 12 et 14 °C. Les fromages sont généralement entreposés dans un lieu d'affinage (hâloir) permettant de contrôler l'humidité relative entre 85 et 95 % (**CHOLET, 2006**)

L'affinage du fromage est une période de maturation pendant laquelle les propriétés sensorielles des fromages se développent grâce à une variété de réactions biochimiques comme l'utilisation des sucres, des acides organiques, des protéines et des lipides du caillé ((figure 8) (**MC SWEENEY, 2004**). Les enzymes naturelles du lait (plasmine, lipoprotéines, phosphatases, protéases), les enzymes coagulantes (pepsine, chymosine) et les enzymes protéolytiques et lipolytiques microbiennes (provenant des ferments lactiques et des agents d'affinage) participent grandement à l'apparition des propriétés organoleptiques des fromages. La composition intrinsèque du fromage (pH, aw) (**RAMET, 2009**) et les facteurs environnementaux (température, humidité relative, débit d'air, composition atmosphérique

dans le hâloir) ont également une grande influence sur le développement de l'apparence et des propriétés sensorielles de fromages de par leur action sur la croissance microbienne et l'activité enzymatique (LECLERCQ-PERLAT *et al*, 2006).

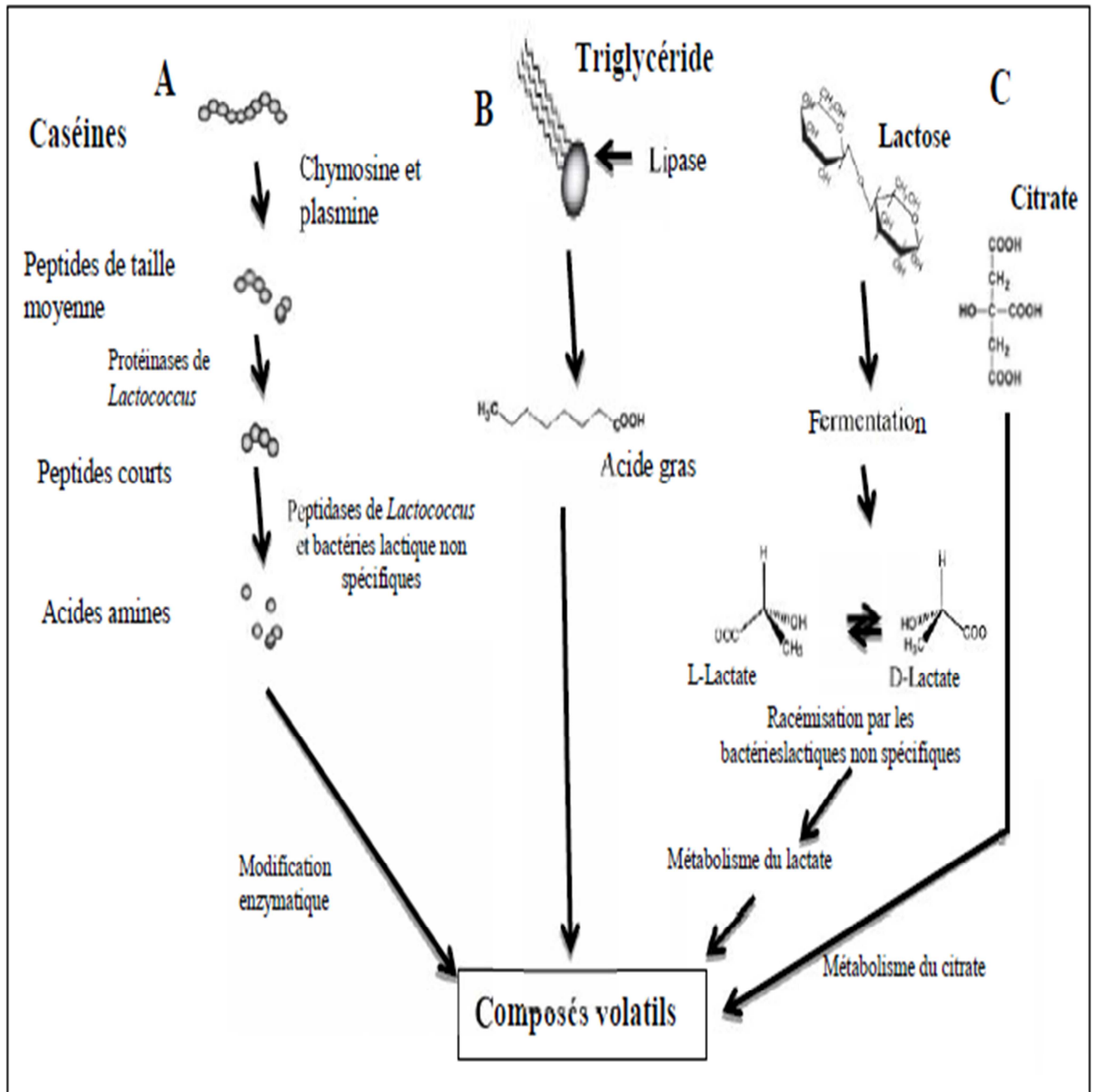


Figure 8 : Principaux mécanismes biochimiques de l'affinage : (a) protéolyse, (b) lipolyse, (c) métabolisme de lactose, de lactate, de citrate (MCSWEENEY et SOUSA, 2000).

1.3. Les effets des traitements technologiques sur les principaux constituants du lait:

L'objectif que s'est fixé l'industrie du lait est de préserver la qualité nutritionnelle et organoleptique tout en assurant la qualité hygiénique. En effet, les traitements technologiques mis en œuvre pour détruire ou inactiver les micro-organismes et enzymes ont des effets d'ordre chimique ou thermodynamique sur les structures moléculaires des éléments du lait. Les propriétés nutritionnelles et organoleptiques peuvent en être modifiées, soit par disparition des nutriments indispensables (acides aminés essentiels, vitamines, etc), soit par formation de substances indésirables (lysino-alanine, isopeptides, mélanoidines, etc) (JEANTET *et al*, 2011).

1.3.1. Les traitements thermiques :

Les traitements thermiques d'usage courant en industrie laitière en vue de la conservation ou de la transformation du lait, on distingue la stérilisation, la pasteurisation, le séchage, la concentration par évaporation et en fin la réfrigération et la congélation.

La stérilisation et la pasteurisation ont comme effet la destruction des bactéries par la chaleur.

Ces opérations sont fondamentales en industrie laitière, car elles permettent d'allonger de façon significative la durée de conservation des produits laitiers. Le séchage du lait transforme le lait sous forme de poudre, ce qui a comme avantages de conserver le lait et de faciliter sa manutention et sa concentration en matière solide (VIGNOLA, 2002).

Les constituants majeurs (protéines, lactose et lipides) ou mineurs du lait (vitamines, enzymes et minéraux) peuvent, à la suite des procédés technologiques, subir des modifications de structure susceptibles, selon les conditions d'application des traitements, d'altérer ou d'améliorer les propriétés nutritionnelles (LORIENT, 2001).

1.3.1.1. Effets sur les protéines :

Au cours des opérations technologiques, les propriétés fonctionnelles des protéines peuvent être plus ou moins affectées par la température ou encore le pH du milieu. Lors des procédés de fabrication mettant en jeu des transferts thermiques (pasteurisation, évaporation et séchage) ce sont les protéines sériques qui seront principalement dénaturées.

Les protéines sériques seules en solution sont rapidement dénaturées quand la température critique de 65°C est dépassée. Celle-ci est réversible au départ puis à partir de 55-70°C, on assiste à une dénaturation de la structure secondaire avec clivage des ponts disulfures à 70-80°C, formation de nouveaux réarrangements inter ou intramoléculaire à 80-90°C puis apparition d'agrégats à partir de 90-100°C (DAVIS *et WILLIAMS*, 1998).

Au-delà de ces températures (>100-125°C), on assiste à des transformations chimiques avec formation de liaisons covalentes entre la lysine de la β -Lg et les autres constituants d'une matrice alimentaire complexe (les sucres réducteurs et leurs dérivés dicarboxylés, ainsi qu'avec les lipides oxydés) (**SOLER-RIVAS et WICHERS, 2001**).

La température critique de dénaturation de la β -Lg est de $70.4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ à pH 6.7 (**WONG et al, 1996**). En général, le mécanisme de dénaturation inclut deux étapes (figure 9):

-la première étape de dénaturation, vers 40°C , est caractérisée par une dissociation des dimères en monomères.

- dans un deuxième temps, à mesure que la température augmente de 50 à 70°C , une série de modifications conformationnelles se succèdent concernant particulièrement les ponts sulfurés (**RELKIN, 1998**).

Toutefois, les températures critiques données par la littérature sont à considérer avec prudence car la dénaturation est fortement liée aux conditions du milieu telles que le pH, la composition ionique ou la force ionique (**ANEMA et Li, 2003**). Dans tous les cas, l' α -lactalbumine est la protéine sérique la plus résistante à la chaleur. L'ordre de dénaturation des protéines sériques est le suivant : immunoglobuline > sérum albumine bovine > β -lactoglobuline > α lactalbumine. Une évaluation de la dénaturation des protéines à chaque étape du procédé de fabrication d'une poudre d'isolats de protéines sériques met en évidence que c'est lors de la pasteurisation et non pendant la concentration ou le séchage que la dénaturation est la plus importante (**FUENTE et al, 2002**).

Le lait peut par contre supporter des températures plus élevées. Ceci n'est pas étonnant quand on sait qu'il contient environ 80% de caséines et 20% de protéines sériques ; la stabilité du lait reflétant alors les caractéristiques du constituant majoritaire. Dans du lait, les protéines sériques vont dans ce cas réagir avec les micelles de caséine. Il peut y avoir des interactions directes entre la β -lactoglobuline et la caséine κ de la micelle. Certains auteurs parlent également de la formation de complexes β -lactoglobuline/ α -lactalbumine qui agiraient comme intermédiaires dans l'agrégation des protéines sériques avec les micelles de caséine (**CORREDIG et DALGLEISH. (1996) ; (1999) ; SCHOKKER et al. (2000) ; LIVNEY et al. (2003)**).





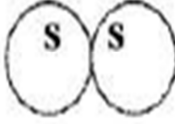



Structure	Temperature	Time	Result
	20°C	-----	Native dimer
			Dissociation at conc. ≤ 25 mg/ml
2x 	55°C	-----	Monomers
	60 - 70°C	≥ 15 min	Molten globule $\Delta H^{\ddagger} = 142$ kJ/mol
	65-75°C	5-10 min	Partial unfolding $\Delta H^{\ddagger} = 280$ kJ/mol Dimerization by thiol-oxidation
	75 - 85°C	5- 10 min	Disulphide and hydrophobic aggregation
	85 - 105°C	≈10 min and fast cooling	Only disulphide aggregation
	> 125°C	5- 10 min	Disulphide breakdown and Complete unfolding

Figure 9: Représentation schématique de l'effet thermique sur la β -Lg à pH>6.8 et une température comprise entre 20 et 150°C (WIT, 2009).

Les caséines sont plus stables thermiquement que les protéines du sérum : ainsi un chauffage de 10 mn à 88°C ne modifie ni la taille, ni la composition des micelles de caséine (ADRIAN, 1975). Cependant, sous l'effet de traitement plus intense, les caséines se révèlent sujettes à des modifications de structure et de composition.

La première manifestation de ces changements est une augmentation apparente de la masse de caséines, due au passage des protéines dénaturées solubles dans la phase colloïdale (HOSTETTLER *et al*, 1965b).

Si le chauffage est suffisamment intense, la taille des micelles et des particules de caséine se modifient dans une double direction.

-D'une part, une petite fraction des micelles se désagrège et n'est plus sédimentable après un traitement UHT ou une stérilisation.

-De l'autre, les micelles non-désagrégées tendent à augmenter de volume. Là aussi il faut des traitements plus sévères que la pasteurisation pour enregistrer des modifications appréciables (MORR, 1969).

Les effets thermiques ciblent sélectivement certaines fractions de la micelle : la caséine β se révèle plus stable que la fraction α . A l'intérieur de cette fraction, la caséine κ offre une grande sensibilité et se trouve protégée par la fraction α_s .

Par ailleurs, les chauffages provoquent une déphosphorylation des caséines. Ainsi, au cours de la stérilisation le taux de phosphore non-protidique de la caséine entière et de la fraction κ est multiplié par 5, tandis que celui de la caséine α_s est augmenté de 8,5 fois.

A l'inverse, la caséine β demeure pratiquement inchangée dans ces conditions (WONG *et al*, 1996).

1.3.1.2. Effet sur la matière grasse :

Sachant que des protéines, des émulsifiants et des stabilisants, forment la membrane du globule de gras, les interactions produites lors du chauffage font intervenir ces constituants.

Pour les protéines, composant la membrane des globules de gras, lors des traitements thermiques, les interactions des protéines sériques avec les micelles de caséines du lait semblent plus importantes quantitativement que les réactions avec le globule de gras lui-même. Et ce, même si les protéines sériques dénaturées semblent migrer à l'interface, occasionnant une augmentation de densité de la membrane des globules gras (FINK et KESSLER, 1985).

Les protéines sériques dénaturées associées avec la κ -caséine se retrouvent à la surface de la membrane des globules de gras et des micelles de caséines (SINGH *et al*, 1996). Ainsi, suite au traitement thermique, la β -lactoglobuline aurait préférentiellement des interactions avec la κ -caséine et ce, à la surface des globules gras.

Les émulsifiants, comme les phospholipides, migrent à la surface de la phase aqueuse durant le chauffage (**HOULIHAN *et al*, 1992**), seuls ou associés avec d'autres composés (**MULDER et WALSTRA, 1974**).

1.3.1.3. Effet sur le lactose :

- La réaction de Maillard :

La principale modification du lactose lors des procédés technologiques est liée à son caractère réducteur. Par conséquent, le lactose est très réactif vis à vis des groupements aminés des protéines, entraînant la réaction de Maillard. Cette réaction également connue sous le nom de brunissement non enzymatique comporte deux étapes principales.

La première est une lactosylation et correspond à la condensation du lactose sur les groupements aminés des protéines. Elle conduit à la présence de composés carbonylés très réactifs (furfurals et réductones).

La deuxième étape correspond à des réactions de dégradation et de condensation.

Au final, les produits obtenus sont odorants, volatils et responsables du brunissement non enzymatique. La réaction de Maillard conduit donc à une altération de la qualité des poudres :

- la qualité nutritionnelle est détériorée par la perte en lysine et en tryptophane

(**O'BRIEN 1995 ; ZBIKOWSKI *et al*, 1993**) ;

-la digestibilité des protéines (**O'BRIEN et MORRISSEY, 1989**) et du lactose est moindre ;

-l'apparition d'un jaunissement des poudres et d'un défaut de goût (arôme de cuit) dégrade les qualités organoleptiques ;

-des problèmes de sécurité alimentaire se posent également ; le caractère allergène des protéines peut être augmenté et il peut y avoir formation de composés cancérigènes

- une dégradation des propriétés de réhydratation. En effet, la perte de solubilité d'une poudre de lait entier a été reliée à la réaction de Maillard par **STAPELFELDT *et al* (1997)**.

Ces composés volatils peuvent se former dès l'atomisation et se développer aussi pendant la conservation (**GUYOMARC'H *et al*, 2000**). D'après **MORGAN *et al* (1997)**, une fixation de lactose sur la β -lactoglobuline serait possible même si les traitements thermiques sont très modérés.

Plusieurs facteurs influent sur la vitesse et les voies de réaction : la température, le pH, la durée de conservation ou encore l'activité de l'eau. La température est le facteur le plus influant. En effet, de par la relation d'Arrhenius, la vitesse de réaction est doublée lorsque la température augmente de 10°C. Cela n'empêche pas pour autant la formation de composés de Maillard dans des poudres stockées à 4°C, si les autres facteurs sont défavorables.

Un pH alcalin favorise également les réactions du fait de la réactivité de l'amine protéique sous sa forme basique. Pour une très faible teneur en eau, les réactions sont également inhibées par l'absence d'eau solvant (MORGAN *et al*, 1997).

1.3.1.4. Effet sur les minéraux :

Les sels se répartissent entre la phase colloïdale et aqueuse du lait. Cette répartition et leur solubilité sont liées au pH, à la force ionique et surtout à la température. En fonction de l'intensité du traitement thermique, l'équilibre minéral subira des modifications plus ou moins irréversibles. Lors de l'élévation de la température ou de la concentration des espèces ioniques, la migration de phosphate de calcium vers la micelle sera favorisée (SCHUCK *et al*, 1994). Cela aura pour conséquence l'Insolubilisation des sels phosphocalciques.

En dessous de 90°C, les modifications de l'équilibre minéral seront réversibles et un retour à cet équilibre après réhydratation est possible. À ces températures, le chauffage du lait entraîne une précipitation du calcium, magnésium et phosphore en moins d'une minute. Dès que le lait est réfrigéré, ces modifications s'inversent et les minéraux se rééquilibrent complètement (POULIOT *et al*, 1989a ; 1989b).

1.3.1.5. Effet sur les vitamines :

Au cours des traitements industriels se faisant à l'abri de l'air et de la lumière, les pertes en vitamines du groupe B et en vitamine C sont limitées malgré la chaleur.

Ce sont dans les laits bouillis ou stérilisés en récipients, non ou partiellement déshydratés, que les pertes sont les plus notables : 30 à 60% pour la vitamine C et 20% pour la vitamine B1. Les vitamines A et D ne diminuent pas au cours des traitements thermiques du lait. Les laits pasteurisés et stérilisés UHT apparaissent comme des laits de consommation courante ayant des qualités nutritionnelles proches de celles du lait cru (Tableau XVI) (VIERLING, 2008).

Tableau XVI : Effet des traitements thermiques sur la composition vitaminique du lait : perte en % (VIERLING, 2008).

Vitamines Traitements	B1	B2	B6	B12	A. Folique	Vitamine C	Vitamine E
Pasteurisation	<10	0	10	10	5	25	0
Stérilisation	20	0	20	30	30	60	0
Traitement UHT	10	0	10	5-10	20	30	0
Traitement UHT et stockage 3 mois	10	10	35	20	>50	100	0

II. Partie expérimentale

Matériels et Méthodes

Notre travail consiste en une étude de la qualité nutritionnelle et organoleptique de deux types de fromages à pâte molle type Camembert, l'un à base de lait cru (100%) (FLV) et l'autre à base de lait mixte (FLM) (50% lait cru +50% lait recombinaé), et l'évaluation de l'effet des traitements thermiques sur leur qualité.

L'étude a été menée durant le mois d'avril 2015 au niveau de la laiterie fromagerie « PATURAGE D'ALGERIE » située au Sud-Ouest de Tizi Ouzou.

I-1. Préparation du lait :

Les échantillons de lait ayant servis aux différents tests analytiques ont été prélevés au niveau de la laiterie. Quand ils ne sont pas analysés sur place, ils sont emmenés au laboratoire dans une glacière.

I-2. Matériels et Méthodes :

I-2.1. Matériels et appareillages :

- bain-marie ;
- centrifugeuse 1200 tours/min ;
- dessiccateur infrarouge ;
- pH-mètre à affichage numérique ;
- balance de précision (0,01 mg) ;
- balance électronique (0,1g) ;
- agitateur magnétique ;
- plaque chauffante ;
- butyromètre de GERBER ;
- butyromètre de VANGULIK ;
- lactodensimètre ;
- spectrophotomètre UV-visible ;
- thermomètre ;
- micropipette 500 µl ;
- micropipette 10-100 µl ;
- éprouvette ;
- verrerie : (bêchers, fioles jaugées, pipettes graduées, burette de précision, tubes à essai).

I.2.2. Produits chimiques et réactifs utilisés :

- acide sulfurique (90%, 62%) ;
- hexacyanoferrate II de potassium ;
- acétate de zinc ;
- thiocyanate de potassium ;
- permanganate de potassium 0,1 M ;
- nitrate d'argent 0,1 M;
- réactif de la BRADFORD ;
- phénophtaléine 1% ;
- acide nitrique ;
- alcool iso-amylique ;
- acétate de zinc 30% ;
- alun de fer 38% ;
- hydroxyde de sodium.

I-3.Méthodes :

I-3.1.Echantillonnage :

Pour nos analyses, nous avons prélevé du lait cru (100%) et du lait mixte, avant et après le traitement de pasteurisation.

Pour le produit fini, nous avons analysé le *Camembert* au lait cru et le *Camembert* au lait mixte.

Camembert à base de lait cru :

Ce type de Camembert est fabriqué à partir d'un lait cru à 100% correspondant à un lait de mélange, provenant de différentes régions avoisinantes.

Lors de l'arrivée des collecteurs, le lait subit des tests rapides au niveau du quai de réception pour s'assurer de sa bonne qualité hygiénique.

Les tests analytiques réalisés au niveau de la laiterie sont :

- ✓ Dosage de l'acidité ;
- ✓ Epreuve d'alcool ;
- ✓ Détermination de la densité.

Une fois que le lait est accepté, il subit une thermisation à 63°C pendant 20 secondes puis un refroidissement entre 8 et 13°C. Le lendemain le lait subit une homogénéisation et une flash pasteurisation (72-75°C pendant 20 secondes) dans un pasteurisateur à plaque afin de détruire les bactéries pathogènes et de diminuer la flore saprophyte. La température du lait obtenue à la fin de la pasteurisation est de 37°C.

Camembert à base de lait mixte :

Ce type du *Camembert* est fabriqué à partir d'un mélange de 50% de lait cru et 50% de lait recombinaé. Ce dernier n'est pas un produit de la laiterie, il a été fabriqué par nous-même à l'aide de l'orientation du personnel.

Le lait recombinaé est obtenu suite à un mélange d'eau et de poudre de lait de type « Médium Heat » à 26% de matière grasse, provenant de la Nouvelle-Zélande.

Ce dernier est pasteurisé au niveau du laboratoire à 72°C pendant 20 secondes.

Les échantillons du *Camembert* destinés aux analyses physico-chimiques ont été prélevés d'une manière aléatoire aux stades suivants :

- (J=0) —————> Introduction aux hâloirs
- (J+3) —————> Après trois jours d'affinage
- (J+6) —————> Après six jours d'affinage
- (J+9) —————> Après neuf jours d'affinage
- (J+12) —————> Après douze jours d'affinage

Les parties qui sont concernées par ces analyses physico-chimiques sont : la croûte et la masse. Selon **HASSOUNA *et al* (1996)** la partie externe est constituée d'une couronne de 8 mm d'épaisseur, le reste forme la partie interne du fromage.

3.2. Processus de fabrication du *Camembert* au niveau de la laiterie- fromagerie

« PATURAGE D'ALGERIE » :

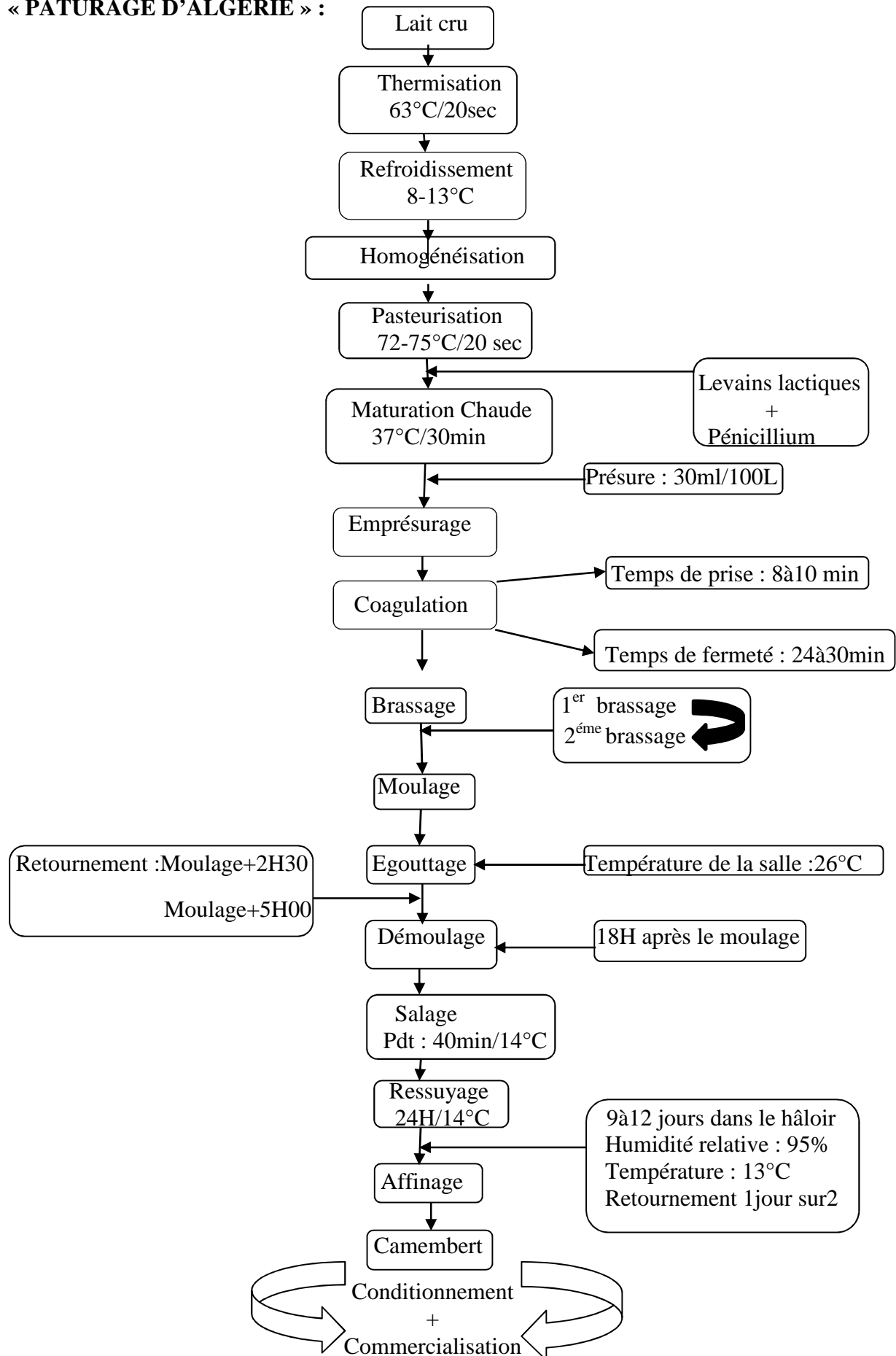


Figure 10 : Diagramme de fabrication du Camembert (FLV) suivi à la laiterie-fromagerie « PATURAGE D'ALGERIE ».

