

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des sciences Biologiques et des sciences Agronomiques

Département d'agronomie



Mémoire de fin d'études

En Vue de l'obtention du Diplôme de Master en contrôle de qualité

Thème

Etude de la qualité physico-chimique du fromage à pâte molle type camembert fabriqué au niveau de la laiterie Draa Ben Khedda « TASSILI » et l'influence du rapport gras/sec sur le rendement final.

Réalisé par :

M^{elle} : ZIBANI Kenza

M^r : ZOUBIRI Sofiane

M^{elle} : DERMECHE Cylia

Membres de jury :

Président : M^r AMIR

Professeur à l'UMMTO

Promoteur : M^r MOUALEK

Maitre de conférences classe A à l'UMMTO

Examineur : Mr BENGANA

Maitre de conférences classe B à l'UMMTO

Année universitaire 2020-2021

Remerciements

On remercie avant tous, Dieu le tous puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes les longues années d'études afin qu'on puisse arriver la.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères à :

Notre promoteur Monsieur MOUALEK.Idir

Nous vous remercierons pour la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez bien voulu diriger ce travail. Nous avons trouvé auprès de vous le conseiller et le guide qui nous a reçues en toute circonstance avec sympathie, sourire et bienveillance.

La pertinence de vos remarques et la justesse de vos corrections sont pour nous un exemple de rigueur.

Veillez, cher professeur, trouvé dans ce modeste travail l'expression de notre haute considération, de notre sincère reconnaissance et de notre profond respect.

Aux membres du jury

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury, pour l'intérêt qu'ils nous ont porté en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Dédicaces 1

En premier lieu je remercie Allah le tous puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents, sans votre affection, vos conseils, vos sacrifices, vos encouragements, vos prières et vos efforts que vous avez déployés durant toute ma vie, ce travail n'aurait jamais pu être réalisé. Je vous présente ma pleine gratitude et mon profond respect, j'espère que Dieu vous accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur.

A mes très chères sœurs Katia, Kahina et Kamélia je vous souhaite un avenir plein d'essor et de réussite.

A mes chers amis en particulier Djouher, Farid et Yacine.

A mes binômes Sofiane et Cylia.

A toute la promotion technologie agro-alimentaire et contrôle de qualité

Kenza.z

Dédicaces 2

Avec l'aide de Dieu le tous puissant est enfin achevé ce travail, lequel je dédie à toutes les personnes qui me sont chères :

A vous mes très chers parents, je vous dis merci pour vos aides et encouragements depuis mon existence. Que Dieu vous protège et vous accorde le bonheur, la santé et une longue vie.

A mes Frères Anis et Mayes

A ma Sœur Yasmine

A mes grands-parents en particulier yema el djouher

A mes oncles Mohammed et Ahmed

A mes tantes Zohra, Karima et Hayat

A mes cousines Tinhinane et Souhila

A mes binômes Sofiane et Kenza

A mes amis : Lamine, Dalida, Celia metmer, Celia arkoub et Cylia benyoucef

A toute la promotion de technologie agroalimentaire et contrôle de qualité.

Cylia.D

Dédicaces 3

En premier lieu je remercie Allah le tous puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents, je vous présente mon profond respect et je vous remercie pour vos conseils, vos encouragements et vos efforts employé durant toute ma vie, j'espère que Dieu vous accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur.

A mes très sœurs Nadia, Farida et Hakima

A mes chers frères Madjid et Lounes.

Je vous souhaite un avenir plein de réussite.

A mes meilleurs amis en particulier Akli, Hafid et Slimane.

A mes binômes Kenza et Cylia.

A toute la promotion technologie agro-alimentaire et contrôle de
qualité

Sofiane.z

Résumé

Notre étude est portée sur la fabrication du camembert « Tassili » ainsi que le suivi de ses caractéristiques physico-chimiques au cours du processus de fabrication.

Cette étude a été menée dans le but d'estimer le rendement du fromage produit à la laiterie de Draa Ben Khedda, après avoir défini certains paramètres et modifier d'autres. Ça nous a permis de montrer l'influence du taux de la matière grasse sur le rendement final du camembert. Ce dernier est en effet conditionné, essentiellement par le savoir-faire du fromager et par des facteurs liés à la composition du lait de fabrication.

Les résultats obtenus ont été comparés à des normes réglementaires permettant ainsi l'appréciation de la qualité du produit.

Mots clé : Camembert, processus de fabrication, paramètres physicochimiques, rendement, matière grasse, extrait sec, influence, composition

Abstract

Our study is focused on the manufacture of Camembert "Tassili" as well as the monitoring of its physicochemical characteristics during the manufacturing process.

This study was carried out with the aim of estimating the yield of cheese produced at Draa Ben Khedda's dairy, after defining certain parameters and modifying others. This allowed us to show the influence of the fat content on the final yield of Camembert. The latter is in fact conditioned, essentially by the know-how of the cheesemaker and by factors linked to the composition of the manufacturing milk.

The results obtained were compared to regulatory standards allowing the assessment of the quality of the product.

Keywords: Camembert, manufacturing process, physicochemical parameters, yield, fat, influence, composition.

- Remerciements
- Dédicaces
- Liste des abréviations
- Liste des figures
- Liste des tableaux
- Introduction générale..... 1

●PARIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Le lait

- I. Le lait**
- I.1. Définition 3**
- I.2. Composition du lait 3**
- I.2.1. L'eau 5
- I.2.2. La matière grasse 5
- I.2.3. Les protéines..... 6
- I.2.4. Les glucides..... 8
- I.2.5. Les minéraux 8
- I.2.6. Les enzymes 9
- I.2.7. Les vitamines..... 10
- I .3. Propriétés physico-chimiques du lait..... 11**
- I.3.1. Densité..... 11
- I.3.2. Masse volumique..... 11
- I.3.3. PH..... 11
- I.3.4. Point d'ébullition..... 11
- I.3.5. Acidité 12

I.3.6. Point de congélation	12
I .4. Valeur nutritionnelle du lait	12
I .5. Facteurs influençant la composition du lait	13
I .5.1. Facteurs intrinsèques	13
I .5.1.1 Facteurs génétiques	13
I .5.1.2. Stade de lactation.....	13
I.5.1.3. Age et nombre de vêlage	14
I.5.1.4 Etat sanitaire	14
I. 5.2. Facteurs extrinsèques	14
I .5.2.1. Facteurs alimentaires	14
I .5.2.2. Facteurs climatiques et saisonniers	14
I. 6. Contrôle de la qualité du lait destiné à la fabrication du Camembert	15
II. Le fromage.....	17
II.1. Définition du fromage.....	17
II.2. Composition des fromages	18
II.3. Classification des fromages	19
II.3.1. Fromages à pâte fraîche	19
II.3.2. Fromage à pâte pressées	19
II.3.3. Fromage à pâte molle.....	19

Chapitre II. Le Camembert

I. Le camembert	20
I.1. Définition.....	20
I .2. Composition et valeurs nutritionnelle	20
I.3.Caractéristiques principales de Camembert	22

I.4. Technologie de fabrication du Camembert.....	22
I.4.1. Matières premières utilisées pour la fabrication du camembert	22
I.4.1.1. Lait.....	22
I.4.1.2. La matière grasse laitière anhydre (MGLA).....	23
I.4.1.3. L'eau de reconstitution	23
I.4.2. Les ingrédients.....	23
I.4.2.1. La présure	23
I.4.2.2. Les ferments lactiques	24
I.4.2.3. Les levains fongiques	24
I.4.2.4. Les sels	24
I.4.3. Le processus technologique de la fabrication du camembert.....	24
I.4.3.1. La nature de la matière première	24
I.4.3.2. Préparation du lait	25
I.4.3.2.1. Standardisation	25
I.4.3.2.2. Homogénéisation.....	25
I. 4.3.2.3. Pasteurisation.....	26
I. 4.3.3. Ensemencement et maturation.....	26
I.4.3.4. La fabrication proprement dite.....	26
I. 4.3.4.1. L'Emprésurage	26
I.4.3.4.2. La coagulation	26
I.4.3.4.3. Le découpage et le tranchage.....	27

