

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ALGERIENNE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE – MICROBIOLOGIE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie

Option : Alimentation Humaine et Qualité des Produits

Thème

**Standardisation du lait de vache : impact de
l'enrichissement sur le rendement fromager et les
pertes en matières dans le lactosérum d'un
fromage à pate molle type camembert fabriqué à
la laiterie STLD de Tizi-Ouzou**

Présenté par : M^{elle} OUAHIOUNE DJOUHER et M^{me} LOULI FAZIA

Devant le jury composé de :

Présidente : M ^{me} SEBBANE-ALMI D.	Maître assistante classe A	à l'UMMTO
Promotrice : M ^{me} SENANI-OULARBI N.	Maître assistante classe A	à l'UMMTO
Examinatrice : M ^{me} MOHAMDI D.	Maître assistante classe A	à l'UMMTO

Promotion 2015-2016

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, on tient à exprimer notre reconnaissance et nos sincères remerciements pour tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce manuscrit.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice Mme SENANT-OULARBI de nous avoir donné l'honneur de nous encadrer.

Nous remercions les plus respectueux sont adressé à Mr SEBBANE pour son aide précieuse durant tout au long de notre travail.

On tient à remercier Melle KROUR pour nous avoir aidée dans la réalisation de ce mémoire et de nous avoir permis de réaliser cette étude expérimentale au sein de l'unité STLD de Tizi-Ouzou.

On tient à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance à Mme SEBBANE-ALMI pour avoir accepté de présider le jury.

On exprime nos sincères remerciements à Mme MOHAMDI pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions également tout le personnel de la fromagerie STLD de Tizi-Ouzou.

Dédicaces

A ma très chère maman à qui je dois ma réussite, tout mon respect et mon affection témoigne de son soutien.

A mon très cher époux qui ma toujours épauler dans les hauts et les bas.

A mes très chers enfants SANAA, et RAYANE qui m'ont toujours apporté le sourire.

A ma très chère amie et sœur SOUAD qui a toujours était présente pour moi et qui a toujours témoigner de sa fidèle amitié.

Et à ma camarade DJOUHEUR qui a enduré avec moi les difficultés et les agréables moments de ce travail.

FAZIA

A mes très chers parents à qui je dois mon respect et tout mon amour.

Je tiens à remercier infiniment ma très chère maman de m'avoir offert toute son affection, sa compréhension et son amour et de m'avoir encouragé dans les moments les plus difficiles.

A ma petite sœur et à mon grand frère et sa femme pour leur présence et leurs soutiens quotidien.

A tout mes collègues de travail ainsi que mes amis pour leurs encouragements.

A mes très chères meilleures amies SEMHANE et SARAH pour leurs fidèles amitiés

A ma camarade FAZIA pour son soutien et pour avoir partager ce travail avec moi.

DJOUHEUR

Le sommaire

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale 01

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Le lait02

1.1.1. Définition02

1.1.2 Composition chimique02

1.1.3. Les caractéristiques physico-chimiques du lait05

I.2 La poudre du lait07

1.2.1. Définition de la poudre de lait.....07

1.2.2. Différents types de poudre de lait08

1.2.3. Propriétés chimiques et physiques du lait en poudre08

1.2.4. Procédés de fabrication de poudre de lait09

1.2.4.1. L'évaporation09

1.2.4.2. L'évaporation Séchage09

1.2.5. Utilisations11

I.3 Le fromage.....12

1.3.1. Définition et composition.....12

1.3.2. Les différents types du fromage12

1.3.3. Le fromage à pâte mole type camembert12

1.3.3.1. Définition du camembert13

1.3.3.2. Caractéristiques principales de Camembert15

1.3.3.3. Composition physico-chimique de Camembert15

1.3.3.4. Les étapes clés de fabrication du camembert17

1.3.4. Les mécanismes moléculaires impliqués dans la coagulation19

1.3.4.1. Les caséines19

1.3.4.2. La coagulation du lait.....22

1.3.4.3. Les enzymes coagulantes (la présure)22

1.3.4.4. Facteurs influençant l'activité coagulante de l'enzyme	23
1.3.5. Le rendement fromager	26
1.3.5.1. Définition	26
1.3.5.2. Importance du contrôle du rendement fromager	27
1.3.5.3. Les principales pertes enregistrées de rendement	27
1.3.5.4. Les paramètres influençant sur le rendement fromager	28
1.3.5.5. Les techniques employées pour améliorer le rendement fromager	29

PARTIE PRATIQUE

2.1. Présentation de l'unité	31
2.2. Echantillons	32
2.3. La fabrication du camembert suivant le processus appliqué à STLD	32
2.4. Matériel	37
2.5. Méthodes d'analyses physico-chimiques	37
2.5.1. Détermination de la densité des laits (avant et après enrichissement) et les lactosérums obtenus	37
2.5.2. Détermination de la teneur en extrait sec total (EST) des Laits, Lactosérums et fromages	38
2.5.3. Détermination de l'acidité titrable dans les laits et les lactosérums	38
2.5.4. Détermination de la teneur en matière grasse	38
2.5.5. Détermination de la teneur en protéines et en lactose dans les laits avant et après enrichissement	39
2.5.6. Détermination des quantités à ajouter des poudres	40
2.5.6.1. Dosage des protéines dans les poudres de lait utilisées	40
2.5.6.2. La teneur en protéines des poudres utilisées	40
2.5.6.3. Détermination des teneurs à ajouter des poudres	40
2.5.7. Bilan des matières, rendement et taux de récupération	41

RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Les résultats d'analyses physico-chimiques.....	44
3.1.1. Les résultats d'analyses physico-chimiques des laits de mélanges avant et après enrichissement	44
3.1.2. Les résultats physicochimiques des lactosérums obtenus	46
3.1.3. Les résultats physicochimiques des fromages obtenus	47
3.2. Résultats des rendements fromagers et taux de récupération	49

Conclusion	52
-------------------------	-----------

Références bibliographiques

Annexes

Listes des figures

Figure 01 : Schéma du séchage par atomisation.	11
Figure 02 : Diversité de fabrication des spécialités fromagères.	14
Figure 03 : Modèle de micelle de caséine avec sous-unités.....	20
Figure 04 : Démonstration de la phase de découpage et de brassage.	33
Figure 05: Démonstration de la phase de moulage.	34
Figure 06 : Les différentes étapes de fabrication du camembert.....	36
Figure 07 : Histogramme du poids total des fromages obtenu à partir des laits enrichis et non enrichis.....	48
Figure 08 : Histogramme du rendement global des fromages obtenus à partir des laits enrichis et non enrichis.....	50

Liste des tableaux

Tableau I : Composition chimique moyenne du lait de vache.....	02
Tableau II : La teneur des différents minéraux dans le Lait.....	04
Tableau III : Composition des laits en poudres.....	08
Tableau IV: Composition moyenne de fromage à pâte molle de type Camembert.....	16
Tableau V : Caractéristiques physico-chimiques des caséines de fromage à pâte molle de type Camembert.	21
Tableau VI: Impacte de la température sur la coagulation du lait par la présure.	25
Le Tableau VII: Les principales pertes enregistrées de rendement.	27
Tableau VIII: Teneur en protéines des poudres utilisées.	40
Tableau IX: Résultats d'analyses physicochimiques des laits utilisés avant et après enrichissement.....	44
Tableau X: Les résultats physicochimiques des lactosérums obtenus avant et après la standardisation.....	46
Tableau XI: Résultats physicochimiques des fromages obtenus.....	48
Tableau XII: Résultats des rendements (totaux, élémentaires) et taux de récupérations avant et après enrichissement.....	49

Liste des abréviations.

[H₃O] : Concentration en ion hydronium.

°D : degré Dornic.

AFNOR : association française de normalisation.

BSA : Albumine Sérique Bovine.

DO : Densité optique.

EST : Extrait sec total.

HR : Humidité relative.

m/m : Masse sur masse

MG : Matière grasse.

TB : Taux butyreux.

TP : Taux protéiques.

Tx : Taux de récupération.

R : Rendement.

R_{EST} : Rendement élémentaire pour l'extrait sec total.

R_{MG} : Rendement élémentaire pour la matière grasse.

R_f : Rendement fromager

Résumé

Cette étude a été menée dans le but de démontrer l'impact de l'enrichissement des laits de mélanges en protéines et en matières grasses sur le rendement du camembert fabriqué au niveau de la laiterie-fromagerie (STLD) «Société de Transformation du Lait et Dérivés»: Le Fermier de Tizi-Ouzou.

L'enrichissement des laits de mélanges a été effectué par l'ajout de deux types de poudres de lait au même temps (la 0 % et la 26 % de matières grasses). Les quantités introduites ont été calculées sur EXCEL afin d'avoir un taux final de 34 g/l pour la matière grasse et de 32 g/l pour les protéines.

A cet effet des mesures des paramètres physicochimiques (l'extrait sec total (EST), protéines, matières grasses, acidité, lactose, densité) ont été réalisées sur des laits de mélanges avant et après enrichissement. Les analyses physicochimiques sont par la suite effectuées sur les lactosérums libérés après l'étape de la coagulation de ces laits enrichis et non enrichis ainsi que les fromages obtenus. Enfin on procède au calcul de rendement total, élémentaire et le taux de récupération.

Cette étude nous a permis de montrer l'importance de l'enrichissement des laits de mélanges en protéines et en matières grasse sur le rendement final du camembert où on a enregistré l'augmentation de rendement global (une moyenne de 3,2 %) et des rendements élémentaires (de 2,1 % pour EST et 2,5 % pour MG). Cela permet de palier aux fluctuations physicochimiques des laits réceptionnés en fromagerie. Une bonne maîtrise de pratiques professionnelles employées au sein de l'industrie conditionne aussi le rendement fromager.

Mots clés : Rendement, enrichissement, matières grasse, protéines, lait, camembert.

Abstract

This study was conducted to demonstrate the impact of fortification of milk mixtures of protein and fat on performance Camembert produced at the dairy-cheese (STLD) "Company of Milk Processing and derivatives "Farmer" of Tizi-Ouzou.

This enrichment is effected by the addition of two types of milk powders (the 0 % and 26 % of fat). The amounts introduced are calculated on EXEL order to have a rate of final fat content at 34 g / l and proteins at 32g / l.

For this purpose measurements of physicochemical parameters (IS, proteins, fat, acidity, lactose, density) were performed on milks before and after enrichment, whey released after the coagulation step and the cheeses obtained before and after enrichment which was calculated as the total return, elementary and recovery.

This study has allowed us to show the importance of enriching milks in protein and fat contents on the final yield of camembert, which overcomes the physicochemical fluctuations approved milk in dairy-cheese. A good command of professional practices within the industry also determines the cheese yield.

Key words : Return, enrichment, fat, proteins, milk, camembert.

Introduction

Introduction

Depuis longtemps le lait est un aliment de grande valeur nutritionnelle (complet), mais périssable, c'est pour quoi l'homme est arrivé à découvrir que la transformation du lait en fromage est un moyen simple de le conserver.

L'Algérie est le premier pays consommateur laitier du Maghreb et le second pays au monde importateur de lait et de ses dérivés avec une consommation annuelle de 100L de lait par habitant (MEZIANE, 2009). Selon les estimations de l'office national interprofessionnel du lait (ONIL) (2007), l'état consacre annuellement plus de 46 milliards de dinars au soutien de la filière lait pour encourager la production et réduire la facture d'importation qui avait atteint en 2014, 1,13milliard de dollars.

Le fromage est l'un des plus ancien produit laitier, il occupe une place importante dans la ration alimentaire, il est très apprécié par le consommateur vu sa richesse en protéines animales. Selon MAHAUT *et al*(2000) il existe environ 2000 variétés de fromages dans le monde, dérivant d'une vingtaine de types élaborés selon une technique de base commune. Parmi ces variétés on trouve le camembert qui est un fromage à pate molle à base de lait cru qui l'un des fromages le plus consommé et apprécié.

La qualité finale du camembert est intimement liée à toutes les matières premières mises en œuvre ; elle est largement influencée par les techniques et les conditions de son élaboration. La variabilité de ces dernières constitue aujourd'hui une occupation importante pour les industries fromagères.

Une modification de certains paramètres physicochimiques du lait peut être à l'origine d'importantes pertes en matières ce qui influence notablement sur le rendement fromager et de ce fait d'importantes pertes financières sont répertoriées mensuellement pour l'industrie. En effet une modification notable du rendement peut être due à plusieurs facteurs notamment la composition en protéines et en matières grasses de la matière première et la qualité microbiologique du lait mais aussi les paramètres technologiques employés au sein de l'industrie (MAUBOIS *et al.*, 1970).

Par conséquent notre étude consiste à trouver une solution pour corriger ou améliorer la composition en protéines et en matières grasses du lait de mélange en utilisant deux catégories de lait en poudre (la 0 % et la 26 % de matières grasses) et de comparer ainsi le rendement avant et après enrichissement.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Le lait

1.1.1. Définition

Le lait a été défini lors du premier Congrès international pour la répression des fraudes à Genève, en 1908, comme le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et être exempt de colostrum (COURTET, 2010).

Le décret du 25 mars 1924 stipule que la définition «lait», sans indication de l'espèce animale de provenance, est généralement réservée au lait de vache. Le lait peut être défini comme la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite obtenue à partir d'une ou de plusieurs traites, sans rien y ajouter ou en soustraire, destiné à la consommation comme lait liquide ou à un traitement ultérieur.

Le lait est un liquide opaque blanc mat, plus ou moins jaunâtre selon la teneur de la matière grasse en β carotènes. Il a une odeur peu marquée, mais caractéristique. Son goût, variable selon les espèces animales (CAZET, 2007).

1.1.2 Composition chimique

Le lait est composé de quatre éléments majeurs : Protéines, Lipides, Glucides et Sels minéraux et plusieurs éléments mineurs : Vitamines, Oligo-éléments, Gaz dissous, Lécithine, Enzymes, Nucléotides (HARLESS, 2009).

La composition moyenne des principaux constituants du Lait de Vache (g/L) est donnée dans le tableau suivant :

Tableau I : Composition chimique moyenne du lait de vache (ALAIS *et al.*, 2008).

Constituant	Teneur (g/L)
Eau	878
Glucides (Lactose)	48
Matières grasses	39
Matières azotées	32
- Caséines	26
- Protéines sériques	5
- Azote non protéique	1
Minéraux	7
- Calcium	1,2
- Phosphore	0,9
- Potassium	1,4
Oligo-éléments	Traces

Ces différents nutriments se répartissent en plusieurs phases :

- Une émulsion de globules gras composée des triglycérides, les matières insaponifiables, les vitamines liposolubles (MADJI, 2009);
- Une suspension colloïdale de matières protéiques;
- Le lactosérum, une solution neutre qui contient principalement du lactose, les vitamines hydrosolubles et les sels minéraux ;
- La phase gazeuse qui renferme du gaz carbonique et de l'oxygène dissous (BOUTONNIER, 2008).

1.1.2.1. L'eau

L'eau est le constituant le plus important du lait. Elle représente environ le 9/10 du produit. 95% de l'eau présente sous forme libre qui se congèle à 0 °C. Les 5% qui restent se trouvent sous forme liée séquestrée à l'intérieur des micelles protéiques et ne se congèle pas même à -18°C (MORISSET, 2007).

1.1.2.2. Les glucides

Ils sont essentiellement représentés par du lactose. Le lactose est le constituant le plus principale de la matière sèche du lait. C'est un disaccharide, dont la molécule contient les monosaccharides glucose et galactose, sa teneur est élevée puisqu'elle est d'environ 50 grammes /litre (COLIN, 1990). Le goût sucré n'apparaît pas dans le lait car le pouvoir sucrant du lactose est très faible. Le lactose est le constituant le plus attaqué par les micro-organismes, il est la principale source d'alimentation des bactéries, ces dernières contiennent une enzyme appelée lactase, qui attaque le lactose en décomposant ses molécules en glucose et galactose, ce qui provoque un abaissement du pH du lait entraînant sa coagulation; celle-ci est indispensable pour la fabrication des fromages et des laits fermentés (DESOBRY-BANON, 1992).

1.1.2.3. La matière grasse

La matière grasse du lait renferme majoritairement des triglycérides (98 à 99% de la matière grasse), synthétisés par la mamelle à partir du glycérol et des acides gras. Ils se présentent sous forme de globules gras en émulsion dans le lait. Ils peuvent être dégradés, il y a alors lipolyse qui est à l'origine du goût rance (MADJI, 2009). Les 1 à 2% restant sont constitués de molécules lipophiles insaponifiables (stérols et caroténoïdes) et de lipides complexes (les phospholipides) (BOUTONNIER, 2008). La matière grasse participe essentiellement à la consistance des pâtes et à leur flaveur (MORISSET, 2007).

1.1.2.4. La matière azotée

Elle conditionne fortement le rendement fromager. Elle comprend :

- a. Les protéines vraies constituées de :
 - Caséines ;
 - Protéines solubles (lactoglobulines et lactalbumines).
- b. L'azote non protéique éliminé dans le lactosérum (urée, créatine) (ECK *et al.*, 2006).

La matière azotée coagulable est constituée de caséines. Ces phosphoprotéines ont tendance à former de petites pelotes, les micelles. Ces micelles chargées négativement sont dans le lait en solution colloïdale plus ou moins stable (GOY *et al.*, 2005).

Lorsque les micelles sont déstabilisées (acidification à pH 4,6 et 20°C ou action de la présure), le lait caille (MARCHIN, 2007).

Le lait doit contenir une concentration maximale en caséines, car plus le lait est riche en protéines coagulables, meilleurs est le rendement fromager et la capacité du lait à donner un gel ferme et facile à travailler (CAZET, 2007).

1.1.2.5. Les éléments minéraux

Dans le lait les éléments minéraux ne se retrouvent pas à l'état dissous. Une partie se trouve à l'état colloïdal, une autre est dissoute dans la phase aqueuse et une dernière se retrouve sur des protéines diverses et à la périphérie des globules gras. Le phosphore et le calcium sont les deux éléments qui forment l'essentiel de la partie minérale-colloïdale (JAQUE, 1998). Les 2/3 du calcium et plus de la moitié du phosphore font principalement partie du complexe phospho-caséinate de calcium (KARAM, 2013). Les différentes teneurs en minéraux dans le lait sont représentées dans le tableau II.

Tableau II : La teneur des différents minéraux dans le Lait (DESOBRY-BANON, 1992).