Le fromage au lait mixte, suit les mêmes étapes de fabrication sauf que la matière première est un mélange de lait cru et de lait recombinaé (50/50%).

1.3.3. Méthodes d'analyses :

La plupart des analyses physicochimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'unité fromagerie, d'autres ont été réalisées au niveau du laboratoire commun I de la faculté Agro-Biologie et également au niveau du laboratoire Hydro-Bromatologie au niveau de la faculté de médecine UMMTO.

Les analyses effectuées concernent :

Détermination de la densité :

La densité est mesurée à l'aide d'un thermo-lactodensimètre étalonné de manière à donner (par simple lecture du trait correspondant au point d'effleurement) la densité de l'échantillon de lait à analyser (annexe 01).

Détermination du pH :

La valeur pH est une mesure de l'activité H^+ . Elle est réalisée par la méthode potentiométrique ou les pH-mètres mesurent la différence de potentiel entre l'électrode de mesure et celle de référence (annexe 02).

Détermination de l'acidité :

L'acidité est déterminée par le dosage de l'acide lactique à l'aide de l'hydroxyde de sodium.

La présence de phénolphtaléine, comme indicateur coloré, indique la limite de la neutralisation par changement de couleur (rose pâle). Cette acidité est exprimée en degré Dornic ($^{\circ}D$) où :

$1^{\circ}D$ représente 0.1g d'acide lactique dans un litre de lait (annexe 03) (**MATHIEU, 1998**).

L'équation de la réaction est : $CH_3-CHOH+OH^- \longrightarrow CH_3-CHOH-COO^-+H_2O$.

Détermination du taux de matière grasse par la méthode acido-butyrométrique :

Le dosage de la matière grasse est réalisé selon la méthode acido- butyrométrique par l'utilisation du butyromètre de GERBER dans le cas du lait, et celui de VANGULIK par le

protocole de HEISS dans le cas du fromage. La séparation complète des lipides exige la destruction de leurs enveloppes protectrices. Ceci est effectué à l'aide d'acide sulfurique concentré à 90% pour le lait et à 62% pour le fromage. L'acide sulfurique oxyde et hydrolyse les parties organiques de l'enveloppe protectrice des lipides, les fractions de protéines lactées, ainsi que le lactose. En plus de la chaleur de dissociation, il apparaît également une chaleur de réaction importante faisant réchauffer très fortement le butyromètre. Les lipides libères sont ensuite séparés par centrifugation. Une adjonction de l'alcool iso-amylique facilite cette opération et crée une séparation très nette entre les lipides et la solution acide (annexe 04).

Détermination de l'extrait sec total (EST) et l'extrait sec dégraissé (ESD) :

L'extrait sec total est déterminé à l'aide d'un dessiccateur infrarouge, dont le principe consiste à sécher l'échantillon par l'émission de radiations infrarouges et à contrôler en continu le poids à l'aide d'une balance intégrée.

Le taux d'humidité est donné en pourcentage par la lecture directe sur l'écran du dessiccateur infrarouge. L'ESD est déterminé par le calcul de la différence entre l'EST et la matière grasse (annexe 05).

Détermination de la teneur en chlorures par la méthode de BERTRAND (1988) :

Le principe consiste en une destruction de la matière organique au moyen du permanganate de potassium et l'acide nitrique, puis détermination de la teneur en chlorures par titrage de la solution obtenue en présence du sulfate double d'ammonium et du fer III (Fe^{3+}) comme indicateur coloré (annexe 06).

Détermination du taux protéique par la méthode de (BRADFORD, 1976) :

Pour la méthode de BRADFORD, le bleu de Coomassie G250 se complexe avec les chaînes latérales des acides aminés basiques (lysine, arginine, histidine) et sur les fonctions amines libres de la chaîne polypeptidique en formant un complexe chromogène présentant un maximum d'absorption à 595nm. Il y a donc une corrélation entre la quantité de colorant formé dans une solution et la concentration en protéines (annexe 07).

A cette longueur d'onde, on obtient une valeur de densité optique (DO) qui permet de déterminer la concentration en protéines de l'échantillon analysé par projection des valeurs obtenues sur une courbe d'étalonnage $DO=f(BSA)$ où l'albumine sérique bovine commerciale est utilisée comme protéine étalon (figure11).

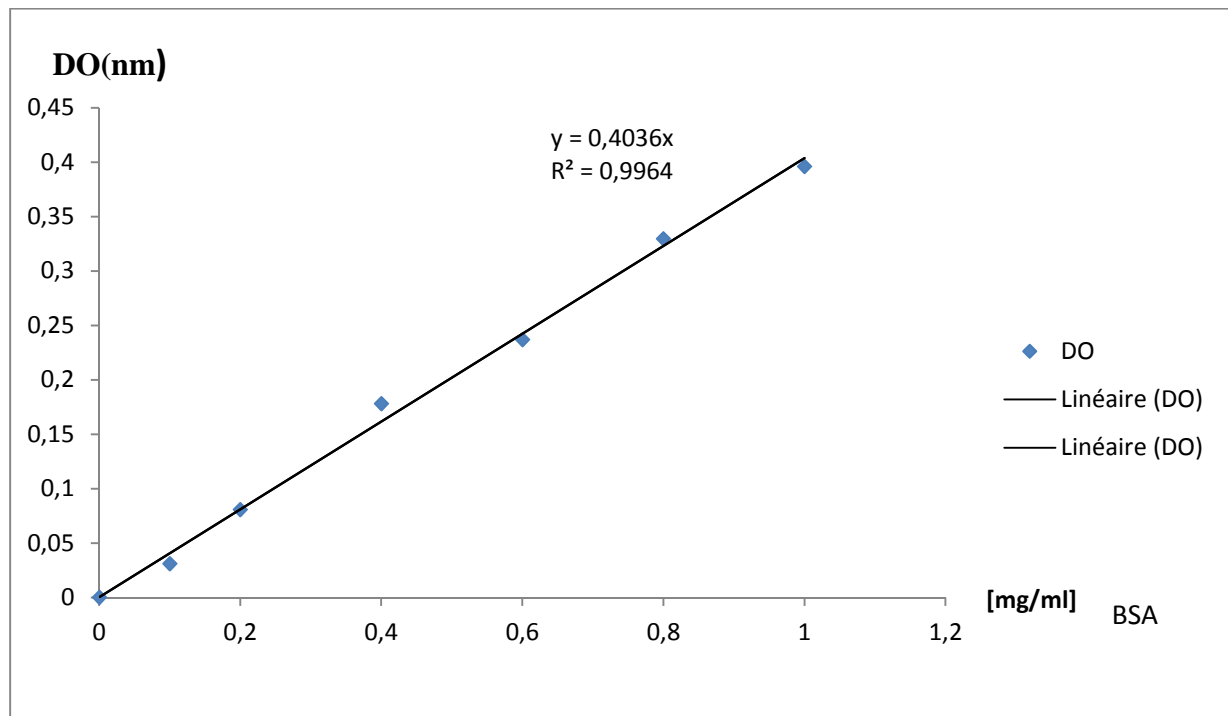


Figure 11 : Courbe étalon $DO=f(BSA)$ pour le dosage des protéines par la méthode de BRADFORD (1976).

✚ Détermination du taux de dénaturation des protéines :

Le pourcentage des protéines dénaturées (PrD) est déterminé par la relation :

$$\text{PrD} = (\text{Pr} - \text{PrT}) \times 100 / \text{Pr}$$

PrD= quantité de protéines dénaturés (g/l) ;

Pr = quantité de protéines (g/l) avant chauffage ;

PrT = quantité de protéines (g/l) après chauffage.

1.3.4. L'analyse organoleptique :

L'analyse sensorielle consiste à étudier d'une manière ordonnée et structurée les propriétés d'un produit afin de pouvoir le décrire, de le classer ou de l'améliorer d'une façon extrêmement objective et rigoureuse.

Dans notre étude, l'analyse sensorielle effectuée a deux objectifs :

Un premier objectif visait à observer si les différences entre le lait cru et le lait mixte se traduisaient par des variations, plus ou moins prononcées, sur la texture et la flaveur. Un second objectif consistait à définir le cadre d'une stratégie opérationnelle en proposant à la fois, une méthodologie d'analyse et un vocabulaire pour décrire le produit.

Dans cette étude, le panel de l'analyse sensorielle se composait de 18 sujets, tous bénévoles et étudiants de la faculté. Pendant l'expérimentation le jury à évaluer diverses caractéristiques (odeur, goût, texture, aspect), le questionnaire construit permet la comparaison des fromages sous le rapport du lait (LV ou LM) de fabrication (annexe 08). Pour chaque évaluation sensorielle, les échantillons de fromages étaient codés et présentés à tous les sujets, simultanément, dans un ordre aléatoire et différent pour chaque dégustateur.

1.3.5. L'analyse statistique :

Les résultats obtenus dans notre expérimentation sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA, Statbox 6.4) qui est une technique statistique fondamentale.

Deux vérifications préalables sont nécessaires. La première condition : les échantillons suivent une loi normal et la deuxième condition (plus importante) ; ils présentent des variances identiques. En revanche, les effectifs de chaque échantillon ne sont pas obligatoirement égaux.

L'analyse de la variance est suivie d'un test de comparaison des moyennes appelé, test de NEWMAN-KEULS afin de montrer le degré de signification des données qui est pris à la probabilité $p < 0.05$:

- $p > 0.05$: les variables montrent une différence non significative ;
- $p \leq 0.05$: les variables montrent une différence significative ;
- $p \leq 0.01$: les variables montrent une différence hautement significative ;
- $p \leq 0.001$: les variables montrent une différence très hautement significative.

L'analyse statistique a été effectuée à plusieurs facteurs et chaque facteur présente plusieurs niveaux.

- Dans le cas du lait, cette analyse est faite à 2 facteurs :
 - le type de lait (LV, LM) ;

-L'état du lait (avant pasteurisation, après pasteurisation).

- Dans le cas du fromage (FLV, FLM) :
 - le type de fromage (FLV, FLM) ;
 - la partie du fromage (croûte, masse) ;
 - la durée de l'affinage (J=0, J+3, J+6, J+9, J+12).

Résultats et Discussion

II. Résultats et Discussion :**II.1. Résultats des analyses physico-chimiques :****II.1.1. Résultats des analyses physico-chimiques des laits destinés à la fromagerie :**

Le Tableau XVII regroupe les résultats relatifs aux caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du lait cru et du lait mixte avant et après pasteurisation.

Tableau XVII : Résultats des analyses physico-chimiques des deux laits destinés à la fromagerie.

Lait paramètres	LV		LM		Normes FIL- AFNOR
	Avant pasteurisation	Après pasteurisation	Avant pasteurisation	Après pasteurisation	
pH	6.50±0.021	6.53±0.021	6.40±0.015	6.42±0.049	6.6
Acidité (D°)	17±0.1	16.95±0.132	18±0.132	17.95±0.132	16-18
Densité	1029.1±0.07	1029.06±0.6	1033±0.17	1032.83±0.28	1032- 1035(lait de mélange)
Humidité (%)	87.46±0.07	87.08±0.07	82.23±0.15	82.00±0.10	87.5-89.8
EST (g/l)	114.03±0.06	113.93±0.30	136.56±0.017	136.38±0.4	102-125
ESD (g/l)	82.01±0.03	81.83±0.25	99.44±0.08	99.65±0.56	87.5-89.9
MG (g/l)	32.01±0.029	32±0.076	37.1±0.1	36.73±0.25	34-36
Chlorures (g/l)	1.6±0.01	1.50±0.015	1.75±0.01	1.76±0.006	1.5-1.8
Protéines (g/l)	30.97±0.025	29.74±0.056	35.92±0.02	33.89±0.045	34-36

II.1.1.1. pH et l'acidité :

L'acidité du lait est une notion importante pour l'industrie laitière, elle permet de juger l'état de conservation du lait. L'acidité titrable du lait dépend du nombre de moles d'acides présents dans ce produit est inversement proportionnelle à son pH (MATHIEU, 1998).

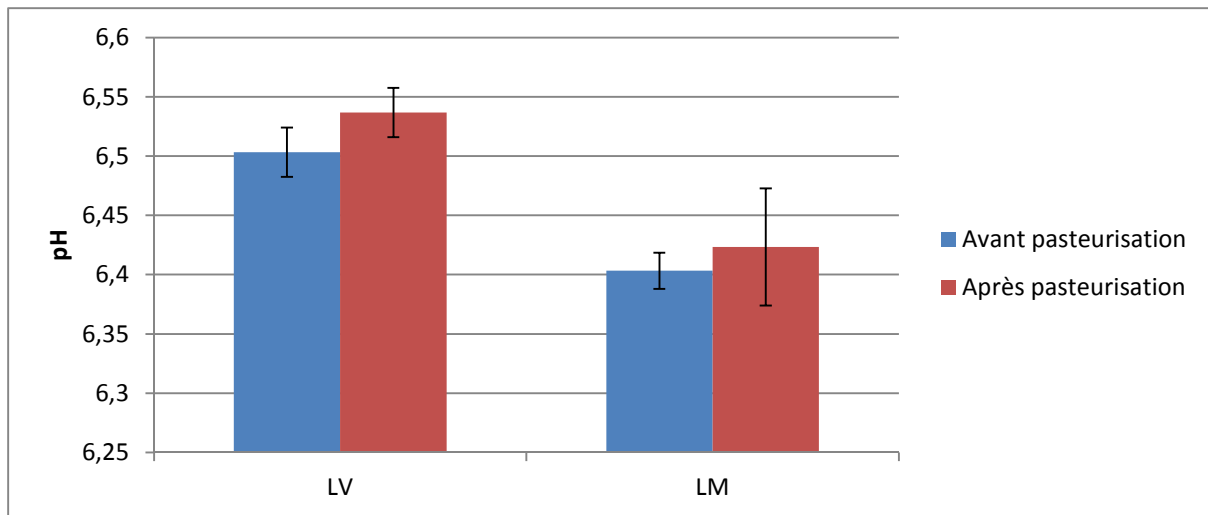


Figure 12 : Diagramme de variation du pH du LV et LM avant et après pasteurisation.

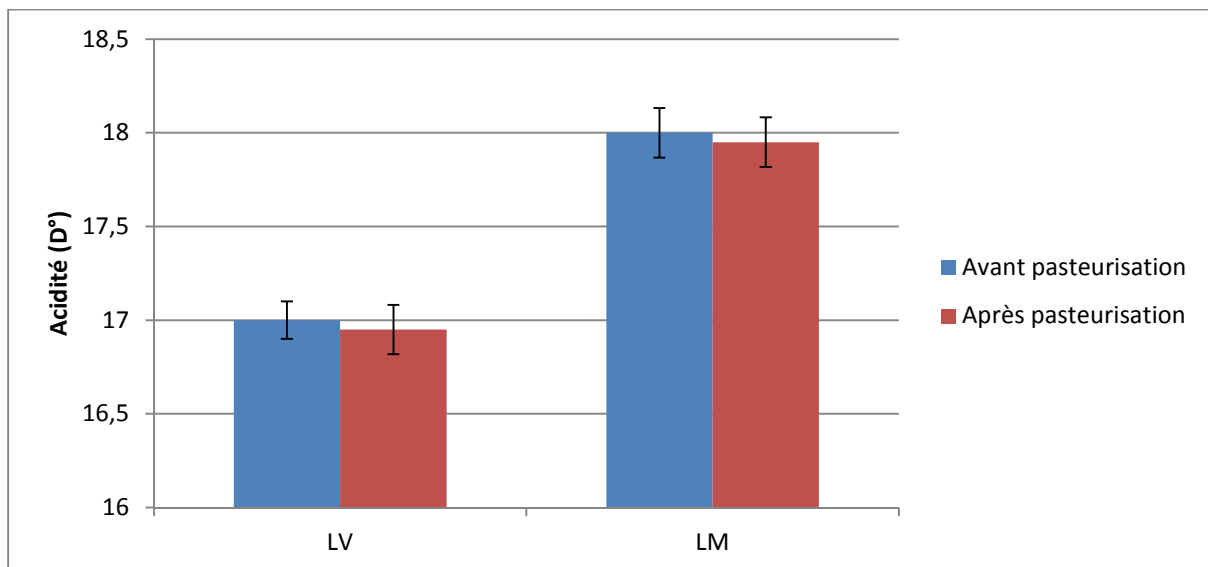


Figure 13 : Diagramme de variation de l'acidité du LV et LM avant et après pasteurisation.

Les résultats obtenus concernant le pH et l'acidité titrable portés dans le tableau (XVII) et illustrés dans les figures (12) et (13), montrent que les deux types de laits après pasteurisation présentent des différences. Cela est confirmé par l'analyse de la variance au seuil 5%, qui indique la présence de différences significatives pour le pH (p -value=0.02) (annexe09), et la présence de différences très hautement significatives pour l'acidité (p -value=0.0015) (annexe10) entre le lait cru et le lait mixte pasteurisés.

Le test de NEWNAM-KEULS au seuil 5% répartit ces deux types de lait après pasteurisation en deux groupes homogènes A et B selon leurs pH et leurs acidités titrables (annexe 11 et 12).

Les valeurs du pH relevées dans la présente étude sont non conformes aux **normes FIL-AFNOR (1980)**.

En effet, la valeur moyenne du pH du LV analysé, est égale à 6.53 ± 0.021 , contrairement à ce lait, le LM s'avère légèrement plus acide avec un $\text{pH} = 6.42 \pm 0.049$. Cette acidité dépend de la teneur en caséines, lactose, en sels minéraux et en ions, de la charge microbienne totale et de son activité métabolique (**LABIOUI et al, 2009**).

Une étude réalisée par **AGGAD et al, (2009)** a donné lieu à des acidités titrables des laits de mélange de même ordre de grandeur.

Selon ces auteurs, ces similarités peuvent être liées au climat, au stade de lactation, à la saison et à la conduite d'élevage notamment l'alimentation et l'apport hydrique. Il peut s'agir également du fait que le lait utilisé au niveau de la laiterie fromagerie « **PATURAGE D'ALGERIE** » est un lait de veille ayant subi une homogénéisation. Selon **HUMBERT et al (1980)**, l'homogénéisation conduit à une baisse de pH de l'ordre de 0.10 à 0.25 unités, de tous les laits traités quelle que soit la pression appliquée.

On remarque que le lait pasteurisé présente un pH légèrement plus élevé que le lait cru, ceci est probablement dû à la réduction de la charge microbienne sous l'effet de la température, ce qui entraîne l'abaissement de l'acide lactique par ces bactéries (**CAROLE et VIGNOLA, 2002**).

II.1.1.2. Densité :

La densité du lait d'une espèce donnée, n'est pas une valeur constante, elle varie avec la concentration des éléments dissous et en suspension. Elle dépend également de l'augmentation de la température et de la disponibilité alimentaire (**MATHIEU, 1998**).

Les résultats portés dans le tableau (XVII) et illustrés dans la figure (14), montrent que la densité du LV varie entre 1028.15 et 1030 avec une moyenne de 1029.06 ± 0.6 , tandis que celle du LM est comprise entre 1032.70 et 1033 avec une moyenne de 1032.83 ± 0.28 . L'analyse de la variance ou la recherche de différences au niveau de signification 5% entre les densités du LV et du LM après pasteurisation, nous amène à conclure qu'il y a une différence très hautement significative ($p\text{-value} = 0.0015$) (annexe 13) entre ces deux types de laits. Le test de

NEWMAN-KEULS répartit ces deux types de laits en deux groupes homogènes A et B (annexe14).

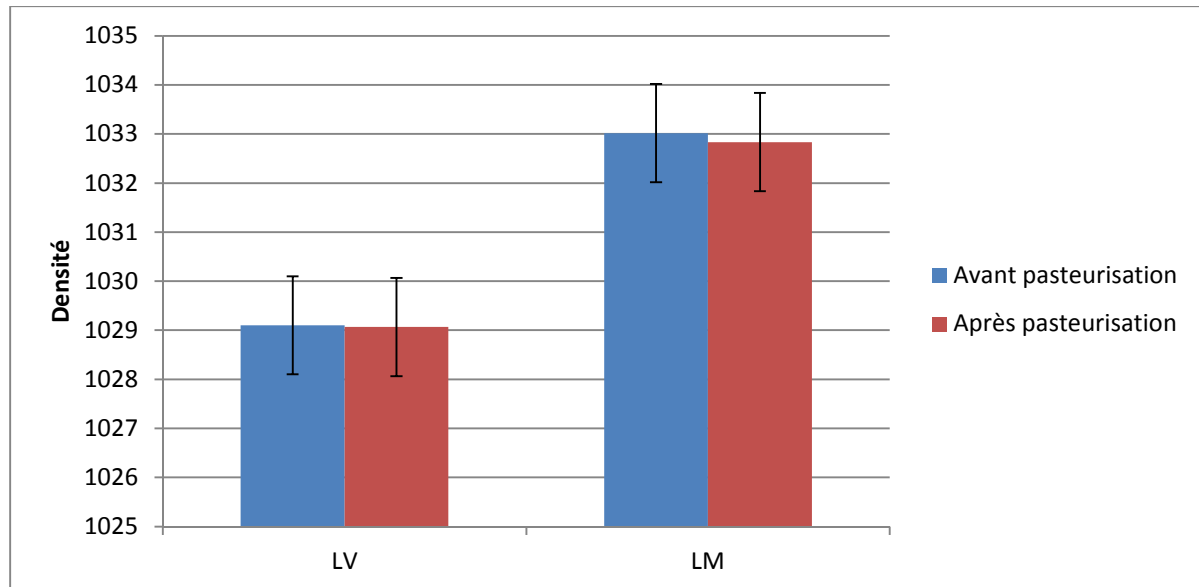


Figure 14 : Diagramme de variation de la densité du LV et LM avant et après pasteurisation.

La densité du LM est conforme aux normes FIL-AFNOR, elle présente une valeur supérieure à celle du LV. Ceci s'explique par la teneur en matière sèche élevée, et donc une élévation de la masse de ses constituants dans le même volume que celui du lait de vache. En dehors de tout mouillage du lait, la densité est inversement proportionnelle au taux de matière grasse (LUQUET, 1985).

Or, la moyenne de nos résultats présente une tendance inverse. Ces résultats peuvent être à l'origine d'un mouillage frauduleux du lait.

II.1.1.3. Humidité :

Les teneurs moyennes d'humidité (teneur en eau) portées dans le tableau (XVII) et illustrées dans la figure (15) montrent que l'humidité du LV présente une moyenne de 87.08 ± 0.07 , tandis que celle que LM est de 82.00 ± 0.10 . La recherche de différences au niveau de signification 5% entre la teneur en eau du LV et du LM après pasteurisation, nous amène à conclure qu'il y a une différence très hautement significative (p -value=0.00008) (annexe 15) entre ces deux types de laits. Le test de NEWMAN-KEULS répartit ces deux types de laits en deux groupes homogènes A et B (annexe 16).