I.4.3.4.4. Le brassage	27
I.4.3.4.5. Le moulage	28
I.4.3.4.6. L'égouttage	28
I.4.3.4.7. Le démoulage	28
I.4.3.5. Les étapes de finition du caillé.....	28
I. 4.3.5.1. Le salage	28
I.4.3.5.2. Le ressuyage	29
I.4.3.5.3. L'affinage	29
I.4.3.5.4. L'emballage et le conditionnement	29
II. Influence du gras/sec sur le rendement final du camembert	30
II.1. Définition du rendement fromager	30
II.2. Importance du contrôle du rendement fromager	30
II.3. Facteurs influençant le rendement fromager	31
II.3.1. La composition du lait	31
II.3.2. Bactéries psycho trophiques du lait cru	32
II.3.3. Compactage des cellules somatiques.....	32
II.3.3.1. Le conditionnement du lait	32
II.3.3.2. La standardisation du lait.....	34
II.3.3.3. L'homogénéisation du lait	34
II.3.3.4. Les traitements thermiques du lait	35
II.3.3.5. Incorporation du lactosérum	35
II.3.4. Contrôle du rendement et l'origine des pertes	36
II.3.4.1. Pertes de particules de caillé tout au long du procédé	36
II.3.4.2. Pertes de matière grasse	36
II.3.4.3. Perte de protéine	36

II.3.4.4. Pertes liées à l'entreposage du lait.....	37
II.3.4.5. Pertes liées au surpoids	37
II.4. Influence de la matière grasse sur le rendement.....	37
• Partie expérimentale	
I. Présentation sommaire de l'unité	39
II. Processus de fabrication du camembert	42
III. Echantillonnage	47
IV. Matériels et méthodes.....	47
IV.1. Matière première utilisée.....	47
IV.2. Matériels	48
IV.3. Méthodes	48
IV.3.1 Réception et conservation de la matière première	48
IV.3.2. Prélèvement et préparation des échantillons	49
IV.3.3.1. Analyses physico-chimiques du lait cru.....	49
IV.3.3.1.1. Détermination du PH.....	49
IV.3.3.1.2. Détermination de l'acidité	50
IV.3.3.1.3. Détermination de la densité	50
IV.3.3.1.4. Détermination de la teneur en matière grasse.....	51
IV.3.3.1.5. Détermination de la teneur en extrait sec total (EST), extrait sec dégraissé (ESD) et l'Humidité.....	52
IV.3.3.1.6. Détermination du rapport matière sèche MG/MS du fromage	53
IV.3.3.1.7. Détermination du taux de chlorure	53
IV.3.3.2. Analyses physico-chimiques du lait enrichi	54
IV.3.3.3. Analyses physico-chimiques du lait maturé	54

V. Résultats et discussion	55
V.1.Résultats des analyses physicochimiques	
V.1.1. La matière première	55
V.1.1.1. Lait standardisé.....	55
V.1.1.1.1.EST.....	56
V.1.1.1.2. Mesure de PH.....	56
V.1.1.1.3. Mesure d'acidité.....	56
V.1.1.2. Lait maturé	57
V.1.1.2.1. ESD, EST et MG.....	57
V.1.1.2.2.PH et l'acidité.....	58
V.1.2. Le lactosérum	59
V.1.2.1. La Matière grasse	59
V.1.2.2. L'EST	60
V.1.2.3. L'acidité	60
V.1.3. Les analyses physicochimiques du produit fini	60
V.1.4. Le rendement et le poids du camembert	63
• Conclusion générale.....	66
•Les références bibliographiques	
•Résumé	

Abréviation	Signification
%	Pourcentage
µg	Microgramme
µm	Micromètre
°C	Degré Celsius
AD	acidité
AFNOR	association française de normalisation
AgNo3	Nitrates d'argent
Ca	Calcium
CaCl2	Chlorure de calcium
Cm	Centimetre
Cm2	Centimetre carré
CS	Cellules somatiques
CFU	Unité formant colonies
D.B.K	Draa Ben Khedda
D°	Degré Dornic
D	Densité
ES	extrait sec
ESD	Extrait Sec Dégraissé.
EST	Extrait Sec Total
Éqpe	Equipe
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
G	Gramme
Hr	Heure
H	Humidité
HNO3	Acide nitrique
IgA	immunoglobuline A
IgG	immunoglobuline G

IgM	immunoglobuline M
ISO	Organisation international de normalisation
Jr	Jour
Kcal	Kilocalorie
Kg	Kilogramme
KMnO4	Permanganate de potassium
L	Litre
MG	Matière Grasse
MGLA	Matière grasse laitière anhydre
Mg	Milligramme
MI	Millilitre
Min	Minute
Met	Méthionine
N	Normalité
NaCl	Chlorures de sodium
NaoH	Hydroxyde de sodium.
NO3	Nitrate
ONAL	Office national Algérie du lait
P	Phosphore
Phe	Phénylalalanine
PH	Potentiel Hydrogène
RDT	Rendement
S	Seconde
TP	Taux Protéiques
TB	Taux butyreux

Figures	Titres	Pages
I	Structure d'un globule de matière grasse (Vignola, 2002).	6
II	Structure d'une micelle et sous-micelle caséique (Byland, 1995)	7
III	Organigramme structurelle de l'unité réalisé par Mr Bacha, (2018) . Source :(Département commercial)	41
IV	Diagramme de fabrication du camembert « Tassili » à l'unité DBK	46
V	Histogramme des variations du poids des pièces en fonctions des productions lors de la fixation de la MG et de l'ESD	63
VI	Histogramme des variations du rendement en fonctions des productions lors de la fixation de la MG et de l'ESD	64

Tableaux	Titres	Pages
I	Composition moyenne du lait entier (Fredot, 2006).	4
II	Composition minérale du lait de vache (Jeantet et al., 2007).	9
III	La composition vitaminique moyenne du lait de vache cru (Amiot et al., 2002).	10
IV	Caractéristiques physicochimiques du lait (FAO, 1998).	12
V	Composition moyenne comparée du lait et des fromages (Alais et Linden, 1993).	18
VI	Valeur nutritionnelle et composition de camembert (anonyme).	21
VII	Profil de l'entreprise TASSILI.	40
VIII	résultats des analyses physicochimiques de la matière première (lait standardisé)	55
IX	résultats des analyses physicochimiques de la matière première (lait mûré)	57
X	Normes fixées par l'unité (Annexe1), pour les éléments du lait destinés à la fromagerie.	58
XI	résultats des analyses physico-chimiques de lactosérum	59
XII	Résultats des analyses physicochimiques du produit fini après fixation de la MG	61
XIII	Résultats des analyses physicochimiques du produit fini après fixation de l'ESD	61
XIV	Résultats du rendement et le poids du fromage	63

Introduction

Le lait et les produits laitiers constituent des aliments d'origine animale à très haute valeur nutritionnelle. En effet, le lait cru a toujours été un aliment indispensable, et il occupe une place importante dans notre alimentation, car il constitue une source importante de nutriments de base (**Fernane, 2017**), plus précisément de protéines, de calcium et de vitamines.

L'Algérie est le premier consommateur de lait au sein du Maghreb, avec près de 6 milliards de litres par an. Cet aliment occupe une place prépondérante dans la ration alimentaire des algériens, et apporte la plus grande part des protéines d'origine animale (**Benhedane, 2011**). De ce fait, le lait est considéré comme produit de base dans le modèle de consommation algérien. Ainsi, ses dérivés sont consommés sous formes de lait reconstitué ou de lait recombinaison, de yaourt, de lait caillé ou de fromage (**Kirat, 2007**).

L'intérêt majeur de la transformation du lait en fromage était de conserver les principaux constituants du lait vu que c'est un aliment périssable, cherchant à le rendre plus ou moins conservable (**Fredot, 2005**).

Selon **Mahaut et al. (2000)** il existe environ 2000 variétés de fromages dans le monde, dérivants d'une vingtaine de types élaborés selon une technique de base commune. Parmi ces variétés, on trouve le camembert qui est un fromage à pâte molle à base de lait cru, qui est probablement l'un des fromages les plus consommés et appréciés.

La qualité finale du camembert est intimement liée à la matière première mise en œuvre, elle est aussi largement influencée par les techniques et les conditions de son élaboration. Le camembert passe par plusieurs étapes de fabrication dont chacune est dépendante de l'étape qui la précède. Les caractéristiques du camembert sont en effet déterminées par un grand nombre de facteurs liés à la nature et l'état du lait, des ingrédients de fabrication et des facteurs technologiques liés particulièrement à la conduite de fabrication. C'est de leur maîtrise que dépendra la qualité recherchée par le consommateur.