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

1.1.2.6. Les vitamines

Les vitamines du lait sont prélevées directement du sang. On trouve en abondance les vitamines A, D, B2, mais on retrouve à un faible taux de la vitamine C. On classe les vitamines en deux grandes catégories :

Les vitamines hydrosolubles: la richesse de lait en vitamine B, est régulièrement élevée quelque soit la saison et le régime alimentaire (DEBRY, 2001).

- Les vitamines liposolubles: A, D, E, K, qui leurs taux dépendent de nombreux facteurs notamment l'alimentation. Le lait renferme un taux élevé de vitamine A lorsque le rationnement des animaux est riche en herbes fraîches (fourrage vert) (VOISIN, 2010).

1.1.2.7. Les enzymes

Environ 60 enzymes principales ont été répertoriées dans le lait dont 20 sont des constituants natifs. Une grande partie se retrouve dans la membrane des globules gras mais le lait contient de nombreuses cellules (leucocytes, bactéries) qui élaborent des enzymes. Ces enzymes peuvent jouer un rôle très important en fonction de leurs propriétés (OUADGHIRI, 2009) :

- Lyses des constituants originels du lait ayant des conséquences importantes sur le plan technologique et sur les qualités organoleptiques du lait (lipase, protéase) ;
- Rôle antibactérien, elles apportent une protection au lait (lactoperoxydase et lysozyme) (KARAM, 2013) ;
- Indicateurs de qualité hygiénique, de traitement thermique (phosphatase alcaline, peroxydase, acétyl estérase, sont des enzymes thermosensibles) et d'espèces (test de la xanthine-oxydase pour détecter le lait de vache dans le lait de chèvre) (POUGHEON, 2001).

Il faut noter que ces composants du lait sont sujets à de multiples variations, qui tiennent à des facteurs intrinsèques (espèce, race, individu, état physiologique) et extrinsèques (mode d'alimentation, technique de traite...) (COLIN, 1990).

1.1.3. Les caractéristiques physico-chimiques du lait

Les principales propriétés physico-chimiques utilisées dans l'industrie laitière sont : la masse volumique, la densité, le point de congélation, le point d'ébullition et l'acidité (AMIOT *et al*, 2002).

1.1.3.1. La densité et la masse volumique

Cette valeur correspond au rapport de la masse d'un volume de lait à une température donnée sur celle du même volume d'eau à la même température (VIERLING, 2008). La densité du lait de vache est généralement comprise entre 1,028 et 1,036. Elle varie dans le même sens que la richesse en matière sèche du lait, c'est à dire qu'un lait plus riche sera a priori plus lourd, même s'il faut considérer le fait que les lipides, dont la présence peut augmenter la proportion de matière sèche, sont eux moins denses que l'eau donc diminue la densité globale du lait (VIGNOLA, 2002).

Un lait écrémé pourra donc avoir une densité supérieure aux valeurs usuelles et l'adjonction d'eau fait tendre la densité vers 1. Cependant, un lait écrémé mouillé n'aura pas une densité normale (MARCHIN, 2007).

1.1.3.2. Le point de congélation

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Il peut varier de - 0,530 °C à - 0,575 °C avec une moyenne de - 0,555 °C. Un point de congélation supérieur à - 0,530 °C permet de soupçonner une addition d'eau au lait. Le point de congélation du lait est mesuré à l'aide d'une cryoscopie (MORISSET, 2007).

1.1.3.3. Le point d'ébullition

On définit le point d'ébullition comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée (POUGHEON, 2001).

Ainsi, comme pour le point de congélation, le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés. Il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100,5°C. Cette propriété physique diminue avec la pression. On applique ce principe dans les procédés de concentration du lait (WOLTER, 1997).

1.1.3.4. L'acidité

L'acidité de lait est une notion importante pour l'industrie laitière. Elle permet de juger l'état de conservation du lait (DIENG, 2001). Elle résulte d'une titration qui consiste à ajouter au lait un volume nécessaire de solution alcaline titrée pour atteindre le point de virage d'un indicateur, en générale la phénophtaléine. Elle est exprimée en "degré Dornic" (°D), ce dernier exprime la teneur en acide lactique: 1°D = 0,1 g d'acide lactique. L'acidité titrable est comprise entre 15°D et 18°D. Elle varie entre 0,13 et 0,17% d'équivalent d'acide lactique (HARLESS, 2009).

1.1.3.5. Le pH

Le pH du lait de vache varie habituellement entre 6,5 et 6,7 à 20°C : il est donc très légèrement acide. Ce pH tend à décroître quelque peu au cours d'une lactation en raison de l'augmentation du taux de caséines et de phosphates qu'il renferme (VIERLING, 2008). Hormis ces variations mineures, qui restent dans les limites précitées, le pH du lait ne change théoriquement pas et constitue un indice de son état de fraîcheur (WOLTER, 1997). En effet, lors d'un manque de fraîcheur, les bactéries lactiques transforment le lactose en acide lactique qui diminue le pH du lait (par augmentation de la concentration d'ions hydronium H_3O^+ selon l'équation $pH = \log 1 / [H_3O^+]$). De même, comme le colostrum est acide, un lait au pH trop faible peut aussi être le révélateur de la présence de colostrum c'est à dire d'une traite trop précoce, à l'inverse, en cas de mammite, le pH augmente car le lait renferme alors des substances basiques (ILBOUDO, 2012).

1.1.3.6. L'extrait sec

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 grasses (CAZET, 2007).

I.2 La poudre du lait

1.2.1. Définition de la poudre du 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 perdu et le lait devient poudre (ARIE *et al.*, 2011). Aux termes de la norme n° A5 (1971), on distingue trois catégories de lait en poudre : entier, partiellement écrémé et totalement écrémé dont la composition en matière grasse est donnée dans le Tableau III. Selon cette norme, ils peuvent recevoir des additifs alimentaires (stabilisants, émulsifiants, antiagglomérants) dans certaines conditions (ANONYME 2).

Le lait en poudre est le produit provenant de la dessiccation de lait entier ou lait écrémé ou de lait partiellement écrémé propre à la consommation humaine, l'orque ils sont additionnées du sucre (saccharose) dans une proportion conforme aux usages, la mention «sucré » est portée sur l'étiquète ou le récipient, toute fois l'expression « en poudre » peut être remplacée par le mot sec suivi ou non d'une mention indiquant le mode de présentation (poudre, granulés ,paillettes...etc).

L'élimination de la presque totalité de l'eau du lait (environ 87 %) donne un produit compact concentré facile à transporter et à stocker, le lait sec n'est le siège d'aucune multiplication microbienne, il peut être conservé pendant de très longues périodes et donne du

lait reconstitué par simple adjonction d'eau (GAIANI, 2006). Le Tableau III, représente les différents types des laits en poudre.

Tableau III : Les différents types des laits en poudre (% m/m) (ANONYME 2).

Composants	Lait en poudre entier	Lait en poudre partiellement écrémé	Lait en poudre écrémé
Matières grasses	26 - 40	1,5 - 26	≤ 1,5
Eaux maximum	5	5	5

1.2.2. Différents types de poudre de lait

Le lait en poudre est un produit solide obtenu par élimination de l'eau du lait, du lait entièrement ou partiellement écrémé, de la crème ou d'un mélange de ces produits, et dont la teneur en eau n'excède pas 5 % en poids du produit fini.

On distingue les laits en poudre suivants:

- **Le lait en poudre riche en matières grasses** ou poudre de lait riche en matières grasses : lait déshydraté contenant, en poids, au moins 42 % de matières grasses (ARIE *et al.*, 2011) ;
- **Le lait en poudre entier** ou poudre de lait entier : lait déshydraté contenant, en poids, au plus 26 % et moins de 42 % de matières grasses.

Le lait entier en poudre est dissout dans de l'eau et utilisé en tant que lait reconstitué. Ce sont surtout les pays ne disposant pas d'un grand secteur de production laitière qui constituent un marché important en la matière (CASTRO-MOREL *et al.*, 2003).

- **Le lait en poudre partiellement écrémé** ou poudre de lait partiellement écrémé : lait déshydraté dont la teneur en matières grasses est, en poids, supérieure à 1,5 % et inférieure à 26 %.
- **Le lait en poudre écrémé** ou poudre de lait écrémé : lait déshydraté contenant, en poids, au maximum 1,5 % de matières grasses (JEANT *et al.*, 2008).

1.2.3. Propriétés chimiques et physiques du lait en poudre

Les importants paramètres de qualité pour le lait en poudre sont constitués par la qualité microbiologique, les propriétés organoleptiques (AZZA *et al.*, 2010) ainsi que les propriétés physico-chimiques suivantes : teneur en eau, teneur en matière grasse, graisse libre, teneur en protéines, teneur en substances minérales, acidité titrable, solubilité, reconstitution ; aptitude à l'écoulement, densité apparente, charge thermique du lait écrémé en poudre (part de protéines sériques dénaturées), particules brûlées, répartition de la grandeur des particules, oxygène résiduel dans l'emballage.

1.2.4. Procédés de fabrication de poudre de lait

Les étapes de base de la fabrication de lait en poudre sont constituées de l'évaporation et du séchage. On sélectionne du lait de qualité élevée. Etant donné que, lors de la production de poudre, la concentration des substances augmente, le lait doit présenter une stabilité élevée. Faute de quoi, les protéines peuvent se déstabiliser et être précipitées (taux d'acidité limitée) et il ne doit pas y avoir de contamination avec des ions métalliques, de cuivre en particulier (SCHUCK, 2012).

Les exigences relatives au nombre de germes doivent être prises en considération. Selon le genre de poudre, une partie ou l'ensemble de la matière grasse du lait est centrifugée sous forme de crème (THOMAS, 2004).

Il s'en suit un traitement thermique qui poursuit plusieurs objectifs:

- Inactiver tous les germes pathogènes et réduire le nombre de germes global ;
- Inactiver les enzymes, les lipases en particulier ;
- Activer les groupes thiols dans la β -lactoglobuline afin d'élever la stabilité de l'oxydation de la poudre durant le stockage (SCHUCK, 2012).

Il faut privilégier les processus à haute température et de courte durée car cela permet d'obtenir les effets recherchés d'une manière à augmenter les substances anti-oxydantes. De même, la solubilité de la poudre est meilleure lors de l'utilisation d'un processus à haute température et de courte durée. Souvent, on chauffe à 88-95 °C pendant 15 - 30 secondes, parfois à des températures pouvant atteindre 130 °C (GAIANI, 2006).

1.2.4.1. L'évaporation

Le lait passe dans l'installation d'évaporation. Sous vide, l'eau est évaporée avec ménagement à une température de 45-75 °C jusqu'à ce qu'une concentration de 33-35 % respectivement 40-50 % de la matière sèche du lait soit atteinte. Le premier domaine s'applique au séchage sur cylindres et le deuxième au séchage par atomisation. Grâce à la technique des couches minces, le lait et le concentré de lait qui en résulte ne séjournent à haute température que pendant un court laps de temps dans l'installation (THOMAS, 2004).

1.2.4.2. L'évaporation - Séchage

On utilise principalement deux différentes techniques, d'une part le séchage sur cylindres et d'autre part le séchage par atomisation. Lors du séchage sur cylindres, on applique le concentré de lait en une fine couche sur une surface très chaude. Ce faisant, une grande partie de l'eau s'évapore en l'espace de quelques secondes. Avec la technique du séchage par atomisation, on pulvérise le concentré de lait et on le mélange avec de l'air très chaud. L'eau s'évapore et forme des gouttelettes (AZZA *et al*, 2010).

- **Séchage sur cylindre**

C'est le plus ancien des procédés commerciaux satisfaisants ; il n'a pas évolué depuis le début du siècle .Essentiellement simple, il consiste à chauffer un mince film de lait pendant 2 à 3 secondes à la pression atmosphérique sur une surface métallique chauffée par de la vapeur à 143-149 °C (GAIANI, 2006).

Séchage sur cylindre ne peut répondre aux nouveaux besoins qualitatifs exigés pour une poudre laitière (solubilité, dispersibilité élevée, faible teneur en matière grasse libre...). Par contre, les poudres séchées sur cylindre sont encore préférées dans le domaine de La chocolaterie pour leur fort pourcentage en matière grasse libre, pour la taille des particules élevée et l'absence de vacuoles (THOMAS, 2004). Dans le domaine de la Confiserie le taux en matière grasse libre élevé et la présence de composés aromatiques libérés lors du séchage en plus grande quantité ne font que le séchage sur cylindre est préférentiellement utilisé (AZZA *et al.*, 2010).

- **Séchage par atomisation**

Le procédé de fabrication du lait en poudre par atomisation comprend deux grandes étapes, une étape de concentration suivie de l'étape d'atomisation en elle-même parfois appelée dessiccation. Cette opération utilise, selon la taille de l'installation, soit des thermoplongeurs sur bride soit des batteries de procès chauffantes.

Le séchage par atomisation (figure 01) est souvent la méthode de séchage la plus utilisée pour le lait en poudre, qu'il s'agisse de lait entier ou de lait écrémé. Il est parfois nommé procédé spray et est de plus en plus choisi par les industriels au détriment du séchage sur cylindres, car il permet d'obtenir une poudre plus soluble mais aussi des qualités organoleptiques plus intéressantes (goût, aspect...etc.) (SCHUCK, 2012).

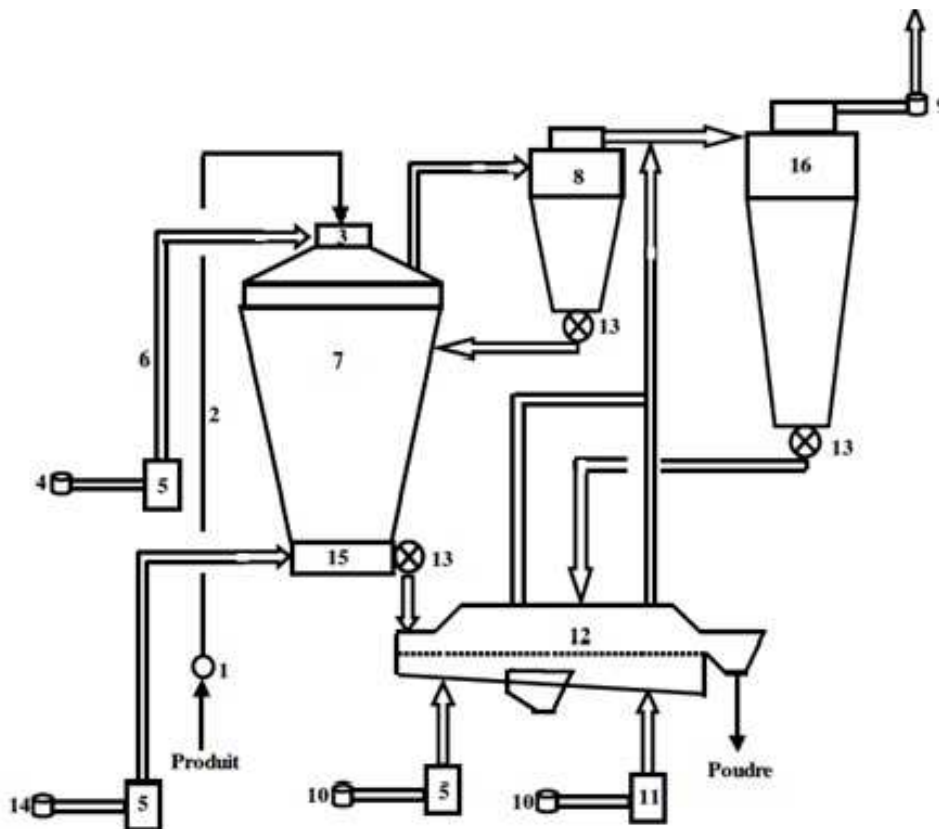


Figure 01 : Schéma du séchage par atomisation (GAIANI, 2006).

Légendes. 1 : Pompe d'alimentation, 2 : Circuit d'alimentation, 3 : Atomiseur, 4 : Ventilateur air amont, 5 : Réchauffeur d'air, 6 : Canalisations d'air chaud, 7 : Chambre de séchage, 8 : cyclone primaire, 9 : Ventilateur air aval, 10 : Ventilateur air vibro-fluidisé, 11 : Refroidisseur d'air, 12 : Vibro-fluidiseur ou Lit fluidisé externe, 13 : Vanne rotative, 14 : Ventilateur air lit statique, 15 : Lit statique ou lit fluidisé externe, 16 : Cyclone secondaire.

1.2.5. Utilisations

Le lait en poudre est apprécié en tant qu'adjuvant précieux dans toutes sortes d'aliments aussi bien du point de vue nutritif que techno-fonctionnel (THOMAS, 2004).

La principale application du lait en poudre est la constitution pendant les périodes de pointes de la production laitière de réserves considérables utilisables ultérieurement lorsque les approvisionnements deviennent insuffisants.

❖ Lait entier en poudre

De grandes quantités de lait en poudre sont utilisées avec des composants de cacao et du sucre pour la fabrication d'exquis chocolat au lait. Il est en outre utilisé pour les articles de confiserie, les biscuits, les articles de boulangerie, les glaçages et divers produits laitiers tels que la crème glacée et le fromage fondu (AZZA *et al.*, 2010).

❖ **Lait écrémé en poudre**

Le lait écrémé en poudre est utilisé de différentes façons. Il parvient directement au consommateur en tant que lait écrémé reconstitué. Les fabricants de denrées alimentaires l'utilisent dans les desserts à base de lait, les crèmes glacées, les yoghourts, les produits à base de viande, les produits à base végétale ressemblant à de la viande, dans les glaçages, les sauces, les mayonnaises, les boissons instantanées pour le petit déjeuner etc (GAIANI, 2006). Les poudres de lait issues du séchage par atomisation, traitées avec beaucoup de ménagement, et provenant de lait adapté au lait maternel humain avant le séchage, servent de base pour les aliments pour enfants / les laits pour nourrissons.

I.3 Le fromage

1.3.1. Définition

Le fromage est le produit frais ou affiné, solide ou semi-solide dans lequel le rapport protéines de lactosérum / caséines n'excède pas celui du lait (normes FAO/OMS). La norme FAO/OMS modifiées en 2002 définit le fromage comme un produit frais ou affiné, solide ou semi solide obtenu par coagulation du lait grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttages (GERMAIN, 2011). Le terme «fromage» est réservé au produit obtenu à partir de matières d'origine exclusivement laitière. La base essentielle du fromage est le lait. Il peut être de diverses origines, de vache principalement, mais également de brebis, de chèvre, de bufflonne ou d'autres mammifères. Ce produit peut être fermenté ou non, affiné ou non, utilisé seul ou en mélange, coagulé en totalité ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de son eau. Il constitue alors un moyen de conservation alimentaire (MOREL, 2012).