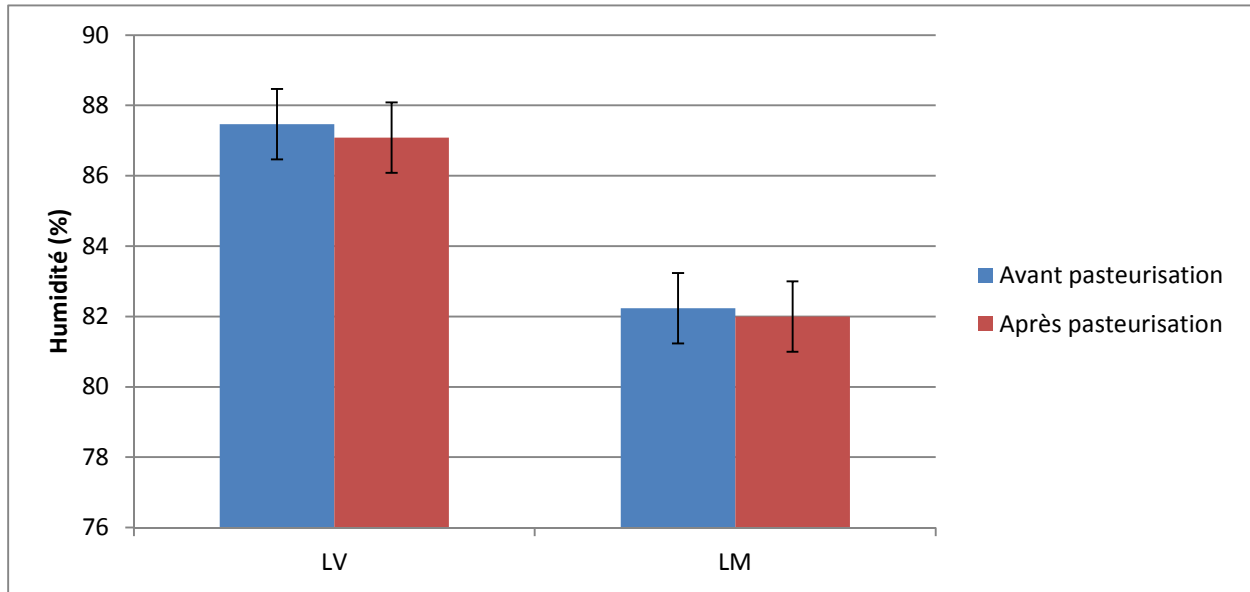


Figure 15 : Diagramme de variation d'humidité du LV et du LM avant et après pasteurisation.

L'humidité du LV se rapproche des normes **FIL-AFNOR** (87.5-89.8%), tandis que l'humidité du LM est largement inférieure. Ceci est dû au fait que LM présente un extrait sec total élevé. En effet ces deux paramètres sont complémentaires, plus la teneur en EST est élevée, plus celle de l'humidité sera faible et vice versa.

II.1.1.4. EST :

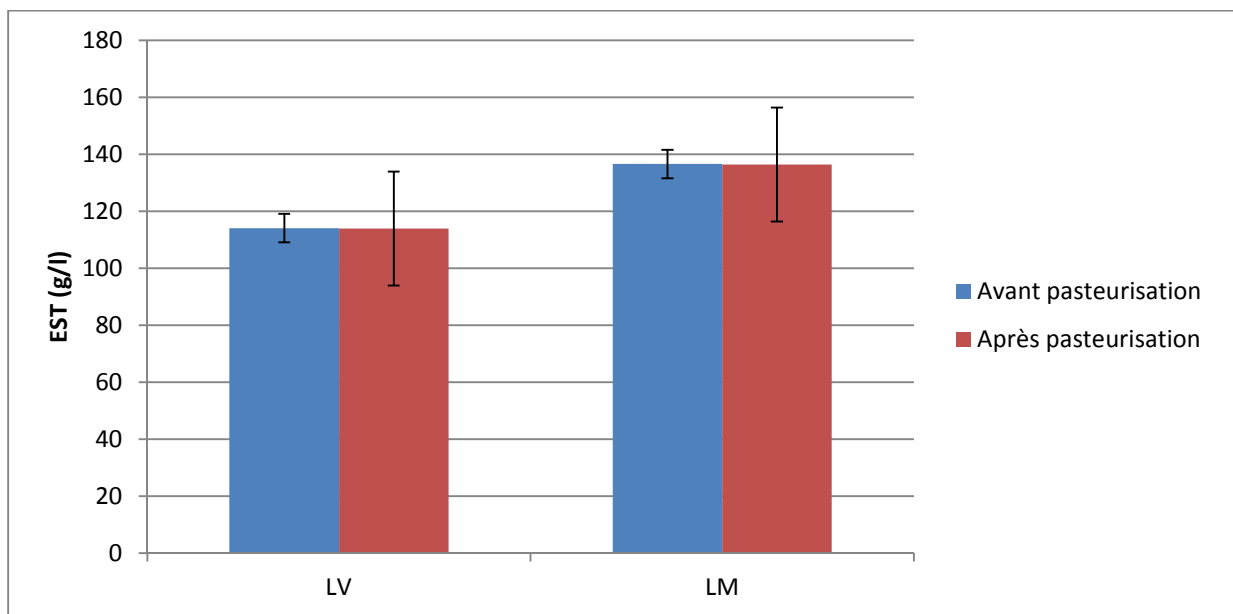


Figure 16 : Diagramme de variation d'EST du LV et du LM avant et après pasteurisation.

C'est l'ensemble des substances présentes dans le lait à l'exclusion de l'eau. La teneur en extrait sec du lait se diffère selon l'espèce (100-600 g/l). La cause de cette différence est essentiellement due à la teneur en matière grasse (ALAIS, 1984).

On remarque qu'il y a une variation d'EST entre le LV et LM dans les résultats présentés dans le tableau (XVII) et illustrés dans la figure (16). Cela est confirmé par l'analyse de la variance au seuil 5%, qui indique la présence de différences très hautement significative (p -value=0.0007) (annexe 17) des deux types de laits après pasteurisation. Le test de NEWMAN-KEULS répartit ces deux types de laits en deux groupes homogènes A et B selon leur EST (annexe 18).

La valeur moyenne de l'EST du LV est conforme aux normes **FIL-AFNOR** (102-125g/l), tandis que celui de LM est largement plus élevé avec une moyenne de 136.38 ± 0.4 (g/l). Ceci peut s'expliquer par l'accroissement des taux de matières grasses et azotées.

II.1.1.5. ESD :

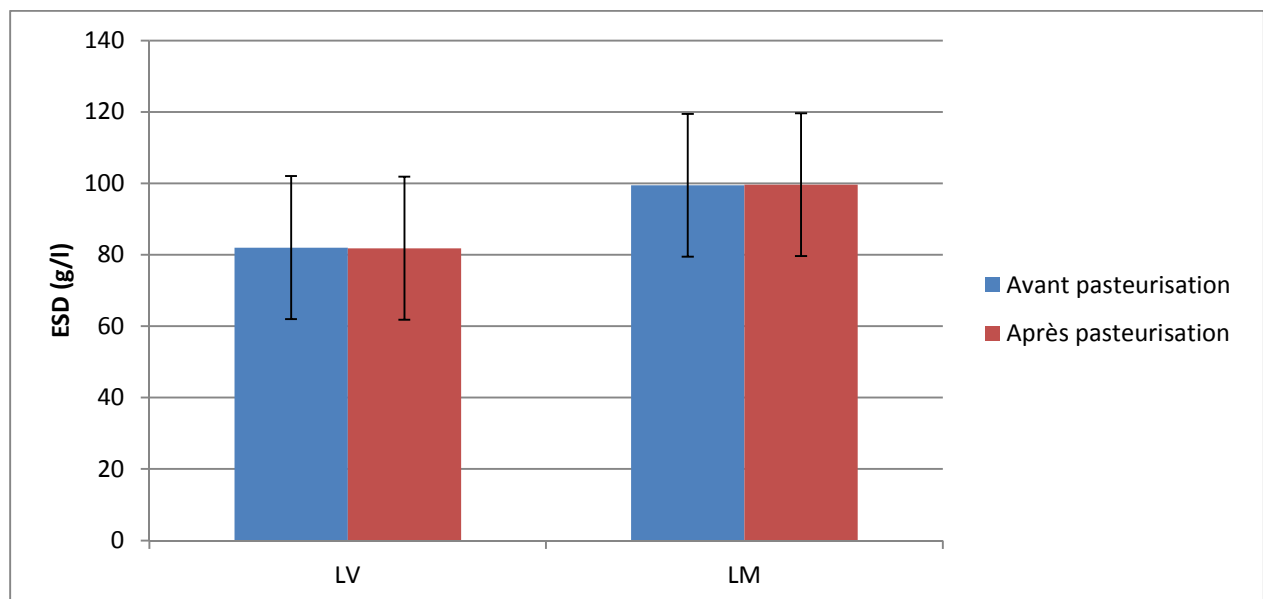


Figure 17 : Diagramme de variation d'ESD du LV et du LM avant et après pasteurisation.

L'ESD est souvent recherché surtout en industrie fromagère car l'extraction de la fraction lipidique du lait, permet un meilleur calcul de la fraction protidique.

Les teneurs moyennes ESD portées dans le tableau (XVII) et illustrées dans la figure (17) montrent que l'ESD du LV présente une moyenne de 81.83 ± 0.25 (g/l), tandis que celle que LM est de 99.65 ± 0.56 (g/l). L'analyse de la variance au seuil 5% montre qu'il y a des différences très hautement significative (p -value=0.0001) (annexe 19) entre la valeur

moyenne d'ESD du LV et du LM pasteurisé. Le test de NEWMAN-KEULS répartit ces deux types de laits en deux groupes homogènes A et B (annexe20).

La valeur moyenne plus élevée est attribuée au lait mixte, qui est supérieur à celle du lait cru. Cette variation s'explique par l'augmentation de l'EST dans le lait mixte. Ces valeurs sont non conformes aux normes **FIL-AFNOR** (87.5-89.9 g/l).

II.1.1.6. Matière grasse :

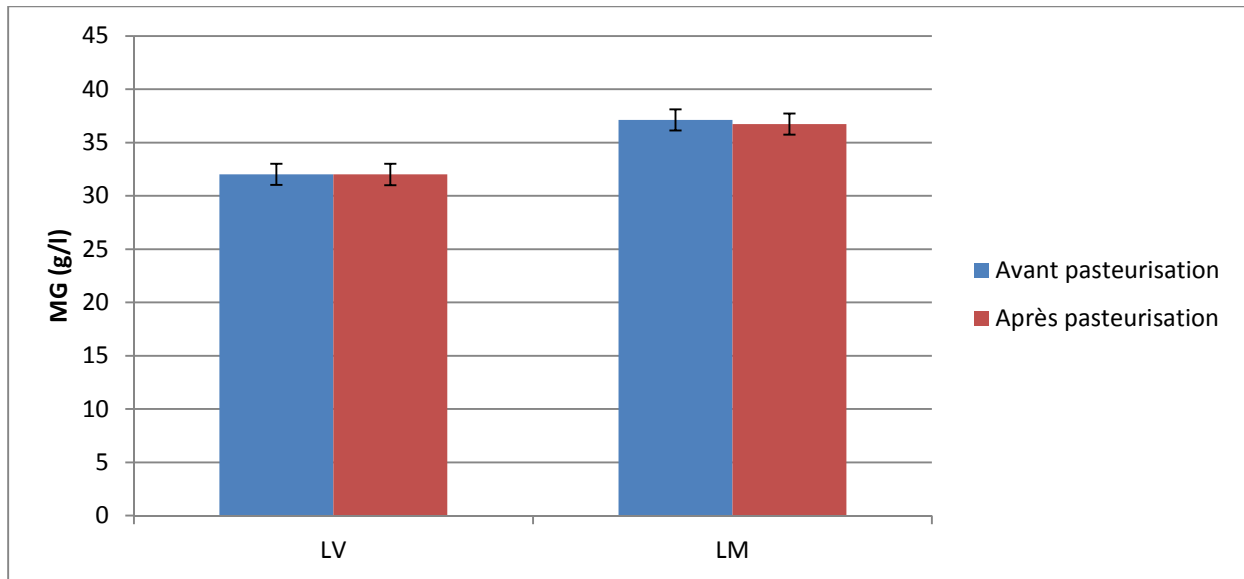


Figure 18 : Diagramme de variation des teneurs en MG du LV et LM avant et après pasteurisation.

Selon **SAIRI *et al* (2006)**, le taux butyreux est le composant qui varie le plus dans le lait, en fonction de sa très forte corrélation à la teneur en fourrages et à la nature des fibres des concentrés utilisés dans les rations pour les vaches laitières.

En effet, selon **COULON et HODER (1991)** cités par **YENNEK (2010)**, le niveau du taux butyreux est fortement lié à la traite car il augmente de 1 à 10g/l entre le début et la fin de la traite.

Les résultats obtenus pour ce paramètre, portés dans le tableau (XVII) et illustrés dans la figure (18), montrent que LM présente un taux important en MG par rapport au lait cru. En effet, la recherche de différences au seuil de signification 5%, montre une différence très hautement significative ($p\text{-value}=0.00017$) (annexe21) entre ces deux types de laits pasteurisés. Le test de NEWMAN-KEULS répartit ces deux types de lait en deux groupes homogènes A et B (annexe 22).

Les résultats enregistrés ont montré que la teneur en MG reste globalement constante après pasteurisation.

La valeur moyenne du LM se rapproche de la norme **FIL-AFNOR** (34-36 g/l) avec 36.73 ± 0.25 , tandis que LV présente un taux inférieur avec une valeur moyenne de 32g/l, ceci est dû probablement à la période où on a effectué notre expérimentation, où les vaches étaient alimentées avec de l'herbe jeunes. En effet, selon **COULON et HORDEN (1991)**, la mise à l'herbe s'accompagne d'une chute du taux butyreux jusqu'à 3g/l, surtout si l'herbe offerte est jeune (**AGABRIEL et al, 2001**). Selon **ARABA (2006)**, avec une herbe jeune, il convient de compléter la ration avec un peu de foin grossier ou un peu de paille pour améliorer sa structure.

AGABRIEL et al (2006), ont par ailleurs démontré que le facteur génétique et la saison ont également un effet sur le taux butyreux. Ce paramètre constitue un très bon prédicteur des rendements fromagers (**HURTAUD et al, 2001**).

II.1.1.7. Chlorures :

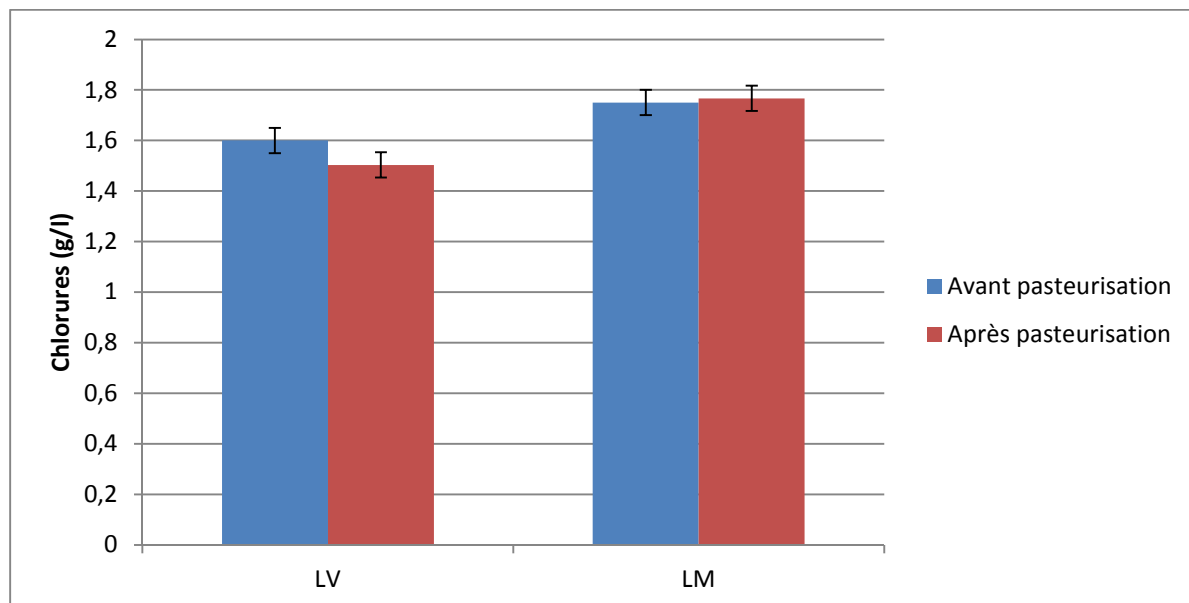


Figure 19 : Diagramme de variation de la teneur en chlorures du LV et LM avant et après pasteurisation.

Le dosage de la teneur en chlorures du lait a pour but de déceler les diverses mammites, et en particulier, des mammites chroniques chez les femelles laitières. Par conséquent, il peut servir dans une certaine mesure, au dépistage du lait pathologique.

Les teneurs moyennes de ce paramètre présentées dans le tableau (XVII) et illustrées dans la figure (19), montrent que le LM présente une valeur importante en chlorure avec une moyenne de 1.76 ± 0.006 (g/l), tandis que le LV présente une valeur moyenne de 1.50 ± 0.015

(g/l). L'analyse de la variance au seuil 5%, indique la présence de différences très hautement significative (p -value=0.00018) (annexe23) entre ces deux types de laits pasteurisés. Le test de NEWMAN-KEULS répartit ces deux laits en deux groupes homogènes A et B selon leur teneur en chlorures (annexe24).

Les résultats obtenus pour le LV et LM sont conformes aux normes **FIL-AFNOR** (1.5-1.8g/l). On constate que le LM présente une valeur élevée par rapport au lait cru, ceci est dû probablement à la richesse de la poudre utilisée en éléments minéraux notamment CaCl_2 .

II.1.1.8. Protéines :

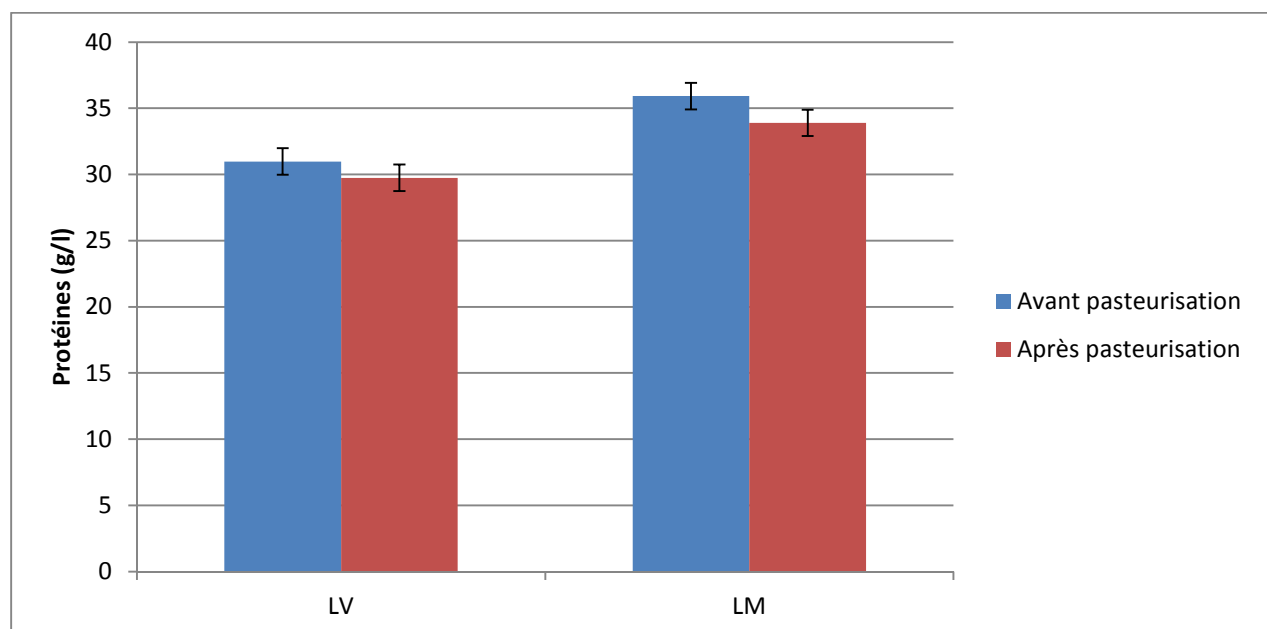


Figure 20 : Diagramme de variation de la teneur en protéines du LV et LM avant et après pasteurisation.

La teneur en protéines du lait et leurs caractéristiques sont des facteurs prépondérants du rendement fromager (VERTES *et al*, 1989).

Dans notre étude, nous avons trouvé les teneurs en protéines dans le LM d'une valeur de 33.98 ± 0.045 (g/l), et celle du LV d'une valeur de 29.74 ± 0.056 (g/l) qui sont portées dans le tableau (XVII) et présentées dans la figure (20). La recherche de différence au seuil de signification 5%, montre une différence très hautement significative (p -value=0.00006) (annexe 25) entre ces deux types de laits pasteurisés. Le test de NEWMAN-KEULS répartit

ces deux types de laits en deux groupes homogènes A et B selon leur teneur en protéines (annexe26).

La teneur présentée par le LM se rapproche de la norme **FIL - AFNOR** (34-36g/l), tandis que le LV présente une teneur inférieure à cette norme. Ceci peut s'expliquer par le fait que durant la saison de pâturage, la composition du lait est sous la dépendance des effets saisonniers. **MARTIN et COULON (1995)**, notent que beaucoup de facteurs sont susceptibles d'influer négativement sur le taux protéique des laits. Outre que l'alimentation déficiente en fourrages et plantes herbacées, il y a lieu de citer l'effet de la race, l'âge, le stade de lactation, la saison, le climat....etc. le premier facteur néanmoins semble prépondérant dans l'obtention de ces teneurs.

Dans ce cadre, il est intéressant de noter que l'incorporation de 50% de lait recombinaé au lait cru permet de corriger cette teneur en protéine et par la même augmenter considérablement sa valeur nutritionnelle (**OUALI-ABDOUNE, 2003**).

Cependant, la teneur en protéines dans le LV et LM pasteurisés semble légèrement inférieure à celui du lait non pasteurisé. Ce qui nous amène à démontrer le taux de dénaturation des protéines selon le paramètre technologique (pasteurisation) et la mise en évidence de l'impact et les répercussions de ce traitement sur les protéines du lait.

➤ **Détermination du pourcentage de dénaturation :**

Le dosage du taux protéique du lait recombinaé à partir de la poudre de lait « médium heat » à 26% est porté dans le tableau (XVIII).

Tableau (XVIII) : Taux protéique des trois laits analysés avant et après pasteurisation.

Taux protéique (g/l)	Avant pasteurisation	Après pasteurisation
Lait recombinaé	24,68	22,95
Lait de vache	30,97	29,74
Lait mixte	35,92	33,89

Le taux de dénaturation du LV, LM, LR, que nous avons relevés lors de la présente étude est de 4%, 5.51%, 7.82% (figure 21).

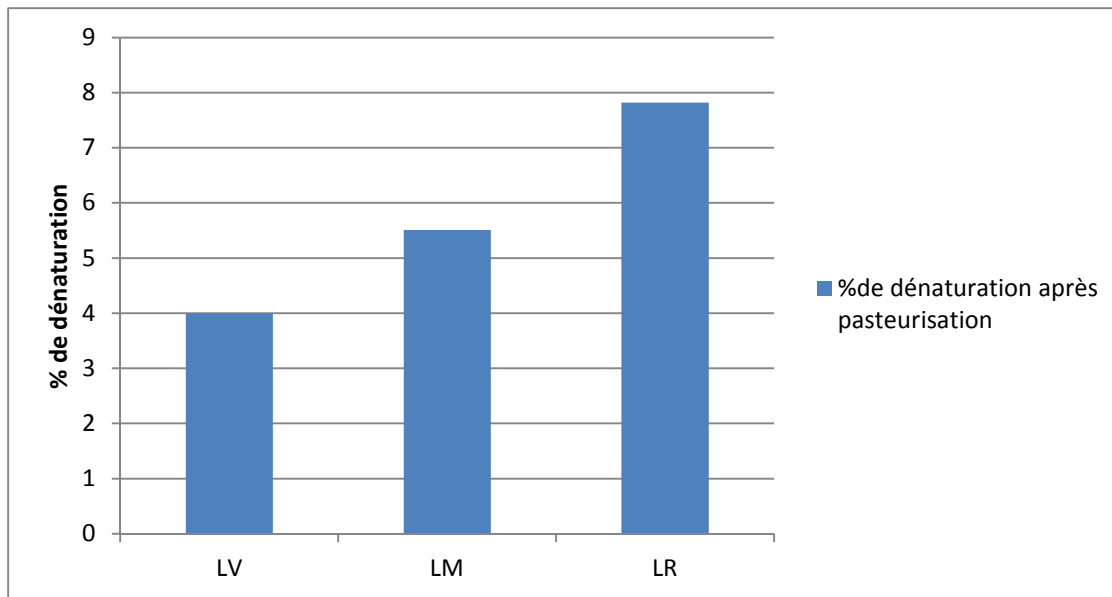


Figure 21 : diagramme de variation du % de dénaturation du LV, LM, LR.

Un taux de dénaturation de 4% est enregistré pour le lait de vache, ceci est dû probablement au fait que ce dernier a subi une thermisation de 63°C pendant 20s, suivi de pasteurisation de 72°-75°C pendant 20s. Selon **TAGARI et ROY (1969)** le degré de dénaturation des protéines dépend à la fois de la durée et l'intensité du traitement thermique appliquée.