Les aspects quantitatifs et qualitatifs des camemberts constituent aujourd'hui une occupation importante pour les industries fromagères.

Quelques auteurs ont pu expliquer les variations de rendement en fabrication de pâte molle (**Boutrou et al. 1999**). Ces travaux montrent que l'importance des différents constituants du lait dans la prédiction du rendement varie fortement, notamment en fonction des technologies utilisées.

Tous les produits finis, doivent subir des analyses physico-chimiques et microbiologiques, avant leur commercialisation, dans ce contexte la méthodologie d'approche de notre travail est la suivante :

- Dans la partie bibliographique : nous avons essayé de rassembler les données bibliographiques relatives au sujet traité.
- Dans la partie expérimentale : nous avons présenté l'interprétation et la discussion des résultats correspondant à l'évaluation des paramètres physico-chimiques du fromage à pâte molle type camembert produit au niveau de la laiterie fromagerie de Draa ben Khedda « Tassili » et aussi l'influence du gras/sec sur le rendement final.

I. Le lait

I.1. Définition

Le lait est défini comme « le produit intégral de la traite ininterrompu d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum ». Il doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et présenter toutes les garanties sanitaires. Il peut être commercialisé en l'état mais le plus souvent après avoir subi des traitements de standardisation et de pasteurisation pour limiter les risques hygiéniques et assurer une plus longue conservation (**Thomas et al., 2008**).

Le lait est un liquide blanc, opaque, de saveur légèrement sucrée, constituant un aliment complet et équilibré, sécrété par les glandes mammaires des mammifères femelles (**Aboutayeb, 2009**).

Le lait cru est un lait qui n'a subi aucun traitement de conservation, mis à part la réfrigération à la ferme. La date limite de vente correspond au lendemain du jour de la traite. Le lait cru doit être porté à l'ébullition avant consommation (car il contient des germes pathogènes). Il doit être conservé au réfrigérateur et consommé dans les 24h (**Fredot, 2006**).

I.2. Composition du lait

Franworth et Mainville, (2010) évoquent que le lait est reconnu depuis longtemps comme étant un bon aliment pour la santé. Source de calcium et de protéines, il peut être ajouté à notre alimentation sous plusieurs formes.

Selon **Favier, (1985)** le lait est une source importante de protéines de très bonne qualité, riches en acides aminés essentiels, tout particulièrement en lysine qui est par excellence l'acide aminé de la croissance. Quant aux lipides, le lait est caractérisé par une forte proportion d'acides gras à chaîne courte et il est beaucoup plus riche en acides gras saturés qu'en acides gras insaturés. Il contient par ailleurs des quantités appréciables de cholestérol, de vitamine A ainsi que de faibles quantités de vitamine D et E.

Les principaux constituants du lait sont souvent classés par ordre d'abondance. Ainsi selon **Pougheon et Goursaud, (2001)** nous avons la classification suivante :

- L'eau, très majoritaire.
- Les glucides principalement représentés par le lactose.

- Les lipides, essentiellement des triglycérides rassemblés en globules gras.
- Les sels minéraux à l'état ionique et moléculaire.
- Les protéines, caséines rassemblées en micelles, albumines et globulines sous forme soluble.
- Les éléments à l'état de trace mais au rôle biologique important, enzymes, vitamines et oligo-éléments.

La composition moyenne du lait entier est représentée dans le tableau I.

Tableau I : Composition moyenne du lait entier (Fredot, 2006)

Composants	Teneurs (g/100g)
Eau	89.5
Matière azotées	3.44
Protéines	3.27
Caséines	2.71
Protéines solubles	0.56
Azote non protéique	0.17
Matières grasse	3.5
Lipides neutres	3.4
Lipides complexes	<0.05
Composés liposolubles	<0.05
Glucides	4.8
Lactose	4.7
Extrait sec total	12.8

Fredot, (2006) rappelle que le lait est constitué de quatre phases :

- Une émulsion de matières grasses ou phase grasse constituée de globules gras et de vitamines liposolubles.
- Une phase colloïdale qui est une suspension de caséines sous forme de micelle.
- Une phase aqueuse qui contient les constituants solubles du lait (protéines, lactose, vitamines B et C, sels minéraux, azote non protéique).

- Une phase gazeuse qui représente environ 5 % du volume du lait, composée d'O₂, d'azote et de CO₂ dissous.

I.2.1. L'eau

D'après **Amiotet al. (2002)**, l'eau est le constituant le plus abondant du lait (900 à 910 g par litre) dont se dispersent tous les autres constituants. La présence dans la molécule d'eau d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire. Ce dernier lui permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum. Puisque les matières grasses possèdent un caractère non polaire (ou hydrophobe), elles ne peuvent se dissoudre ce qui va aboutir à la formation d'une émulsion de type huile dans l'eau. Il en est de même pour les micelles de caséines qui vont former une suspension colloïdale puisqu'elles sont solides.

I.2.2. La matière grasse

La matière grasse du lait de vache est principalement sous forme globulaire à l'état d'émulsion. Le diamètre des gouttelettes varie de 0.1 à 22µm. L'enveloppe globulaire possède, à pH 6.7 une charge électrique négative à l'origine de la répulsion des globules gras. (**Mahaut et al., 2000**).

La matière grasse du lait se compose principalement de triglycérides, de phospholipides et d'une fraction insaponifiable constituée en grande partie de cholestérol (**Vignola, 2002**). Les globules gras dans le lait sont en émulsion, chaque globule est formé de différentes couches de triglycérides. Les triglycérides liquides, à bas point de fusion, sont au centre du globule gras et les triglycérides solides, à haut point de fusion se superposent. Le globule est entouré à la périphérie d'une sorte d'enveloppe contenant des phospholipides, qui jouent le rôle d'émulsifiant dans la stabilité du globule gras, et des lipoprotéines (**Keenan et Patton, 1995**).

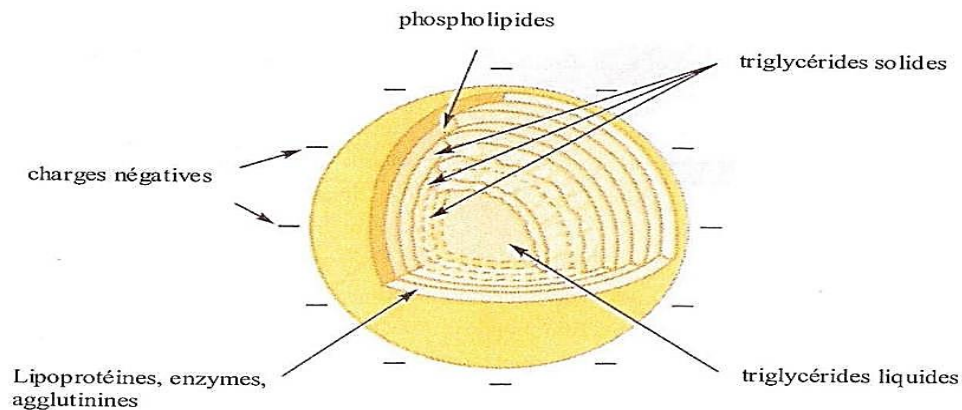


Figure I : Structure d'un globule de matière grasse (Vignola, 2002).

I.2.3. Les protéines

Selon **Jeanet et al. (2008)**, le lait de vache contient 3.2 à 3.5% de protéines réparties en deux fractions distinctes :

- Les caséines qui précipitent à pH 4.6 : représentent 80% des protéines totales.
- Les protéines sériques solubles à pH 4.6 : représentent 20% des protéines totales.

La classification et les proportions des protéines présentes dans le lait sont indiqués dans le tableau II ci-dessous.

I.2.3.1. Caséines

La caséine est un polypeptide complexe, résultat de la polycondensation de différents aminoacides, dont les principaux sont la leucine, la proline, l'acide glutamique et la sérine. Ce polypeptide est associé à des constituants minéraux, en particulier le calcium, mais aussi le phosphore, le magnésium et le citrate, de manière à former des micelles de phospho-caséinate de calcium. En présence de calcium, elles forment des unités qui agrègent plusieurs milliers de molécules, constituant les micelles de caséine dispersés dans la phase hydrique du lait. Les micelles protéiques ont un diamètre de l'ordre de 0,1 μ m dans le lait de vache (**Courtet Leymarios, 2010**).