1.3.2. Les différents types du fromage

Selon les paramètres mis en œuvre au niveau des différentes étapes de transformation du lait en fromage, il existe alors une large variété de fromages distincte par le type de la technologie employée (figure 2).

1.3.3. Le fromage à pâte mole type camembert

Il s'identifie par une définition légale donnée par l'article 9 du décret du 26 octobre 1953 de la réglementation française précisant que les fromages à pâte mole sont des fromages ayant subi indépendamment de la fermentation lactique, d'autres fermentations, affinées, dont la pâte n'est ni cuite, ni pressée et qui dans le cas échéant, peuvent comporter des moisissures internes (CHOLET, 2006)

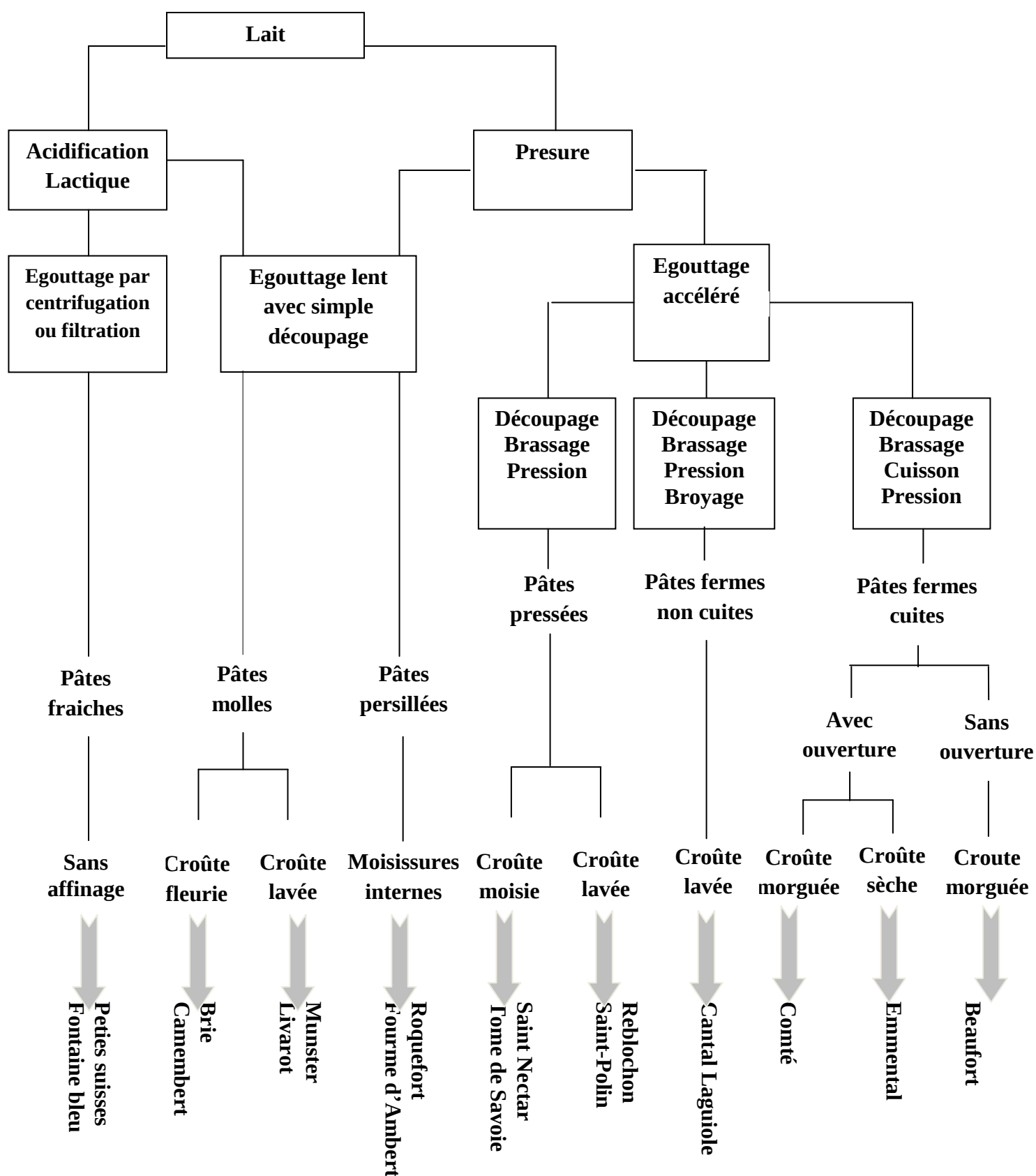


Figure 02 : Diversité de fabrication des spécialités fromagères Françaises (JEANTET *et al.*, 2007).

1.3.3.1. Définition du camembert

Le fromage Camembert est un fromage à pâte molle à croûte fleurie affiné en surface. L'humidité du fromage se situe entre 50-55 %, son taux de matières grasses est au minimum de 22 % et son taux de protéines est d'environ 20 %. Son procédé de fabrication inclut plusieurs étapes (figure02), soit la maturation du lait, l'emprésurage, le coupage, le brassage, le moulage, l'égouttage, le salage, le développement des microflore de surface, l'affinage et l'emballage.

L'affinage des fromages de type Camembert est une des étapes primordiales, car c'est durant cette période que les enzymes de la microflore de surface sont sécrétées (GERMAI, 2011).

1.3.3.2. Caractéristiques principales de Camembert

Le Camembert est un fromage à pâte molle, affiné en surface, principalement par des moisissures, conformément à la norme générale pour le fromage qui se présente sous la forme d'un cylindre plat ou de morceaux du cylindre. La pâte a une couleur allant du blanc cassé au jaune pâle et une texture molle (lorsqu'on appuie dessus avec la pousse) mais non friable, affinée de la surface au centre du fromage (MIETTON, 1995)

Les trous de gaz sont généralement absents, mais la présence de quelques ouvertures et fissures est acceptable. Une croûte molle, entièrement recouverte de moisissures blanches mais présentant parfois des taches de couleur rouge, brunâtre ou orange, se développent (CHOLET, 2006)

Pour le camembert, la procédure d'affinage destinée à développer les caractéristiques de goût et de texture dure normalement 10 jours minimum à une température comprise entre 10 et 16 °C, en fonction du degré de maturité requis (JEANTET *et al.*, 2007).

D'autres conditions d'affinage (y compris l'ajout d'enzymes d'amélioration de l'affinage) peuvent être utilisées, pour autant que le fromage présente des propriétés physiques, biochimiques et sensorielles similaires à celles obtenues par la procédure d'affinage précitée.

La formation de croûte et la maturation (protéolyse) de la surface vers le centre sont essentiellement causées par le *Penicillium candidum* et /ou le *Penicillium camembertii* et le *Penicillium caseicolum* (TALANTIKITE-KELLIL, 2009)

1.3.3.3. Composition physico-chimique de Camembert

Le fromage de type Camembert est riche en protéines, lipides, minéraux et vitamines, le tableau IV présente la composition moyenne de fromage à pâte molle de type Camembert.

Tableau IV: Composition moyenne de fromage à pâte molle de type Camembert (SICARD, 2010).

Pour 100g de fromage

Composé	Teneur
Eau (g)	50
Energie (k.cal)	310
Glucides (g)	4
Lipides (g)	24
Protéines (g)	20
Calcium (mg)	400
Phosphore (mg)	250
Magnésium (mg)	20
Potassium (mg)	150
Sodium (mg)	700
Zinc (mg)	5
Vitamine A (U.I)	1010

➤ **Protéines**

Selon leur mode de fabrication, les fromages contiennent de 10 à 30 % de protéines (WERBER, 2007). Ces derniers ont pour origine les micelles des caséines modifiées. Au cours de l'affinage, une partie importante se trouve dégradée et solubilisée en oligopeptides et acides aminés sous l'influence d'une série d'enzymes, différentes selon la microflore, ce qui confère au produit final sa texture et sa saveur (GERMAI, 2011).

Outre sa teneur élevée en protéines, la haute valeur biologique du fromage lui est conférée par sa composition en acides aminés très intéressante sur le plan nutritionnel (JEANTET *et al.*, 2007).

➤ **Calcium**

Les fromages constituent d'excellentes sources de calcium. Toutefois, le taux de calcium varie en fonction de la teneur en eau et de mode de fabrication.

Pour les pâtes molles, on constate une grande variabilité, en particulier pour le camembert dont la teneur en calcium varie selon des marques de 200 à 700 mg par 100 g (JEANTET *et al.*, 2007).

➤ **Les lipides**

Les lipides conditionnent l'onctuosité de la pâte de fromage. Au cours de la maturation se produit, sous l'influence des lipases microbiennes, une lipolyse limitée avec formation d'acides gras libres qui va de 0,25 % de la matière grasse dans le camembert frais à 6,4 % dans le camembert très affiné. Certains de ces acides gras sont volatils et interviennent dans la formation de l'arôme (SICARD, 2010).

1.3.3.4. Les étapes clés de 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 grandes traditions fromagères tel que la France, ce fromage est élaboré, soit directement à partir du lait cru, soit à partir du lait pasteurisé. Dans les pays où la production en lait cru est déficitaire (cas de l'Algérie où cet apport ne couvre que 40% des besoins), il fait appel au lait reconstitué, constitué de produits d'importations (poudre de lait et matière grasse laitière anhydre : MGLA), auxquels sont additionnés des volumes appropriés d'eau de reconstitution (MIETTON, 1995). L'élaboration de ce type de fromage à caractéristiques organoleptiques particulières passe par la réussite de nombreuses étapes technologiques dont principalement : l'ensemencement – maturation, la coagulation, l'égouttage et enfin l'affinage.

1.3.3.4.1. La phase d'ensemencement – maturation

C'est l'étape d'introduction de la flore lactique sélectionnée qui va participer, d'une part, à la coagulation du lait (en provoquant l'acidification), et d'autre part, à l'affinage du fromage (rôle dans l'activité protéolytique) (SICARD, 2010)

Le lait estensemencé par des ferments lactiques mésophiles à une dose de 1,5 à 2 %. Un temps de maturation suffisant est laissé dans le but de permettre la multiplication et le développement des souches de bactéries lactiques inoculées. Une fois ses souches revivifiées, le levain (tel que préparé) servira à ensemenecer les grandes cuves de coagulation (ECK, 1990).

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*.

1.3.3.4.2. La coagulation

La coagulation se traduit par la formation d'un gel (ou coagulum) qui résulte dans le cas du Camembert, des modifications physico-chimiques qui interviennent autour des micelles de caséines et qui concourent à leur déstabilisation extrême. Pour les fromages à pâtes molles, la coagulation est généralement mixte. Elle est provoquée par l'action conjuguée de la présure (coagulation enzymatique) et les bactéries lactiques (coagulation acide). Dans le cas de la coagulation acide (provoquée par l'acide lactique d'origine bactérienne), l'abaissement du pH induit la solubilisation du calcium et du phosphate inorganique. Les micelles vont se lier entre-elles et former un gel cassant, très friable et peu élastique (MIETTON, 1995).

La coagulation enzymatique est quant à elle due à l'action de la présure qui est une enzyme protéolytique provenant de caillettes de veaux non sevrés. Cette enzyme correspond en réalité à deux fractions actives : l'une majeure (80 %), constituée par la chymosine, l'autre mineure (20 %), est représentée par la pepsine (ECK, 1990).

1.3.3.4.3. L'égouttage

C'est l'étape qui permet la séparation du lactosérum du caillé qui a pour but de non seulement de régler la teneur en eau du caillé mais aussi la minéralisation de ce dernier et son délactosage. Il est possible de distinguer dans cette phase deux actions complémentaires :

- expulsion du sérum par le coagulum qui se contracte et se concentre (synérèse) ;
- séparation du sérum et du caillé par action physique.

La pâte obtenue est salée par addition de chlorure de sodium. Le sel inhibe certaines proliférations microbiennes, complète l'égouttage du caillé et relève la saveur du fromage (SICARD, 2010).

1.3.3.4.4. L'affinage

L'affinage correspond à une phase de digestion enzymatique où sous l'action d'enzymes, pour la plupart élaborées par la flore microbienne présente, les constituants du caillé sont dégradés. La pâte est ainsi modifiée dans son aspect, sa texture et sa consistance, ce qui lui permet de passer sous la forme d'un produit élaboré dénommé fromage.

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 permettant de contrôler l'humidité relative entre 85 et 95 % (CHOLET, 2006).

1.3.4. Les mécanismes moléculaires impliqués dans la coagulation

Le phénomène de coagulation est un changement d'état du lait d'un état liquide à un état semi-solide c'est à dire en un gel laitier. La coagulation est liée à la création d'un réseau protéique et minéral lors de la dénaturation des caséines du lait par voie acide ou enzymatique (BRULE et LENOIR, 1987).

1.3.4.1. Les caséines

1.3.4.1.1. Définition

La caséine est un complexe protéique phosphoré à caractère acide qui précipite dans le lait à pH 4,6, celles-ci sont constituées de molécules amphiphiles (un pôle hydrophobe et un pôle hydrophile). Les caséines sont : α , β , γ et κ qui s'organisent en micelles de caséines (LUCEY et FOX, 1993).

1.3.4.1.2 Composition et structure

La grande majorité des caséines sont présentes sous la forme de particules colloïdales nommées micelles de caséine qui sont des particules sphériques d'environ 180 nm. la micelle de caseine est très hydratée (2 à 4 g d'eau par g de protéine) et 7% environ de son extrait sec est composé de sels (phosphate, calcium, magnésium, citrate) (HARLESS, 2009)

Dans le modèle représenté dans la figure 03, les micelles sont en fait composées de sous-unités comprenant de 10 à 100 molécules de caséines et nommées sous-micelles (submicelles). SCHMIDT (1980), précisa que les sous-micelles sont reliées entre elles par des ponts phosphate de calcium ($\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6$). La composition des sous-micelles au centre et en périphérie est différente. En effet, les caséines β et α_s1 sont plus présentes au centre de la micelle et forment le coeur hydrophobe alors que la partie externe, davantage hydrophile, est formée de caséine α_s1 , α_s2 et κ (COLIN, 2010).

Les submicelles les plus riches en caséine sont situées en surface de la micelle, ce qui les stabilisent (les portions C-terminales de la caséine hérissent la micelle et l'enveloppent d'une chevelure périphérique particulièrement hydrophile) (LUCEY, 2002)

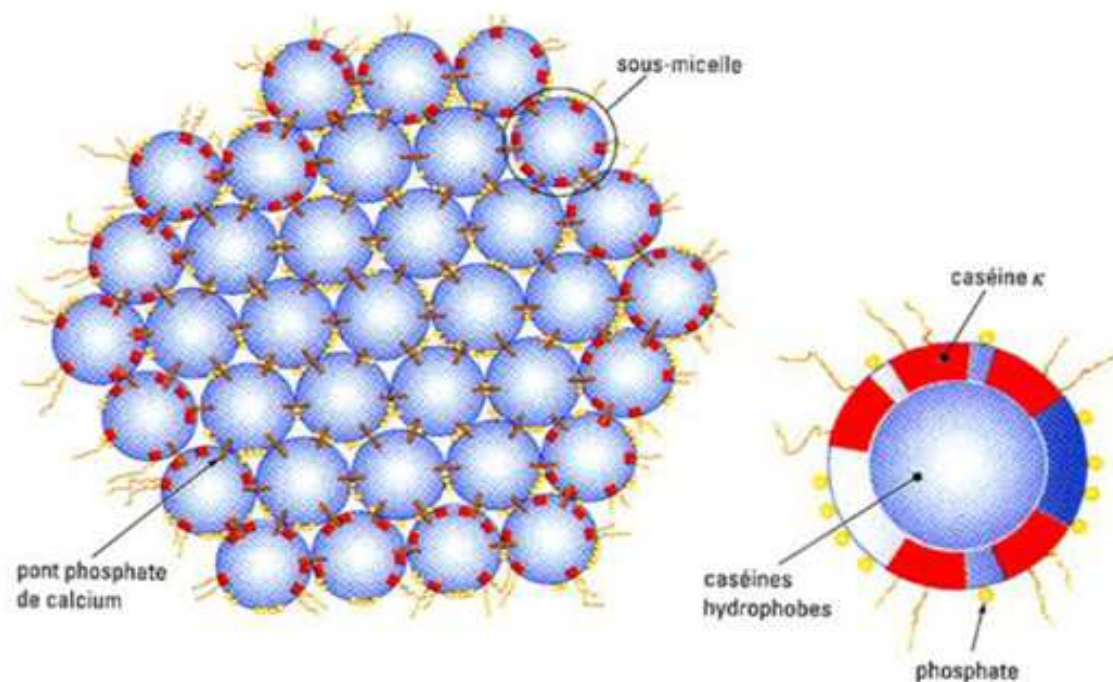


Figure 03 : Modèle de micelle de caséine avec sous-unités (SCHMIDT, 1980).

1.3.4.1.3. Propriétés des caséines

Plusieurs facteurs contribuent à conférer aux micelles leur stabilité dont les principaux qui sont leur charge électrique, leur degré d'hydratation et leur charge minérale (OULD ELEY, 1996) :

- **La charge électrique** des micelles du lait frais est fortement négative ; ce caractère résulte de la présence de nombreux groupements COO, correspondant aux amino-acides dicarboxyliques constituant en particulier la caséine kappa. Les micelles peuvent être assimilées à de gros ions chargés négativement, leur dispersion dans le lactosérum résulte de la forte répulsion électrostatique qui s'exerce entre particules voisines (KARAM, 2013) ;
- **Le degré d'hydratation** des micelles est élevé : 1 g de protéines fixe environ 2,5 g d'eau. Ce caractère très hydrophile de la micelle correspond à la présence à sa périphérie d'une couche d'eau liée, étroitement fixée aux protéines, et d'une couche d'eau d'hydratation à structure moléculaire plus lâche, et moins orientée. Ces enveloppes d'eau contribuent à stabiliser fortement la micelle (CAZET, 2007) .
- **Les sels minéraux**, notamment Ca et P, se trouvent dans le lait sous des formes variées que l'on a coutume de classer en formes solubles et insolubles ou colloïdales,(LUCY, 2002).