Pour ce qui concerne le lait reconstitué, un taux de dénaturation de 7.82% est enregistré, ceci est expliquée du fait que la poudre de lait utilisée est issue d'un traitement thermique de 140°C (figure22), de plus le lait reconstitué est pasteurisé à 72°C pendant 20°s.

La poudre de lait la plus indiquée est généralement celle ayant subi un traitement thermique modéré (Low heat). Ce dernier est de nature à apporter le moins de préjudices induit au lait tant sur le plan de sa valeur nutritionnelle que de ses caractéristiques physico-chimiques et de ses aptitudes technologiques (**OUALI-ABDOUNE, 2003**).

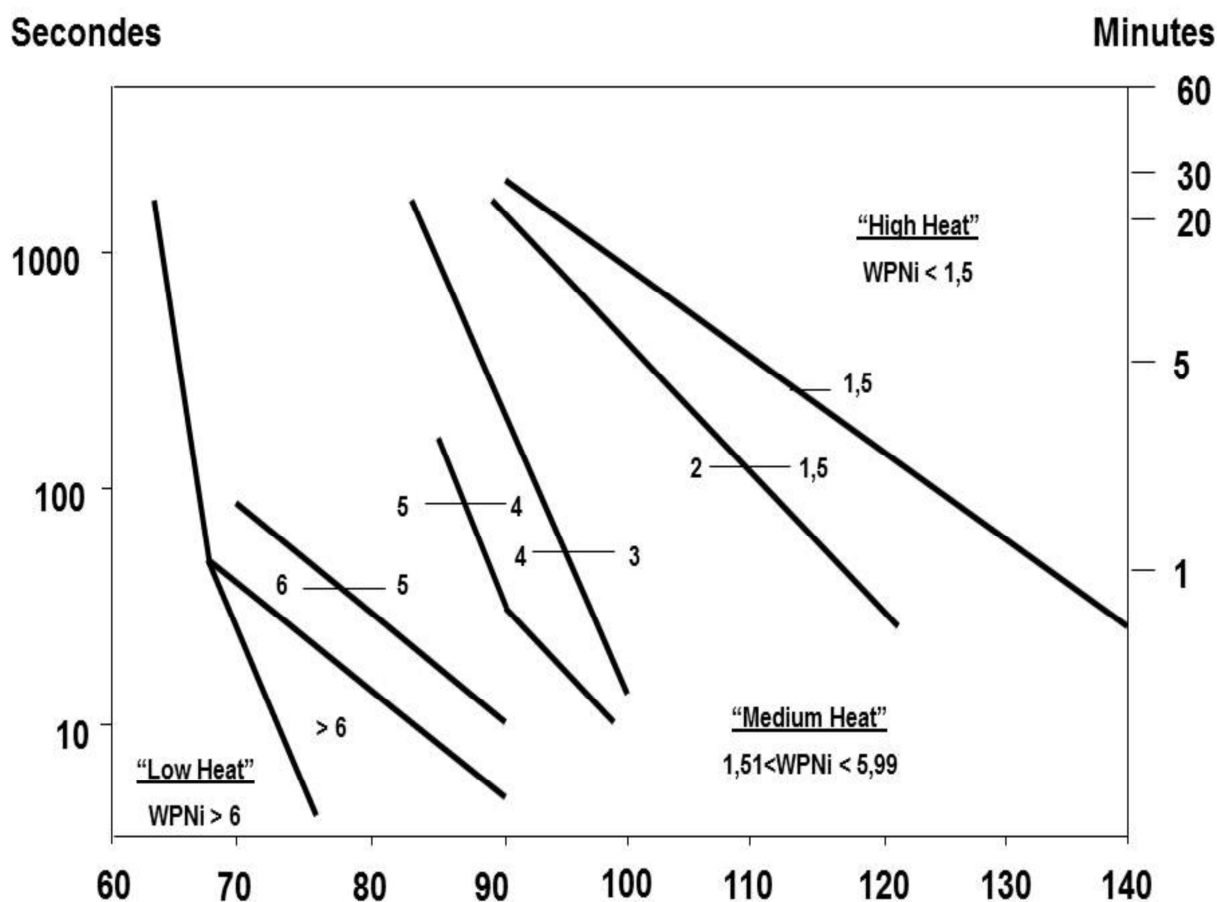


Figure 22 : Traitements thermiques à appliquer suivant le WPNI désiré (PISECKY, 1986)

Au cours de notre expérimentation, nous avons révélés certains problèmes liés à l'aptitude de transformation du lait mixte, du fait que le lait reconstitué est de la poudre de lait « Médium heat ». En effet, depuis les années 30, il est connu que des traitements thermiques appliqués à des températures supérieures à 60°C pendant quelques secondes à quelques minutes affectent la coagulation à la présure du lait (POWELL et PALMER, 1935). Le temps de coagulation du lait augmente lorsque l'intensité du chauffage appliquée s'accroît (SMITH et MC MAHON, 1996). Ainsi, il en résulte une perte de l'aptitude à la transformation du lait en fromage (FERRON-BAUMY, 1992).

Le principal facteur responsable de l'allongement du temps de prise du lait semble être le complexe caséine κ - β Lg (SHALABI et WHEELER, 1977).

La qualité nutritionnelle des poudres laitières dépend énormément de l'intensité des différents traitements thermiques au cours du procédé technologique. Les traitements thermiques induisent des changements physico-chimiques qui tendent à diminuer la

disponibilité des nutriments (destruction de vitamines, diminution de la teneur en lysine disponible, dénaturation des protéines solubles) (SCHAAFSMA, 1989).

En effet, il apparaît très clairement que les protéines issues du lait reconstitué à 100% sont pratiquement dénaturées. La valeur nutritionnelle de ces protéines riches en acides aminés essentiels, se trouve affectée à cause de la perte nutritive due à l'indisponibilité de la lysine suite à sa condensation au lactose dans de la réaction de Maillard (GLAESER, 1992).

L'excès et la prolongation du traitement thermique au cours de fabrication peut dégrader certaines vitamines, et plus particulièrement, les vitamines hydrosolubles.

La perte d'acide ascorbique (vitamine C) peut atteindre 10% et les pertes de thiamine (vitamine B1) atteignent 10%, et les pertes de vitamine B12 atteignent 30%.

L'oxydation des matières grasses, source d'arômes défectueux, réduit aussi la valeur nutritive.

II.1.2. Résultats des analyses physico-chimiques au cours d'affinage des deux types du *Camembert* (FLV et FLM) :Tableau (XVIII) : Evolution des paramètres physico-chimiques au cours de l'affinage des deux types de *Camembert* (FLV et FLM) :

Paramètres	Stades d'affinage en jours																			
	FLM					FLM					FLV					FLV				
	Partie superficielle (croûte)					Partie interne (masse)					Partie superficielle (croûte)					Partie interne (masse)				
	J0	J+3	J+6	J+9	J+12	J0	J+3	J+6	J+9	J+12	J0	J+3	J+6	J+9	J+12	J0	J+3	J+6	J+9	J+12
pH	4,80 ±0.035	4,64 ±0.03 5	4,81 ±0.03 2	5,19 ±0.03 3	5,21 ±0.04	4,80 ±0.03 5	4,57 ±0.04	4,53 ±0.035	4,64 ±0.045	4,74 ±0.04	4,88 ±0.02 3	4,76 ±0.03 1	4,94 ±0.04 6	5,19± 0.031	5,33 ±0.025	4,88 ±0.02 3	4,60 ±0.023	4,54 ±0.01	4,68 ±0.02 5	4,86 ±0.015
Humidité (%)	57,2±0 .035	55,94 ±0.03 5	54,52 ±0.03 2	52,98 ±0.04	50,98 ±0.03 8	57,2± 0.017	56,85 ±0.03	55,12± 0.035	53,20± 0.036	51,46 ±0.04 5	59,89 ±0.02 5	58,29 ±0.01 5	57,79 ±0.01	55,95 ±0.03 1	53,46± 0.03 5	59,89 ±0.02 5	59,69± 0.035	58,19± 0.03	56,22 ±0.03 1	53,99± 0.029
EST (g/100g)	42,80± 0.035	44,05 ±0.03 6	45,48 ±0.31 8	47,02 ±0.05	49,02 ±0.05	42,80 ±0.03 5	43,15 ±0.04	44,88± 0.042	46,80± 0.043	48,54 ±0.04 4	40,11 ±0.03 0	41,71 ±0.03 1	42,21 ±0.03 0	44,05 ±0.03 2	46,54± 0.03	40,11 ±0.03	40,31± 0.03	41,81± 0.035	43,78 ±0.03 5	46,01± 0.036
ESD (g/100g)	23,3±0 .061	23,85 ±0.04	23,68 ±0.03	24,72 ±0.04 5	24,42 ±0.04	23,3± 0.061	22,15 ±0.04	22,78± 0.04	23,90± 0.036	24,54 ±0.35	19,91 ±0.03	20,11 ±0.03	20,21 ±0.03 5	20,74 ±0.03 5	23,14± 0.035	19,91 ±0.03	19,06± 0.04	19,61± 0.03	20,78 ±0.14 8	21,16± 0.03
MG (g/100g)	19,5±0 .035	21,2± 0.125	21,8± 0.03	22,3± 0.04	24,1± 0.035	19,5± 0.035	21,00 ±0.04	22,1±0 .036	22,9±0 .035	24,00 ±0.00 6	20,2± 0.035	21,6± 0.351	22,00 ± 0.03	23,3± 0.328	23,4±0 .325	20,2± 0.035	21,25± 0.045	22,2±0 .115	23,00 ±0.07 9	23,00± 0.104
Chlorure (g/100g)	3,5±0. 035	3,33 ±0.0 4	2,90 ±0.0 35	2,22 ±0.0 32	1,92 ±0.0 31	3,5± 0.03 5	3,16 ±0.0 35	2,64± 0.038	2,05± 0.04	1,79 ±0.0 35	3,44 ±0.0 3	2,73 ±0.0 45	2,47± 0.03	1,96± 0.025	1,70± 0.035	3,44 ±0.0 3	2,64± 0.045	2,55± 0.036	1,90 ±0.0 79	1,62± 0.036
Protéine (g/100g)	22,05± 0.04	22,29 ±0.03 5	20,81 ±0.04	22,79 ±0.03	23,29 ±0.03 5	22,05 ±0.04	22,54 ±0.03	21,06± 0.035	23,04± 0.04	23,53 ±0.03 5	20,31 ±0.04	20,56 ±0.03 5	21,05 ±0.03 6	19,57 ±0.04	22,54± 0.041	20,31 ±0.04	20,80± 0.035	21,30± 0.036	19,82 ±0.04 5	22,79± 0.040

II.1.2.1 pH :

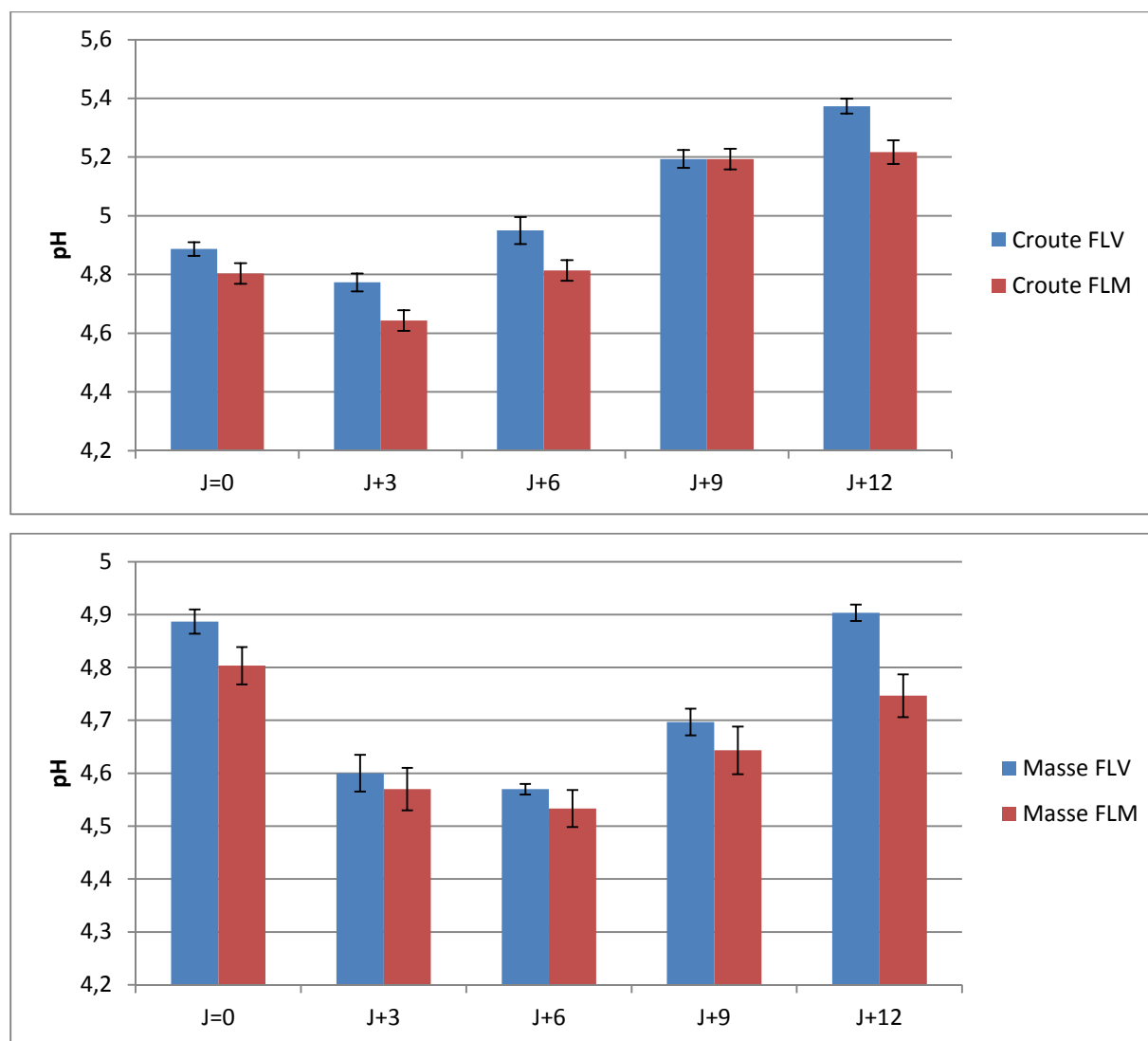


Figure 23 : Diagrammes d'évolution du pH de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.

En technologie des pâtes molles, les teneurs en lactose résiduel sont très variables et fortement liées au type du caillé obtenu au démoulage ; elles diminuent quand on passe d'un caillé lactique à un caillé à caractère présure. La teneur en lactates métabolisée par les levures et les moisissures suit la même cinétique. Cette dégradation neutralise le pH du fromage.

L'observation des valeurs expérimentales du pH du FLV et FLM portées dans le tableau (XVIII) et illustrés dans la figure (23), montrent des fluctuations entre la partie externe (la croûte) et la partie interne (masse) des deux fromages.

A (J=0) on observe un pH acide identique dans les deux parties pour chaque fromage.

Cette acidité est due au métabolisme du lactose en D- et L-lactate par les bactéries lactiques (MC SWEENEY, 2004) (figure 24).

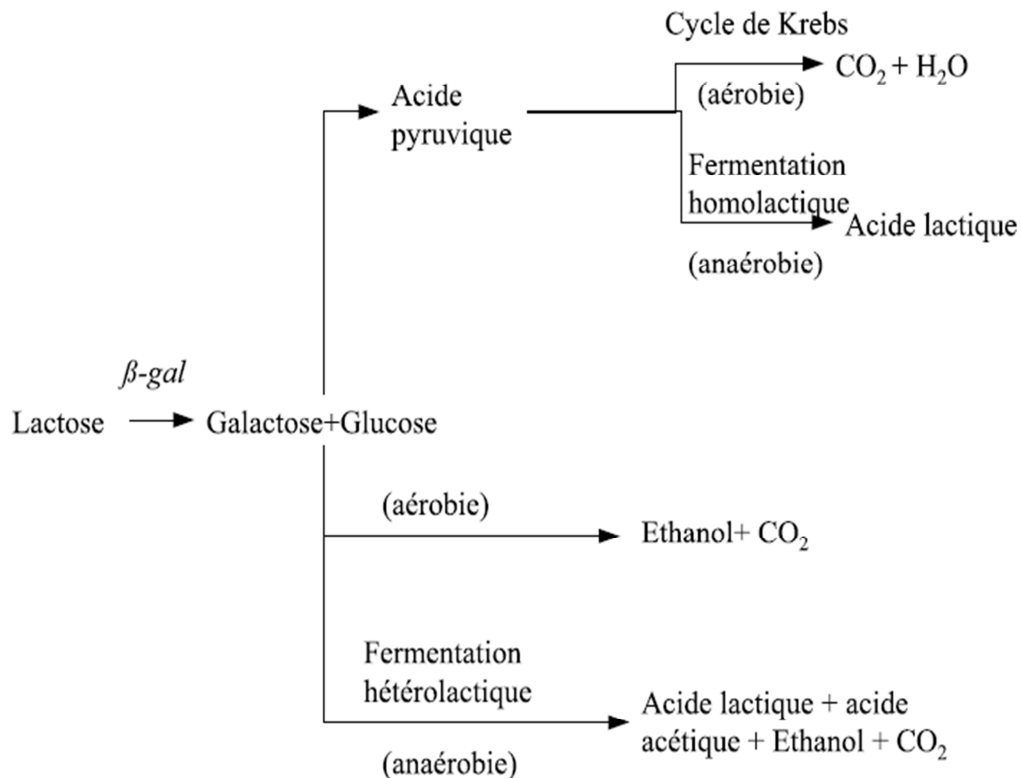


Figure 24: Voies métaboliques de dégradation du lactose (MERLET, 1995).

La recherche de différence au seuil significative 5%, montre qu'il y a des différences très hautement significative du pH ($p\text{-value}=0$) pour l'interaction partie du fromage-durée d'affinage dans le cas du FLV (annexe 27) et celui du FLM (annexe28). Le test de NEWMAN-KEULS confirme ces résultats (annexes 29,30).

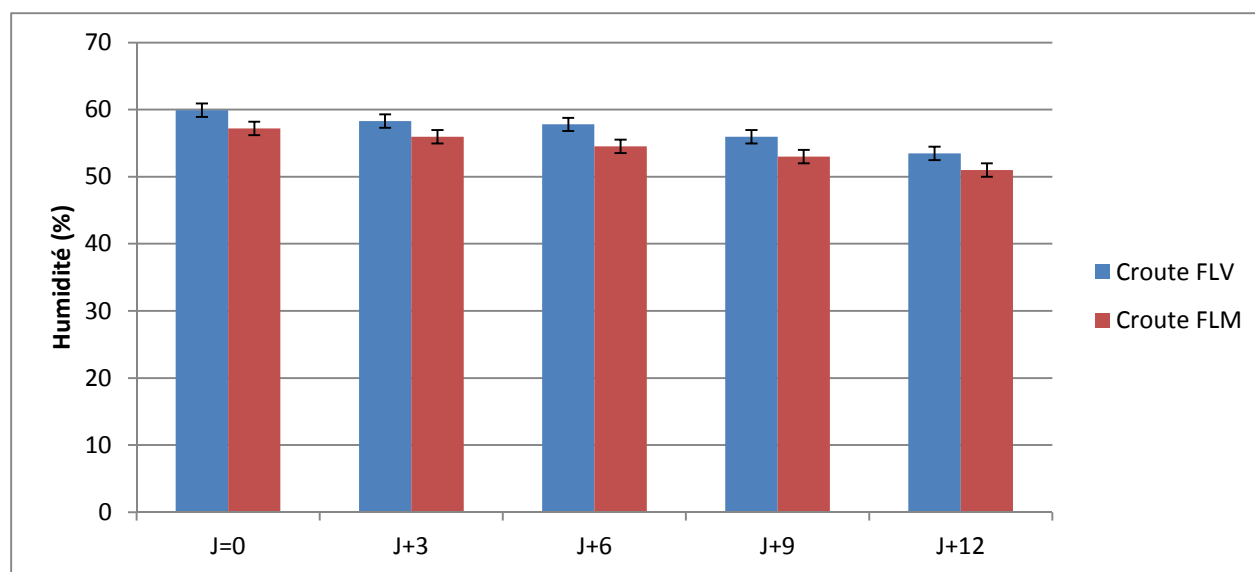
En début d'affinage le lactate continue à croître c'est ce qui crée le phénomène de légère post-acidification jusqu' à (J+3) ou le FLV atteint un pH de 4.76 et 4.60 au niveau de la croûte et la masse respectivement, quand, au FLM il est de 4.64 et 4.57 au niveau de la croûte et la masse respectivement.

A partir de (J+6), le pH augmente en surface pour atteindre 4.94 pour le FLV et 4.81 pour le FLM, ce moment correspond à la formation du feutrage mycélien (CERNING *et al*, 1987). Ceci est dû probablement au développement du *P. camemberti* qui est capable d'utiliser l'acide lactique et les lactates comme source de carbone, ce qui se traduit par une neutralisation des pâtes fromagères (GOUDERANCHE *et al*, 2007). Au niveau de la masse on remarque que le pH reste acide du fait que les bactéries lactiques restent localisées au niveau du caillé (RIBADEAU-DUMAS, 1984).

A partir de (J+9), le pH augmente dans les deux parties des fromages pour atteindre à (J+12) un pH de 5.33 au niveau de la croûte et 4.86 au niveau de la masse pour le FLV, quant au FLM, il est de 5.21 pour la croûte et de 4.74 pour la masse. L'augmentation du pH de la masse est due au *Penicillium*, qui provoque également une remontée du pH au sein du caillé. Celle-ci est due, d'une part à la consommation par la moisissure de l'acide lactique produit par les bactéries lactiques, et d'autre part à la formation de l'ammoniac comme produit azoté final de la dégradation des protéines sous l'action des désaminases (RIBADEAU-DUMAS, 1984).

On observe dans la figure (23) qu'à (J+12), le pH du FLV est légèrement supérieur à celui de FLM. Ceci est dû probablement au fait que le pH du LM de départ était plus acide que le LV, de plus sa richesse en constituants telle que le lactose, ce qui provoque une activité plus prononcées des bactéries lactiques.

II.1.2.2 : Humidité :



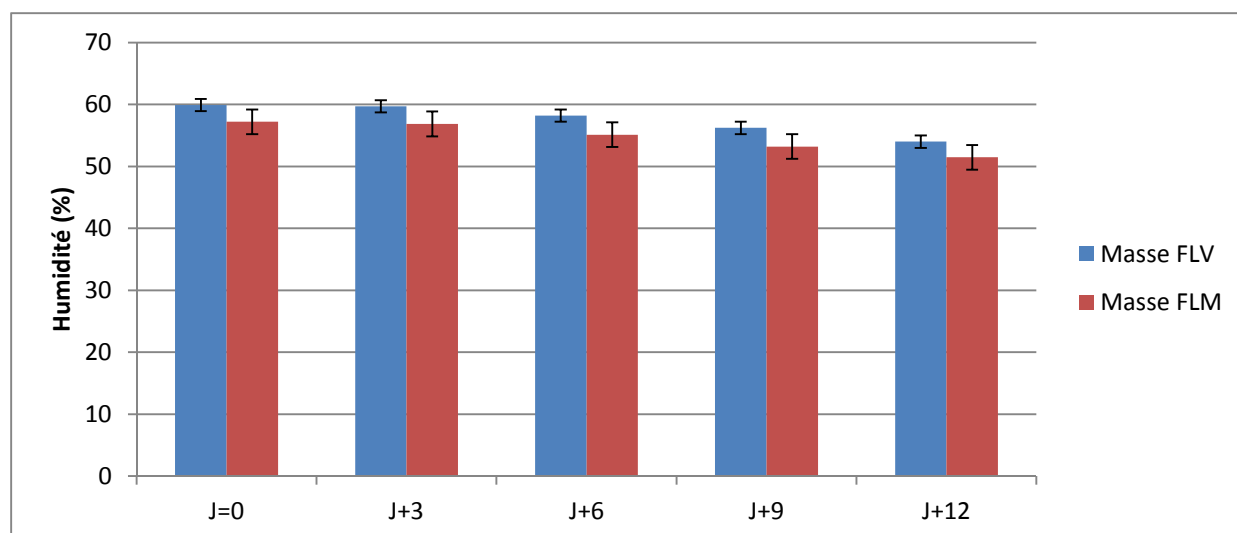


Figure 25 : Diagrammes d'évolution d'humidité de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.

C'est un paramètre influant sur les développements microbiens et l'activité enzymatique. Son contrôle est indispensable car une humidité trop élevée ou trop basse conduit à une dégradation sensorielle des fromages (**BERESFORD et al, 2001**).

Les résultats obtenus concernant l'humidité portés dans le tableau (XVIII) et illustrés dans la figure (25), montrent une diminution progressive du taux d'humidité durant l'affinage des deux parties du fromage (FLV et FLM).

L'analyse de la variance au seuil 5%, montre des différences très hautement significatives (p -value=0.00004) (annexe 31) pour l'interaction du (INTER F1*2*3: Type de fromage-Partie du fromage-Durée d'affinage). Le test de NEWMAN-KEULS confirme ces résultats (annexe 32).