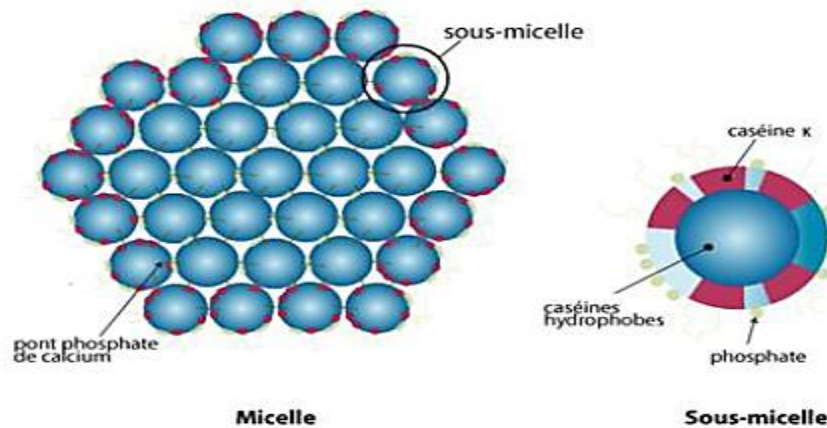


Figure II : Structure d'une micelle et sous-micelle caséique (Byland, 1995)

I.2.3.2. Protéines du lactosérum

Les protéines du lactosérum représentent 15 à 28% des protéines du lait de vache (Debry, 2001). Thapon, (2005) définit les protéines du lactosérum comme étant des protéines d'excellente valeur nutritionnelle, riches en acides aminés soufrés, en lysine et tryptophane. Elles ont de remarquables propriétés fonctionnelles mais sont sensibles à la dénaturation thermique.

Les types de protéines contenues dans le lactosérum sont :

- La β -lactoglobuline

La β -lactoglobuline est la plus importante des protéines du sérum puisqu'elle en représente environ 55%. Son point isoélectrique est de 5.1, c'est une protéine de 162 acides aminés comportant 7 variant génétiques (A, B, C, D, E, F, G) (Debry, 2001).

- L ' α -lactalbumine

C'est une petite protéine composée d'acides aminés et d'un cation Ca^{++} , d'où son appellation de métalloprotéine. Elle représente environ 22% des protéines du sérum du lait et elle est constituée de 123 acides aminés comportant trois variant génétiques (A, B, C) (Vignola, 2002).

Cette protéine a une partie hydrophobe qui semble être le site de fixation de la galactotransférase (Debry et al., 2001).

- L'albumine sérique

Généralement appelée (Sérum Albumine Bovine), elle représente environ 7% des protéines du sérum. Elle est constituée de 582 résidus d'acides aminés et présente un seul variant génétique (A). L'albumine sérique est identique au sérum albumine sanguine (Contrairement à la β -lactoglobuline et l' α -lactalbumine directement synthétisées dans les glandes mammaires, cette protéine fait partie de celles provenant du sang (**Vignola, 2002**).

- Les immunoglobulines

Ce sont des glycoprotéines spécifiques de haut poids moléculaire responsable de l'immunité. Nous pouvons distinguer trois grandes classes d'immunoglobulines : IgA, IgG, IgM. Elles représentent environ 13 % des protéines du lactosérum. Elles sont les plus sensibles à la dénaturation thermique (**Thapon, 2005**).

- Protéoses-peptones

Elles forment la fraction protéique soluble après chauffage du lait acidifié à pH 4.6 à 95°C pendant 20 minutes. C'est un groupe hétérogène issu de la protéolyse par la plasmine de la caséine β (**Debry, 2001**).

I.2.4. Les glucides

Le lactose est un disaccharide composé de glucose et de galactose, c'est le seul glucide libre présent en grande quantité dans le lait, et sa teneur est très stable entre 48 et 50 g/l. Cette teneur présente de faibles variations à la différence du taux butyreux.

Il est synthétisé par la glande mammaire à partir du glucose prélevé dans le sang. Sa faible contribution à l'apport énergétique du lait (30%), ne fait pas du lait un aliment équilibré en termes de répartition calorique (les suggestions théoriques prétendent un apport de 50 à 60% de calories glucidiques) (**Court et Leymarios, 2010**).

I.2.5. Les minéraux

Les minéraux du lait (7g à 7.5g/l) sont fondamentaux du point de vue de la nutrition et de la technologie. La teneur en minéraux ou en cendres du lait peut être mesurée par la méthode de calcination à 550°C. (**Luquet, 1986**).

Les minéraux sont soit présents dans la phase soluble du lait, soit dans la phase colloïdale. Certains minéraux n'existent que sous forme d'ions (sodium, potassium et chlore) à l'état

dissous et sont particulièrement bio-disponibles. Les ions calcium, phosphore, magnésium et sulfure existent en deux fractions (**Mathieu, 1999**).

D'une part, il existe un équilibre entre les formes solubles et colloïdales, et d'autre part, il existe un équilibre entre les formes ionisées et non dissociées. Cette situation est très instable car elle est sensible à divers facteurs, notamment le pH, la température et la concentration ou l'ajout de calcium. Tout changement dans ces équilibres modifiera la stabilité du lait, en particulier les caractéristiques de la caséine naturelle. En raison de la présence à la fois de lactose et de phospho-peptides (hydrolysats de caséine), les minéraux sont les éléments les plus adsorbés et retenus dans le lait. À cet égard, le rapport calcium/phosphore (Ca/P) du lait de vache (proche de 1.2), bien qu'inférieur à celui du lait maternel (proche de 2.2), est de loin supérieur aux autres aliments, faisant du lait une excellente source de calcium (**Jeantet, 2007**).

Tableau II : Composition minérale du lait de vache (**Jeantet et al., 2008**).

Eléments minéraux	Concentration (mg.kg-1)
Calcium	1043-1283
Magnésium	97-146
Phosphate inorganique	1805-2185
Citrate	1323-2079
Sodium	391-644
Potassium	1212-1681
Chlorure	772-1207

I.2.6. Les enzymes

Ce sont des substances organiques protéiques qui jouent le rôle de catalyseurs dans les réactions biochimiques. Plus de 60 enzymes majeures ont été isolées du lait et pour lesquelles l'activité a été déterminée par la recherche scientifique. La moitié d'entre elles sont des hydrolases (**Pougheon, 2001**).

Leurs rôles semblent divers. Ce sont des facteurs de dégradation des composants du lait. Par conséquent, ils provoquent des modifications techniques (perte de rendement) et sensorielles (lipase et protéase). Ils ont des effets antibactériens (peroxydase et lysozyme). Ils peuvent être utilisés comme indicateur de qualité hygiénique (les bactéries et les globules

blancs augmentent la catalase), de traitement thermique vu leur thermo-sensibilité et d'espèce puisque tous les laits ne renferment pas les mêmes enzymes. (Salmeron et al., 2002)

I.2.7. Les vitamines

On distingue les vitamines hydrosolubles (vitamines du groupe B et vitamine C) présentes dans la phase aqueuse du lait c'est-à-dire le lait écrémé et le lactosérum, et les vitamines liposolubles (vitamines A, D, E, et K) associés à la matière grasse (crème, beurre).

Tableau III : la composition vitaminique moyenne du lait de vache cru (Amiot et al., 2002)

Vitamines	Teneur moyenne ($\mu\text{m}/100\text{ml}$)
Vitamines liposolubles	
Vitamine A (+carotènes)	40
Vitamines D	2.4
Vitamines E	100
Vitamines K	5
Vitamines hydrosoluble	
Vitamines C (acide ascorbique)	2
Vitamines B1 (thiamine)	45
Vitamines B2 (riboflavine)	175
Vitamines B6 (pyridoxine)	50
Vitamines B12(cyano-cobalamine)	0.45
Niacine et niacinamide	90
Acide panthoénique	350
Acide folique	5.5
Vitamine H (biotine)	3.5

I.3. Propriétés physico-chimiques du lait

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

I.3.1. Densité

La densité du lait est liée à son abondance de matière sèche. Le lait à faible teneur en matière sèche a une faible densité, cependant cette constatation doit être nuancée, car le lait contient une matière grasse de densité inférieure à 1 (0.93 à 20°C). En conséquence, la densité du lait riche en matières grasses diminue, alors qu'en revanche, la densité du lait écrémé est élevée. L'évaluation précise de cette caractéristique se fait en déterminant la masse volumique (AFNOR, 1986).