Le calcium et le phosphate sont les constituants inorganiques majeurs de la micelle. Le calcium est en partie (environ 1/3) directement fixé sur les caséines, essentiellement sur les groupements esters phosphoriques. Le phosphore lié aux résidus sérine, appelé phosphore organique, représente environ 40% du phosphore de la micelle (COLIN, 2010). L'autre fraction du calcium est à l'état de phosphate de calcium colloïdal présent en petits amas sphériques d'un diamètre proche de 1nm et de composition $\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6$ (HARLESS 2009).

1.3.4.1.4. Propriétés des différentes fractions caséiniques de la micelle

Les caséines ont un certain nombre de caractères communs, la présence de phosphore sous la forme de groupements phosphoséryls, la forte proportion de résidus apolaires. Elles se distinguent les unes des autres par le nombre de groupements phosphoséryls, la présence ou non de cystéine, la présence ou non de glucides, leur caractère plus ou moins hydrophobe (LUCEY et FOX, 1993). La présence des groupements phosphoséryls confère aux caséines une très grande affinité vis-à-vis du calcium, du magnésium et des oligoéléments. Dans le cas des caséines α_{s1} , α_{s2} , et β , qui sont hautement phosphorylées, les sites phosphorylés sont en majeure partie groupés, ce qui a pour conséquence de créer dans la chaîne peptidique des zones à caractère acide et hydrophile très marqué (WOLTER, 1997).

La caséine kappa, bien que non majoritaire dans la micelle est la protéine laitière de loin la plus étudiée car elle détient le rôle clef dans la coagulation du lait par la présure. De toutes les caséines, c'est la seule qui soit glycosylée. Les sites possibles de glycosylation ont été déterminés comme étant situés sur les résidus de thréonine 131, 133, 135, et 136 (OUADGHIRI, 2009).

Tableau V : Caractéristiques physico-chimiques des caséines (COURTET, 2010).

Caractéristiques	Caséine- α_{s1}	Caséine- α_{s2}	Caséine- β	Caséine-Kappa
Poids moléculaire (Da)	236172	25230,0	23984,8	19007,0
Conc. g/l de lait	10,25	2,75	9,62	3,5
Nombre d'acides aminés	199	207	209	169
Présence de glucides	-	-	-	+
Sensibilité au Ca^{++}	++	+++	+	-

1.3.4.2. La coagulation du lait

La coagulation du lait est une étape importante de la préparation du fromage. Il s'agit de la transformation du lait liquide en un gel appelé aussi coagulum ou caillé qui après un certain nombre de transformations deviendra un fromage (COLIN, 1990).

Le processus de la coagulation est provoqué par l'action d'un coagulant (riche en chymosine) ajouté à un taux bien défini au lait de fabrication sous des conditions de température et pH contrôlées (WOLTER, 1997)

Tel que décrit sur le lait bovin, le phénomène de coagulation du lait se produit en deux étapes :

➤ **Une phase primaire** : enzymatique au cours de laquelle la présure hydrolyse la caseine k (situés à l'extérieur de la micelle) au niveau de la liaison peptidique Phe105-Met106 (OLDFIELD *et al.*, 2007)

- cette action divise la molécule de la caseine k en deux fragments peptidiques : le caséinomacropeptide (CMP) ou s'il est fortement glycosylé, il est dénommé glycomacropeptide (GMP) et la para caseine kappa (plages hydrophobes) cette hydrolyse entraîne une réduction de la charge négative et des répulsions stériques de telle sorte que les micelles de caséines deviennent susceptibles à l'agréation (LUCEY, 2002).

➤ **Une phase secondaire** : agrégation, durant laquelle la libération de la caseine kappa sous l'action de la protéase employée entraîne la réduction et la libération de macropeptides et également une réduction du diamètre hydrodynamique (d'environ 5mm) et une perte de la stabilité stérique (GELAIS, 2002).

La nature des interactions intervenant durant la phase d'agréation n'est pas encore bien connue, toutefois les ponts calciques et les forces de Van Der Waals ainsi que les interactions hydrophobes semblent impliqués.

Les micelles déstabilisées s'agrégent en présence des ions calcium libres (Ca^{++}) et la coagulation se produit seulement en présence d'une quantité suffisante de phosphate de calcium colloïdal .Au début ,il y a formation de chaines linaires de micelles dépourvues de caséino glycopeptide (partie de 106-169 aa qui se solubilise) qui continuent d'agréger pour former des amas. Ces derniers constituent le gel protéique qui se sépare nettement de la phase liquide ou lactosérum (TALANTIKITE -KELLIL, 2015)

1.3.4.3. Les enzymes coagulants (la présure)

La coagulation du lait par des enzymes protéolytiques est une des plus anciennes opérations de transformation alimentaire. Un grand nombre d'enzymes protéolytiques d'origine animale, végétale ou microbienne, présente la propriété de coaguler le complexe

caséinique (ST-GELAIS *et al*, 2002).La présure est l'enzyme coagulante la mieux connue et son mécanisme d'action est bien établi.

1.3.4.3.1. Définition

La présure de veau est l'agent coagulant traditionnellement utilisé pour la coagulation du lait en vue de la fabrication de la majorité des fromages ; de petites quantités sont produites à partir de l'estomac de chevreau et d'agneau (MORISSET *et al.*, 2007).

La dénomination "présure" est donnée à l'extrait coagulant provenant de caillottes de jeunes ruminants abattus avant sevrage. Elle contient en réalité deux fractions actives : l'une majeure constituée par la chymosine, l'autre mineure, par la pepsine (ANONYME 2).

La sécrétion de chymosine s'arrête au moment du sevrage, lorsque des éléments solides sont présents dans la ration alimentaire ; la production de pepsine s'accroît alors très fortement et devient dominante. L'activité protéolytique de l'enzyme, qui est sécrétée à l'état d'un précurseur inactif (le pépsinogène), est accrue considérablement à la suite d'une hydrolyse partielle dans le milieu acide stomacal.

1.3.4.3.2. Propriétés

La chymosine hydrolyse la caséine, et possède une double activité :

- Une activité élevée sur la caséine Kappa qui conduit à la déstabilisation micellaire au cours de la phase de coagulation ;
- Une activité faible de protéolyse générale sur les différentes fractions caséiniques qui intervient essentiellement pendant l'affinage du fromage (CAYOT *et* LORIENT, 1998).

1.3.4.4. Facteurs influençant l'activité coagulante de l'enzyme

Comme toutes les enzymes, l'activité protéolytique de la présure est fortement influencée par les facteurs de milieu qui conditionnent à la fois l'état du substrat et son environnement : la mesure du temps de floculation permet de mettre en évidence ces interactions (ST-GELAIS *et al*, 2002).

1.3.4.4.1. Facteurs liés à l'enzyme :

- **Concentration en enzyme**

Le temps de coagulation est inversement proportionnel à la concentration en enzyme (MAHAUT *et al.*, 2003).

1.3.4.4.2. Facteurs liés à l'environnement de l'enzyme :

- **Influence du pH**

L'abaissement du pH du lait entraîne un temps de coagulation plus court. Cela résulte d'une part d'un effet sur l'activité de l'enzyme, dont le pH optimal d'action sur la caséine k

est de 5,5 d'autre part de la diminution de la stabilité des micelles, liée à la neutralisation des charges et de la libération d'ions calcium à partir des complexes dissous et colloïdaux (ILBOUDO, 2012).

En fromagerie, le lait est acidifié jusqu'à pH 6,4 – 6,5 ; l'activité enzymatique croît sensiblement, mais cette baisse de pH n'est pas compatible avec tous les types de fabrication, notamment celle des fromages à pâte cuite (MAHAUT *et al* , 2003)

- **Influence de la température**

La température optimum d'activité de la présure se situe entre 40–42 °C ; en dessous de 20°C, l'activité devient faible. L'inactivation thermique totale de l'enzyme se produit à 65 °C (CAZET, 2007).

En fromagerie classique, les températures du lait au moment de l'emprésurage se situent dans la fourchette 20–40 °C, et le plus souvent entre 30 et 35 °C (COURTET, 2010). Concernant les traitements appliqués au lait ; le refroidissement du lait entraîne une solubilisation de la caséine, notamment de la fraction β et un accroissement de la couche d'eau liée. La stabilité de la micelle s'en trouve accrue, il s'ensuit que l'action de la présure est défavorisée.

Dans les conditions industrielles, ils sont irréversibles et peuvent expliquer les prolongations des temps de prise observées avec ces laits en fromagerie (ST-GELAIS *et al*, 2002).

Lorsque le traitement thermique est modéré (≤ 60 °C), les équilibres salins se modifient, les formes insolubles du phosphate colloïdal augmentent, la taille de la micelle croît. Il s'ensuit une baisse de sa stabilité favorisant l'action de la présure. Cet effet est réversible par refroidissement par le jeu normal des équilibres entre formes solubles et insolubles (COLIN, 2010).

Un traitement thermique sévère entraîne quatre modifications principales :

- Une insolubilisation des formes solubles du calcium;
- Une augmentation de la dispersion des micelles;
- La formation d'un complexe entre β lactoglobuline et la caséine Kappa. Ce Complexe a un effet protecteur sur la micelle envers l'action de la présure;
- Une réduction du degré d'hydratation de la micelle d'où baisse de stabilité (LUCEY et FOX, 1993)

Les trois premiers effets sont défavorables à l'action de la présure, le quatrième a un effet contraire. La résultante des quatre effets diminue l'aptitude à la coagulation des laits chauffés par rapport à celle des laits crus.

Le tableau VI résume l'impact de la température sur la coagulation du lait par la présure.

Tableau VI: Impacte de la température sur la coagulation du lait par la présure (JAQUE, 1998).

Température	Impact
<10 °C	Il n'y a pas de coagulation mais l'enzyme agit quand même.
10 – 20 °C	La coagulation est lente.
30 – 42 °C	Il y a une augmentation progressive de la vitesse de coagulation.
42 – 55 °C	La vitesse de coagulation diminue.
55 °C et +	Il y a absence de coagulation.

- **Influence de la concentration en calcium**

La présence d'ions Ca^{++} est indispensable au déroulement de la phase secondaire. Toute cause susceptible de faire baisser la teneur de ces ions dans le lait entrave la coagulation.

L'addition de CaCl_2 provoque en outre une légère baisse de pH favorable à l'action de la présure. Ce phénomène résulte d'un échange entre ions H^+ fixés sur les protéines et le calcium incorporé (CREAMER *et al.*, 1998).

- **Influence du chlorure de sodium**

L'apport de chlorure de sodium dans le lait est une pratique observée pour préserver le lait d'une altération rapide par voie microbienne. La transformation ultérieure de ce lait en fromage est perturbée et se traduit par un retard à la coagulation. Ce phénomène résulte à la fois des protéines micellaires et de celles de l'enzyme en raison de l'effet dissociant du sodium (LUCEY et FOX, 1993).

- **Effet de la concentration de la matière sèche du lait**

L'augmentation de la matière sèche (la concentration du lait) diminue une partie plus ou moins importante de la phase aqueuse (CREAMER *et al.*, 1998).

L'équilibre initial entre formes solubles et formes insolubles se trouve modifié, il en résulte une augmentation des formes colloïdales "insolubles" du phosphate de calcium et de la caséine d'où accroissement de la taille des micelles. Parallèlement, le pH du concentré baisse par suite de l'augmentation relative de la concentration en ions H^+ et le degré d'hydratation des micelles diminue (KARAM, 2016).

Ces changements diminuent la stabilité des micelles et la coagulation par la présure est favorisée.

1.3.5. Le rendement fromager

1.3.5.1. Définition

Les rendements fromagers correspondent à la quantité de fromage que l'on peut obtenir avec une quantité fixée de lait.

- ❖ Le rendement global est calculé comme suit

$$R = \frac{\text{Poids du fromage}}{\text{Nombre de litre de lait}} \times 100$$

- ❖ Le rendement élémentaire est exprimé selon la formule suivante (LIBOUGA *et al.*, 2006) :

$$R = \frac{X(\text{lait}) - X(\text{sérum})}{X(\text{fromage}) - X(\text{sérum})}$$

Avec X qui représente le constituant à doser (EST, MG, Protéines).

Ils varient principalement en fonction de la quantité d'eau retenue dans le fromage, définie par les paramètres technologiques et de la teneur du lait en protéines et en matières grasses (CUVILLIER, 2005).

Il est également possible de calculer le taux de récupération Tx d'un constituant X dans le fromage selon l'équation suivante :

$$Tx = \frac{m_F \cdot X_F \cdot 100}{m_L \cdot X_L}$$

Avec : m_L , m_X et X_L , X_F désignent respectivement les masses (kg) de lait, de fromage et les concentrations du constituant X (EST, MG...) dans le lait et le fromage (g /kg) (JEANTET *et al.*, 2008).

Un caillé insuffisamment acidifié ou emprésuré trop tôt, risque d'avoir des micelles très minéralisées, il contient moins d'eau car le calcium et le phosphore occupent les sites de fixation de l'eau. Il y a donc plus de lactosérum égoutté.

Le rendement fromager est l'une des données les plus importantes dans une fromagerie. En effet la quantité de fromage généralement obtenue est faible par rapport à la quantité d'ingrédients mis en œuvre (il faut environ 100 kg de lait pour obtenir 10 à 12 kg de fromage). Autrement dit, une faible variation de rendement peut avoir des conséquences économiques importantes (ECK, 1987).

1.3.5.2. Importance du contrôle du rendement fromager

Compte tenu de l'importance économique accrue accordée à la rentabilité d'une fabrication, un industriel fromager doit être à même de prévoir le «rendement» en fromage du lait qu'il reçoit (on dit aussi la « valeur fromagère du lait») c'est-à-dire la quantité de fromage qui peut être obtenue à partir d'une quantité définie de lait. Une telle connaissance a priori du rendement permet, en effet, de réduire considérablement les marges de sécurité coûteuses que nécessitent l'hétérogénéité de la matière première et celle des produits finis (BERNARD, 2011). En effet il suffira de comparer le rendement théorique au rendement pratiquement observé pour mettre en évidence les pertes évitables dues, dans la plus part des cas, à des erreurs de fabrication dont la fabrication est aisée lorsqu'elles sont décelées (VEISSEYRE, 1975)

1.3.5.3. Les principales pertes enregistrées de rendement :

Plusieurs paramètres affectent le rendement fromager et sont à l'origine des pertes enregistrées. Le tableau VII suivant résume ces pertes sur 100 litres de lait :

Le Tableau VII : Les principales pertes (en caséines, protéines sériques, matière grasse) enregistrées de rendement (LUQUET, 1990).

Pertes	Caséines	Protéines sériques	Matière grasse
Pourcentage (%)	4 à 20	8	80 à 90

Selon LUQUET (1990), le lactosérum contient 66 g de matière sèche et 40 g de lactose (par apport à 100 g).

1.3.5.3.1. Pertes de matières grasses

La matière grasse ne fait pas partie du gel caséine, mais se retrouve emprisonnée dans le réseau protéique. Les globules gras les plus petites sont moins susceptibles de rester dans le gel et ont plus de chance d'être entraînés dans le lactosérum. par conséquent l'homogénéisation du lait de fromagerie est généralement à proscrire puisque ce traitement augmenterait les pertes en matières grasses et, dans une moindre mesure, les pertes en protéines fixées sur la membrane globulaire reconstituée (BANKS *et al.*, 1984).

1.3.5.3.2. Pertes de protéines

Les pertes globales en protéines concernent surtout les protéines sériques solubles dans l'eau et donc entraînée par le lactosérum. Dans une fabrication 80 à 90 % des protéines

du sérum se retrouve dans le lactosérum et qui ne représentent qu'un cinquième des caséines qui, sont récupérées à plus de 92 % dans le fromage.

Pour augmenter le taux de récupération des protéines, on peut appliquer des traitements de chaleur, ou des traitements acidifiants, sur les protéines sériques. Sans d'autres précautions, ces traitements, s'ils augmentent le rendement fromager, nuisent à la qualité du fromage en entraînant des problèmes d'égouttage et des défauts majeurs dans le produit fini (MAHAUT *et al.*, 2000).

Ces pertes proviennent essentiellement de l'entreposage du lait et des différentes opérations d'égouttage, découpage et brassage (MAUBOIS *et al.*, 1970).

Dans le fromage vendu à l'unité il faut ajouter les pertes financières liées au surpoids puisqu'il est difficile de contrôler avec précision le poids final de chaque unité (CAROLE, 2002).

1.3.5.4. Les paramètres influençant le rendement fromager

1.3.5.4.1. Paramètres liés à la matière première

- **Composition physico-chimique du lait**

Toute augmentation du taux protéique (TP) est favorable aux rendements plus précisément, la teneur en caséine. En pratique, la mesure du taux protéique du lait reste un bon indicateur du taux de caséine, donc la surveillance de rendement commence par la maîtrise de taux protéique (MOREL, 2012).

Le rendement augmente aussi avec la teneur en matière grasse (Taux butyrique : TB) mais de façon beaucoup moins importante que la teneur en protéine. En effet, la caséine quand elle coagule forme un réseau protéique qui emprisonne les autres constituants et en particulier la matière grasse présente sous forme de globules gras. Par contre, une trop forte teneur en matière grasse peut entraîner des problèmes d'égouttage et de coagulation (SICARD, 2010).

TB et TP dépendent principalement de l'équilibre de la ration (surtout le TB) et de la génétique (surtout le TP).

Le calcium et phosphore augmentent l'aptitude du lait à la coagulation et globalement une augmentation de ces derniers conduit à des gels plus fermes à meilleurs rendements.

- **Qualité microbiologique** : risque de contamination du lait en flore d'altération par exemple des psychrotrophes protéolytiques : *Pseudomonas* (VOISIN, 2010)
- **Altération des globules gras** : par le phénomène de lipolyse (rupture des globules gras) ou par les chocs mécaniques ou thermiques du lait et mouillage du lait (ajout

d'eau). Les matières grasses liquides libérées ne sont pas récupérées dans le coagulum : perte de rendement (MOREL, 2012).

- **Refroidissement/stockage** : au cours d'un stockage prolongé du lait à 4°C, une partie du calcium colloïdale se solubilise. Il perd alors ses propriétés de structuration du caillé et sera perdu dans le sérum. Ce phénomène conduit à des caillés plus fragiles donc des pertes de rendement (BERNARD, 2011).