Par ailleurs, les valeurs expérimentales font preuve d'une diminution significative ($p < 0,0001$) de l'humidité jusqu'à 53.06 et 53.99% à J+12 au niveau de la partie externe et interne respectivement pour FLV, et 50.98, 51.46% à J+12 pour FLM, cette chute est probablement due à l'évaporation de l'eau du fromage.

L'humidité des fromages est contrôlée par une action conjointe de l'égouttage et du salage. Le taux de diffusion et la quantité de sel retenue par le fromage augmente en fonction de l'humidité du caillé, un phénomène qui a été attribué à l'augmentation de la taille des pores dans la matrice protéique, ce qui favorise la diffusion du sel. Lorsque la prise de sel est élevée, l' a_w diminue (**GUINEE et FOX, 2004**). Le Camembert est, à cette étape, caractérisé par un haut taux d'humidité en surface, par rapport à la masse (**SICARD et al, 2011**).

Au cours de l'affinage et notamment durant le ressuyage l'humidité relative va également influencer sur l' a_w des fromages. Enfin l' a_w est modifié par la fixation d'eau lors des réactions biochimiques. *G.candidum* a une croissance faible à des pressions osmotiques élevées. Dans ce sens, le salage peut affecter le développement de *Geotrichum* et favoriser celui de *P. camemberti* (HELIAS *et al*, 2007a).

On remarque par ces résultats, que l'humidité du FLM est inférieure à celle du FLV, ceci peut s'expliquer par la richesse du LM en EST.

II.1.2.3. EST:

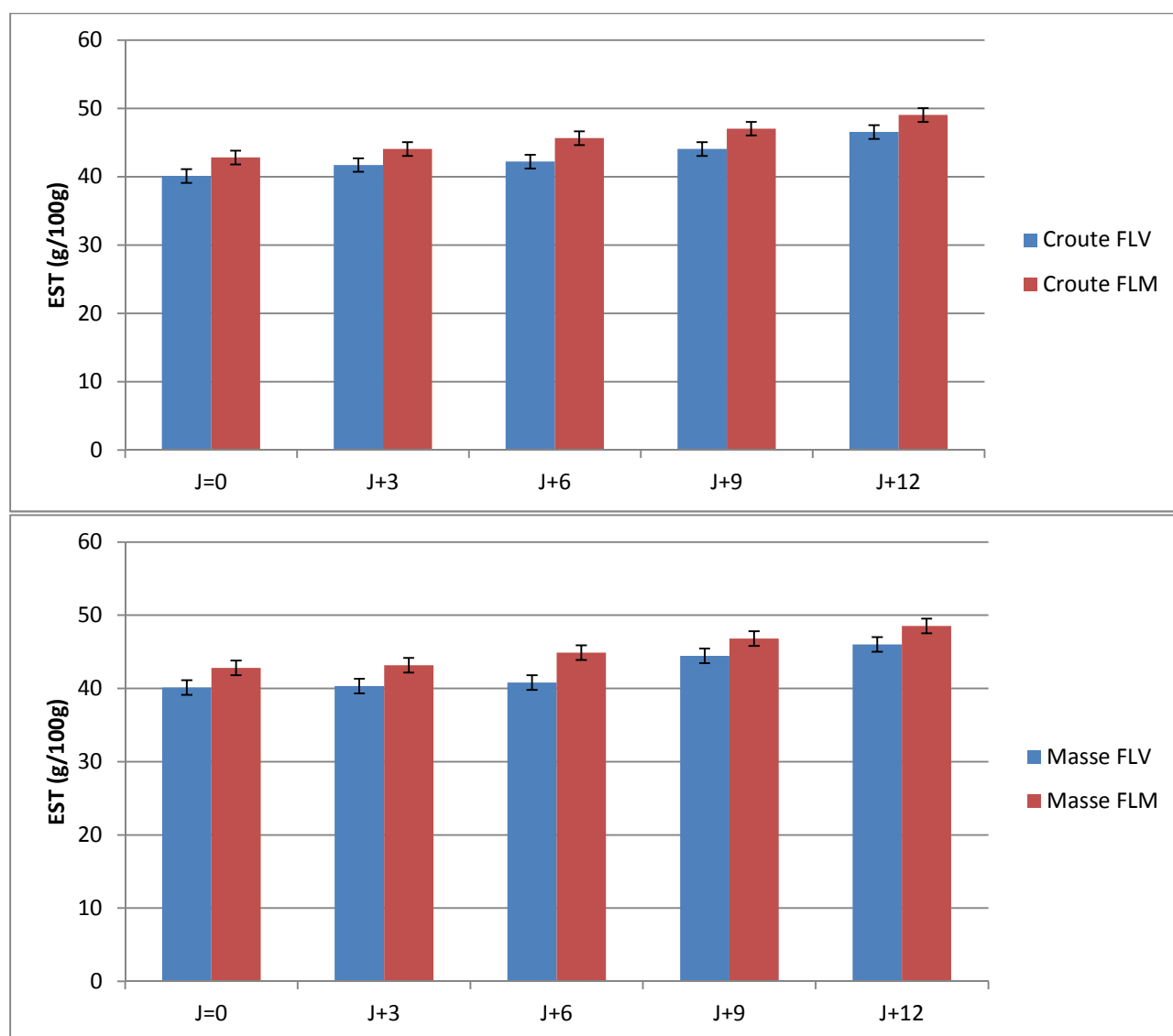


Figure 26 : Diagrammes d'évolution d'EST de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.

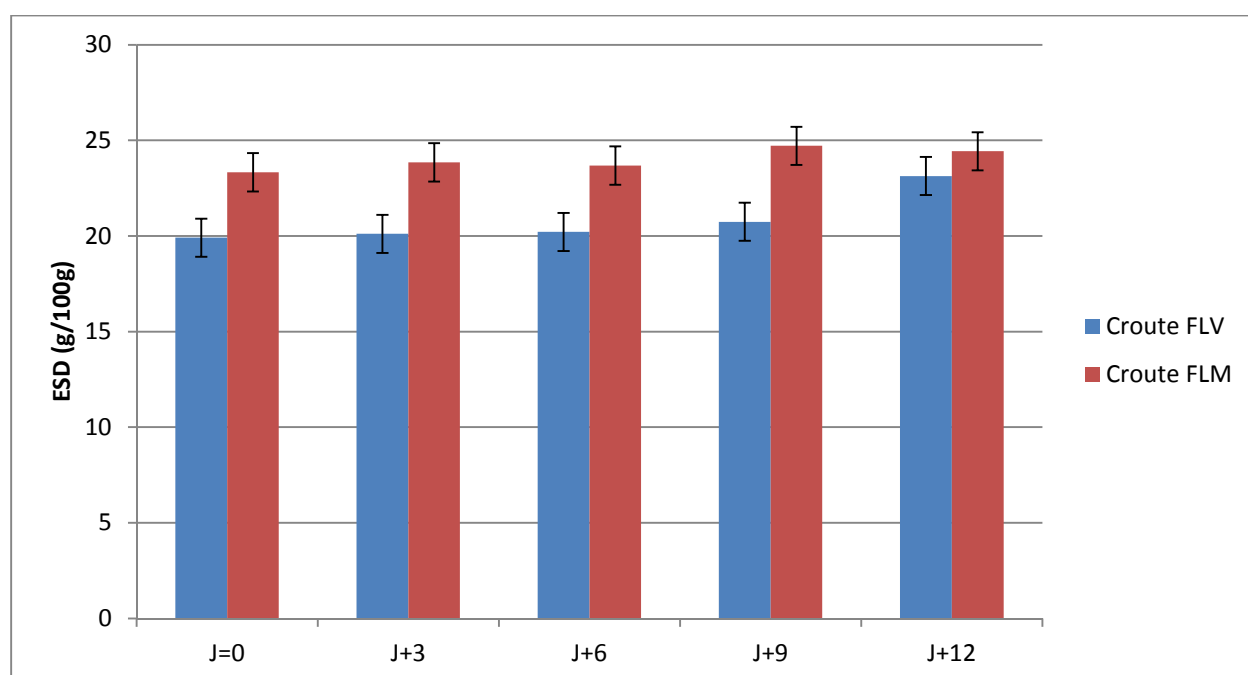
Les propriétés fonctionnelles des fromages sont contrôlées par la composition chimique, y compris le taux d'humidité (MC MAHON *et al*, 1999).

L'augmentation du taux de l'extrait sec est très significative ($p < 0.05$) au cours du processus d'affinage des deux fromages. Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance, qui révèle une différence très hautement significative ($p\text{-value}=0.00001$) (annexe 33) d'EST pour l'interaction du (INTER F1*2*3: Type de fromage-Partie du fromage-Durée d'affinage). Le test de NEWMAN-KEULS confirme ces résultats (annexe 34).

Les valeurs expérimentales font preuve d'une augmentation remarquable de l'EST jusqu'à 46.54 et 46.01 (g/100g) à J+12 au niveau de la partie externe et interne respectivement pour FLV, et 49.02, 48.54 (g/100g) à J+12 pour FLM (figure 26) Cette augmentation est probablement due à l'évaporation de l'eau du fromage. En effet selon BOUTROU *et al* (1999), environ 14.2% des augmentations de concentrations des différents composants du fromage sont essentiellement dues à l'évaporation d'eau durant l'affinage.

Par ailleurs, on remarque que l'EST du FLM est supérieur à celui du FLV. Cette différence est dû à l'augmentation du coefficient de récupération de la matière sèche dans le caillé obtenu à base du LM. Selon ECK et GILLIS (2006), l'augmentation du coefficient de récupération de la matière sèche est attribuée au passé thermique de la poudre de lait qui provoque l'insolubilité des protéines sériques qui sont ensuite retenues dans le caillé.

II.1.2.4. ESD:



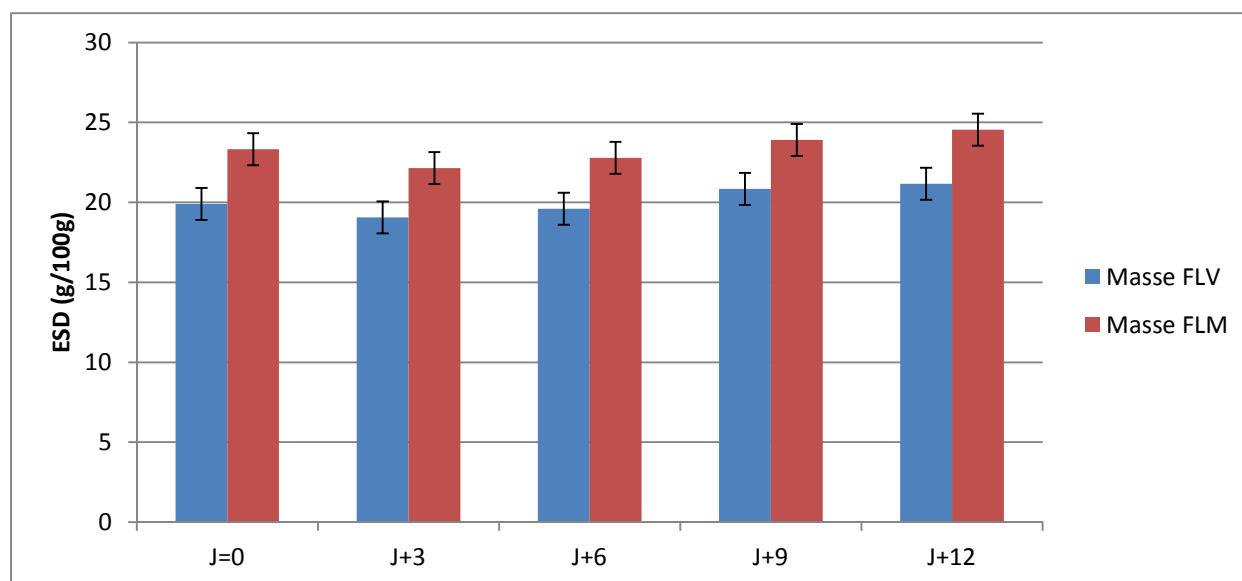


Figure 27 : Diagrammes d'évolution d'ESD de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.

L'ESD est un paramètre qui nous renseigne sur la richesse d'un fromage en ses éléments constitutifs notamment les protéines, les minéraux...etc., à l'exception de la matière grasse.

Les résultats obtenus de l'ESD portés dans le tableau (XVIII) et illustrés dans la figure (27), montrent une progression de ce dernier au cours d'affinage.

Les résultats de l'analyse de la variance ont révélé des différences très hautement significatives au seuil 5% d'ESD ($p\text{-value}=0$) pour l'interaction partie de fromage-durée d'affinage (F1-F2) que ce soit pour le FLV (annexe 35) ou pour FLM (annexe 36). Le test de NEWMAN-KEULS confirme ces résultats (annexe 37 et 38).

Cette progression est due à l'évolution de l'EST au cours de l'affinage, puisque l'ESD est proportionnelle à l'EST.

II.1.2.5. Matière Grasse:

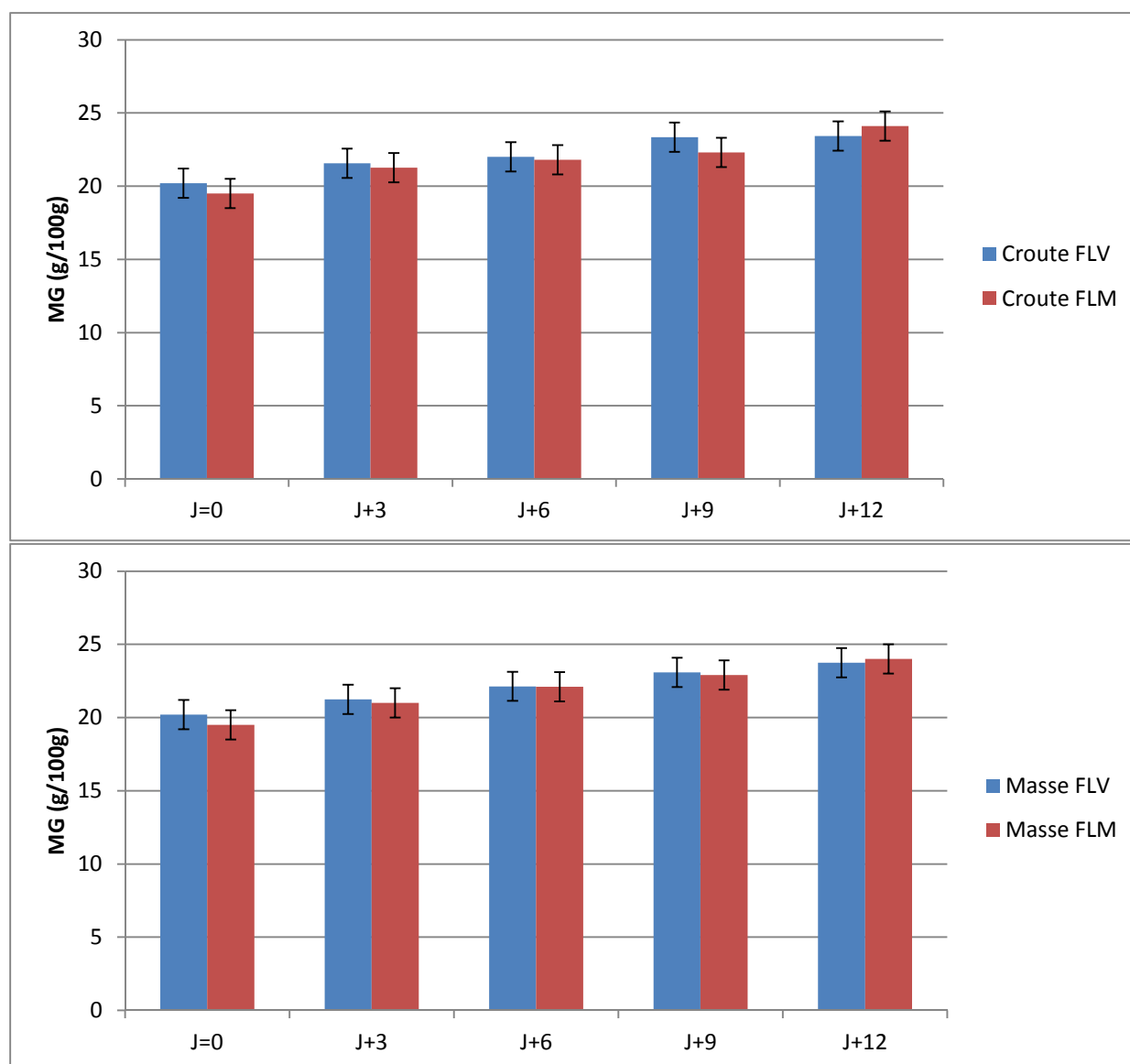


Figure 28: Diagrammes d'évolution de la MG de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.

On remarque qu'il y a une variation de la MG entre le FLV et FLM dans les résultats présentés dans le tableau (XVIII) et illustrés dans la figure (28). Cela est confirmé par l'analyse de la variance au seuil 5%, qui indique la présence de différences très hautement significative ($p\text{-value}=0$) (annexe 39 et 40) pour l'interaction (F1-F2 : partie du fromage-durée d'affinage). Le test de NEWMAN-KEULS confirme ces résultats (annexes 41 et 42).

Les valeurs expérimentales nous permettent de constater qu'il y a une légère différence entre le taux de matière grasse du FLM et FLV, vu que le LM était riche en MG. A (J+12), on

enregistre un taux de 23.4 et 23.00 (g/100g) au niveau de la croûte et la masse respectivement pour le FLV, 24.1 et 24.00 (g/100g) pour le FLM.

L'élévation de la teneur en matière grasse dans la partie externe et interne du fromage peut être glosée par l'accumulation des acides gras libérés par une réaction biochimique qui est la lipolyse. La lipolyse est définie comme étant l'hydrolyse des lipides en acides gras libres (**DEETH, 2011**). Elle contribue à trois caractéristiques organoleptiques majeures soit la texture, la solubilité de certains composés aromatiques et la production de précurseurs de saveurs (**LECLERCQ-PERLAT *et al*, 2007**). La lipolyse observée dans le Camembert est causée par les estérases des bactéries lactiques du ferment, les lipases résiduelles du lait et les lipases de la microflore fongique. Malgré que ce soit surtout les moisissures qui sont connues comme étant lipolytiques, les levures d'intérêt fromager possèdent des gènes codant pour les lipases. En effet, la majeure partie des acides gras libres ayant un nombre de carbone entre 4 et 20 provient de la lipolyse des triglycérides par les moisissures, alors que ceux ayant un nombre de carbone entre 2 et 6 proviennent principalement de la dégradation du lactose et des acides aminés (**MOLIMARD et SPINLER, 1996**).

II.1.2.6. Chlorures:

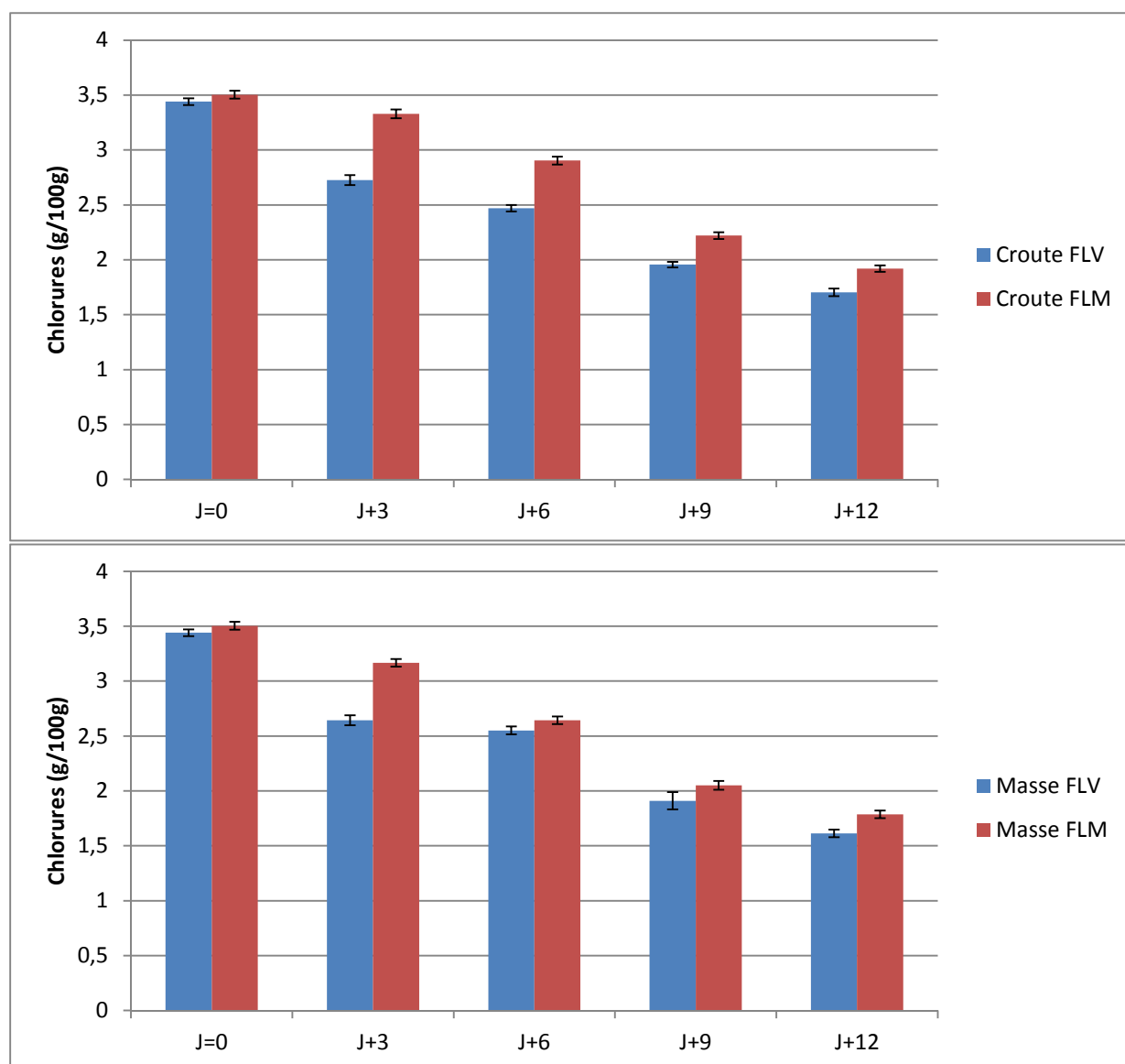


Figure 29: Diagrammes d'évolution des chlorures de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.

Les résultats obtenus concernant la teneur en chlorures sont présentés dans le tableau (XVIII) et illustrés dans la figure (29).

La recherche de différence au niveau de signification 5%, montre des différences hautement significative ($p\text{-value}=0.0001$) (annexes 43et 44) pour l'interaction (F1-F2 : partie du fromage-durée d'affinage). Le test de NEWMAN-KEULS confirme ces résultats en plusieurs groupes homogènes (annexes 45).

A partir de (J=0), on remarque la diminution de la teneur en chlorure pour atteindre à (J+12) une teneur de 1.92 et 1.79 (g/100g) au niveau de la partie externe et interne respectivement pour le FLM, 1.70 et 1.62 (g/100g) pour le FLV.

Les valeurs expérimentales de la teneur en chlorures, montrent que la croûte présente un taux légèrement élevée par rapport à la masse. Nos résultats concordent avec ceux de **LE GREAT *et al* (1983)**, qui indique que la migration du calcium et phosphate vers la partie superficielle du camembert qui est observée au cours du développement du *Penicillium* pouvait être attribuée à un pouvoir séquestrant de la moisissure. En réalité, il apparait que cette migration est due à l'augmentation du pH et à la formation en surface de phosphate tricalcique insoluble. Il a d'ailleurs été observé que la croûte d'un camembert affiné renferme environ 80% et 55% respectivement du calcium et du phosphore du fromage.