I.3.2. La masse volumique

En pratique, la densité de l'eau est de 1g/ml à 4°C et de 0.99823g/ml à 20°C. La densité du lait à 15°C varie de 1.028 à 1.035, avec une moyenne de 1.032. Chaque ingrédient a un effet sur la densité du lait. Vu que la matière grasse est le seul ingrédient dont la densité est inférieure à 1, plus le pourcentage de matière grasse dans le lait ou les produits laitiers est élevé, plus sa densité est faible (Vignola, 2002).

I.3.3. PH

Le lait frais possède un pH voisin de la neutralité qui est de l'ordre de 6.7, cela est due en grande partie aux groupements basiques ionisables et acides dissociables des protéines, groupements esters phosphoriques de caséines et acides phosphoriques et lactiques. La mesure du pH sert à renseigner sur l'état du lait, plus particulièrement en ce qui concerne sa stabilité, du fait que c'est le pH qui influence la solubilité des protéines (Amiot et al., 2002).

I.3.4. Point d'ébullition

Amiot et al.(2002) ont défini 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. Le point d'ébullition du lait est supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100,5°C. Ce léger écart est influencé par le contenu du lait en molécules solubilisées.

I.3.5. Acidité du lait

Selon **Jean et Dijon, (1993)**, l'acidité du lait résulte de l'acidité naturelle, due à la caséine, aux groupes phosphate, au dioxyde de carbone et aux acides organiques et l'acidité formée par l'acide lactique formé au court de la fermentation.

L'acidité titrable du lait est mesurée avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine. Bien que l'acide lactique ne soit pas le seul acide présent, l'acidité titrable peut être exprimée en grammes d'acide lactique par litre de lait ou en degrés Dornic (°D) (1°D = 0,1g) d'acide lactique par litre de lait.

L'acidité du lait cru collecter doit être $\leq 21^{\circ}\text{D}$.

Le lait avec une acidité $\geq 27^{\circ}\text{D}$ coagulera lorsqu'il est chauffé ;

Le lait avec une acidité $\geq 70^{\circ}\text{D}$ coagulera lorsqu'il est froid.

I.3.6. Point de congélation

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau pure puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Sa valeur moyenne se situe entre -0.53 et -0.57°C . Des variations de points de congélation sont observées dues aux saisons, à la race de la vache et à la région de production. Un cryscope est l'appareil qui nous permet de vérifier ce paramètre. Un point de congélation supérieur à -0.53 permet de soupçonner une addition d'eau au lait, c'est pour cela qu'il est important d'étudier le mouillage du lait (**Piveteau, 1999**).

Tableau IV : Caractéristiques physicochimiques du lait (**FAO, 1998**)

Constante	Densité a 20 °C	pH à 20 °C	Acidité titrable (°D)	Point de congélation (°C)	Point d'ébullition(°C)
Valeurs	1.031	6.6	16	-0.53	100.5

I.4. Valeur nutritionnelle du lait

Le lait est considéré comme un aliment de qualité nutritionnelle élevée vu sa forte concentration en nutriments et son contenu en énergie métabolisable. Le lait n'est pourtant pas un aliment parfait car il ne contient pas de fibres à l'état naturel et présente de faibles quantités en fer et en vitamine D. Cependant, le lait et les produits laitiers sont souvent cités

lorsqu'on parle d'une alimentation saine. C'est donc son contenu en certains nutriments essentiels qui procure une signification particulière pour la santé, c'est un aliment complet surtout pour l'enfant au début de son existence il contribue donc à la prévention des maladies à tout âge de la vie. Par ailleurs, les concentrations de ces mêmes nutriments peut subir des modifications à la suite des différents traitements industriels appliqués au lait ce qui va provoquer des changements au niveau nutritionnels (**Amiot et al., 2002**).

I.5. Facteurs influençant la composition du lait

Un grand nombre de facteurs influencent la composition chimique et les caractéristiques technologiques du lait. Ces principaux facteurs sont liés soit à l'animal (facteurs génétiques, stade de lactation, état sanitaire ...) soit au milieu et à la conduite d'élevage (saison, climat, alimentation). Cependant, si les effets propres de ces facteurs ont été largement étudiés, leurs répercussions pratiques sont parfois plus difficiles à expliquer.

I.5.1 Facteurs intrinsèques

I.5.1.1. Facteurs génétique

La génétique est un facteur essentiel qui détermine le potentiel de production des vaches laitières (**Ousseina, 2004**). Il est indiqué aussi que les facteurs génétiques ont un fort impact sur le niveau de production et plus encore sur les deux taux : MG et MP qui commandent le rendement fromager (**Saidi et al., 2008**). C'est pourquoi un éleveur a tendance à favoriser les races qui produisent un lait de composition accru (**Srairi et al., 2005**).

I.5.1.2. Stade de lactation

Le stade de lactation influe généreusement sur la teneur en matière grasse, en protéines et en calcium du lait. Les taux butyreux et protéique diminuent au cours du premier mois et se maintiennent à un niveau minimal pendant le deuxième mois de lactation et augmentent ensuite jusqu'au tarissement. L'étendue de variation dans la teneur en matière grasse est généralement plus grande que pour le taux protéique. En outre, les deux taux, ont tendance à diminuer au cours des lactations successives. Les laits de fin de lactation présentent les mêmes caractéristiques des laits sécrétés par les animaux âgés (**Meyer et Denis, 1999**).

I.5.1.3. Age et nombre de vêlage

Veisseyre, (1999) a montré que la production laitière augmente généralement du premier vêlage au cinquième vêlage, puis diminue significativement et assez rapidement à partir du septième vêlage. Le vieillissement des vaches laitières provoque un épuisement de leur lait, donc l'abondance de la matière sèche dans le lait a tendance à diminuer. Les modifications de ces composants sont attribuées à la détérioration de la santé des mamelles ; avec l'âge, le nombre de mammites augmentera et la proportion de protéines solubles augmentera également, en particulier les protéines du sang. (**Mahieu, 1985**).

I.5.1.4. Etat sanitaire

Les infections peuvent avoir des répercussions graves sur le rendement laitier. Les mammites sont les infections les plus courantes dans les élevages laitiers touchant 25 à 40% et qui sont à l'origine d'une modification des composants du lait avec pour conséquence, une altération de l'aptitude à la coagulation du lait et une baisse de production fromagère (**Toureau et al., 2004**).

I.5.2. Facteurs extrinsèques

I.5.2.1. Alimentation

L'alimentation est considérée comme étant un facteur majeur dans la variation de la qualité physico-chimique du lait (**Araba, 2006**). Elle influence la production laitière, ainsi que la qualité du lait. Cependant, la ration alimentaire de la vache laitière doit être de fourrages riches en cellulose additionnés de quantités de concentré adéquates afin d'avoir une ration équilibrée. L'objectif principale de la conception d'une bonne ration est d'avoir une quantité satisfaisante d'acide gras dans le lait (**Saidi et al., 2008**).

I.5.2.2. Saison et climat

Les relations entre la saison et les performances des vaches laitières ne sont pas clairement définies vu la présence de certains effets conjoints tel que le stade physiologique et l'alimentation (**Coulon et al., 1991**). Par ailleurs, la production laitière est maximale au mois de juin et minimale en décembre. A l'inverse, les taux butyreux et protéique du lait sont plus faibles en été et plus élevés en hiver. Chez des vaches de type pie noire, des taux de 3g/Kg et 2g/Kg sont atteints pour la matière grasse et les protéines respectivement.

I. 6. Contrôle de la qualité du lait destiné à la fabrication du Camembert

La qualité du lait est fixée sur une base de six critères différents : le nombre de germes, le nombre de cellules somatiques, la présence de résidus d'antibiotiques ou de désinfectants, le point de congélation et la propreté visible.