1.3.5.4.2. Paramètres technologiques

- **Ensemencement du lait** : la préparation microbiologique du lait (respect de la dose et le temps nécessaire pour la maturation) ;
- **Emprésurage** : une moindre ou forte quantité de présure entraîne des pertes ;
- **Moulage** : la technique de moulage : (matériel et coup de main) joue un rôle sur les pertes et l'homogénéité de taille et de poids ;
- **De l'égouttage à l'affinage** : le couple temps/température d'égouttage influence le rendement et plus le fromage est séché plus les (pertes) sont importantes (VOISIN, 2010).

1.3.5.5. Les techniques employées pour améliorer le rendement fromager (standardisation)

La standardisation du lait consiste à standardiser le lait en sa teneur en matière grasse (32 g/l) et en sa teneur en matière azotée (30 g/l) qui détermine la qualité rhéologique du caillé lors de la coagulation et de l'égouttage ainsi que la qualité du fromage (ARMENDARIZ et COCHET, 1993).

Elle consiste également à la standardisation du lait en matière minérale essentiellement la teneur en calcium de point de vue quantitative et qualitative du fait de son grand rôle lors de la coagulation par la présure (MIETTON, 1986).

La standardisation peut se faire par différentes façon :

1.3.5.5.1. La standardisation physique : Elle regroupe l'élimination des impuretés par filtration et centrifugation.

1.3.5.5.2. La standardisation bactériologique : Elle doit permettre de s'affranchir de la flore initiale du lait en éliminant la flore pathogène et la flore banale indésirable par traitement thermique (pasteurisation à 75 °C) adéquat et de s'assurer que la flore désirée apportée par ensemencement en microorganismes sélectionnés tels que les bactéries lactiques, les levures et moisissures se développent d'une manière efficace, afin d'améliorer le déroulement de la fermentation lactique (ARMENDARIZ et COCHET, 1993).

1.3.5.5.3. La standardisation chimique : il s'agit de l'enrichissement en protéines et en matière grasse afin de satisfaire le rapport «gras /matière sèche» qui est de 44 à 45 % (cas de camembert) et l'enrichissement en calcium par ajout de CaCl_2 (PHYLLIPPE *et al*, 2003).

1. 3.5.5.3.1. Enrichissement en calcium par ajout de CaCl_2

Ce composé est incorporé dans le lait avant sa pasteurisation et permettant le rétablissement de l'équilibre déstabilisé par le refroidissement.

L'ajout de CaCl_2 au lait conduit à :

- Une diminution de la concentration en caséines solubles ;
- Une diminution de la charge superficielle des micelles provoquant ainsi la réduction des répulsions électrostatiques et favorise les interactions hydrophobe entraînant en jeu dans la coagulation (BERNARD, 2011) ;
- Un réarrangement protéique responsable d'une augmentation de la densité micellaire (PHYLLIPPE *et al*, 2003).

1.3.5.5.3.2 Enrichissement en protéines et en matière grasse (standardisation)

La composition du lait est corrigée afin d'obtenir des teneurs en extrait sec et matière grasse permettant un bon rendement et une composition voulue de fromage.

L'enrichissement est réalisé par plusieurs technique :

- L'ultrafiltration ou la microfiltration sur membrane (THAPON, 2005) ;
- L'ajout de la poudre du lait et/ou de la crème au lait à des proportions calculées.

MATERIEL ET METHODES

II. Matériel et méthodes :

2.1. Présentation de l'unité :

Notre travail a été réalisé au niveau de la laiterie-fromagerie (STLD) «Société de Transformation du Lait et Dérivés»: Le Fermier, c'est une entreprise à caractère privée sise à la rue des frères BEGGAZ nouvelle ville, Tizi-Ouzou.

La laiterie a pour fonction de produire du lait de vache frais pasteurisé conditionné en sachets, aussi de pasteuriser du lait de vache et du lait de chèvre pour l'élaboration du fromage. Les produits fabriqués au sein de cette unité sont comme suit :

- ✓ Lait de vache pasteurisé conditionné ;
- ✓ Lait de vache pasteurisé fermenté «l'ben» ;
- ✓ Camembert au lait de vache «le Fermier» ;
- ✓ Camembert au lait de chèvre « le chèvre du Fermier» ;
- ✓ Fromage à pâte pressée.

Le lait utilisé au niveau de l'unité est acheté auprès des éleveurs et des collecteurs locaux, environ 35000 litres sont transformés par jour.

❖ Les compartiments de l'unité STLD :

- ✓ service administratif ;
- ✓ Service commercial ;
- ✓ Salle de réception des collectes de lait ;
- ✓ Laboratoire d'analyses microbiologiques et physicochimiques ;
- ✓ Salle de pasteurisation ;
- ✓ Atelier de production ;
- ✓ Atelier de conditionnement ;
- ✓ Atelier d'emballage ;
- ✓ Magasin de stockage ;
- ✓ Salle de nettoyage et de désinfection du matériel de production ;
- ✓ Cantine.

❖ Le personnel de l'entreprise :

La laiterie compte un effectif de 74 employés compétents, ambitieux et qualifiés et bien formés aux pratiques indispensables dans une industrie agro-alimentaire.

2.2. Echantillons

Les laits utilisés sont des laits de mélange provenant de la région de Tizi-Ouzou et ils sont prélevés à partir des citernes de collecte après homogénéisation.

Le lactosérum à analyser a été prélevé à partir de la phase d'égouttage des laits de mélanges.

L'étude est faite sur trois laits différents provenant de trois fournisseurs différents dont chacun est divisé en deux : une partie reste sans enrichissement et l'autre partie subit des enrichissements, ensuite dans les mêmes conditions ces derniers vont être l'objet de fabrication de camembert dans des petits récipients.

Les analyses physicochimiques et les pesées sont effectuées sur : les laits de départ, les laits enrichis, lactosérums récupérés ainsi que les produit finis.

2.3. La fabrication du camembert suivant le processus appliqué à STLD

2.4.1. Réception du lait à l'usine

La réception du lait est effectuée dans des citernes équipées d'un agitateur et isothermes ou la température est maintenue à 4 °C. Après la réception, le lait est aspiré par des pompes à filtrer, toutes les particules et les impuretés macroscopiques et grumeaux qui peuvent s'y trouver sont éliminés avant la pasteurisation.

2.3.2. Pasteurisation

La pasteurisation est un traitement thermique (78 °C pendant 20 secondes) qui entraîne la destruction de la plupart des formes végétatives de microorganismes banaux et celles de tous les microorganismes pathogènes ainsi que certaines enzymes ce qui allonge la vie de l'aliment et garde sa qualité.

Ensuite le lait est conduit vers la chambre de refroidissement où il atteindra la température de 37 °C à 38 °C puis passera dans une cuve de stockage ayant une capacité de 3000 Litres.

2.3.3. Phase d'ensemencement –maturation

C'est l'étape d'introduction de la flore lactique sélectionnée qui va participer :

- D'une part à la coagulation du lait (en provoquant l'acidification) c'est à dire la production d'acide lactique par ces bactéries en créant ainsi les conditions favorables à l'action de la présure ;
- D'autre part, à l'affinage du fromage (rôle dans l'activité protéolytique) car les bactéries lactiques ne peuvent absorber et utiliser que des acides aminés libres ou des peptides courts. Après l'addition des ferments au lait, les bactéries commencent la dégradation du lactose en acide lactique. Dans cette étape est ajouté aussi le CaCl_2 (350 ml/l) et les levains fongiques qui jouent un rôle important dans le phénomène

d'affinage. Il s'agit de spores de *Pénicillium candidum*, *Pénicillium camemberti*. Cette phase dure entre 20 à 40 minutes.

2.3.4. Emprésurage et coagulation

Après la maturation, le lait est acheminé vers la salle de production à travers la tuyauterie de la fromagerie pour remplir les bassines (cuves) ou est ajoutée une quantité de 2 à 3 g de présure pour 100 L de lait puis on agite le mélange. La température de l' emprésurage est comprise entre 37 à 38 °C.

Le temps de passage du lait de l'état liquide à l'état de gel est défini par le temps de prise qui est compris entre 10 et 15 min. Il est obtenu par chronométrage à partir du moment de l' emprésurage jusqu'à l'apparition des flocons.

Après trois fois le temps de prise (le temps de coagulation), le caillé est tranché en petits cubes à l'aide d'une tranche caillé ce qui facilite la remontée du lactosérum.

2.3.5. Découpage et brassages

Le découpage (figure 04) se fait manuellement par la tranche caillé de métal inoxydable, de forme arc (demi-cercle) menu des files (fil de pêche) à un espacement entre les fils égale à 1,5cm.

Le but de cette étape est de faciliter l'exsudation de l'eau et favoriser ainsi la sortie de lactosérum du coagulum. Le caillé découpé subit deux à trois brassages séparés de 10 à 15min afin de libérer autant de lactosérum et d'obtenir un caillé dure.



Figure 4 : démonstration de la phase de découpage et de brassage (photo originelle).

2.3.6. Le moulage

Les bassines sont renversées à l'aide d'une machine automatique (le basculeur) qui verse le caillé sur un dispositif de moules déposé sur la table d'égouttage puis réparti à l'aide d'une raclette (figure05). Le déplacement des plateaux montés sur des chariots à la table d'égouttage favorise l'écoulement du sérum qui s'acidifie progressivement (la température de la salle de moulage est de 26 à 28°C).

Après décantation et dégagement du maximum de lactosérum, les moules sont transférés dans une salle d'égouttage.



Figure 5: démonstration de la phase de moulage (photo originelle).

2.3.7. Egouttage et retournement

L'égouttage s'effectue dans la chambre d'égouttage à une température de 25 à 26 °C pendant 24 h et en réalisant des retournements permettant d'améliorer l'égouttage des fromages.

Le premier retournement est réalisé 2 heures après le moulage, à une acidité du sérum de 20 à 21 °D. Le deuxième retournement est réalisé 2 à 3 heures après le premier, à une acidité du sérum 45 à 50 °D.

Si l'acidité augmente progressivement, on ne fait pas le 3 retournement.

2.3.8. Démoulage et le salage

Le démoulage consiste à enlever manuellement les moules des fromages, il se fait au lendemain de la fabrication quand l'acidité du sérum atteint la moyenne de 80 à 90 °D.

Après le démoulage, les fromages sont mis dans une saumure (solution saturée en sel) à une température de 12 à 14 °C pendant 45 à 60 min selon la taille des pièces. Les fromages salés sont déposés sur des claies métalliques d'affinage.

2.3.9. Le ressuage

Après le salage, le produit est transféré dans la chambre de ressuage où il reste 24 h à une température de 12 à 14 °C afin de sécher légèrement les fromages.

2.3.10. L'affinage

Pendant cette opération, les fromages sont entreposés pendant 10 à 12 jours dans des hâloirs bien aérés et conditionnés à une température de 11 à 12 °C et une humidité de 95 %.

Pendant cette période, une solution de *Penicillium candidum* diluée dans l'eau est pulvérisée sur le fromage. Après 6 à 7 jours, les fromages se fleurissent c'est-à-dire ils développent une croûte.

Des retournements chaque deux jours sont effectués pour harmoniser la poussée de *penicillium* des 2 faces.

L'affinage est une étape d'intense activité microbienne et biochimique qui va donner le goût, la couleur et l'arôme du camembert.

2.3.11. Conditionnement et emballage

Cette phase est importante pour obtenir un produit de qualité, parce qu'elle assure la protection contre les agents extérieurs, le choix des matériaux de l'emballage doit répondre aux fonctions classiques pour avoir un double rôle de protection et de publicité.

À la laiterie les fromages sont emballés manuellement dans un papier plastifié puis dans des boîtes en cartons puis avec un dateur on met les dates de fabrication et de péremption ainsi que les numéros de lot. Ces boîtes sont ensuite ordonnées dans des caisses dans des chambres froides (4 °C).

Le schéma suivant résume l'ensemble de ces différentes étapes (figure 06) :

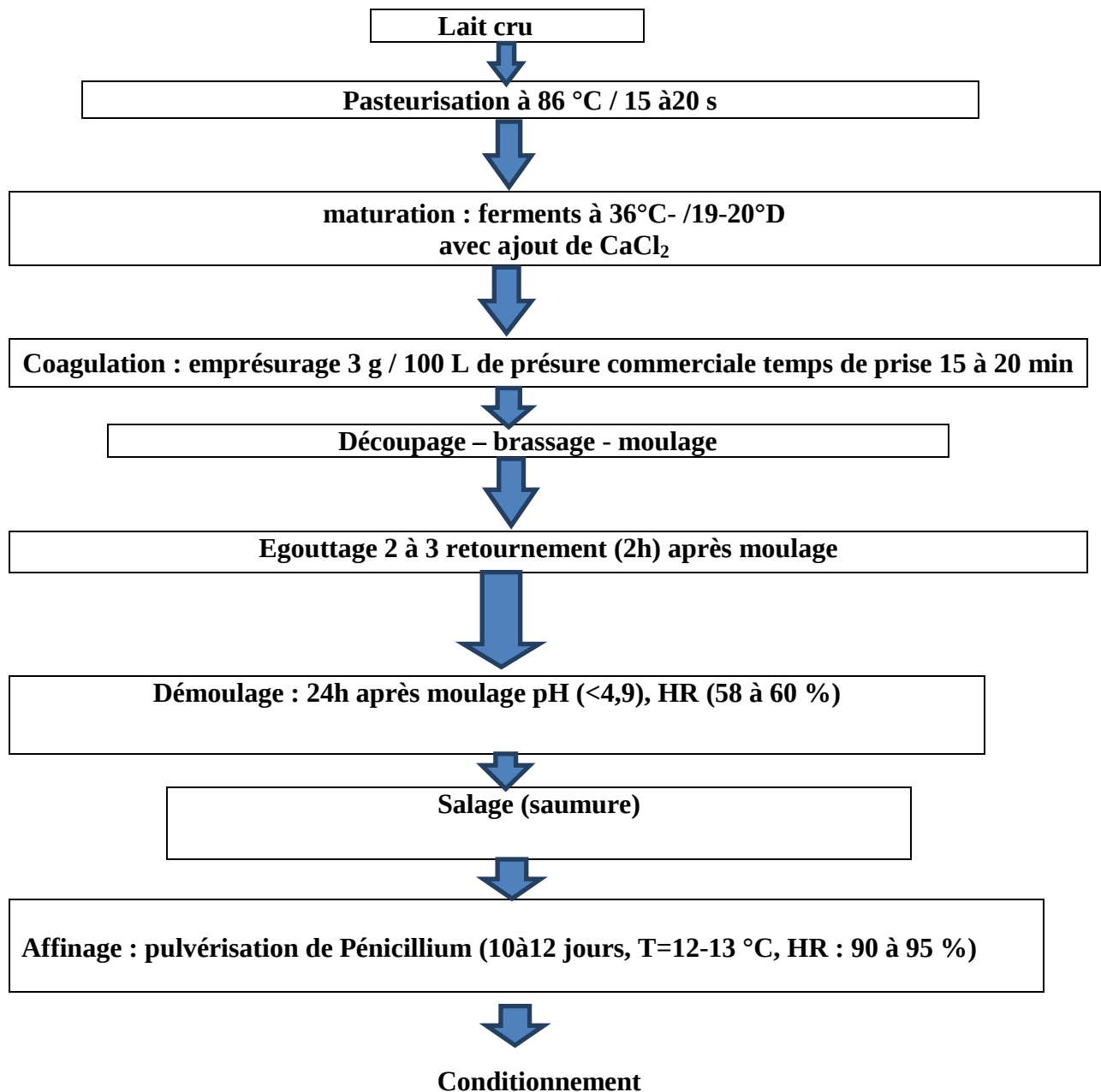


Figure 06 : Les différentes étapes de fabrication du camembert.

2.4. Matériel

Appareillages et réactifs

Appareillages	Réactifs
Bain marie (GERBER) Balance analytique (scout pro OHAUS) Centrifugeuse (GERBER centrifuge Nova Safety) Dessiccateur infrarouge (Sartorius) Lactodensimètre (ALPES Industries Services)	Acide sulfurique de densité 1,83. Alcool iso amylique. Eau distillée. Hydroxyde de sodium à 0,1N. Phénolphtaléine.

2.5. Méthodes d'analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques sont réalisées selon les normes AFNOR (1986), et celle du journal officiel de la république Algérienne N°80 du décret de 14/11/1991 et N°19 du décret de 05/04/2000

2.5.1. Détermination de la densité des laits (avant et après enrichissement) et les lactosérums obtenus

Principe :

La densité du lait est le poids en kilos d'un litre de lait à 15 °C. Elle est mesurée par un thermolactodensimètre et au même temps, est effectuée la lecture de la température. Sur la partie supérieure de l'appareil on trouve une échelle indiquant le degré de densité.

Mode opératoire :

Une quantité de lait ou de lactosérum est versée dans une éprouvette de 250 ml, tenue inclinée afin d'éviter la formation de mousse ou des bulles d'air. Le thermolactodensimètre est plongé verticalement dans l'éprouvette. Après sa stabilisation, la densité du lait est déterminée par une simple lecture sur l'échelle à la surface du lait.

Expression des résultats :

Le lactodensimètre donne une valeur exacte à une température de 15°C.

.Si la $T^{\circ} > 15$ alors $D = D^{\circ} + 0,2 (T^{\circ} - 15^{\circ}C)$.

.Si la $T^{\circ} < 15$ alors $D = D^{\circ} - 0,2 (T^{\circ} - 15^{\circ}C)$.

.Si la $T^{\circ} = 15$ alors la densité reste la même.

Avec T° : température lue sur le lactodensimètre.

D° : densité lue sur le lactodensimètre.

2.5.2. Détermination de la teneur en extrait sec total (EST) des Laits, Lactosérums et fromages

L'extrait sec total est le taux de matière séchée restant après dessiccation.

Mode opératoire :

Dans un dessiccateur infrarouge possédant une balance de précision intégrée est, placer une capsule préalablement séchée et lavée, contenant 3 g de lait (ou de lactosérum) à analyser (5 g pour le fromage).

La température du dessiccateur varie selon l'humidité de l'échantillon (elle peut aller jusqu'à 165 °C pour le lait).

Expression des résultats :

La lecture se fait directement par affichage sur l'écran du dessiccateur, la valeur de l'EST est exprimée en (g/l) pour le liquide et en (%) pour le solide.

2.5.3. Détermination de l'acidité titrable dans les laits et les lactosérums

Principe :

L'acidité titrable c'est le nombre de gramme d'acide lactique présent dans un litre de lait.