II.1.2.7. Protéines:

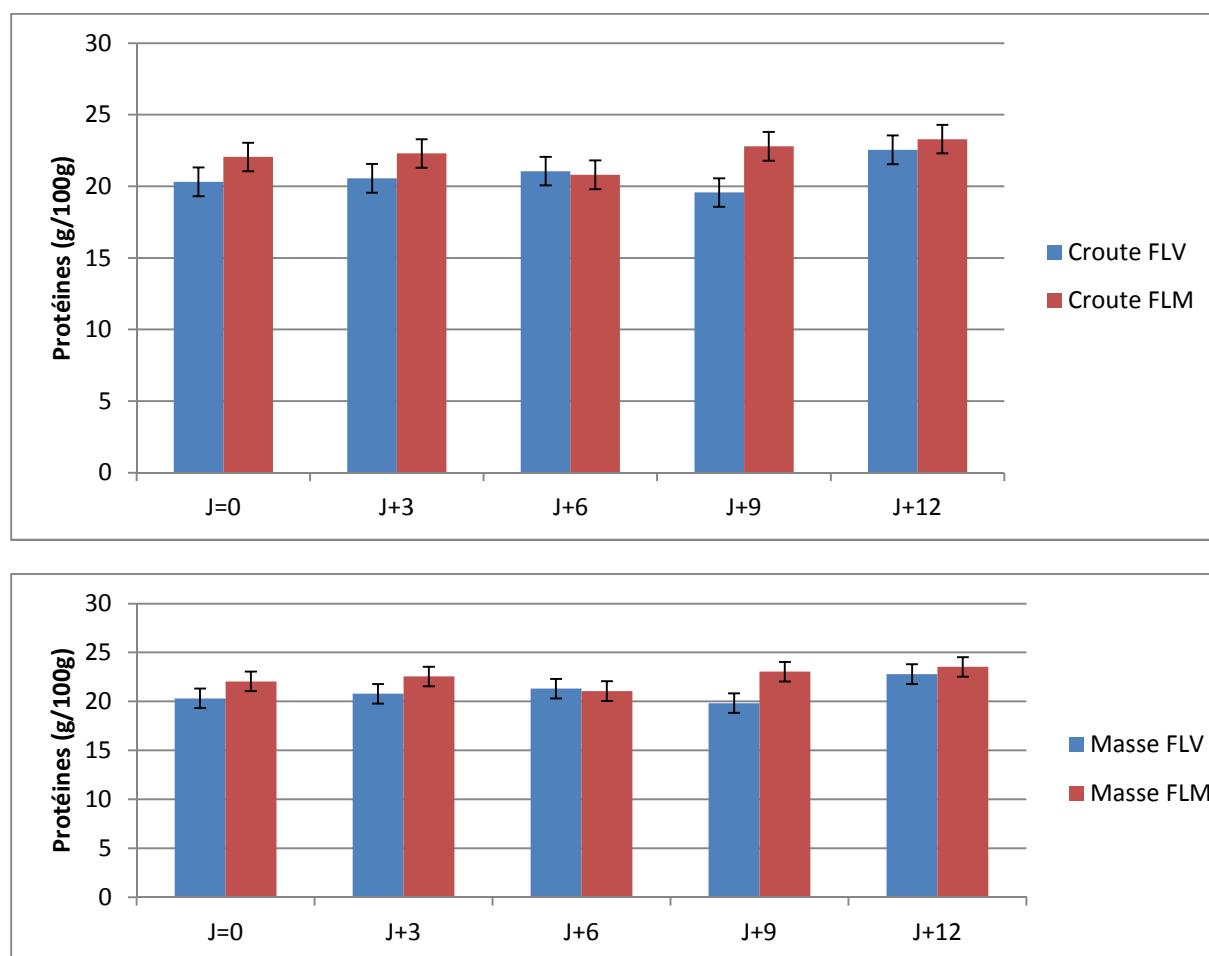


Figure 30: Diagrammes d'évolution des protéines de la croûte et de la masse des deux fromages au cours d'affinage.

Les résultats de la teneur en protéines sont portés dans le tableau (XVIII) et illustrés dans la figure (30).

L'analyse de la variance au seuil 5%, montre des différences très hautement significatives (p -value=0.000004) (annexe 46) pour le FLV et (p -value=0.00002) (annexe 47) pour le FLM pour l'interaction (F1-F2 : partie du fromage-durée d'affinage). Le test de NEWMAN-KEULS confirme ces résultats (annexes 48et49).

D'après la figure (30), on constate des différences de concentrations des protéines entre le (J=0) et (J+12). En effet, on part avec une concentration de 22.05 (g/100g) à (J=0) pour atteindre 23.29 et 23.53 (g/100g) au niveau de la partie externe et interne respectivement pour le FLM, et une concentration de 20.31 (g/100g) pour le FLV pour atteindre des concentrations de 22.54 et 22.79 (g/100g) à (J+12) pour la croûte et la masse respectivement. Ceci est dû à la protéolyse qui métabolise les protéines en acides aminés.

En effet, La protéolyse se définit comme étant l'hydrolyse des protéines et des peptides en acides aminés (UPADHYAY *et al*, 2004). Elle est le processus biologique le plus complexe et le plus important qui a lieu pendant l'affinage des fromages. Elle participe au développement de la texture, étant donné l'hydrolyse de la matrice fromagère, l'abaissement de l'*aw* par la libération de molécules d'eau engendrée par cette hydrolyse et permet indirectement l'augmentation du pH (LECLERCQ-PERLAT *et al*, 2004) par la libération d'ammoniac lors de la désamination des acides aminés (MC SWEENEY *et al*, 2004 ; YVON *et RIJNEN*, 2001).

Selon GRAPPIN *et al* (1985) et PAVIA *et al* (2000), la protéolyse peut être réalisée en deux parties : 'protéolyse primaire' et 'protéolyse secondaire'.

La protéolyse primaire représente l'étendue de la dégradation des caséines native en gros peptides, et essentiellement liée à l'action des protéases contenues dans la présure, notamment la chymosine et à celle de la plasmine.

La protéolyse secondaire correspond à l'hydrolyse des gros peptides par l'action des protéinases et des peptidases des bactéries lactiques 'levains' et 'non levains' qui donnent des peptides plus courts et des acides aminés.

Le rôle majeur de la protéolyse dans les fromages est la production des acides aminés, qui sont des précurseurs pour une multitude de réactions cataboliques, qui aboutissent à une grande variété de composés volatils (alcools, aldéhydes, acides ramifiés, esters, composés soufres, phénols....) responsables de la typicité des fromages (figure 31).

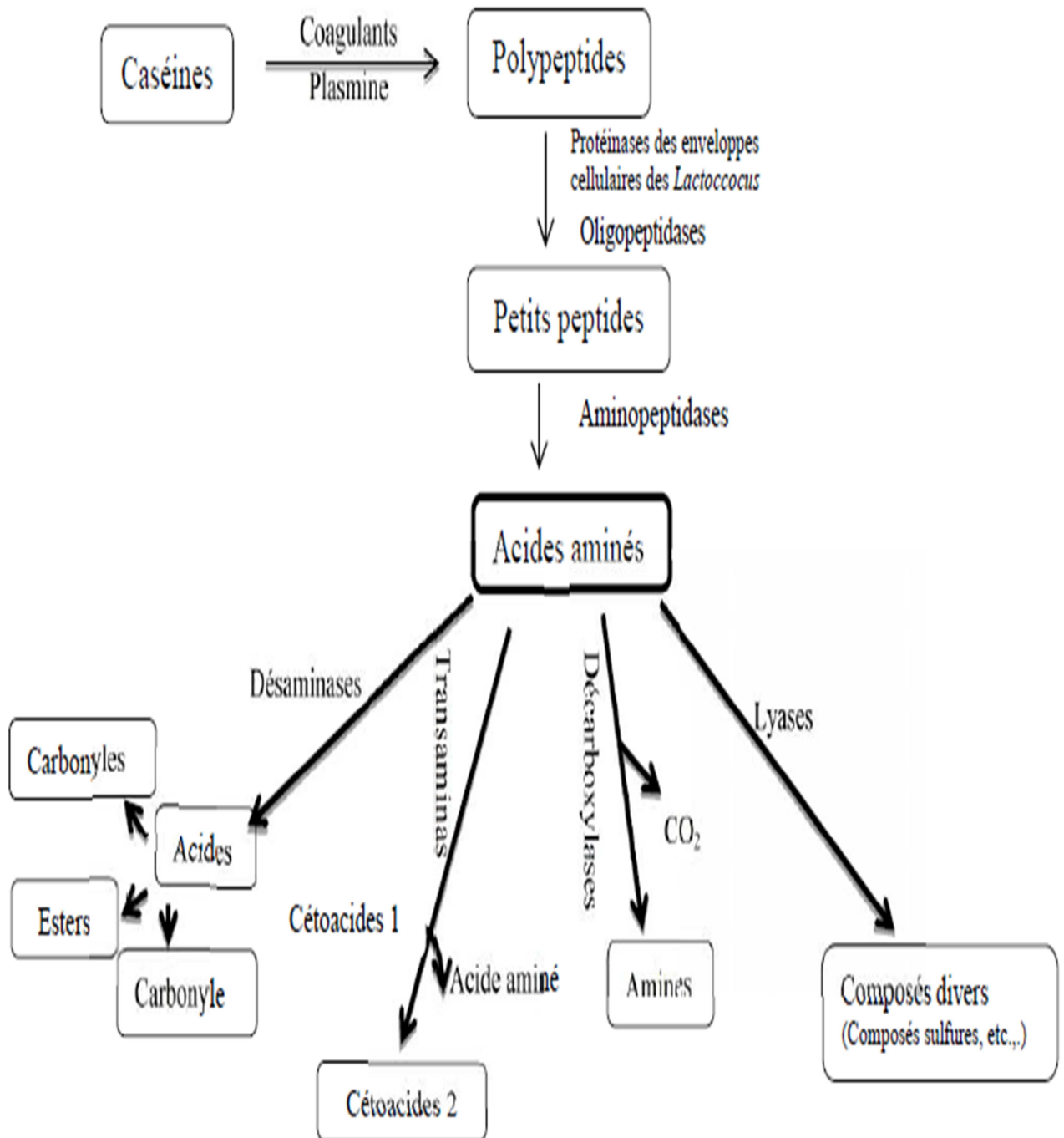


Figure 31: Protéolyse des caséines et catabolisme des acides aminés pendant l'affinage des fromages (MCSWEENEY et SOUSA, 2000).

II.2. Résultats de l'analyse organoleptiques :

Le tableau (XX) rassemble les profils sensoriels des deux camemberts concernés par l'analyse sensorielle. Nous constatons que les paramètres sensoriels décrivant la texture ainsi que le goût sont les plus prononcés. Contrairement à l'odeur, nous notons une faible intensité pour chacun de ses descripteurs.

Tableau (XX) : Résultats d'analyse organoleptique des deux camemberts LM et LV en (%).

Fromage		FLM (%)	FLV (%)
Paramètres			
ASPECT	Couleur blanche	94.44	11.12
	Couleur jaune-blanchâtre	5.66	88.88
	Couleur jaune		
TEXTURE	Moins molle		38.88
	Ferme		55.55
	Friable	100	
	Collante		5.56
GOUT	Typique	11.12	88.88
	Rance	27.77	
	Acide	61.11	11.12
	Amer		
ODEUR	Agréable	55.55	50
	Satisfaisante	44.44	50
	Désagréable		

Il apparaît clairement que le Camembert à base de LM a une texture friable, et une couleur jugée meilleure. Par contre, le Camembert à base de LV présentait une texture ferme à 55.55% et moins molle à 38.88%.

II.2.1. Le goût et l'odeur :

Selon les dégustateurs, on a noté une différence pour le critère goût et odeur. En effet le FLV présente un goût typique et une odeur agréable comparé au FLM.

P. camemberti est le ferment d'affinage majoritairement responsable de la lipolyse (**BERESFORD et WILLIAMS, 2004**). L'hydrolyse de la matière grasse donne la sensation en bouche de douceur et permet le relâchement des saveurs. La principale enzyme sécrétée par *P. camemberti* est une lipase alcaline. Cette enzyme dégrade surtout des triglycérides ayant des acides gras de faible poids moléculaire (**SPINLER et GRIPON, 2004**). Par la β -oxydation d'acides gras libres, *P. camemberti* permet de libérer des composés aromatiques typiques des fromages à croûte fleurie, comme des cétones méthyles et leurs alcools correspondants (Figure 32) (**CHAMB et IRLINGER, 2004**). L'oxydation intra-chaînes des acides gras insaturés par le métabolisme secondaire de *P. camemberti* permet d'obtenir du 1-octan-3-ol, l'arôme typique de champignon des fromages à croûte fleurie (**SPINLER et al, 1992**).

On remarque que le FLM présente un goût acide à (61.11%) et un goût de rance à (27.77%). En effet l'acidité et la rancidité résultent de l'hydrolyse de matières grasses en acides gras libres tels que l'acide butyrique. Les enzymes lipolytiques responsables peuvent provenir du lait ou être d'origine microbienne (**SPINLER et GRIPON, 2004**).

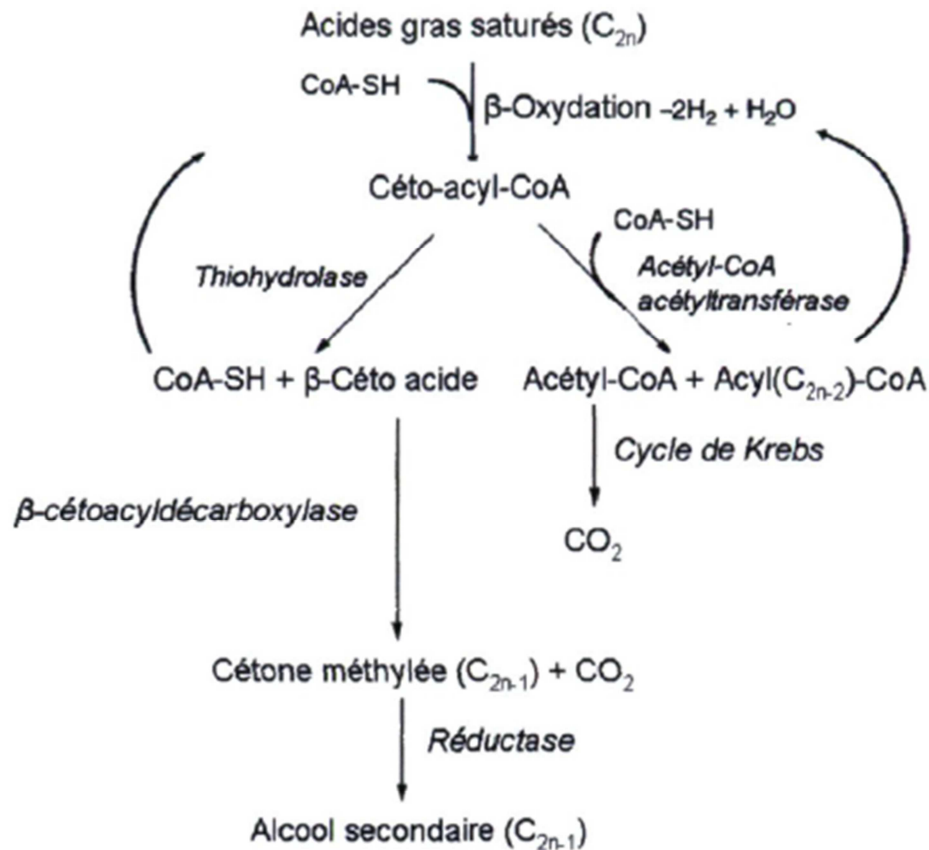


Figure 32 : Catabolisme des acides gras saturés (COLLINS et al, 2003).

II.2.2. La texture :

L'analyse des résultats organoleptiques montre que le FLM présente une texture friable, alors que le FLV est ferme et légèrement moelleux.

Le pH est le paramètre qui influe le plus sur la texture, même à l'intérieur du fromage.

L'extrait sec est le second paramètre qui intervient dans l'explication du phénomène.

Le FLM présente une texture friable, ceci peut s'expliquer par le pH légèrement acide.

L'augmentation du pH est due à la consommation de l'acide lactique et à la production de composés alcalins par la flore de surface et principalement par le *Penicillium*. Cette dernière joue donc un rôle majeur dans l'amollissement de la pâte du Camembert, ceci est vérifié en zone externe mais aussi dans la partie centrale du fromage (VASSAL et al, 1984).

Le calcium a un rôle limite dans la texture du Camembert. Dans le cas du Camembert des migrations de calcium interviennent au cours d'affinage et une grande partie est immobilisée dans la croûte sous forme de phosphate de calcium de faible solubilité. Cela pourrait expliquer la contribution du calcium à la fermeté de la pâte faible dans la zone périphérique et plus importante dans la zone interne (VASSAL et al, 1984).

II.2.3. L'aspect :

Au début, le Camembert devient moins humide, sa couleur change du blanc au crème. Ensuite, la croûte blanche duveteuse apparaît. Une sous croûte se développe en dessous du duvet blanc et les odeurs d'un Camembert typique commencent à se dégager (SICARD *et al*, 2011). En effet, les microorganismes tolérants l'acide sont les seuls à pouvoir se développer. Les levures sont les premiers microorganismes à coloniser la surface du fromage. Elles forment une couche dense d'environ 200µm d'épaisseur. *G.candidum* apparaît environ au même moment que les autres levures, mais sa croissance est légèrement limitée par le sel.

P. camemberti est un organisme qui a besoin d'absorber les nutriments d'un milieu pour assurer sa croissance (PINAN-LUCARRE *et al*, 2007). L'analyse des résultats organoleptiques montrent que le FLM se caractérise par un aspect plus blanc par rapport au FLV qui apparaît jaune. Ceci est dû à la croissance intense du *P. camemberti* à la surface, qui est lié à la richesse du FLM en MG et EST.

P. camemberti recouvre d'une mince couche de mycélium la surface du Camembert. Le fromage obtient ainsi sa croûte blanche et duveteuse qui le caractérise (BOCKELMANN, 2010). Les souches industrielles montrent des différences au niveau de la vitesse de croissance et de la densité et l'épaisseur de mycélium. Les souches recherchées sont celles ayant une vitesse de recouvrement rapide du fromage. Cependant, le critère d'épaisseur de la croûte est dépendant du produit voulu. Certains fromages sont confectionnés de façon à obtenir la croûte la plus mince possible alors que pour d'autres une croûte plus épaisse sera souhaitée. Chacun des types de croûte a pour but de plaire à un type de consommateur différent. La couleur que la souche donne au fromage aussi peut être légèrement différente d'une souche à l'autre.

Conclusion

La qualité d'un fromage comme tout autre produit alimentaire, dépend de multiples facteurs dont: la nature de la matière première utilisée, le procédé de fabrication suivi et les ingrédients incorporés aux différents stades de l'élaboration du produit.

A travers cette étude, nous avons tenté d'apporter une contribution à l'appréciation de la qualité d'un fromage à pâte mole type *Camembert* fabriqué à partir d'un lait mixte, constitué par un mélange à parts égales entre le lait frais et le lait recombinaison élaboré à partir de la poudre de lait type « medium Heat », et sa comparaison à un fromage type *Camembert* fabriqué exclusivement à partir du lait frais collecté localement.

Cette étude a été réalisée, d'une part, par l'analyse des paramètres physico-chimiques du fromage à travers les différents stades d'affinage, aussi bien pour la croûte superficielle du produit que pour sa partie interne, et d'autre part, par l'évaluation sensorielle de leurs qualités organoleptiques.

Les investigations entreprises ont aussi porté sur la qualité physico-chimique et nutritionnelle des laits destinés à la fromagerie et l'effet du traitement de pasteurisation tel qu'il est pratiqué à l'unité sur ces matières premières.

L'étude préliminaire au niveau de la laiterie « PATURAGE D'ALGERIE » a démontré que l'analyse physico-chimique des laits destinés à la fromagerie présente des différences plus ou moins importantes. L'un des avantages majeurs du recours au lait mixte, se situe dans la correction du taux protéique bas relevé dans le lait cru. Néanmoins, la nature de la poudre incorporée dans la recombinaison du lait doit être d'excellente qualité, car nous avons montré que le traitement de pasteurisation tel qu'il est conduit au niveau de l'unité engendre un taux de dénaturation protéique élevé dans le cas du lait recombinaison seul et dans le cas du lait mixte. En effet, nous avons enregistré un taux de dénaturation avoisinant les 7.82% pour ces deux laits contrairement au lait cru où le taux enregistré était de 4%.

Par ailleurs, l'étude a révélé des différences peu significatives dans l'évolution des paramètres étudiés entre les deux fromages (FLV, FLM) tels que l'humidité, EST, MG.

Pour ce qui est le taux protéique déterminé par la méthode de BRADFORD, les résultats ont montré qu'il est plus important en surface qu'en profondeur des deux fromages, et qu'il augmente de façon progressive et continue depuis le 6^{ème} jour jusqu'au dernier stade d'affinage. Nous avons noté aussi que le *Camembert* à base de lait mixte présentait un meilleur taux protéique que le fromage à base de lait cru.

Cette étude a permis de confirmer la qualité organoleptique des deux produits grâce à une évaluation sensorielle. Cette dernière a montré une préférence pour le fromage élaboré à partir du lait cru. Contrairement au FLM, qui était d'une texture très friable dû aux modifications physico-chimiques qui influent sur le réseau protéique tridimensionnel qui constitue la « Charpente » des fromages.

L'ensemble des résultats auquel a abouti notre étude constitue une contribution de la caractérisation du produit fini, qui mérite d'être complété par d'autres études.

En perspective il est intéressant de :

- Vérifier le comportement électrophorétique des protéines solubles en cas d'une dénaturation;
- Evaluation de l'activité lipolytique et le dosage des métabolites produits par la chromatographie en phase gazeuse (CPG) ;
- Prolonger le temps d'affinage afin d'obtenir une pâte amollissante voulu qui répond aux normes d'un Camembert typique.

Références

Bibliographiques

A

AALTONEN M.L., LEHTONEEN M., LEHDONKIVI T., ANTILA V. (1988). Plasmin activity in milk. *Milchwissenschaft*. 4,573-576.

ABBAS K. (2012). Effet des traitements thermiques sur les propriétés fonctionnelles de fromages traditionnels. Ecole Doctorale Des Sciences De La Vie, Santé, Agronomie, Environnement, n°566.

AGABRIEL C., COULON J.B., JOURNAL C., RANCOURT B. (2001). Composition chimique du lait et systèmes de production dans les exploitations du massif central. *INRA. Prod. Anim.*, 14(2). pp : 119-128.

AGGAD H., MAHOUZ F., AHMED AMMAR Y., KIHAIL M. (2009). Evaluation de la qualité hygiénique du lait dans l'ouest algérien. *Revue Méd. Vét.*, 160, 12. pp: 590-595.

ALAIS .C. (1984). Science du lait, Principe des techniques laitières, 3^{ème} édition. Paris, 807p.

ALAIS C. (1984). Science du lait: principes des techniques laitières. 4^{ème} édition, Paris,

ALAIS C., LINDEN G. (1993). Biochimie alimentaire. Masson ,2^{ème} édition, paris.

ALAIS C. (1998). Science du lait. Edition Sepaic. Paris.

ALAIS C., LINDEN G., MICLO L. (2003). Biochimie alimentaire. 5^{ème} édition de l'abérogé, Dunod, Paris.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (1960). Examination of dairy products. 11th ed, New York.

ANDREWS A.T., ALICHANIDIS E. (1983). Proteolysis of caseins and the proteoseptone fraction of bovine milk. *J. Dairy Res.* 5Q, 275-290.

ANDREWS A.T. (1983). Breakdown of caseins by proteinases in bovine milks with high somatic cell counts arising from mastitis or infusion with bacterial endotoxin. *J. Dairy.* 50-57-66.

ANEMA S. G., .Li Y. (2003). Effect of pH on the association of denatured whey proteins with casein micelles in heated reconstituted skim milk. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*, n°51, 1640-1646.

ARABA A. (2006). L'alimentation de la vache laitière pour une meilleure qualité du lait. Comment augmenter les taux butyreux et protéique du lait. Bulletin mensuel d'information

et de liaison du PNTTA n°142 vache laitière. Transfert de technologie en agriculture. Ministère De L'agriculture, Du Développement Rural Et Des Pêches Maritimes. Maroc.pp :1-4.

ARDO Y., CHATTERTON D., VARMING C. (2011). Chromatographic Methods. Journal of Dairy Science. Elsevier science. 4068p.

ARIE F., ARIESTA W. (2011). Process engineering of drying milk powder with Foam mat drying method. *Journal of basic and applied scientific research* 2(4) :3588-3592 .

B

BABELF J. (1980). Foods. Dairy science, New York.

BENSLIMANE S. (1986). Variations de l'activité de la plasmine et du plasminogène dans les laits de vaches montbéliardes et dans les fromages de type Comté. Thèse n0495, Université de Franche-Comté.

BERESFORD T. P., FITZSIMONS., N. A., BRENNAN N. L., COGAN T. M. (2001). Recent advances in cheese microbiology. *International Dairy Journal*, 11(4-7): 259-274.

BERESFORD T., WILLIAMS A. (2004). The Microbiology of cheese ripening, Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology, Third Edition - Volume 1 : General Aspects. Elsevier Ltd.

BERTRAND F. (1988).le fromage grand œuvre des microbes .revue générale de froid. 78 :519-527.

BEUKELAR N.J., COUSIN M.A., BRADLEY R.L., MARTI-I E.H. (1977). Modification of milk proteins by psychrotrophic bacteria. *J. Dairy Sci.*60: 857-861.

BLANC. (1982). Les protéines du lait à activité enzymatique et hormonale. *Lait*, **62** : 350-395.

BOCKELMANN W. (2010). Secondary cheese starter cultures. Dans: B.A. Law et A.Y. Tamime (éd.), *Technology of cheesemaking*, Second Edition. Blackwell Publishing.

BRADFORD M.M. (1976). A rapid and sensitive method for quantitation of protein utilizing the principle of protein-Dye Binding. Department Research laboratories, department of Biochemistry, University of GERGIA, 30602.