Le nombre de germes est calculé pour déterminer le degré de contamination du lait par les bactéries. Il faut prendre en considération que le matériel et équipement de traite peut constituer une importante source de contamination. De même, la rupture de la chaîne de froid du lait entraîne une croissance drastique du nombre de germes. On dit que ce critère présente des exigences multiples selon l'évolution ou la transformation du lait. Ainsi, la fabrication de fromage avec du lait cru présente des conditions plus fermes que lorsqu'il y a pasteurisation.

Le nombre de cellules somatiques nous renseigne amplement sur la santé du pis. Un lait qui a une inflation en cellules présente un taux de protéines solubles élevé, une teneur en caséine minime, une protéolyse et une lipolyse accrue. En conséquence, il y a diminution du rendement fromager et apparition de complications lors de la coagulation. Lorsque les vaches sont gravement malades l'emploi d'antibiotiques, peut s'avérer nécessaire. Il est, toutefois, strictement interdit de fournir du lait contenant des substances inhibitrices dépassant les normes légales. A cette fin, à chaque collecte le lait doit subir le test antibiotique qui renseigne sur une éventuelle présence de résidus antibiotiques.

Les désinfectants sont utilisés pour éliminer les bactéries présentes dans les équipements ou les installations. Les restes de ces produits sont éliminés grâce à un rinçage à l'eau claire. Si ce lavage n'est pas exécuté efficacement des restes de ces produits peuvent aboutir dans le lait.

Le point de congélation indique s'il y a addition d'eau dans le lait. Dans la plupart des cas, cela est dû au nettoyage mal fait de l'installation de traite et qui provoque le mélange de l'eau de rinçage avec le lait. Cependant, cela peut être le résultat d'une fraude.

La propreté visible est déterminée en filtrant le lait avec un matériau filtrant approprié. Un filtre sale indique que le pis et ses environs ne sont pas assez propres.

La composition du lait est contrôlée par deux critères : la teneur en matière grasse et la teneur en protéines.

La valeur économique du lait repose principalement sur ces composants. Ils constituent la base de la production de fromage, yaourt, beurre, et de la crème, etc. (**Gabli, 2005 ; Michel, 2005 ; Cauty et Perreau, 2009**).

Ces six critères définissent les aspects essentiels de la qualité du lait qui sont :

- La qualité technologique, elle est liée à la composition chimique (TB, TP), de la qualité bactériologique et de l'aptitude à la transformation. Il faut la contribution de vaches saines, ne présentant aucune trace de produits présentant un potentiel danger (antibiotiques, d'antiseptiques, ou pesticides).
- La qualité gustative : bonne saveur, absence de goût désagréable, absence de rancissement (**Cauty et Perreau, 2009**).

Le lait ne se consomme pas seulement à son état naturel. Les qualités sensorielles et nutritionnelles du lait peuvent être considérablement élargies suite à différentes biotransformations, L'un des dérivés de ces transformations est le fromage (**Henryet al., 2008**).

L'être humain a compris que le lait produit par les animaux peut faire partie de son alimentation. Quand il a voulu le stocker, il a rencontré sa fragilité. En effet, parce que ses ingrédients sont propices au développement de nombreux micro-organismes, ces derniers peuvent altérer et détruire sa stabilité, ce qui modifie son apparence. Il devient un gel qui laisse s'échapper le liquide transparent jaune clair. Ce faisant, sous certaines conditions, les éléments les plus nutritifs se trouvent dans les substances acides, qui peuvent se conserver plus longtemps que le lait. Cela peut évoluer vers des produits aux saveurs différentes. La source exacte de transformation du lait est incertaine. Il est admis que ce fromage est originaire d'Asie du Sud-ouest et a une histoire d'environ 8 000 ans. On dit que les Romains ont stimulé le développement de nouvelles variétés lors de l'invasion de l'Europe de 60 avant JC à 300 après JC (**ST-Gelais et Tirard-Collet, 2002**).

La technologie de transformation s'est progressivement développée, généralement basée sur des pratiques régionales guidées par la nature du lait disponible, les habitudes alimentaires et le contexte socioculturel. L'accumulation des connaissances scientifiques sur le lait et la maîtrise du processus de transformation font qu'il existe aujourd'hui de nombreuses sortes de fromages, chacune avec son ingéniosité. Il est d'usage de les comparer ou de promouvoir le commerce et de les diviser en grandes catégories en fonction de différents critères, tels que l'espèce animale, la teneur en eau, la maturité, le type de croûte, la moisissure, l'apparence, la texture et la technologie de fabrication.

II. Le Fromage

II.1. Définition du fromage

Dans la vision traditionnelle, le fromage est le résultat de la coagulation du lait par un groupe d'enzymes coagulantes appelées présure, puis le lactosérum est partiellement éliminé (égouttage). Cela conduit au caillé, qui est à l'origine du fromage (**Eck et Gillis, 1997**).

Le fromage est un produit, qu'il soit fermenté, affiné ou non, obtenu à partir de matières pures dérivées du lait : lait, lait partiellement ou entièrement écrémé, matière grasse, utilisé seul ou en mélange. Le produit doit avoir une teneur minimale en matière sèche (MS) de 23 % pour 100 grammes de fromage. Le fromage est obtenu en coagulant complètement le lait sous l'action de la présure ou d'autres coagulants appropriés, et en égouttant partiellement le lactosérum produit par cette coagulation (**Patrick, 2010**).

II.2. Composition des fromages

Le tableau V, donne une composition comparative du lait et du fromage

Tableau V : Composition moyenne comparée du lait et des fromages (Alais et Linden, 1993).

Composants	Lait	Fromages
Eau	Environ 87%	Éliminée en partie par la fabrication. Teneur en eau varie de : 35 % (pâte cuite dure), 50 % (pâte molle), 80 % (Fromage frais)
Glucides	-Lactose 5% Les ferments lactiques transforment le lactose en acide lactique, ce sucre peut être également transformé en alcool	Pratiquement éliminé avec l'eau par la fabrication
Lipides	-Environ 4 %* Sous forme de globules gras très petit en émulsion dans le liquide Ce sont en majeure partie des triacyl-glycérols (beaucoup d'oléine) avec un peu de lécithines	-Se retrouvent dans la majorité des fromages sauf dans les fromages « maigres » : 23 % fromages à pâte molle. 30 % fromages à pâte dure.
Protéines	-Environ 3,5 %. Les plus importantes en quantités sont les caséines : 3 % Les protéines du sérum sont aussi d'un apport non négligeable.	La caséine coagulant avec la présure, est l'élément essentiel de tous les fromages (même maigre) : 18 % fromages à pâte molle. 19 % fromages blancs au lait écrémé. 24 % fromages à pâte ferme.
Minéraux	-Très intéressante valeur minérale car très riche en calcium et en phosphore. Le calcium étant plus abondant que le phosphore, le rapport Ca / p= 1,39 donc le lait est recalcifiant. -Contient aussi potassium et chlorure de sodium. -Pas de fer.	-Grande richesse en calcium et en phosphore, surtout dans les fromages à pâte ferme rapport Ca / p= 1,26 en moyenne, donc aliment recalcifiant. Plus au moins riches en chlorures de sodium selon leur fabrication (adjonction de sel, pâte lavée à l'eau salée, etc...)
Vitamines	-B1 en petite quantité -B2 assez importante. -C en quantité variable dans le lait frais, mais pratiquement détruite au contact de l'air durant les manipulations et le transport et par la pasteurisation et l'ébullition. -A en quantité importante dans la matière grasse, donc absente dans les laits écrémés. -D en quantité variable selon la saison.	-Les fromages fermentés à pâte molle, notamment les fromages bleus, sont de bonnes sources de vitamines B, du fait des synthèses réalisées par les moisissures. -Se retrouve dans le fromage

II.3. Classification des fromages

Il existe différents types de fromages avec différents goûts, odeurs, textures ou formes. La variété dépend de plusieurs paramètres liés à la provenance du lait, à la manière dont le lait est transformé et à son traitement thermique. On peut classer les fromages en 3 catégories différentes :

II.3.1. Fromages à pâte fraîche

Le fromage frais a une texture molle, granuleuse ou lisse, crémeuse et veloutée. C'est un petit fromage déshydraté caractérisé par un taux d'humidité très élevé et une teneur en matière grasse de 60% à 80% (Majdi, 2009).