Le principe repose sur la neutralisation de l'acide lactique d'un échantillon par une solution NaOH à N/9, en présence d'un indicateur coloré «la phénolphtaléine».

Mode opératoire :

Dans un bécher, on introduit à l'aide d'une pipette, 10 ml de l'échantillon (lait et lactosérum) auquel on ajoute 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine, le tout est titré par une solution d'hydroxyde de sodium (Na OH) à N/9 jusqu'à apparition du virage rose.

Expression des résultats :

L'acidité titrable, exprimée en degré dornic (°D), est donnée par la formule suivante : $1^{\circ}\text{D}=0,1$ ml de NaOH (N/9).

($1^{\circ}\text{D}=0,1$ g d'acide lactique par litre de lait).

2.5.4. Détermination de la teneur en matière grasse

a) Pour le lait et le lactosérum

Principe

La méthode acido-basique (méthode de GERBERT) est basée sur l'attaque des composants autre que la matière grasse par l'acide sulfurique et sa séparation par l'alcool iso-amylque.

Mode opératoire

Dans un butyromètre à lait, une quantité de 10ml d'acide sulfurique de densité 1,83 a été introduit (pour la dissolution des protéines), dans lequel on ajoute un volume 11 ml de lait ou de lactosérum.

La séparation est favorisée par l'addition de 1ml d'alcool iso-amylque, puis on centrifuge à 1200tours/ min pendant 5min.

Expression des résultats :

La lecture se fait directement sur les graduations du butyromètre.

b) Pour le fromage**Principe :**

La matière grasse est exprimée en grammes de fromage. Elle est basée sur la dissolution de la caséine du fromage dans un butyromètre de VAN GULIK, par l'acide sulfurique ; une séparation de la matière grasse par centrifugation et une lecture directe du pourcentage en masse de matière grasse.

Mode opératoire :

Peser 3g de fromage dans un godet en verre, puis l'introduire dans un butyromètre.

Ajouter 10ml d'acide sulfurique densité 1,54 et chauffer le contenu jusqu'à la dissolution totale ensuite ajouter 1ml d'alcool iso-amylque.

Enfin introduire l'échantillon dans la centrifugeuse (1110 tours/min pendant 5min)

Expression des résultats :

Le résultat est lu directement sur les graduations du butyromètre, la teneur en matière grasse est exprimée en pourcentage en masse ; elle est égale à :

$$MG = N' - N$$

Avec N' : correspond au niveau supérieur de la colonne.

N : la graduation correspond au niveau inférieur de la colonne grasse.

2.5.5. Détermination de la teneur en protéines et en lactose dans les laits avant et après enrichissement:

La détermination de la teneur en protéines et en lactose dans le lait avant et après enrichissement se fait à l'aide d'un appareil spécifique appelé «Lactoscan» où une quantité de 10 ml du lait est introduite après le nettoyage et l'étalonnage de cet appareil.

Après 45 secondes, la lecture se fait directement sur l'écran et le résultat est donné en pourcentage (%).

Remarque :

Pour l'analyse de la densité, matière grasse, EST dans les laits avant et après enrichissement on a utilisé aussi le lactoscan pour confirmer le résultat.

2.5.6. Détermination des quantités à ajouter des poudres (0 % et 26 % de matière grasse)

Avant de déterminer les quantités des poudres qu'on doit ajouter aux laits de mélanges, on doit d'abord doser les protéines dans les poudres du lait (la 0 % et la 26 % de matière grasse).

2.5.6.1. Dosage des protéines dans les poudres de lait utilisées (0 % et la 26 %) :

Le dosage des protéines par la méthode de LOWRY (1951) se base sur l'addition successive à une solution protéique diluée d'un sel de cuivre en milieu alcalin puis du réactif de Folin-Ciocalteu qui donne une coloration bleue foncée. Celle-ci résulte de la réaction du cuivre sur les liaisons peptidiques.

Le réactif de Folin-Ciocalteu réagit avec les noyaux phénoliques de la tyrosine et du tryptophane.

Les espèces réduites absorbent à 750 nm, à cette longueur d'onde, le spectrophotomètre donne une valeur de densité optique (DO) qui permet de déterminer la concentration en protéines de l'échantillon analysé en se référant par projection à une courbe d'étalonnage $DO = f [BSA]$ où l'albumine sérique bovine (BSA) commerciale est utilisée comme protéine étalon.

2.5.6.2. La teneur en protéines des poudres utilisées :

Le Tableau (VIII) ci-dessous donne la teneur en protéines des poudres utilisées (0 % et 26 % de matière grasse) :

La courbe d'étalonnage réalisée, grâce à laquelle nous avons effectué la détermination de la teneur en protéines est représentée en annexe 02.

Tableau (VIII) : Teneur en protéines des poudres utilisées (0 %, 26 %)

Poudres	La 0 %	La 26 %
Protéines (%)	32,9	24,5

Ces résultats sont similaires aux teneurs en protéines mentionnées sur les fiches techniques des poudres utilisées en fromagerie (annexe05)

-La poudre contenant 0 % de matière grasse provient du lait écrémé qui a subi une déshydratation, ces poudres contiennent au maximum 1,5 % (m/m) de matière grasse (JEANTET *et al.*, 2008)

- La poudre la 26 % de matière grasse provient du lait entier qui a subi une déshydratation, ces poudres contiennent en poids, au moins 26 % de matières grasses (CASTRO-MOREL *et al.*, 2003).

2.5.6.3 Détermination des teneurs à ajouter des poudres (0 % et 26 % de matière grasse) :

En tenant compte des résultats de dosage des protéines dans les poudres (0 % et 26 %) et les résultats d'analyses physicochimiques des laits de mélanges, les quantités qu'on doit mélanger des poudres (0 %, 26 %), du lait de mélange ainsi que de l'eau sont calculés à l'aide d'un logiciel qui est basé sur le calcul de bilan des matières en fixant la teneur en matière grasse à 3,4 % et en protéines à 3,2 %.

$$\begin{array}{ll}
L_m + P_0 + P_{26} = 100 \dots\dots\dots(1) & \longrightarrow \text{bilan massique} \\
A. L_m + B.P_0 + C.P_{26} = 100.D \dots\dots\dots(2) & \longrightarrow \text{pour MG} \\
E. L_m + F.P_0 + G.P_{26} = 100.H \dots\dots\dots(3) & \longrightarrow \text{pour protéines}
\end{array}$$

Pour préparer les 100 Kg du lait standardisé on a choisi de prendre 90 Kg du lait de mélange (ayant une composition variable) et on calcule les quantités des poudres la 0 %, la 26 % et l'eau qu'on doit mélanger pour avoir les 10 Kg restantes et ça après la résolution de l'équation à trois inconnues :

$$L_m = 100 - P_0 - P_{26}$$

$$P_0 = \frac{100 (D - A) - P_{26} (C - A)}{B - A}$$

$$\begin{array}{c}
P_{26} = 100 \left[\frac{(H - E) + (D - A) (E - F)}{B - A} \right. \\
\left. \frac{(A - C) (E + F) + G - E}{B - A} \right]
\end{array}$$

Où L_m , P_0 , P_{26} désignent respectivement les masses en Kg de lait de mélange, de la P_0 et de la P_{26} .

Et A , B , C et D sont respectivement les matières grasses dans le lait de mélange, la P_0 , la P_{26} et dans le lait standardisé en Kg/Kg.

Et E , F , G et H sont respectivement la teneur en protéines dans le lait de mélange, la P_0 , la P_{26} et dans le lait standardisé en Kg/Kg.

On a fixé la teneur en matière grasse dans le lait standardisé (D) à 3,4 % et les protéines (H) à 3,2 %.

2.5.7. Bilan des matières, rendement et taux de récupération :

Lors de la transformation du lait en fromage, il est possible de formaliser le bilan des matières pour un constituant X (matière grasse, protéine, EST) par le système d'équation suivant :

$$\begin{cases}
m_L = m_F + m_S \dots\dots\dots(1) \\
m_L \cdot X_L = m_S \cdot X_S + m_F \cdot X_F \dots\dots\dots(2)
\end{cases}$$

de (1) on a $m_S = m_L - m_F$

on remplaçant dans (2) on aura $m_L \cdot X_L = (m_L - m_F) \cdot X_S + m_F \cdot X_F$

$$\longrightarrow m_L (X_L - X_S) = m_F (X_F - X_S) \longrightarrow m_F / m_L = (X_L - X_S) / (X_F - X_S) \dots\dots\dots(3)$$

Où m_L , m_F , m_S et X_L , X_F , X_S désignent respectivement les masses (en kg) de lait, de fromage, de sérum et les concentrations du constituant X (EST, protéines, MG) dans le lait, le fromage et le sérum (en g / kg).

Afin de déterminer le rendement fromager des laits avant et après enrichissement, nous avons déterminé d'abord le poids des fromages obtenus, leurs teneurs en EST et MG, ainsi que les pertes en matières (EST, MG) dans les lactosérums exsudés.

Pour calculer le rendement des productions de camemberts fabriqués à partir des laits enrichis et non enrichis, on procède comme suit :

❖ **Calcul de rendement fromager global (R_g) :**

Le rendement fromager R_F (sans dimension) est exprimé en kg de fromage pour 100 kg de lait mis en œuvre.

$$R_F = m_F / m_L \times 100 \text{ (c'est un rendement global (Rg))} \dots\dots\dots(4)$$

❖ **Calcul de rendement élémentaire (R_{EST}, R_{MG}) :**

On combinant (3) et (4) on obtient :

$$R_F = m_F / m_L \times 100 = (X_L - X_S) / (X_F - X_S) \cdot 100$$

On obtient le rendement élémentaire pour le constituant X.

$$R_f = \frac{X(\text{lait}) - X(\text{sérum})}{X(\text{fromage}) - X(\text{sérum})} \times 100$$

Donc :

$$R_{EST} = \frac{EST(\text{lait}) - EST(\text{sérum})}{EST(\text{fromage}) - EST(\text{sérum})} \times 100$$

$$R_{MG} = \frac{MG(\text{lait}) - MG(\text{sérum})}{MG(\text{fromage}) - MG(\text{sérum})} \times 100$$

❖ **Calcul de taux de récupération (T_X) pour le constituant X :**

Pour le taux de récupération (T_X) d'un constituant X (EST, MG) dans le fromage est calculé comme suit :

$$m_L \cdot X_L \longrightarrow 100$$

$$m_F \cdot X_F \longrightarrow T_X$$

Donc :

$$T_X = \frac{m_F \cdot X_F}{m_L \cdot X_L} \times 100$$

Où X_L , X_F désignent respectivement les concentrations du constituant X (EST, MG) dans le lait et le fromage (en g / kg).

Donc :

$$T_{EST} = \frac{m_F \cdot EST_F}{m_L \cdot EST_L} \times 100$$

$$T_{MG} = \frac{m_F \cdot MG_F}{m_L \cdot MG_L} \times 100$$

Conclusion

III. Résultats et discussions

3.1 Les résultats d'analyses physico-chimiques:

3.1.1. Les résultats d'analyses physico-chimiques des laits de mélanges avant et après enrichissement:

La composition physicochimique des trois laits de provenance différente utilisés avant et après enrichissement est représentée dans Le tableau (IX) suivant :

Tableau IX : Résultats d'analyses physicochimiques des laits utilisés avant et après enrichissement avec le mélange de poudre de lait la0% et la 26%.

Paramètres production		Densité	EST(%)	Acidité (°D)	MG (%)	Protéines (%)	Lactose (%)
1 ^{ère}	Avant	1026,7±0,10	10,99±0,23	17	3,23±0,13	2,74±0,16	3,93±0,02
	Après	1031,58±0,15	12,59±0,04	19	3,44±0,03	3,21±0,01	4,64±0,03
2 ^{ème}	Avant	1026,93±0,37	10,78±0,12	17	3,02±0,01	2,75±0,09	3,94±0,03
	Après	1030,79±0,06	12,43±0,02	19	3,45±0,05	3,18±0,03	4,54±0,04
3 ^{ème}	Avant	1026,8±0,43	10,90±0,05	17	3,10±0,1	2,74±0,23	3,90±0,02
	Après	1031±0,53	12,50±0,09	19	3,42±0,03	3,19±0,04	4,53±0,03

Ces valeurs représentent les analyses physicochimiques obtenues sur trois laits de mélanges de provenance différente utilisés pour la fabrication du camembert (avant et après la standardisation).

Avant l'ajout des poudres de lait (enrichissement) les trois laits présentent des fluctuations légères au niveau de la composition chimique (densité, matière grasse, EST, protéines, lactose).

En comparant aux normes AFNOR (1980) (annexe 03) ces laits présentent des faibles teneurs en protéines et donc un EST et une densité faible. Cette teneur faible en protéines peut s'expliquer par la saison (mois d'avril, mai) car selon MASEL et MORGAN (2001), la teneur en protéines du lait diminue en début d'été.

MARTIN et COULON (1995) ont noté que beaucoup de facteurs sont susceptibles d'influencer négativement sur le taux protéique comme l'alimentation, la race, l'âge, le climat. Le mode d'élevage du troupeau (élevage intensif ou élevage extensif) et le stade de lactation constituent également des facteurs de variation de la composition du lait (POUGHEON et GOURSAUD, 2001).

La valeur moyenne trouvée en matière grasse est de 3,16 % cette valeur peu faible peut être due à l'alimentation des vaches (COULON, 2002) du faite que la matière grasse est l'élément le plus rapidement modifiable par l'alimentation. MEKROUD (2010) a trouvé des résultats qui se rapprochent de la valeur trouvée et a confirmé que la variation en matières grasses est liée à la saison de la traite du lait.

La teneur en matière grasse des laits de vache est fortement corrélée à la teneur en protéines (MAHAUT *et al.*, 2000).

Pour l'acidité on peut dire qu'elle répond à la limite définie par l'AFNOR (1980) (annexe 04). Cela veut dire que les laits utilisés ont été bien conservés ce qui est très important pour la fabrication du camembert. Selon HEINLEIN et CACCESI (2006) une acidité de 17 °D exclue un éventuel mouillage des laits.

Après la standardisation des laits par l'ajout des quantités calculées des poudres de lait (0 %, 26 %) (annexe 06) les résultats obtenus pour les trois laits sont similaires avec les quantités voulues en protéines (3,2 %) et en matières grasses (3,4 %). Cet enrichissement a augmenté l'EST des trois laits de mélanges pour avoir presque la même valeur et donc l'augmentation aussi de la densité à une valeur autour de 1031.

Des augmentations sont enregistrées pour tous les paramètres (densité, EST, MG protéines, lactose, acidité). Selon MARTIN et COULON (1995), une augmentation de taux de MG et de protéines induit un accroissement du taux d'EST du lait.

Ces résultats confirment les calculs effectués sur Excel pour avoir un lait présentant les caractéristiques physicochimiques voulues pour la fabrication du camembert et pour éliminer les fluctuations liées à la matière première (lait).

Les analyses statistiques (test de Student) (annexe 07) confirment des différences hautement significatives entre les laits avant et après la standardisation et cela pour tous les paramètres : densité, EST, MG, protéines, lactose avec l'obtention des

p-value de 0,00000 pour la densité, EST, les protéines, lactose et une p-value de 0,00007 pour MG.

3.1.2. Les résultats des analyses physicochimiques des lactosérums obtenus :

Après l'étape de la coagulation des laits, les lactosérums sont récupérés dans la phase d'égouttage pour analyses.

Les résultats des différents paramètres mesurés dans ces lactosérums obtenus à partir des laits enrichis et non enrichis sont indiqués dans ce tableau :

Tableau X : Les résultats physicochimiques des lactosérums obtenus avant et après la standardisation avec le mélange de la poudre de lait (la 0 % et la 26 %).

Paramètres		Poids (g)	Densité	Acidité (°D)	EST (%)	MG (%)
Productions						
1	Avant	6043±1,4	1022±0,5	12	6,12±0,05	0,3
	Après	4380±1,5	1024±0,3	13	7,31±0,06	0,3
2	Avant	6358±1	1022±0,24	12	6,16±0,09	0,3
	Après	5828±1,2	1023±0,3	13	6,98±0,1	0,3
3	Avant	6200±1	1022±0,5	12	6,14±0,04	0,3
	Après	5100±0,9	1023±0,53	13	7,14±0,05	0,3

Ces résultats montrent des variations entre les pertes enregistrées dans les lactosérums des laits enrichis et non enrichis et la densité plus au moins élevée des lactosérums indique les pertes des constituants des laits.

La teneur en matière grasse des lactosérums est faible (0,3 %), cela confirme que la majeure partie des constituants du lait (MG, protéines) sont principalement contenus dans le caillé et l'absence de différence entre laits enrichis et non enrichis signifie que la quantité de la matière grasse apportée par la poudre est retenue dans le caillé.

Avant enrichissement les teneurs trouvées en EST sont proches de la teneur apportée par BOIVIN –PICHE (2014) qui a défini le lactosérum comme étant un produit très dilué ne contenant que 6,5% de solides totaux.

Les teneurs en EST trouvés dans les lactosérums issus des laits enrichis sont plus élevés comparativement à ceux trouvés dans les lactosérums exsudés après la coagulation des laits non enrichis, ce qui a induit aussi l'augmentation des densités des lactosérums dans le cas d'enrichissement.

L'analyse statistique (test de Student) (annexe 07) ont démontrés une différence hautement significative entre les densités et EST des lactosérums avant et après enrichissement avec des p-values de 0,016 et 0,00047 respectivement.

Ces résultats révèlent une relation évidente entre la composition physicochimique du lait et les caractéristiques physicochimiques du lactosérum issu de ce même lait. Ces résultats concordent avec ceux d'AURILLIAC (2008), qui a montré que le lactosérum est d'autant plus riche en matières sèches quant le lait dont il est issu présente des concentrations élevées des constituants de la matière sèche (MG, protéines).

Ces pertes peuvent être dues aussi à une quantité de poudres ajoutées qui n'a pas été intégrée dans le réseau protéique formant le gel ou à une déstabilisation des protéines des poudres ajoutées et donc se retrouve dans le lactosérum. Lors de la production de poudre, la concentration des substances augmente faute de quoi, une quantité de protéines peuvent se déstabiliser et être précipitées (SCHUCK, 2012).

En outre ces pertes englobent probablement d'autres constituants des poudres à savoir le lactose et les sels minéraux (Annexe 05).