BRULE G., LENOIR J. (2000). La coagulation du lait. Le fromage. Tec et Doc-Lavoisier, Paris.

C

CAROLE L., VIGNOLA, (2002) : Science et technologie du lait. Presses Internationales Polytechnique, Montréal.

CASTRO-MOREL M., HARPER WJ. (2003).Effect of retentatehe attreatment and spray dryerinlet température on the properties of milk protein concentrates, (MPC'S)Milchwissen

CAYOT P., LORIENT D. (1998). Structures et techno-fonctions des protéines du lait. Tec & Doc- Lavoisier, Paris.

CERNING J, GRIPON J., Lamberet G., Lenoir J. (1987). Les activités biochimiques des Penicillium utilisés en fromagerie. Le Lait, n°67 (1), pp.3-39.

CHAMBA J.F. et IRLINGER F. (2004). Secondary and adjunct cultures Cheese : Chemistry, physics and microbiology, Third Edition - Volume 1 : General Aspects. Elsevier Ltd.

CHAMPAGNE. C. P. (1998). Production de ferments lactiques. Dans, Caractéristiques des bactéries lactiques. Edisem, La fondation des Gouverneurs, Agriculture et Agroalimentaire, Canada. pp. 1-10.

CHEFTEL J.C., CUQ J.L., LORIENT D. (1985). Protéines alimentaires. Tec &Doc-Lavoisier, Paris.

CHEFTEL. H., CHEFTEL. J.C. (1992). Introduction a la biochimie et a la technologie des aliments. Tec & Doc-Lavoisier, Paris.

CHOISYC., DESMAZEAUD M., GRIPON J.C., LAMBERET G., LENOIR J., TOURNEUR C. (1987). Les phénomènes microbiologiques et enzymatiques et la biochimie de l'affinage. Le fromage. A. ECK. Tec et Doc- Lavoisier, Paris.

CHOLET O. (2006). Étude de l'écosystème fromager par une approche biochimique et moléculaire, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris.

CHRISTENSEN T., KRISTIANSSEN R., MADSEN J.S. (1989). Proteolysis in cheese investigated by high performance liquid chromatography. Journal of Dairy Science. 56: 823-828.

CLEGG L. (1995). Standard methods for the examination of dairy products. Madison, Ottawa.

Codex Alimentarius, 2010. Norme Codex pour le Camembert (codex stan 276-1973) [En ligne]. URL: www.codexalimentarius.org/input/download/standards/218/CXS_276f.pdf (Dernier accès le 30 août 2012).

COLLIN J.C., BERDAGUE J.L., DOGNIN-BERGERET M., GRAPPIN R. (1987). Affinage et qualité du Gruyère de Comté. IV. Etude de la protéolyse. *Le Lait*, 299-318.

CORREDIG M., DALGLEICH D.G (1999). The mechanisms of the heat induced interaction of whey proteins with casein micelles in milk. *International Dairy Journal*, n°9, 233-236.

COULON J-B., HODEN A. (1991). Maitrise de la composition du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéiques. *INRA Prod. Anim.*, 4 (5).pp: 361-367.

D

DAVIS. J-G. (1950). Milk and food tech. Sanit. Inst, Londres.

DEBRY. G. (2001). Nutrition et santé. Tec & DOC- Lavoisier, Paris.

DEBRY G. (2005). Lait, nutrition et santé. Tec & DOC- Lavoisier, Paris.

Décret n°2007-628, du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères.

DEETH H.C. (2011). Milk lipids. Lipolysis and hydrolytic rancidity. In: Editor in Chief: John WF, editor. *Encyclopedia of Dairy Sciences* (2nd Edition). San Diego: Academic Press. pp. 721-726.

DELACROIX-BUCHET. A., TROSSAT. P. (1991). Protéolyse et texture des fromages à pâte pressée cuite. 1. Influence de l'activité de l'eau. *Le Lait*, 11, 299-311.

DEZMAZEAUD M., GRIPON J.C., LE BARS D., BERGERE J.L.

(1976). Etude du rôle des micro-organismes et des enzymes au cours de la maturation des fromages ; III- Influence des micro-organismes. *Lait*, 56, 379.

DUPIN H., CUQ J.L., MALEWIAK M.I., LEYNAUD-ROUAUD C., BERTHIER A.M. (1992). Alimentation et nutrition humaines. ESF, Paris.

E

EIGEL W.N. (1977). Effect of bovine plasmin on aS1-B and K-A caseins. *J. Dairy Sci.* 1399-1403.

EIGEL W.N., BUTLER J.E., EMSTROM C.A., FARELL J.R. H.M., HARLWALKER V.R., JENESSE R., MC WHITNEY R. (1986). Nomenclature of the proteins of cow's milk: fifth revision. *Journal of dairy science.* 67: 1599-1631.

EXTERKATE F.A (1983). The proteolytic system of starter streptococci the crucial point in cheese making. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 37, 94-96.

F

FAIRBAIRN D.J., LAW B.A. (1986). Proteinases of psychrotrophic bacteria : their production, properties, effects and control. *J. Dairy RES.* 53: 139-177.

FARKYE N.Y. (1999). Microbiology of cheese-making and maturation. Dans: Robinson, R.K, *Encyclopedia of Food Microbiology.* Elsevier, Oxford, UK. 381-387.

FERRON-BAUMY C. (1992). Contribution à l'étude des mécanismes de la coagulation présure des laits chauffés. Thèse ENSA Rennes, France, 110 p.

FLOBERGHAGEN V., SORHAUG T., LANGSRUD T. (1978). Peptides hydrolases des bactéries propioniques. Brèves communications 20^e Congr. Int. Lait. Paris, 483-484.

FOX P.F., LAW J., MC SWEENEY P.L.H. WALLACE J. (1993). Biochemistry of cheese ripening. *In Cheese : chemistry, physics and microbiology* Fox (ed). London. vol1, p.389- 438.

FOX P.F., MCSWEENEY P.L.H. (2004). Cheese chemistry, physics and microbiology. Elsevier Academic Press, San Diego, 564P.

FUENTE M. A., HEMAR Y., TAMEHANA M., MUNRO P.A., SINGH. (2002). Process induced changes in whey proteins during the manufacture of whey protein concentrates. *International Dairy Journal*, n°12, 361-369.

G

GARNOT. P., OLLIVIER. G. (1985). La stabilité thermique des enzymes coagulantes:

GENIGEORGIS C., CARNICIU M., DUTULESCU D., FARVER T.B. (1991). Growth and survival of *Listeria monocytogenes* in market cheese stored at 4 to 30°C. Journal of Food Protection 54, 662-668.

GEURTS T. J., WALSTRA P., MULDER H. (1974). Water binding to milk protein, with particular reference to cheese. Netherlands milk dairy journal 28: 64-72.

GILLIS J.C. (2004). Manuel du salage en fromagerie - Théorie et pratiques. Arilait Recherches, Paris.

GLAESER H. (1992). La pasteurisation du lait a-t-elle une influence négative sur la qualité fromagère ? DMZ- Leben Smitttelindustrie and Milkwirtschaft, 113, 13.

GOT R. (1971). Les enzymes du lait. Ann nutr alim, 25 : A291-311.

GOUDERANCHE H., CAMIER-CAUDRON B., GASSI J., SHUCK P. (2007). Procédés de transformation fromagère. Technique de l'ingénieur, traité agroalimentaire, n°306, 6-21.

GOUDÉDRANCHE H., CAMIER-CAUDRON B., GASSI J.V., SCHUCK. P. (2012). Procédés de transformation fromagère. Eduscol, Paris.

GOURSAUD J. (1985). Composition et propriétés physico-chimiques du lait: laits et produits laitiers. Vache, brebis, chèvre (LUQUET F.M) Tome (1), P15, P 3-4. P164, 171, 174.

GRAPIN R., RANK T., OLSON N.E. (1985). Primary proteolysis of cheese proteins during ripening. A review. Journal of dairy science. 68 :531-540.

GRIEVE P.A., KITCHEN B.J. (1985). Proteolysis in milk : the significance of proteinases originating from milk leucocytes and a comparison of the action of leucocyte, bacterial and natural milk proteinases on casein. J. Dairy Res.,52, 101-112.

GUEGUEN L. (1979). Apports minéraux par le lait et les produits laitiers. Cah. Nutr. Diet.3 : 213-217.

GUINEE T., FOX P. (2004). Salt in cheese : Physical, Chemical and Biological Aspects. 3rd ed. pp. 207-259.

GUYOMARC'H F., WARIN F., MUIR D.D., LEAVER J. (2000). Lactosylation of milk proteins during manufacture and storage of skim milk powders. *International Dairy Journal*, 10,863-872.

H

HARDY J. (1997). L'activité de l'eau et le salage. *In* Le fromage Lavoisier Tec & Doc. Paris.
p. 62-84.

HASSOUNA M., GUIZANI N. (1995). Evolution de la flore microbienne et des caractéristiques physico-chimiques au cours de la maturation du fromage tunisien de type Camembert fabriqué avec du lait pasteurisé. *Microbiologie, hygiène alimentaire* 7(18): 14-23.

HASSOUNA M., NAFTI A., GHRIR R. (1996). L'affinage d'un fromage à pâte molle et à croûte fleurie de type Camembert au lait cru de brebis, aspects microbiologiques et physico-chimiques. *Science des Aliments*, 16, 187-203.

HELIAS A., MIRADE P. S., CORRIEU G. (2007a). Modeling of camembert-type cheese mass loss in a ripening chamber: Main biological and physical phenomena. *Journal of Dairy Science*, 90: 5324-5333.

HUMBERT G., DRIOU A., GUERIN J., ALAIS C. (1980). Effets de l'homogénéisation à haute pression sur les propriétés du lait et son aptitude à la coagulation enzymatique. *Le Lait*, 1980, n° 60 (599 600), pp. 574-594.

HURTAUD C., BUCHIN S., MATIN B., VERDIER-METZ I., PEYRAUD J.L., NOEL Y. (2001). La qualité des laits et ses conséquences sur la qualité des produits de transformation : quelques techniques de mesure dans les essais zootechniques. *Renc. Rech. Ruminants*, n°8, pp: 35-42.

J

JACOBSEN T., POULSEN O. M. (1995). Comparison of lipases from different strains of the fungus *Geotrichum candidum*. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Lipids and Lipid Metabolism*.1257(2): 96-102.

JAKOB. E et HANNI. J-P. (2004). Fromageabilité du lait. Edition, Agroscope Liebefeld Posieux. Groupe de discussions N° 17F.

JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P., BRULE G., (2006). Sciences des aliments. 1. Stabilisation biologique et physicochimique. Tec & Doc, Lavoisier (Ed), Paris, France, 383 p.

JEANTET R., CROGUENNEC T., MAHAUT M., SCHUCK P., BRULE G. (2008). Les produits laitiers. Tec & Doc- Lavoisier, Paris.

JOHNS. C-K. (1959). Manipulation et traitement du lait à la laiterie. Dairy technology Institute, Ottawa.

JOLLES J.F., SCHOENTGEN F., ALAIS C., JOLLIES P. (1972). Studies of the primary structure of the Cow κ -casein: the primary sequence of cow Para κ -casein. *Chimia*, 26, 645-646.

JOUAN P. (2002). Lacto-protéines et Lacto-peptides : propriétés biologiques. Institut national de la recherche agronomique, Paris.

K

KAMINOGAWA S., YAMAUCHI K. (1972). Aeid protease of bovine milk. *Agr. Biol. Chem.* 16 : 2351-2356.

KAMINOGAWA S., YAMAUCHI K., MIYAZAWA S., KOGA Y. (1980). Degradation of casein components by acid protease of bovine milk. *J. Dairy Sei.*, Q3., 701-704.

KAREN S. (2008). Dried Dairy Ingredients, P. 60.

KINSELLA J.E, HWANG D.H, DWIVED B. (1976) Enzymes of *Penicillium roqueforti* involved in the biosynthesis of cheese flavor. *CRC Cr Rev Food Sci* 8: 191-228.

L

LABIOUI H., LAAROUSI E., BENZAKOUR A., EL YACHIOUI M., BERNY E., OUHSSINE M. (2009). Étude physico-chimique et Microbiologique de laits crus. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 2009, 148. pp: 7-16.

LEBARS D., GRIPON C. (1989). Specificity of plasmin towards bovine α_{s2} -casein. Dairy Res., 56,817-821.

LECLERCQ-PERLAT M. N., BUONO F., LAMBERT D., SPINLER H. E., CORRIEU G. (2004a). Controlled Production of Camembert-Type Cheeses : Part I. Microbiological and physicochemical evolutions. Journal of Dairy Research 71(3): 346-354.

LECLERCQ-PERLAT M.N., PICQUE D., RIAHI H., CORRIEU G. (2006). Microbiological and biochemical aspects of Camembert-type cheeses depend on atmospheric composition in the ripening chamber. J Dairy Sci 89: 3260-3273.

LECLERCQ-PERLAT M.N., CORRIEU G., SPINLER H.E. (2007). Controlled production of Camembert-type cheeses. Part III: Role of the ripening microflora on free fatty acid concentrations. J Dairy Res 74: 218-225.

LEGRAET Y., LEPIENNE A., BRULE G., DUCRUET P. (1983). Migration de calcium et des phosphates inorganiques dans les fromages à pâtes molles de type Camembert au cours de l'affinage. Lait, 63, 317-332.

LENOIR J. (1974). Le lait réfrigéré, matière première de fromagerie moderne. Revue Laitière Française, 322, 453-465.

LENOIR J., AUBERGER B. (1977). Les caractères du système proteolytique *Penicillium caseicolum*. I- Pré -caractérisation de l'activité exocellulaire. Lait, 57, 164-183.

LENOIR J., LAMBERT G., SCHMIODT J.L. (1983). L'élaboration d'un fromage: l'exemple du *Camembert*. Pour la Science, 69, 30-42.

LENOIR J., LAMBERT G., SCHMIODT J.L., TOURNEUR C. (1985). La maîtrise du bioréacteur fromage. Biofutur 41: 23-50.

LEYRAL. G., VIERLING E. (2007). Microbiologie et toxicologie des aliments. « hygiène et sécurité alimentaires », 4^{ème} Edition. Scéren, Bordeaux.

LIVNEY Y.D., CORREDIG M., DALGLEICH D.G. (2003). Influence of thermal processing on the properties of dairy colloids. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, n°8, 359-364.

LUBIN D. (1995). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. FAO, Rome.

LUQUET F. (1985). Lait et produits laitiers - Vache, brebis, chèvre. Tome 1 : Les laits De la mamelle à la laiterie. Tech. & Doc., Lavoisier, Paris.

M

MAGGIO-HALL L.A., KELLER N.P. (2004). Mitochondrial beta-oxidation in *Aspergillus nidulans*. *Mol Microbiol* 54: 1173-1185.

MARCOS A. (1993). Water activity in cheese in relation to composition, stability and safety. *In Cheese : Chemistry, physics and microbiology*. Fox, P. F. Chapman & Hall. London. Vol.1, p.141-191.

MARTIN B. Et COULON J.B. (1995). Facteurs de production du lait et caractéristiques des fromages. I. Influence des facteurs de production sur l'aptitude à la coagulation des laits de troupeaux. *Lait*, 75, 61-80.

MATHIEU J. (1997). Initiation à la physicochimie du lait. Tec & Doc-Lavoisier, Paris.

MATHIEU J. (1998). Initiation à la physicochimie du lait. Tec & Doc- Lavoisier, Paris.

MC SWEENEY P. L. H., SOUSA M. J.(2000). Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening : A review. *Le lait* 80: 293-324.

MCSWEENEY P.L.H. (2004). Biochemistry of cheese ripening. *Int J Dairy Technol* 57: 127-148.

MERCIER J.C., GROSCLAUDE F., RIBADEAU-DUMAS b. (1971). Structure primaire de la caséine α_{S1} -bovine- séquence complète. *Eur. J. Biochem*, 34.

MERCIER J.C., BRIGNON G., RIBADEAU-DUMAS B. (1973). Structure primaire de la caséine- κ B bovine-séquence complète. *Eur. J. Biochem*, 35, 222-235.

MIETTON B. (1987). Cours de fromagerie. ENIL-Bio, Poligny, France.

MIETTON B. (1995). La typologie des fromages. Symposium organisé par la Fondation des Gouverneurs et le Centre de recherche et de développement sur les aliments d'Agriculture et d'Agroalimentaire, Canada.

MOLIMARD P., SPINLER H. E. (1996). Review: Compounds involved in the flavor of surface mold ripened cheeses: origins and properties. *Journal of Dairy Science* 79: 169-184.

MORGAN F., LEONIL J., MOLLE D., BOUHALLAB S. (1997). Non enzymatic lactosylation of bovine β -lactoglobulin under mid heat treatment leads to structural heterogeneity of glycoforms. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 236,413-417.

MORRISEY P.A. (1985). Lactose: chemical and physico-chemical properties. In: Fox P.F. *Developments in Dairy Chemistry-3*. Elsevier, London.

O

O'BRIEN., MORRISEY P.A. (1989). Nutritional and toxicological aspect of Maillard browning reaction in foods, *International Dairy Journal*, 228, 211-248.

O'BRIEN J. (1995). Heat induced changes in lactose: isomerisation, degradation, Maillard browning. In *Heat induced changes in milk*, Brussels.

OUALI-ABDOUNE S. (2003). Qualité du fromage à pâte molle type Camembert fabriqué à la laiterie de *Draa Ben Khedda* : nature de la matière première et évaluation de l'activité protéolytique au cours de l'affinage et de l'entreposage réfrigéré du fromage. Mémoire du magister en sciences alimentaires. Université MENTOURI de Constantine.

P

PAQUET D. (1989). Revue bibliographique: la fraction protéose-peptones du lait. *Le lait*, 69, 7-21.

PARADAL M. (2012). La transformation fromagère caprine fermière. Tec & DOC-Lavoisier, Paris.

PARTSCH C. (2013). L'essentiel de l'agroalimentaire et l'agriculture, agro ligne. *Anuga*, 86, 20-31.

PAVIA M., TRUJILLO A.J., GUAMISB., FERRAGUT V. (2000). Protolysis in manchego-type cheese salted by brine vacuum impregnation. *Journal of dairy science*. 83: 1441-1447.

PAYENS T.A.J. (1979).Casein micelles: the colloid-chemical approach, *Journal of Dairy Research*, 46,2: 291-306.

PICQUE D., LECLERCQ-PERLAT M. N., CORRIEU G. (2006). Effects of Atmospheric Composition on Respiratory Behavior, Weight Loss, and Appearance of Camembert-Type Cheeses During Chamber Ripening. *Journal of Dairy Science* 89(8): 3250-3259.

PINAN-LUCARRE B., PAOLETTI M., CLAVE C. (2007). Cell death by incompatibility in the fungus *Podospora*. *Semin. Cancer Biol.* 17(2): 101-111.

POULIOT M; POULIOT Y; GAUTHIER S; PAQUIN P. (1997). Stability of milk ingredients based Infant Formula. Private communication.

POULIOT Y., BOULET M., PAQUIN P. (1989a). Observations on the heat-induced salt balance changes in milk I- Effect of heating time between 4 and 90°C, *International Journal of Dairy Research*, n°56,185-192.

POULIOT Y., BOULET M., PAQUIN P. (1989b).Observations on the heat-induced salt balance changes in milk II- Reversibility on cooling, *International Journal of Dairy Research*, n° 56, 193-199.

POWELL M.E., PALMER L.S. (1935). Behaviour of caseinate sols in a study of a hysteresis like phenomenon in the rennet coagulation of heayed milk. *Journal of Dairy Science* 18, 401-414.

R

RAMET J.P. (1979) Technologie laitière: Procédés de fabrication des grands types de fromages. Cours, Institut national polytechnique de Lorraine, NANCY-F.

RAMET J (2009) Technologie comparée de l'affinage de différents types de fromages. In: Eck A, Gillis JC, editors. *Le fromage*. 3rd ed. Paris, France: Lavoisier Tec & Doc. pp. 447-467.

RECHCIGL M. (1982). Handbook of the nutritive value of processed food, volume 1: food for human use, CRC series in nutrition and food, Boca Raton, CRC Press LLC, 679p.

Règlementation (CE) n° 853/2004 du 29 avril 2004 fixant les règles d'hygiène applicables aux denrées alimentaires d'origine animale (*JOUE du 25 juin 2004*).

REMEUF. F., COSSI. N., DERVI. N., TOMASSON. R. (1991). Relation entre les paramètres physico-chimiques du lait et son aptitude fromagère. Tec et Doc Lavoisier, Paris.

REMEUF F. (1994). Relations entre caractéristiques physico-chimiques et aptitudes fromagères des laits. Recueil de Médecine Vétérinaire, 170 (6/7), 359-365.

RIBADEAU -DUMAS B., BRIGNON G., GROSCLAUD F. et MERCIER

J.C. (1972). Structure primaire de la caséine β (A1) bovine séquence Complete. European Journal of Biochemistry 25, 505-514.

RIBADEAU-DUMAS B., (1984). Maitrise de l'affinage des fromages de type Camembert. Le Lait, pp.448-468.

RICHARDSON B.C. (1983). Variation of the concentration of plasmin and plasminogen in bovine milk with lactation. N. Z. J. Dairy Sei. Tech., 247-252

PISECKY J. (1986). Standards, specifications and test methods for dry milk products. In: Concentration and drying of foods. Elsevier, London, England, p203-220.

ROLLEMA H.S., VISSER S., POLL J.K. (1983). Spectrophotometric assay of plasmin and plasminogen in bovine milk. Milchwissenschaft, 31,597-600.

RYSER E.T., MARTH E.H. (1987b). Fate of *Listeria monocytogenes* during the manufacture and ripening of Camembert cheese. Journal of Food Protection 50, 372-378.

S

SABLE S, COTTENCEAU G. (1999). Current knowledge of soft cheeses flavor and related compounds. J Agric Food Chem 47: 4825-4836.

SAITO Z., ITOH T. (1992). Variation and distributions of O-glycosidically linked sugar chains in bovine κ -casein. Journal of Dairy Science, 75, 1768-1774.

SCHAAF SMA G. (1989). Effect of heat treatment on the nutritional value of milk. Bulletin International of Dairy Federation 238, 68-70.

SCHMIDT J.L. (1982). Activité protéolytique des levures isolées du fromage de Camembert. Actes du 11^{ème} Congrès Mondial de Laiterie, Volume 1 (2), Moscou.

SCHOKKER E.P., SINGH H., CREAMER L.K. (2000). Heat induced aggregation of β -lactoglobuline A and B with β -lactalbumine. *International Dairy Journal*, n° 10, 843-853.

SCHUCK P., PIOT M., MEJEAN S., LE GREAT Y., FAUQUANT J., BRULE G., MAUBOIS J.L. (1994). Déshydratation des laits enrichis en caséine micellaire par microfiltration, comparaison des propriétés des poudres obtenues avec celles d'une poudre de lait ultra propre. *Le lait*, n°74, 47-63.

SCHUCK P., DOLIVET A., JEANTET R. (2012). Les poudres laitières et alimentaires: techniques d'analyses. Lavoisier, Paris

SHALABI S.I., WHEELOCK J.V. (1977). Effect of sulphydryl-blocking agents on the primary phase of chymosin action on heated casein micelles and heated milk. *Journal of Dairy Research* 44, 351-355.

SICARD M., PERROT N., LECLERCQ-PERLAT M., BAUDRIT C., CORRIEU G. (2011). Toward the integration of expert knowledge and instrumental data to control food processes: application to Camembert-type cheese ripening. *J. Dairy Sci.* 94(1): 1-13.

SMITH M., MC MAHON D.J (1996). Aseptic rennet coagulation of ultra-high temperature processed milk concentrate. *Journal of Dairy Science*, 79, 1513-1520.

SOMMER H.H. (2000). Market milk and related products. Madison, Ottawa.

SOUGNILAC L. (1995). Propriétés des levures fromagères. Influence des sources de carbone utilisées sur leurs aptitudes à désacidifier les caillés et à former des composés d'arôme. These de Doctorat. Institut National Agronomique de Paris-Grignon, Paris. 202 pages.

SOUSA. M. J. (2003). Cheeses, Surface mold-ripened cheese varieties. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2ème éd. Elsevier. UK. pp. 1122-1129.

SPINLER H.E., GROSJEANA O. et BOUVIERA I. (1992). Effect of culture parameters on the production of styrene (vinyl benzene) and 1-octene-3-ol by *Penicillium caseicolum*. *J. Dairy Res.* 59(4): 533-541.

SPINLER H., GRIPON J. C. (2004). Surface mould-ripened cheeses. T.P. (Eds.), *Cheese: chemistry, physics and microbiology - Volume 2: major cheese groups*. Academic Press, Ireland, pp. 157-174.

SRAIRI M., HAMAMA A. (2006). Qualité globale du lait cru de vache au Maroc, concepts, état des lieux et perspectives d'amélioration. *Transfert de technologie en agriculture*, 2006, 137. pp : 1-4.

STAPELFELDT H., NIELSON B.R., SKIBSTED L.H. (1997). Effect of heat treatment, water activity and storage temperature on the oxidative stability of whole milk powder, *International Dairy Journal*, 7, 331-339.