II.3.2. Fromage à pâte pressées

Le caillé de ces fromages est pressé et affiné après soutirage. Dans cette catégorie, on peut distinguer les pâtes pressées non cuites (consistance ferme et contiennent environ 45% d'humidité), et les pâtes pressées cuites (pâte dur et souvent de très grande dimension, contiennent que 40% d'humidité) (Majdi, 2009).

II.3.3. Fromage à pâte molle

Le fromage à pâte molle est un camembert affiné en surface par les moisissures. Ce camembert a une texture douce, avec des couleurs allant du blanc cassé au jaune pâle, croûte molle recouverte de moisissure blanche (Mdahou, 2017).

Selon Cauty et Perreau, (2009) les pâtes molles sont des fromages ayant subi une fermentation lactique indépendante, etensemencés en surface avec une moisissure. La pâte n'est ni cuite ni pressée, et peut contenir des moisissures internes si nécessaire.

I. Le camembert

I.1.Définition

Le camembert est défini comme étant un fromage à pâte molle qui mûrit en surface, principalement à travers un moule, sous la forme d'un cylindre plat. La pâte a une couleur allant du blanc cassé au jaune pâle, et une texture molle mais non friable, affinée de la surface au centre du fromage. Il a un diamètre de 10 à 11 cm et une épaisseur de 3 cm. **(Sweeney et al., 2004).**

Il peut être fabriqué à partir de lait cru ou de lait pasteurisé. Le camembert ne peut pas être consommé immédiatement après sa fabrication. Il doit être maintenu pendant un certain temps dans les conditions nécessaires aux modifications biochimiques et physiques du fromage. **(Codex Stan, 2010)**

I.2.Composition et valeur nutritionnelle

Comme tous les fromages, le camembert est considéré comme un aliment qui favorise la croissance et le maintien du corps humain.

C'est l'aliment le plus riche en protéines, allant de 10 à 30 % **(Dillon et Berthier, 2006)**. Parmi ces protéines, nous désignons la caséine, qui est un élément clé de la fabrication du fromage, elles constituent la matrice de la fabrication du fromage **(Vignola, 2002)**.

Sa teneur en lactose est négligeable : la quasi-totalité du lactose est convertie en acide lactique lors de la coagulation ou de la maturation, ou est éliminée avec le lactosérum lors de l'égouttage, ce qui permet sa consommation dans un régime sans lactose (**Fredot, 2007**).

Sa teneur en matières grasses varie de 25 à 40% et est une source importante de sa saveur. Pour les autres nutriments, le camembert occupe une place importante en calcium (200 à 700 mg/100 g), en phosphore, en sodium et en vitamines (notamment du groupe B) **(Eck, 1990)**. Le tableau suivant résume sa composition moyenne en différents nutriments.

Tableau VI : Valeur nutritionnelle et composition de camembert (anonyme)

	Composition	Valeur nutritionnelle
Macronutriments	Energie	276 Kcal
	Protéines	20 g
	Lipides	21.9 g
	Glucides	0.1 g
	Eau	54.9 g
Vitamines et Assimilés	Rétinol	246 µg
	Vitamine B2	0.46 mg
	Vitamine B3	1.46 mg
	Vitamine B5	0.33 mg
	Vitamine B6	0.2 mg
	Vitamine B12	0.85 µg
	Vitamine D	0.76 µg
	Vitamine E	0.38 mg
Lipides	Cholestérol	74.5 mg
	Acides gras saturés	14 g
	Acides gras mono insaturés	5.12 g
	Acide gras polyinsaturés	0.59 g
Minéraux et Oligo-éléments	Calcium	235 mg
	Sodium	80 mg
	Magnésium	15 mg
	Zinc	3.78 mg
	Potassium	150 mg
	Phosphore	666 mg

I.3. Caractéristiques principales du Camembert

Le camembert est considéré comme un écosystème, qui contient des micro-organismes essentiels à sa production. Ils sont directement impliqués grâce à leurs activités métaboliques, ou indirectement impliqués en libérant des enzymes dans la matrice fromagère (**CODEX STAN A6-(1978)**).

Il n'y a généralement pas de pores, mais certaines ouvertures et fissures sont acceptables. Une carapace molle se forme, entièrement recouverte de moisissure blanche, mais parfois des taches rouges, brunes ou orange apparaissent. (**CODEX STAN 266-(1978)**). Pour le camembert prêt-à-manger, le processus d'affinage qui développe les caractéristiques de goût et de texture dure généralement au moins 10 jours à une température de 10 à 16 °C, selon la maturité requise. D'autres conditions d'affinage (y compris l'ajout d'enzymes d'amélioration de l'affinage) peuvent être utilisées, à condition que le fromage ait des propriétés physiques, biochimiques et organoleptiques similaires à celles obtenues par la procédure d'affinage précité.

L'encroûtement et la maturation (protéolyse) de la surface vers le centre sont principalement causés par le *Penicillium candidum* et /ou le *Penicillium camemberti* et le *Penicillium caseicolum*.

La coagulation des protéines du lait est généralement obtenue par l'action combinée de l'acidification microbienne et la protéase (telle que la présure) à une température de coagulation appropriée (**CODEX STAN 276-(1973)**).

I.4. Technologie de fabrication du camembert

I.4.1. Matières premières utilisées pour la fabrication du camembert

I.4.1.1. Lait

Le lait est la matière première pour la fabrication du fromage. Une compréhension globale de sa composition, de sa structure et de ses propriétés physiques et chimiques est essentielle. Cela permet de comprendre la conversion du lait et des produits obtenus dans divers procédés industriels (**Gaucheron, 2004**). Différents laits peuvent être utilisés pour la fabrication du camembert, on distingue :

- **Lait cru**

Le lait cru est un lait frais riche en éléments essentiels (substances azotées, graisses, sucres et minéraux). De plus, ce lait doit avoir une haute qualité bactériologique (**Guiraud et Galzy, 1980**).

- **Lait reconstitué**

Le lait reconstitué est un mélange de lait écrémé en poudre et d'eau auquel est ajouté de la matière grasse laitière anhydre (MGLA) ou de l'huile, du beurre pour obtenir un produit avec des ingrédients laitiers frais (**Codex Alimentarius, 1996**).

- **Lait en poudre**

Le lait en poudre est obtenu en éliminant partiellement l'eau du lait. Trois groupes sont distingués : le lait entier en poudre, le lait partiellement écrémé en poudre et le lait écrémé en poudre (**Carole et Vignola, 2002**).

I.4.1.2. La matière grasse laitière anhydre (MGLA)

La MGLA doit contenir au moins 99,8 % de matières grasses. Obtenue à partir de la crème ou du beurre par décantation ou centrifugation pour éliminer l'humidité et la matière sèche non grasse (**Luquet, 1990 ; Mahaut et al., 2000**).

I.4.1.3. L'eau de reconstitution

Selon **Luquet, (1990)** l'eau reconstituée occupe une large part dans la composition du lait. Elle doit être :

- Purifiée et dotée d'une bonne qualité bactériologique,
- Débarrassée des sels de chaux et de magnésium afin d'éviter l'entartrage des appareils et des Conduites,
- Dépourvue de pesticides et de métaux, afin de lui conférer une pureté chimique satisfaisante.

I.4.2. Les ingrédients

I.4.2.1. La présure

La présure est une substance utilisée pour coaguler le lait. Il s'agit d'une enzyme d'origine animale, également connue sous le nom de « chymosine », qui est extraite du suc gastrique de la quatrième poche gastrique des veaux abattus non sevrés (**Eck, 1997**).

I.4.2.2. Les ferments lactiques

Les ferments lactiques sont des cultures pures de différentes bactéries lactiques dans des proportions spécifiques. Ces levains transforment le lactose en acide lactique et contribuent aux propriétés organoleptiques du fromage (Eck, 1997).

I.4.2.3. Les levains fongiques

Les champignons jouent un rôle important dans la technologie de transformation des aliments. Parmi ces champignons :

- **Penicillium camemberti**

Cette moisissure a une activité protéolytique et lipolytique, qui détermine les caractéristiques sensorielles du fromage au stade de maturité. Il est communément appelé par les fabricants du fromage « *Penicillium candidum* » (Bourgeois et Larpent, 1989).

- **Geotricum candidum**

C'est la moisissure qui fait blanchir le camembert. Aide à former la saveur et l'arôme du camembert (Bourgeois et Larpent, 1989).