3.1.3. Les résultats des analyses physicochimiques des fromages obtenus :

Les résultats des analyses physicochimiques des camemberts issus des laits enrichis et non enrichis sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau XI : Résultats physicochimiques des fromages obtenus.

Paramètres		Poids total (g)	Poids moyen (g)	EST (%)	MG (%)
Productions					
1 ^{ère}	Avant	1105±1,2	221±0,2	51,24±0,01	25±0,8
	Après	1375±1,5	275±0,2	50,1± 0,02	23±0,9
2 ^{ème}	Avant	1300±1,8	260±0,3	45,5± 0,1	22±0,9
	Après	1660±2,01	277±0,2	44,82±0,9	21±0,7
3 ^{ème}	Avant	1200±1,3	240±0,4	49,2±	23±0,8
	Après	1520±1,3	250±0,3	47,9±	21±0,8

Ces résultats montrent que le poids total des pièces de camembert obtenues est considérablement élevé pour ceux issus des laits enrichis en comparant à ceux issus des laits non enrichis (figure 07)

L'analyse statistique (test de Student) (annexe 07) a confirmé une différence significative avec une p-value = 0,0336.

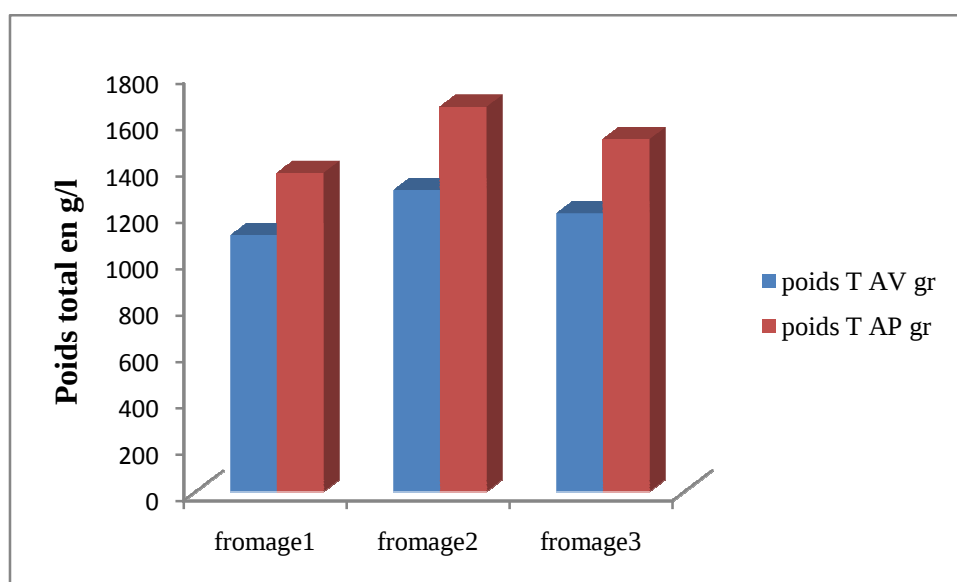


Figure 7 : Le poids total des fromages obtenu à parti des laits avant et après enrichissement

Poids T AV : poids total avant enrichissement en (g).

Poids T AP : poids total après enrichissement en (g).

Avant enrichissement le poids moyen des pièces est de (240 g) qui est au dessous des limites fixées par la fromagerie (250 g) alors que dans le cas d'enrichissement le poids moyen est de 267 g.

Les résultats obtenus pour EST et MG (avant et après enrichissement) sont légèrement supérieur aux teneurs préconisés à l'unité, ce qui peut être due au moulage manuel pratiqué et même au salage à sec appliqué provoquant une évaporation excessive au cours de l'affinage.

Selon RAMET (2006), l'évolution des paramètres physicochimiques durant l'affinage est la résultante des étapes d'égouttage, salage et ressuage.

L'analyse statistiques (test de Student) (annexe 07) a montré qu'il n'a pas une différence significative entres les résultats en EST et MG des fromages obtenus à partir des laits enrichis ou non enrichis (p-value = 0,67 pour EST et 0,20 pour MG).

Cela s'explique par le fait que les caractéristiques finales voulues du camembert sont les mêmes. Selon GERMAIN (2011), le fromage type camembert est un fromage à pâte molle à croûte fleurie affiné en surface et ayant un EST entre 45-50 % et son taux de matières grasses est au minimum de 22%.

3.2. Résultats des rendements fromagers et taux de récupération :

Après le calcul de rendement fromager (global et élémentaire) et taux de récupération pour chaque production avant et après enrichissement les résultats obtenus sont organisés dans le tableau suivant :

Tableau XII : Résultats des rendements (totaux, élémentaires) et taux de récupérations avant et après enrichissement :

Paramètres Productions		Rendement global (%)	Rendement élémentaire		Taux de récupération	
			EST(%)	MG(%)	EST(%)	MG(%)
1	Avant	11,05±0,9	10,79±0,13	11,86±0,11	51,52±0,09	85,53±0,05
	Après	13,75±1,1	12,34±0,20	13,83±1,01	54,72±0,08	91,93±0,06
2	Avant	13±0,15	11,74±0,11	12,53±0,09	54,87±0,09	94,70±0,09
	Après	16,60±0,23	14,40±0,09	15,41±0,13	58,86±0,09	99,88±0,1
3	Avant	12±0,8	11,05±0,8	12,33±0,23	54,16±0,05	89,03±0,09
	Après	15,2±0,85	13,15±0,93	15,07±0,20	58,25±0,08	93,33±0,1

Ces résultats montrent que le rendement global avant enrichissement est instable qui peut être dû à plusieurs paramètres à savoir la nature et la composition des protéines car selon MAHAUT *et al.*, (2000) les laits de début et fin de lactation ont une composition protéiques différentes, elle présente une teneur réduite en caséines et une teneur élevée en protéines solubles avec une modification de l'équilibre minérale (diminution de la teneur en calcium, phosphore, magnésium et augmentation du sodium)

En comparant les rendements globaux on constate une nette augmentation dans le cas des fromages issus des laits enrichis pour les trois productions (Figure 08).

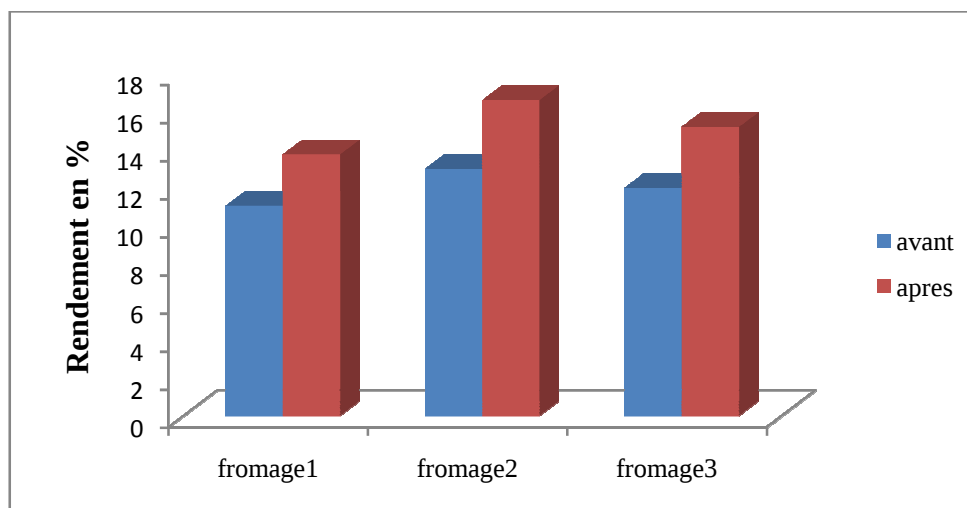


Figure 08 : Le rendement global des fromages obtenus à partir des laits avant et après enrichissement.

L'analyse statistique (test de Student) (annexe 07) a montré une différence significative avec une $p\text{-value} = 0,0336$, cette augmentation est due à l'ajout des protéines et la matière grasse aux laits utilisés. Toute augmentation de la teneur en protéines est favorable aux rendements (MOREL, 2012) et il augmente aussi avec la teneur en matière grasse (SICARD, 2010).

Les fluctuations observées entre les rendements fromagers globaux provenant des laits enrichis peuvent être due à l'intégration différentielle des protéines et de matière grasse ajoutée dans les caillés suite à un environnement différent (la teneur en autres constituants) ou manipulations différentes (temps d'homogénéisation, solubilisation insuffisante des poudres), l'atmosphère ambiante (la température).

Selon CUVILLIER (2005), le rendement fromager varie principalement en fonction de la quantité d'eau retenue dans le fromage, définie par les paramètres technologiques et de la teneur du lait en protéines et en matières grasses.

Concernant les rendements élémentaires pour EST et MG l'analyse statistique (test de Student) (annexe 07) a révélée une différence significative avec des $p\text{-values}$ de 0,0337 et 0,007 respectivement.

Ce pourcentage élevé des rendements élémentaires dans le cas des fromages issus des laits enrichis explique l'augmentation enregistrée des taux de récupération pour EST et MG.

Conclusion

Conclusion

Dans le but d'améliorer le rendement fromager par l'enrichissement en poudre de lait une caractérisation physicochimique des matières premières utilisées (poudre de lait la 0 % et la 26 % de matière grasse) et des les laits de mélanges a été effectuée, le calcul par EXCEL des quantités des poudres a ajouté en protéines et en matières grasses pour l'enrichissement suivie de la fabrication du camembert à partir des laits (enrichit et non enrichit).

Après l'enrichissement des laits de mélanges on a suivi la procédure suivante :

- Refaire l'analyse physicochimique des laits ;
- l'analyse physicochimique des lactosérums et des fromages obtenus ;
- Le calcul des rendements (globaux et élémentaires) et les taux de récupération.

Les résultats physicochimiques des laits standardisés ont montrées, une augmentation des teneurs en EST, protéines, densité, MG comparativement à ceux obtenus dans le cas des laits non standardisés.

Les variations de ces paramètres physicochimiques et leur impact sur le rendement fromager et les pertes enregistrées dans le lactosérum ont pu être démontrées par la détermination des principaux paramètres technologiques, notamment le calcul du rendement fromager global et le rendement élémentaire en EST et en MG, le taux de récupération et l'estimation des pertes. Ces paramètres sont très importants pour la maîtrise des matières premières au cours de la transformation du lait en camembert.

L'augmentation du rendement global des laits après enrichissement (augmentation moyenne de 3,2 %) a montré l'intérêt de la standardisation du lait de mélange en protéines et en matières grasses afin de corriger ou d'améliorer la composition du lait de départ et de ce fait améliorer son aptitude à la transformation fromagère et de réduire les pertes économiques qui sont défavorables à l'industrie.

Cependant des pertes en EST ont été enregistrées ce qui implique l'importance de l'influence des autres paramètres à savoir la qualité des protéines (déstabilisées ou non, le pourcentage des caséines...) contenues dans le lait et les poudres de lait, la teneur en lactose et en sels minéraux, ainsi que la bonne maîtrise des pratiques de fabrications et l'adaptation de la technologie appliquée a la qualité du lait mise en œuvre.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

ALAIS C., LINDEN G., et MICLO L. (2008). Biochimie Alimentaire. DUNOD 6ème Ed., Paris.

AMIOT J., FOURNER S., LEBEUF Y., PAQUIN P., SIMPSON R et TURGEON H.(2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeurs nutritives, qualité technologique et technique d'analyses du lait in VIGNOLA C.L. Science et technologie du lait transformation du lait ,Ecole polytechnique de Montréal, ISBN P, 1-69.

ANONYME 1. (1980). Recueil des normes Françaises. Laits et produits laitiers. Méthodes d'analyse. AFNOR.

ANONYME 2. (1986). Contrôle de qualité des produits laitiers. AFNOR .3ème Ed.

ANONYME 3. (2008). Le lait et les produits laitiers. FAO.

ARIE F., SRIKUMALANINGS H et ARIESTA W .(2012). Process engineering of drying milk powder with Foam mat drying method. *Journal of basic and applied scientific research*, 2 (4), 3588-3592.

ARMENDARIZ G.B et COCHET N. (1993). Le fromage. La tradition à la base de l'innovation. *Bio future*, 119, 27-29.

AZZA M., DEEB M., Al HAWARY I., AMAN I et DOAA SHAHINE. (2010). Bacteriological investigation on milk powder in the Egyptian Market With Emphasis on its Safety. *Global Veterinaria*, 4(5), 424-433.

BANKS J.M ., MUIR D.O., TAMINE A.Y. (1984). Equation for estimation of the efficiency of Cheddar cheese production. *Dairy India*, 49 (4) ,14-17.

BERNARD JOËL.(2011). Rendement fromager et facteurs influençant. FROM'INFO article 13, 1-6.

BOUTONNIER JL. (2008). Matière grasse laitière Composition, organisation et propriétés. Dans Techniques de l'ingénieur, Traité Agroalimentaire (F 6320), techniques de l'ingénieur. PARIS.

BOIVIN –PICHE J. (2014). Fabrication de fromage type Cheddar à partir des laits de fromagerie concentrés en protéines et fortifiés en vitamine D. Mémoire de maitrise en Sciences et Technologie des Aliments. Université Laval. Québec, Canada.

BRULE G. ET LENOIR J. (1987). La coagulation du lait in Le Fromage A. Eck 2ème édition Tech et Doc.

CAROLE L V. (2002). Science et technologie du lait : transformation du lait. Fondation et technologies laitières du QUEBEC.

CASTRO-MOREL M., HARPER W.J.(2003). Effect of retentate heat treatment and spray dryerin let temperature on the properties of milk protein concentrates (MPC'S) Milchwissenschaft. 58,13-15.

CAYOT P.H. ET LORIENT D.(1998) Structures et technofonctions des protéines du lait. ARILAIT Recherches. Tec et Doc. Lavoisier.

CAZET LAURE.(2007). Bilan du taux de contamination et étude préparatoire au dosage de résidus de produits phytosanitaires dans le lait de grand mélange bovin. Thèse de doctorat en science vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon.

COLIN ODILE.(1990) .Taux protéique et qualité fromagère des laits et maitrise des facteurs de production. Thèse de doctorat de L"INPL. Institut national polytechnique de LORRAINE.

COURTET- LEYMARIOS F. (2010).Qualité nutritionnelle du lait de vache et de ses acides gras et voies d'amélioration par l'alimentation .Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire D'ALFORT.

CREAMER L K., PLOWMAN J E., LIDDELL M J., SMITH M H and HILL P.(1998). Micelle stability :κ-caseine structure and function. *Official Journal of the American Dairy Science Association*. 81,25-388.

CUVILLIER DELPHINE.(2005). Le rendement fromager. Mesurez votre rendement fromager .Centre Fromager de BOURGOGNE.2.

DEBRY G. (2001). Lait, nutrition et santé. Edition Tec et Doc Lavoisier, PARIS.

DESOBRY-BANON SYLVIE. (1992). Modification de la structure des micelles de caséine lors de l'acidification du lait par hydrolyse de glucono-delta-lactone. Thèse de doctorat de l'I.N.P.L spécialité biotechnologies et industries alimentaires. Institut national polytechnique de LORRAINE.

DIENG M.(2001). Contribution à l'étude de la qualité microbiologique des laits caillés industriels commercialisés sur le marché Dakarois. Thèse de doctorat vétérinaire, Université de Dakar. SENEGAL.

ECK A et GILLIS J.C. (2006). Le Fromage. Technique et Documentation, 3ème Edition., Lavoisier, PARIS.

ECK A. (1990). Le Fromage. Techniques et Documentation, 3eme Edition., Lavoisier, PARIS.

ECK A. (1987). Le fromage. Tec and Doc 2ème édition Lavoisier., PARIS.

GAIANI CLAIRE. (2006). Étude des mécanismes de réhydratation des poudres laitières, influence de la structure et de la composition des poudres. Thèse de doctorat de l'INPL Spécialité. Procédés Biotechnologiques et Alimentaires. Institut national polytechnique de LORRAINE.

GELAIS et TIRARD P. (2002). In «science et technologie du lait».Edition CAROLE and VIGNOLA, presse internationales polytechniques. CANADA,182-223

GERMAIN ROBERT. (2011). Préparation d'un extrait coagulant à partir des fruits de *Balatines aegyptiaca* ; études biochimiques et application technologique. Thèse de doctorat en science et ingénierie des Fonctions Biologiques. Université de l'ILLE I.

GOY D., HÄNI JP. , WECHSLER D. ET JAKOB E. (2005).Valeur de la teneur en caséine du lait de fromagerie. Edition, Agroscope Liebfeld-Posieux. Groupe de discussions Gruyère. 27f .

HARLESS CHRISTOPHER. (2009) . La caséine et le lactose du lait, les conséquences sur l'organisme de la caséine et du lactose contenus dans le lait. Collège CALVIN,1-10.

HEINLEIN G. F. W. and CACCESE R. (2006). Goat milk versus cow milk. *Dairy Goat Journal*.3,1-5.

ILBOUDO A.J et al. (2012). Place de la matière azotée dans le mécanisme de la coagulation présure du lait. *International Journal Of Biological and Chimical Sciences*, 6(6), 6075-6087.

JAQUE. P. (1998). Alimentation et santé. INRA.PARIS.

EANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P et BRULE G. (2007). Science des aliments. Tech et Doc, Lavoisier. PARIS

JEANTET ROMAIN., THOMAT GROGUENNEC., MICHEL MAHAUT., PIERRE-SHUNK., GERAD BRULE .(2008). Les produits laitiers. Édition Tech et Doc 2^{ème} édition, Lavoisier, PARIS.

KARAM MARIE-CELESTE. (2013). Réhydratation des protéines laitières dans un milieu complexe, influence de l'état d'hydratation sur les propriétés texturales des gels acides. Thèse de doctorat en procédés biotechnologiques et alimentaires. Université de LORRAINE. France.

KAREN SMITH. (2008). Dried dairy ingredients. P60.

LOWRY O.H., ROSEBROUGH N.J., FARR A.L. and RANDALL R.J. (1951). Protein mesurment with Folin phenol reagent. *The Journal of Biochimistry* , 193, 265-275.

LUCEY J.A. (2002). Rennet coagulation of milk .Encyclopedia of Dairy Science, Roginski H., Fuquay J. Fox P. Elsevier. 286-293.

LUCEY J.L. FOX P.F. (1993). Importance of calcium and phosphate in cheese manufacture, *Journal of Dairy Science*,76, 1714-1724.