ST-GELAIS. D., TIRARD-COLLET. P. (2002). Science et technologie du lait - Transformation du lait. Presses internationales Polytechnique, Montréal, Canada.

STORRY J.E., GRANDISON A.S., MILLARD D., OWEN A.J. and FORD G.D. (1983). Chemical composition and coagulating properties of renneted milks from different breeds and species of ruminants. *Journal of Dairy Research*, 50, 215-229.

SUTHERLAND B.J. (2002). Salting of cheese. Dans: Fuquay, J.W. (Ed.-en-chef), *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press, San Diego, USA. 293-300.

SWAISGOOD H. (1982). Chemistry of milk protein; in “Developments in Dairy Chemistry”. Applied Science Publishers, London.

T

TAGARI H., ROY J.H.B. (1969). The effect of heat treatment on the nutritive value of milk for the young calf. The effect of the pre-heating treatment of spray-dried skim milk on the pH and the contents of total, protein and non-protein nitrogen of the pyloric outflow. *British Journal of Nutrition*, 23 (4), 763-782.

TETRA PAK PROCESSING SYSTEM (1995). Dairy Processing Handbook, Suede.

THOMAS T.D and MILLS O.E. (1981). Proteolytic enzymes of dairy starter cultures. *Microbiological Review*, 46, 425.

TIRELI A. (1998). Improved method for the determination of furosine in food by capillary electrophoresis. *Journal of food Protection*. 61 (10): 1400-1404.

TROTTER PJ (2001). The genetics of fatty acid metabolism in *Saccharomyces cerevisiae*. *Annu Rev Nutr*, 21: 97-119.

U

UPADHYAY V.K., MCSWEENEY P.L.H., MAGBOUL A.A.A., FOX P.F. (2004). Cheese chemistry, physics and microbiology. Elsevier Academic Press, San Diego.

V

VASSAL L. (1984). L'amertume de fromages à pâte molle de type Camembert : rôle de la présure et de *Penicillium*, moyen de la contrôler. *Lait*, 64, 397-417.

VERDI R I. (1991). Properties of proteases from milk somatic cells and blood leukocytes. *Journal Dairy Science* , 1.4,2077-2081.

VERTES C., HODEN A., GALLARD Y. (1989). Effet du niveau d'alimentation sur la composition chimique et la qualité fromagère du lait de vache Holstein et Normandes. *INRA Prod. Anim.* 2, 89-96.

VIERLING E. (2008). Aliments et boissons : filières et produits. 3^{ème} éd. Doin éditeurs, Paris.

VIGNOLA C.L. (2002). Science technologique du lait : transformation du lait. Presses Internationales Polytechnique, Montréal.

VISSER S., SLANGEN K.J. (1977). The specificity of chymosine (rennin) in its action on bovine k-casein. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 31, 16.

W

WALSTRA P., GEURTS T. J., NOOMEN A., JELLEMA A., VAN BOEKEL. M. A. (1999). Principles of Milk Properties and Processes. *Dairy Technology* 35-60.

WHITNEY R.M., BRUNNER J.R., EBNER K.E., FARELL JR. H.M., JOSEPHON R.V., MORR C.V. & SWAISGOOD H. (1976). Nomenclature of the proteins of cow's milk: fourth revision. *Journal of dairy science*, 59, 795-815

WHITNEY R.M. (1988). Proteins of milk. In *Fundamentals of Dairy Chemistry*. Wong, New York.

Y

YENNEK N. (2010). Effets des facteurs d'élevage sur la production et la qualité du lait de vache en régions montagneuses. Mémoire de magister en agronomie. Université des Sciences Agronomiques Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.

YVON. (2001). Cheese ripening. General mechanisms and specific cheese varieties. Bulletin of the international Dairy Federation. Federation. 369:7.12.

Annexes

Annexe 01 :

➤ Détermination de la densité :

Mode opératoire :

- remplir l'éprouvette de manière à ce que le lait déborde légèrement pour entraîner la trace de la mousse ;
- plonger le lactodensimètre jusqu'à sa position la plus stable ;
- la densité du lait s'obtient par lecture directe sur le lactodensimètre.

Annexe 02 :

➤ Détermination du pH :

Mode opératoire :

Le pH est déterminé par l'immersion de l'électrode d'un pH-mètre dans l'échantillon après étalonnage (avec des solutions étalons à pH= 7 et 4), le résultat est donné par lecture directe sur le pH-mètre.

Annexe 03 :

➤ Détermination de l'acidité du lait :

Mode opératoire :

- * **Prise d'essai :** 10ml de l'échantillon sont versés dans un bêcher de 100ml à l'aide d'une pipette.
- ajouter à la solution 3 gouttes de la solution de phénolphtaléine à 1% ;
- titrer par la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH N/9) jusqu'au virage au rose de la solution qui doit persister pendant quelques secondes ;
- l'acidité est exprimée en degré Dornic (°D) où $1^{\circ}\text{D} = 0,1\text{g d'acide lactique/l de lait}$, et donnée par lecture directe du volume (ml) de soude versée.

Annexe 04 :

➤ Détermination de la matière grasse par la méthode acido-butyrométrique :

✓ Cas du lait :

*** Mode opératoire :**

- introduire dans le butyromètre de GERBER :
 - 10ml d'acide sulfurique (90%) ;
 - 11ml de l'échantillon ;
 - 1ml d'alcool iso-amylque ;

- fermer le butyromètre à l'aide d'un bouchon ;
- mélanger jusqu'à la dissolution totale du mélange puis centrifuger pendant 5 minutes à 1200 tours / min. le résultat est exprimé en g / l et la lecture se fait directement sur le butyromètre.

➤ **Par la méthode de HEISS :**

✓ **Cas du fromage :**

***Mode opératoire :**

*** Prise d'essai :** 3g de fromage sont broyés dans le godet qu'on introduit dans le butyromètre de VAN GULIK.

- introduire par l'extrémité du butyromètre de l'acide sulfurique (62%) jusqu'à ce que le niveau de l'acide dépasse le godet de 2 mm ;
- placer le butyromètre dans le bain-marie à 85°C jusqu'à la dissolution totale du fromage ;
- retirer le butyromètre, agiter puis introduire 1ml d'alcool iso-amylque ;
- ajouter de l'acide sulfurique jusqu'à l'avant dernière graduation du butyromètre ;
- faire des retournements puis des agitations (2 fois) ;
- placer le butyromètre dans la centrifugeuse à 1200 tours / min pendant 5 minutes ;
- la teneur en matière grasse exprimée en g/100g de fromage est donnée par lecture directe sur le butyromètre.

Annexe 05 : Détermination de l'extrait sec total (EST) et l'extrait sec dégraissé (ESD) :

*** Mode opératoire :**

-a l'intérieur d'un dessiccateur infrarouge est placé une capsule préalablement séchée et tarée, dans la quelle on introduit 3g d'échantillon.

Après quelques minutes, les résultats de l'extrait secs et l'humidité (en%) s'affichent sur l'écran du dessiccateur. L'EST et l'ESD sont donnés comme suite :

$$\text{EST (g)} = (100 - \text{taux d'humidité}) \times 10$$

$$\text{ESD (g)} = \text{EST (g)} - \text{MG (g)}$$

Annexe 06 : Détermination de la teneur en chlorures par la méthode de BERTRAND (1988) :

✓ **Cas du lait :**

***Mode opératoire :**

- prélever 20 ml de lait ;

- ajouter 2ml d'hexacyanoferrate II de potassium à 15% ;
- ajouter 2ml d'acétate de zinc à 30%, mélanger ;
- remplir d'eau distillée jusqu'au trait de jauge de la fiole, puis ajouter 2ml pour tenir compte du précipité ;
- filtrer et prendre 100 ml du filtrat ;
- ajouter 5ml de nitrate d'argent à 0,1 M et 1ml d'acide nitrique, puis 2ml d'alun de fer à 38% ;
- titrer à l'aide de thiocyanate de potassium (à 0,1 M) jusqu'à coloration rouge brun.

***Résultat :**

-la teneur (T) en chlorures du lait exprimée en g de chlorures de sodium par litre de lait est égale à :

$$T = 0,00585 (5 - V_1) \times 200/100 \times 100/ V_0$$

-la teneur en chlorures du lait exprimée en % en masse de chlorures de sodium est égale à :

$$T = 0,00585 (5 - V_1) \times 200/100 \times 100 / E$$

E : masse en gramme de prise d'essai.

V_0 : volume en ml de la prise d'essai.

V_1 : volume en ml de la solution de thiocyanate de potassium ou d'ammonium.

✓ **Cas du fromage :**

- peser 2 g de fromage puis introduire dans une fiole ;
- ajouter 25 ml de nitrate d'argent à 0,1 (M), puis 25 ml d'acide nitrique (d= 1,4) ;
- chauffer à ébullition jusqu'à coloration jaune citron ;
- ajouter 10 ml de permanganate de potassium à 7,5% ;
- chauffer jusqu'à l'obtention d'un liquide clair ;
- ajouter 5 ml d'alun de fer à 38 %, puis 100 ml d'eau distillée et titrer à l'aide de thiocyanate d'ammonium jusqu'à coloration rouge brique.

*** Résultat :**

$$\text{NaCl} = 25 \cdot N / P \times 0,585$$

25 : AgNO_3 : nitrate d'argent.

N : volume de thiocyanate d'ammonium à 0,1M.

P : prise d'essai.

Annexe 07 : Détermination du taux protéique par la méthode de BRADFORD (1976) :

➤ Réactif de BRADFORD :

- Bleu de Coomassie G250 100mg
- Ethanol à 95% 50ml
- Acide phosphorique (H₃PO₄) 100ml
- H₂O 1l

➤ Autre réactif utilisé :

- Solution mère de séralbumine (BSA) à 2mg/ml

*Mode opératoire :

- prélever 0,1 ml d'échantillon ;
- ajouter 3ml de réactif de BRADFORD, homogénéiser ;
- laisser 5 min à l'obscurité ;
- lire la DO à 595 nm au spectrophotomètre UV-visible.

Pour le fromage :

- Préparer la solution fromagère en utilisant le citrate de sodium à 2% chauffé à 45°C .

Ensuite suivre le même mode opératoire.

➤ Gamme étalon : on utilise la BSA pour la courbe d'étalonnage DO= (B.S.A).

Concentration (mg/ml)	0	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
Solution mère (ml) B.S.A	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
H ₂ O distillée (ml)	1	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	0

Annexe 08 : Test de dégustation :

Le formulaire qui a été fourni aux différents dégustateurs est présenté ci-dessous :

Fromage		FLM	FLV
Paramètres			
Aspect	Couleur blanche		
	Couleur jaune		
	Couleur blanche jaunâtre		
Texture	Moins molle		
	Ferme		
	Friable		
	Collante		
Goût	Typique		
	Rance		
	Acide		
	Amer		
Odeur	Agréable		
	Satisfaisante		
	Désagréable		

Annexe 09 : Résultats de l'analyse de la variance pour le pH du LV et LM après pasteurisation.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,025	5	0,005				
VAR.FACTEUR 1	0,019	1	0,019	13,426	0,02256		
VAR.RESIDUELLE 1	0,006	4	0,001			0,038	0,58%

Facteur 1 (F1) : type de lait

Annexe 10 : Résultats de l'analyse de la variance pour l'acidité du LV et LM après pasteurisation.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,57	5	0,314				
VAR.FACTEUR 1	1,5	1	1,5	85,714	0,0015		
VAR.RESIDUELLE 1	0,07	4	0,018			0,132	0,76%

Facteur 1 (F1) : type de lait

Annexe 11 : Résultats de comparaison du pH du LV et LM après pasteurisation par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	LV	6,537	A	
2.0	LM	6,423	B	

Annexe 12 : Résultats de comparaison d'acidité du LV et LM après pasteurisation par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	LM	17,95	A	
1.0	LV	16,95	B	

Annexe 13 : Résultats de l'analyse de la variance pour la densité du LV et LM après pasteurisation.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	22,274	5	4,455				
VAR.FACTEUR 1	21,281	1	21,281	85,679	0,0015		
VAR.RESIDUELLE 1	0,994	4	0,248			0,498	4,83E-04

Facteur 1 (F1) : type de lait

Annexe 14 : Résultats de comparaison de la densité du LV et LM après pasteurisation par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	LM	1032,833	A	
1.0	LV	1029,067	B	

Annexe 15 : Résultats de l'analyse de la variance pour l'Humidité du LV et LM après pasteurisation.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	38,792	5	7,758				
VAR.FACTEUR 1	38,76	1	38,76	4896,185	0,00008		
VAR.RESIDUELLE 1	0,032	4	0,008			0,089	0,11%

Facteur 1 (F1) : type de lait

Annexe 16: Résultats de comparaison de l'Humidité du LV et LM après pasteurisation par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	LV	87,083	A	
2.0	LM	82	B	

Annexe 17: Résultats de l'analyse de la variance pour L'EST du LV et LM après pasteurisation.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	756,512	5	151,303				
VAR.FACTEUR 1	756,004	1	756,004	5948,55	0,00007		
VAR.RESIDUELLE 1	0,508	4	0,127			0,356	0,28%

Facteur 1 (F1) : type de lait

Annexe 18: Résultats de comparaison de l'EST du LV et LM après pasteurisation par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	LM	136,383	A	
1.0	LV	113,933	B	

Annexe 19: Résultats de l'analyse de la variance pour L'ESD du LV et LM après pasteurisation.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	476,912	5	95,382				
VAR.FACTEUR 1	476,15	1	476,15	2500,6	0,0001		
VAR.RESIDUELLE 1	0,762	4	0,19			0,436	0,48%

Facteur 1 (F1) : type de lait

Annexe 20: Résultats de comparaison de l'ESD du LV et LM après pasteurisation par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	LM	99,65	A	
1.0	LV	81,833	B	

Annexe 21: Résultats de l'analyse de la variance pour la MG du LV et LM après pasteurisation.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	32,348	5	6,47				
VAR.FACTEUR 1	32,202	1	32,202	878,247	0,00017		
VAR.RESIDUELLE 1	0,147	4	0,037			0,191	0,56%

Facteur 1 (F1) : type de lait

Annexe 22: Résultats de comparaison de la MG du LV et LM après pasteurisation par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
2.0	LM	36,733	A
1.0	LV	32,1	B

Annexe 23: Résultats de l'analyse de la variance pour la teneur en chlorures du LV et LM après pasteurisation.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,105	5	0,021				
VAR.FACTEUR 1	0,104	1	0,104	780,121	0,00018		
VAR.RESIDUELLE 1	0,001	4	0			0,012	0,71%

Facteur 1 (F1) : type de lait

Annexe 24: Résultats de comparaison de la teneur en chlorures du LV et LM après pasteurisation par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
2.0	LM	1,767	A
1.0	LV	1,503	B

Annexe 25: Résultats de l'analyse de la variance en protéines du LV et LM après pasteurisation.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	25,927	5	5,185			
VAR.FACTEUR 1	25,917	1	25,917	10096,88	0,00006	
VAR.RESIDUELLE 1	0,01	4	0,003			0,051

Facteur 1 (F1) : type de lait

Annexe 26: Résultats de comparaison de la teneur en protéines du LV et LM après pasteurisation par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	LM	33,897	A	
1.0	LV	29,74		B

Annexe 27: Résultats d'analyse de la variance du pH des parties interne et externe du FLV au cours de l'affinage.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,703	29	0,059				
VAR.FACTEUR 1	0,687	1	0,687	958,599	0		
VAR.FACTEUR 2	0,729	4	0,182	254,122	0		
VAR.INTER F1*2	0,273	4	0,068	95,074	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,014	20	0,001			0,027	0,55%

Facteur 1(F1) : partie du fromage

Facteur 2 (F2) : durée d'affinage

Inter : interaction

Annexe 28: Résultats d'analyse de la variance du pH des parties interne et externe du FLM au cours de l'affinage.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,542	29	0,053				
VAR.FACTEUR 1	0,566	1	0,566	395,46	0		
VAR.FACTEUR 2	0,602	4	0,151	105,25	0		
VAR.INTER F1*2	0,345	4	0,086	60,278	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,029	20	0,001			0,038	0,79%

Facteur 1(F1) : partie du fromage

Facteur 2 (F2) : durée d'affinage

Inter : interaction

Annexe 29 : Résultats de comparaison des valeurs du pH des parties interne et externe du FLV au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
1.0 5.0	croûte J=12	5,373	A				
1.0 4.0	croûte J=9	5,193		B			
1.0 3.0	croûte J=6	4,95			C		
2.0 5.0	masse J=12	4,903				D	
1.0 1.0	croûte J=0	4,887				D	
2.0 1.0	masse J=0	4,887				D	
1.0 2.0	croûte J=3	4,773					E
2.0 4.0	masse J=9	4,697					F
2.0 2.0	masse J=3	4,607					G
2.0 3.0	masse J=6	4,57					G

Annexe 30 : Résultats de comparaison des valeurs du pH des parties interne et externe du FLM au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0 5.0	croute J=12	5,217	A			
1.0 4.0	croute J=9	5,193	A			
1.0 3.0	croute J=6	4,813		B		
2.0 1.0	masse J=0	4,803		B		
1.0 1.0	croute J=0	4,803		B		
2.0 5.0	masse J=12	4,747		B		
2.0 4.0	masse J=9	4,643			C	
1.0 2.0	croute J=3	4,643			C	
2.0 2.0	masse J=3	4,57			C	D
2.0 3.0	masse J=6	4,533				D

Annexe 31: Résultats d'analyse de la variance de l'humidité des parties interne et externe du FLV et FLM au cours de l'affinage.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	406,841	59	6,896				
VAR.FACTEUR 1	115,62	1	115,62	19132,17	0		
VAR.FACTEUR 2	3,665	1	3,665	606,413	0		
VAR.FACTEUR 3	283,724	4	70,931	11737,23	0		
VAR.INTER F1*2	0,009	1	0,009	1,439	0,23563		
VAR.INTER F1*3	1,11	4	0,277	45,905	0		
VAR.INTER F2*3	2,259	4	0,565	93,452	0		
VAR.INTER F1*2*3	0,213	4	0,053	8,831	0,00004		
VAR.RESIDUELLE 1	0,242	40	0,006			0,078	0,14%

Annexe 32 : Résultats de comparaison des valeurs de l'humidité des parties interne et externe du FLV et FLM au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

F1	F2	F3	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES															
1.0	1.0	1.0	FLV Croute J=0	59,897	A															
1.0	2.0	1.0	FLV Masse J=0	59,897	A															
1.0	2.0	2.0	FLV Masse J=3	59,693		B														
1.0	1.0	2.0	FLV Croute J=3	58,297			C													
1.0	2.0	3.0	FLV Masse J=6	58,19			C													
1.0	1.0	3.0	FLV Croute J=6	57,79				D												
2.0	1.0	1.0	FLM Croute J=0	57,203					E											
2.0	2.0	1.0	FLM Masse J=0	57,19					E											
2.0	2.0	2.0	FLM Masse J=3	56,85						F										
1.0	2.0	4.0	FLV Masse J=9	56,22							G									
1.0	1.0	4.0	FLV Croute J=9	55,957								H								
2.0	1.0	2.0	FLM Croute J=3	55,947								H								
2.0	2.0	3.0	FLM Masse J=6	55,117									I							
2.0	1.0	3.0	FLM Croute J=6	54,523										J						
1.0	2.0	5.0	FLV Masse J=12	53,99											k					
1.0	1.0	5.0	FLV Croute J=12	53,46												L				
2.0	2.0	4.0	FLM Masse J=9	53,203													M			
2.0	1.0	4.0	FLM Croute J=9	52,98														N		
2.0	2.0	5.0	FLM Masse J=12	51,63															O	
2.0	1.0	5.0	FLM Croute J=12	50,983																P

Annexe 33: Résultats d'analyse de la variance de l'EST des parties interne et externe du FLV et FLM au cours de l'affinage.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	429,165	59	7,274				
VAR.FACTEUR 1	126,847	1	126,847	20057,97	0		
VAR.FACTEUR 2	5,269	1	5,269	833,196	0		
VAR.FACTEUR 3	290,124	4	72,531	11469,15	0		
VAR.INTER F1*2	0,235	1	0,235	37,191	0		
VAR.INTER F1*3	3,092	4	0,773	122,236	0		
VAR.INTER F2*3	3,076	4	0,769	121,601	0		
VAR.INTER F1*2*3	0,269	4	0,067	10,623	0,00001		
VAR.RESIDUELLE I	0,253	40	0,006			0,08	0,18%

Annexe 38 : Résultats de comparaison des valeurs de l'ESD des parties interne et externe du FLM au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES							
1.0 4.0	croute J=9	24,713	A							
2.0 5.0	masse J=12	24,543		B						
1.0 5.0	croute J=12	24,43			C					
2.0 4.0	masse J=9	23,897				D				
1.0 2.0	croute J=3	23,85				D				
1.0 3.0	croute J=6	23,68					E			
2.0 1.0	masse J=0	23,33						F		
1.0 1.0	croute J=0	23,33						F		
2.0 3.0	masse J=6	22,787							G	
2.0 2.0	masse J=3	22,15								H

Annexe 39 : Résultats de comparaison des valeurs de la MG des parties interne et externe du FLV au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	40,947	29	1,412				
VAR.FACTEUR 1	0,186	1	0,186	4,923	0,03645		
VAR.FACTEUR 2	39,74	4	9,935	263,485	0		
VAR.INTER F1*2	0,268	4	0,067	1,777	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,754	20	0,038			0,194	0,88%

Annexe 40 : Résultats de comparaison des valeurs de la MG des parties interne et externe du FLM au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	69,58	29	2,399				
VAR.FACTEUR 1	0,091	1	0,091	34,899	0,00001		
VAR.FACTEUR 2	68,747	4	17,187	6611,029	0		
VAR.INTER F1*2	0,69	4	0,173	66,362	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,052	20	0,003			0,051	0,23%

Annexe 41 : Résultats de comparaison des valeurs de la MG des parties interne et externe du FLM au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES									
1.0 5.0	croute J=12	24,103	A									
2.0 5.0	masse J=12	24,003		B								
2.0 4.0	masse J=9	22,903			C							
1.0 4.0	croute J=9	22,307				D						
2.0 3.0	masse J=6	22,103					E					
1.0 3.0	croute J=6	21,8						F				
1.0 2.0	croute J=3	21,257							G			
2.0 2.0	masse J=3	21,007								H		
1.0 1.0	croute J=0	19,503									I	
2.0 1.0	masse J=0	19,503										I

Annexe 42 : Résultats de comparaison des valeurs de la MG des parties interne et externe du FLV au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	11,665	29	0,402				
VAR.FACTEUR 1	0,006	1	0,006	3,367	0,07828		
VAR.FACTEUR 2	11,595	4	2,899	1659,189	0		
VAR.INTER F1*2	0,03	4	0,007	4,227	0,0001		
VAR.RESIDUELLE 1	0,035	20	0,002			0,042	1,71%

Annexe 43 : Résultats de comparaison des valeurs de la teneur en chlorures des parties interne et externe du FLM au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	12,161	29	0,419				
VAR.FACTEUR 1	0,158	1	0,158	127,722	0		
VAR.FACTEUR 2	11,925	4	2,981	2403,398	0		
VAR.INTER F1*2	0,053	4	0,013	10,687	0,0001		
VAR.RESIDUELLE 1	0,025	20	0,001			0,035	1,30%

Annexe 44 : Résultats de comparaison des valeurs des chlorures des parties interne et externe du FLV au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES								
2.0 1.0	masse J=0	3,44	A								
1.0 1.0	croute J=0	3,44	A								
1.0 2.0	croute J=3	2,727		B							
2.0 2.0	masse J=3	2,643			C						
2.0 3.0	masse J=6	2,55				D					
1.0 3.0	croute J=6	2,47					E				
1.0 4.0	croute J=9	1,957						F			
2.0 4.0	masse J=9	1,91						F			
1.0 5.0	croute J=12	1,703							G		
2.0 5.0	masse J=12	1,613									H

Annexe 45: Résultats de comparaison des valeurs des chlorures des parties interne et externe du FLM au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES								
2.0 1.0	masse J=0	3,503	A								
1.0 1.0	croute J=0	3,503	A								
1.0 2.0	croute J=3	3,33		B							
2.0 2.0	masse J=3	3,167			C						
1.0 3.0	croute J=6	2,903				D					
2.0 3.0	masse J=6	2,643					E				
1.0 4.0	croute J=9	2,22						F			
2.0 4.0	masse J=9	2,05							G		
1.0 5.0	croute J=12	1,92								H	
2.0 5.0	masse J=12	1,787									I

Annexe 46 : Résultats de comparaison des valeurs en protéines des parties interne et externe du FLV au cours de l'affinage par le test de NEWMAN-KEULS.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	30,632	29	1,056				
VAR.FACTEUR 1	0,292	1	0,292	193,9	0		
VAR.FACTEUR 2	30,237	4	7,559	5018,572	0		
VAR.INTER F1*2	0,073	4	0,018	12,13	0,00004		
VAR.RESIDUELLE I	0,03	20	0,002			0,039	0,19%