LUQUET FRANCOIS M. (1990). Lait et produits laitiers, vache, brebis, chèvre. Transformation et technologie. Tec et Doc, 2éme édition, Lavoisier tome 2.

MADJI A. (2009).Séminaire sur les fromages AOP ET IGP.INAT. TUNISIE

MAHAUT M., JEANTET R ., SCHAK P., BRUL G. (2000).Les produits laitiers. Edition Tec et Doc, Lavoisier. PARIS P,26-180.

MARCHIN S. (2007). Dynamique de la micelle de caséines: caractérisation structurale. Thèse de l' INRA, Agrocampus RENNES.

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

MAUBOIS JL., RICORDEAU G., MOCQUOT., G. (1970).Etude des rendements en fromagerie de camembert et de Saint-paulin. Lait. 50-351.

MERIGAUD JEAN-PAUL. (2009).Spécification technique de l'achat public du lait et produits laitiers. Groupe d'étude des marches de restauration collective et de nutrition (GEM RCN). B3, 07-09.

RABHI MEZIANE .(2009).L'Algérie est le premier importateur africain de denrées alimentaires. Algérie-Watch. Informations sur la situation des droits des humains en Algérie. P 1.

MIETTON B.(1995). Incidence de la composition des fromages au démoulage et des paramètres d'environnement sur l'activité des agents de l'affinage. Revue des ENIL, P189.

MOREL GUILLAUME. (2012) .La levure *Geotrichum candidum*, taxonomie, biodiversité et génome. Thèse de doctorat en science, spécialité biologie. Université PARIS-SUD XI ORSAY.

MORISSET MICHEL., CATHERINE BRODEUR., VALERI LAMARCHE .(2007) .

Perspectives pour l'industrie de la transformation laitière québécoise, Conseil des industriels laitiers du QUEBEC, 40-60.

OUADGHIRI MOUNA. (2009). Biodiversité des bactéries lactiques dans le lait cru et ses dérivés « L'ben » et « J'ben » d'origine marocaine. Thèse de doctorat en Biologie, Spécialité : Microbiologie et Biologie Moléculaire.

OULD ELEY MOHAMED EL MUSTAPHA. (1996). Analyse de la formation des gels acides de laits de vache, de chèvre et de brebis au moyen de la géométrie fractale. Thèse de doctorat de I.N.P.L.A Ingénieur en Génie des Procédés Spécialité Biotechnologies et Industries Alimentaires, Gabès .TUNISIE.

OULDFIELD DJ., SINGH and TAYLOR M.W. (2007). Association of β -lactoglobulin and α -lactalbumin with the casein micelles in skim milk heated in an ultrahigh temperature plant. *Journal of Dairy Research*. 47, 313-325.

PHYLIPPE M., GAUCHERON F., LE GRAET Y., MICHEL F and GAREM A. (2003). Physicochemical characterization of calcium-supplémented skim milk. L'Institut national de la recherche agronomique, Lait, 83, 45–59.

POUGHEON S. (2001). Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière. Thèse de doctorat en médecine vétérinaire. Université Paul Sabatier de Toulouse, FRANCE.

POUGHEON S., GOURSAUD J.(2001). Le lait et ses constituants : caractéristiques physicochimiques ; in lait, nutrition et santé. Edition Techniques et documentation, LAVOISIER, PARIS.

ROUDAUT H. ET LEFRANCQ E. (2005). Alimentation théorique. Edition Sciences des Aliments.

SCHUCK PIERRE, DOLIVET ANNE, JEANTET ROMAIN. (2012) . Les poudres laitières et alimentaires. Edition TEC et DOC. Lavoisier.

SICARD MARIETTE.(2010).Méthodes, concepts et outils des systèmes complexes pour maîtriser les procédés alimentaires. Application à l'affinage de camemberts. Thèse de doctorat des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Spécialité Génie des Procédés Alimentaires. Agro Paris Tech.

ST-GELAIS D. ET TIRARD-COLLET P. (2002). Fromage, in Science et technologie du lait transformation du lait. Coordonnateur Vignola C.C . Fondation de technologie laitière du QUEBEC.

TALANTIKITE - KELLIL SOUAD .(2015).Purification et caractérisation d'une enzyme coagulante d'origine microbienne pour application en fromagerie. Thèse de doctorat En génie alimentaire et biotechnologie. Université M'hamed Bougara. Boumerdes.

THAPON J.L .(2005). Science et technologie du lait, Agrocampus RENNES, France,14-51.

THOMAS MARIE E. C.(2004).Influence de l'activité de l'eau sur les interactions lactose / β -lactoglobuline de poudres laitières modèles lyophilisées. Thèse de doctorat de l'INPL Spécialité Procédés Biotechnologiques et Alimentaires. Institut National Polytechnique de LORRAINE.

VEISSEYRE R. (1975). Technologie du lait. Constitution, Récolte, Traitement et Transformation du lait. 2^{ème} édition. Rustique. PARIS.

VIERLING E.(2008). Aliments et boissons filières et produits.3ème Edition. Biosciences et techniques. PARIS.

VIGNOLA C.L.(2002). Science et technologie du lait, Transformation du lait. Presses Internationales Polytechniques. CANADA.

VILLETTE A.(2016). Améliorer son rendement fromager article sur le rendement fromager.la chèvre. P2.

VOISIN AURELIEN.(2010). Influence du type d'alimentation sur la texture et la flaveur du fromage. Thèse de doctorat vétérinaire. Université PAUL SABATIER de TOULOUSE.

WERBER F.(2007). Valeur nutritionnelle des fromages. Edition Techniques et documentation. Lavoisier. PARIS.

WOLTER S. (1997). Hand book of milk. Ed., Composition academic press, San Diego. P30.

Annexes

Annexe 1 :

1. Détermination de la densité



Figure 10: densitomètre

2. Détermination de la teneur en extrait sec total (EST)



Figure 11: Dessiccateur infrarouge

3. Détermination de l'acidité titrable :



Figure 12 : Acidimètre.

4. Détermination de la teneur en matière grasse



Figure 13: Butyromètre de VAN GULIK et GERBER.

5. Détermination de la teneur en protéines (le lait) :



Figure14: Lactoscan

Annexe 2 :

Détermination de teneur en protéines dans la poudre du lait :

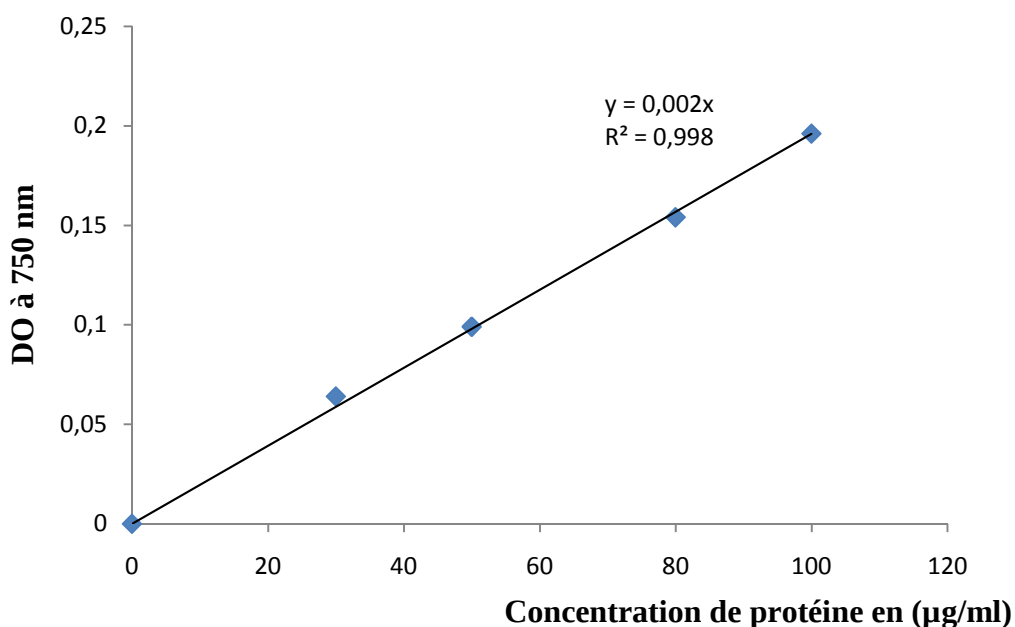


Figure 15 : Courbe étalon pour le dosage des protéines par la méthode de LOWRY *et al* (1951).

L'albumine sérique bovine (BSA) est utilisée comme protéine de référence.

Annexe 3: Composition physicochimique du lait de vache (Normes AFNOR (1980))

Paramètres	Normes AFNOR (1980)
Densité	1028-1032
EST (g/l)	102-125
Acidité (°D)	16-18
MG (g/l)	34-36
Protéines (g/l)	34-36

Annexes 4 : Les normes physicochimiques des fromages (normes du CODEX ALIMENTARIUS utilisées dans la fromagerie STLD)

Paramètres	Normes (CODEX ALIMENTARIUS)
PH	4,9-5,25
MG (%)	1,8-2,2
Humidité(%)	51-55
EST (%)	40-45
G/S(%)	45-48

Annexe 5: Composition des poudres de lait la 0 % et la 26 %

composition	La 0%	La 26%
Lactose	54,5	40,3
Protéines	32,9	26,3
Minéraux	7,9	24,5
Humidité	3,8	5,8
MG	0,9	3,1

Annexe 6: Calcul des quantités des poudres ajoutées sur Excel :

Tableau I : Calcul des quantités des poudres ajoutées pour échantillon lait 1 :

PARAMETRES	P0%	P26%	LAIT cru	lait recombiné	lait à standardiser	eau
MG%	0,9	26	3,23	4,93	3,4	
MGKG/KG	0,009	0,26	0,0323	0,0493	0,034	
PROT %	32,9	24,5	2,74	7,34	3,2	
PROT KG/KG	0,329	0,245	0,0274	0,0734	0,032	
densité			1,02752			
QUANTIT KG	0,08406432	0,18670547	90	10	100	
VOLUME			87,58953597			
QT finale	0,84064319	1,86705466	90	10	100	7,29230215
QT voulus kg	0,08406432	0,18670547	9	1	10	0,72923022
volume			8,758953597			

Tableau II: Calcul des quantités des poudres ajoutées pour échantillon lait 2

PARAMETRES	P0%	P26%	LAIT cru	lait recombiné	lait à standardiser	eau
MG%	0,9	26	3,02	6,82	3,4	
MGKG/KG	0,009	0,26	0,0302	0,0682	0,034	
PROT %	32,9	24,5	2,75	-24,75		
PROT KG/KG	0,329	0,245	0,0275	-0,2475	0	
densité			1,02752			
QUANTITKG	-0,97268855	0,29597768	90	10	100	
VOLUME			87,58953597			
quantité finale	-9,72688546	2,9597768	90	10	100	16,7671087
qtité voulue kg	-0,97268855	0,29597768	9	1	10	1,67671087
volume			8,758953597			

Tableau III : Calcul des quantités des poudres ajoutées pour échantillon lait 3

PARAMETRES	P0%	P26%	LAIT cru	lait recombiné	lait à standardiser	eau
MG%	0,9	26	3,1	6,1	3,4	
MGKG/KG	0,009	0,26	0,031	0,061	0,034	
PROT %	32,9	24,5	2,74	-24,66		
PROT KG/KG	0,329	0,245	0,0274	-0,2466	0	
densité			1,02752			
QUANTITKG	- 0,94871303	 0,26745545	 90	 10	 100	
VOLUME			87,58953597			
quantité finale	- 9,48713026	 2,67455451	 90	 10	 100	16,8125757
qtité voulue kg	- 0,94871303	 0,26745545	 9	 1	 10	1,68125757
volume			8,758953597			

Annexe 7 : Analyse statistique

1. Laits : Test de Student pour échantillons appariés :

Variable	Moyenne	Ec-Type	N	Différ.	Ec-Type Différ.	t	dl	P	Différ.
DENSITEAV	1026.698	0.304211							OUI
DENSITEAP	1031.234	0.447468	9	-4.53667	0.389423	-34.9492	6	0.000000	

DENSITEAV : densité des laits avant enrichissement.

DENSITEAP : densité des laits après enrichissement.

Test de Student pour échantillons appariés :

Variable	Moyenne	Ec-Type	N	Différ.	Ec-Type Différ.	t	dl	P	Différ.
ESTAV	10.87333	0.222374	9						OUI
ESTAP	12.50667	0.084261	9	-1.63333	0.174069	-28.1498	8	0.000000	

EST AV : EST des laits avant enrichissement.

EST AP : EST des laits après enrichissement

Test de Student pour échantillons appariés :

Variable	Moyenne	Ec-Type	N	Différ.	Ec-Type Différ.	t	dl	P	Différ.
MGAV	3.116667	0.122577							OUI
MGAP	3.436667	0.036056	9	-0.32000	0.128062	-7.49934	8	0.000070	

MGAV : MG des laits avant enrichissement.

MGAP : MG des laits après enrichissement.

Test de Student pour échantillons appariés :

Variable	Moyenne	Ec-Type	N	Différ.	Ec-Type Différ.	t	dl	P	Différ.
PROTAV	2.743333	0.143875							OUI
PROTAP	3.193333	0.030000	9	-0.450000	0.137295	-9.83282	8	0.000000	

PROTAV : Protéines des laits avant enrichissement.

PROTAP : Protéines des laits après enrichissement.

Test de Student pour échantillons appariés :

Variable	Moyenne	Ec-Type	N	Différ.	Ec-Type Différ.	t	dl	P	Différ.
LACTAV	3.923333	0.025981							OUI
LACTAP	4.570000	0.060208	9	-0.646667	0.068007	-28.5263	8	0.000000	

LACTAV : Lactose des laits avant enrichissement

LACTAP : Lactose des laits après enrichissement

2. Lactosérums :

Test de Student pour échantillons indépendants :

	Groupe 1 : LAV Groupe 2 : LAP											
Variable	Moyenn e LAV	Moyenn e LAP	Valeur t	dl	P	N actifs LAV	N actifs LAP	Ecart- Type LAP	Ecart type LAV	Ratio F variance	P variances	Différ.
DENSIT E	1022.00 0	1023.333	- 4.00000	4	0.016130	3	3	0.00	0.577350	0.00	1.00000	OUI

LAV : Dans les lactosérums issus des laits non enrichis.

LAP : Dans les lactosérums issus des laits enrichis.

Test de Student pour échantillons indépendants :

Groupe 1 : LAV Groupe 2 : LAP												
Variable	Moyenn e LAV	Moyenn e LAP	Valeur t	dl	P	N actifs LAV	N actifs LAP	Ecart- Type LAP	Ecart type LAV	Ratio F variance	P variances	Différ.
EST	6.14000 0	7.14333 3	-10.4542	4	0.000473	3	3	0.020000	0.165025	68.08333	0.028951	OUI

LAV : Dans les lactosérums issus des laits non enrichis.

LAP : Dans les lactosérums issus des laits enrichis

3. Fromages :

❖ Caractéristiques physicochimiques :

Test de Student pour échantillons indépendants :

Groupe 1 : FAV Groupe 2 : FAP												
Variable	Moyenn eFAV	Moyenne FAP	Valeur t	dl	P	N actifs FAV	N actifs FAP	Ecart- Type FAP	Ecart type FAV	Ratio F variance	P variance s	Diffé r
POIDS TOT	1201.667	1518.333	- 3.17639	4	0.03365 1	3	3	97.51068	142.5073	2.135846	0.637786	OUI

Test de Student pour échantillons indépendants :

	Groupe 1 : FAV Groupe 2 : FAP											
Variable	Moyenn e LAV	Moyenn e LAP	Valeur t	dl	P	N actifs LAV	N actifs LAP	Ecart- Type LAP	Ecart type LAV	Ratio F variance	P variances	Différ.
EST	48.6466 7	47.6066 7	0.45752 9	4	0.671039	3	3	2.909731	2.652194	1.203636	0.907591	OUI

FAV : Dans les Fromages issus des laits non enrichis.
FAP : Dans les Fromages issus des laits enrichis

Test de Student pour échantillons indépendants :

	Groupe 1 : FAV Groupe 2 : FAP											
Variable	Moyenn e LAV	Moyenn e LAP	Valeur t	dl	P	N actifs LAV	N actifs LAP	Ecart- Type LAP	Ecart type LAV	Ratio F variance	P variances	Différ.
MG	23.3333 3	21.6666 7	1.50755 7	4	0.206151	3	3	1.527525	1.154701	1.750000	0.727273	OUI

FAV : Dans les Fromages issus des laits non enrichis.
FAP : Dans les Fromages issus des laits enrichis

❖ Rendements et taux de récupérations :

Test de Student pour échantillons indépendants :

	Groupe 1 : FAV Groupe 2 : FAP											
Variable	Moyenn e LAV	Moyenn e LAP	Valeur t	dl	P	N actifs LAV	N actifs LAP	Ecart- Type LAP	Ecart type LAV	Ratio F variance	P variances	Différ.
RENDS G	12.0166 7	15.1833 3	-3.17639	4	0.033651	3	3	0.975107	1.425073	2.135846	0.637786	OUI

FAV : Dans les Fromages issus des laits non enrichis.

FAP : Dans les Fromages issus des laits enrichis

RENDS G : Rendement global

Test de Student pour échantillons indépendants :

	Groupe 1 : FAV Groupe 2 : FAP											
Variable	Moyenn e LAV	Moyenn e LAP	Valeur t	dl	P	N actifs LAV	N actifs LAP	Ecart- Type LAP	Ecart type LAV	Ratio F variance	P variances	Différ.
R elem EST	11.1933 3	13.2966 7	-3.17322	4	0.33754	3	3	0.490951	1.037802	4.468400	0.365738	OUI

FAV : Dans les Fromages issus des laits non enrichis.

FAP : Dans les Fromages issus des laits enrichis

R en elm MG : rendement élémentaire global pour EST

Test de Student pour échantillons indépendants :

	Groupe 1 : FAV											
	Groupe 2 : FAP											
Variable	Moyenn e LAV	Moyenn e LAP	Valeur t	dl	P	N actifs LAV	N actifs LAP	Ecart- Type LAP	Ecart type LAV	Ratio F variance	P variances	Diffé
R en elm MG	12.2400 0	14.7866 7	-504733	4	0.007245	3	3	0.343948	0.803389	5.455903	0.309794	OUI

FAV : Dans les Fromages issus des laits non enrichis.
FAP : Dans les Fromages issus des laits enrichis
R en elm MG : rendement élémentaire global pour MG