I.4.2.4. Les sels

Le chlorure de calcium et le phosphate mono-calcique sont ajoutés à raison de 0,2 g/L pour favoriser l'équilibre salin et améliorer la coagulation. Pour que la pâte soit riche en chlorure de sodium (NaCl) il faut un apport de 1.7 à 2,5% qui va apporter le goût unique du fromage et agir sur l'activité des eaux de surface (Mahaut et al., 2000).

I.4.3. Le processus technologique de la fabrication du camembert

I.4.3.1. La nature de la matière première

La fabrication de fromages à pâte molle comme le camembert nécessite l'utilisation de laits à hautes qualités bactériennes et physico-chimiques. Ainsi, dans les pays de longue tradition fromagère comme la France, ce fromage est soit fabriqué directement à partir de lait cru, soit à base de lait pasteurisé. Dans les pays où la production de lait cru est insuffisante comme l'Algérie, c'est le lait reconstitué qui est utilisé, celui-ci est composé de produits importés (lait en poudre) auxquels sont additionnés des volumes appropriés d'eau de reconstitution.

D'autre part, **Remeuf et al.(1991)** montre que la capacité à transformer le lait en fromage dépend d'un certain nombre de paramètres essentiellement :

- sa composition chimique (notamment sa richesse en caséine),
- sa charge microbienne et la nature de la communauté microbienne,
- la capacité des bactéries lactiques à se développer,
- son comportement vis avis de l'enzyme coagulante à savoir la présure.

I.4.3.2. Préparation du lait

Une fois le lait arrivé à l'usine, il est trié en éliminant les laits impropres à la transformation fromagère (lait acide à charge microbienne plus ou moins importante).

Après avoir été stockées à basse température (3-4°C), le lait subit certains traitements techniques (notamment d'homogénéisation et le traitement thermique) dont le but est d'obtenir des produits dérivés de grande qualité avec un bon rendement de production. (**Bertrand, 2003**).

Cette étape consiste à donner au lait la composition correspondant à celle du fromage et à créer les conditions bactériologiques nécessaires à la coagulation du lait. Elle comprend plusieurs étapes abordées si dessous.

I.4.3.2.1. La standardisation

La standardisation consiste à ajuster la composition du lait mélangé pour obtenir les niveaux les plus bas d'ES (extrait sec) et de MG (matière grasse) dans les fromages disponibles dans le commerce. Elle se fait en mélangeant le lait entier avec du lait écrémé ou de la crème avec du lait écrémé dans des proportions calculées. Actuellement, certaines technologies (ultrafiltration ou microfiltration membranaire) permettent de standardiser la protéine du lait. (**Thapon, 2005**).

I.4.3.2.2. L'homogénéisation

L'homogénéisation est un traitement physique qui consiste à briser et réduire les globules gras en très fines particules sous haute pression. Par conséquent, la graisse est uniformément répartie dans tout le volume (**Eck, 1997**).

I.4.3.2.3. Pasteurisation

La pasteurisation est un traitement thermique destiné à détruire les micro-organismes par la chaleur. La température de pasteurisation la plus courante se situe entre 65 et 75°C, parfois à 80°C pendant 15 à 20 secondes.

L'objectif est d'assurer l'assainissement du lait par destruction de la flore pathogène et allonger de façon significative la durée de conservation du produit, et réduire au maximum ses activités biologiques tout en évitant de modifier ses caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles (**Hermier et Cerf, 2006**).

Pour cela, des barèmes appropriés (température/temps de chauffage) ont été proposés :

- Basse pasteurisation 63°C pendant 30 minutes.
- Haute pasteurisation 72°C pendant 20 secondes.

I.4.3.3. Ensemencement et maturation

Le lait estensemencé avec des ferments lactique à raison de 1,5 à 2 % pour augmenter l'acidité de ce dernier, puis le phosphate mono-calcique et le calcium sont ajoutés afin de favoriser le drainage et restaurer la coagulation et le temps de coagulation (**Lenoir et al., 2000**).

I.4.3.4. La fabrication proprement dite

I.4.3.4.1. L'emprésurage

Après maturation, la présure est additionnée au lait, celle-ci est une enzyme coagulante provenant de caillettes de veaux non sevrés. Son activité protéolytique modifiera la texture du lait (**Eck, 1999**).

I.4.3.4.2. La Coagulation

La coagulation conduit à la formation d'un gel (ou coagulum), dans le cas du camembert, cela est dû à l'instabilité des modifications physico-chimiques qui se produisent autour des micelles de caséine.

En distingue trois types de coagulation :

- **Coagulation acide**

Il s'agit de la précipitation de la caséine à son point isoélectrique (pH=4,6) par acidification biologique grâce à la fermentation lactique à l'aide de lactose inversé (**Romain et al, 2008**).

- **Coagulation enzymatique (présure)**

Elle comprend l'action d'enzymes protéolytiques dérivées d'animaux, de plantes ou de micro-organismes qui transforment le lait de l'état liquide à l'état de gel, et ont l'aptitude de coaguler le lait (**Khouldi, 2017**). Cette enzyme correspond en fait à deux parties actives : l'une majeure (80%), composée de chymosine, et l'autre mineure (20 %), représentée par la pepsine (**Eck, 1999**).

Il a été déterminé que lors du processus de coagulation enzymatique, en hydrolysant la caséine, la chymosine provoque l'instabilité des micelles au niveau de la liaison (Phe105-Met106), qui vont progressivement flocculer pour former un gel ferme, dense et de bonne cohésion (**Jeantet et al., 2007**).

- **Coagulation mixte**

Elle résulte de l'action conjuguée de la présure et de l'acidification. La multitude de combinaisons conduisant à différents états d'équilibres spécifiques est à l'origine de la grande diversité des fromages à pâtes molles et à pâte pressés (**Romain et al., 2008**).

Dans le caillé de camembert, la coagulation est de type mixte (**Codex Alimentarius, 2010**).

En cas de coagulation acide (causée par l'acide lactique bactérien), abaisser le pH induit la dissolution du calcium et du phosphate inorganique. Grâce à l'équilibre, le pont salin équilibre progressivement les micelles. Ces derniers vont se lier et former un gel fragile, très fragile et peu élastique (**Mietton, 1995**).

I.4.3.4.3. Le découpage et le tranchage

Le découpage consiste à diviser le caillé en grains fins de 2 à 2,5 cm afin d'accroître les surfaces d'exsudation du lactosérum. C'est une action mécanique qui se déroule dans un réservoir d'eau avec des couteaux et nécessite plus d'attention pour minimiser les déchets. De plus, la découpe doit être initiée avant que l'imperméabilité et la dureté du caillé ne soient trop importantes (**Vignola, 2002**).

I.4.3.4.4. Le brassage

Le brassage a pour but d'activer le caillé drainant en renouvelant la surface (Exsudation de sérum), car la proportion de particules du caillé a tendance à se répolymériser, ces particules s'agrègent en grappes, de sorte que l'élimination du lactosérum se fera très lentement et de manière incomplète (**Eck, 1997**).

I.4.3.4.5. Le moulage

Le moulage consiste à répartir le caillé dans un moule perforé en métal ou en plastique dont la forme et la taille varient selon le type de fromage. La mise en moule se fait manuellement ou automatiquement (**Vignola, 2002**).

I.4.3.4.6. L'égouttage

L'égouttage peut séparer progressivement le lactosérum du caillé. Accompagné par le retrait et le durcissement du gel (**Ramet, 2006**).

Pendant que le fromage est encore dans le moule, il subira une série de rotations pour accélérer l'égouttage.

I.4.3.4.7. Le démoulage

Le caillé est démoulé manuellement ou automatiquement par retournement (**Richard et Desmazeaud, 1997**).

Cette opération a pour but d'améliorer l'égouttage du caillé et d'obtenir un extrait sec adapté. Le premier retournement a lieu six à sept heures plus tard, lorsque le caillé atteint la moitié du moule, le deuxième retournement a lieu 10 à 15 heures après. (**Mietton, 1987**).

I.4.3.5. Les étapes de finition du caillé

I.4.3.5.1. Le salage

Cette opération est l'une des principales étapes de la fabrication du fromage et est indispensable lorsque le caillé est mûr.

Le salage consiste à enrichir la pâte avec en moyenne 2 % de chlorure de sodium (NaCl). Il a également un effet sélectif sur la flore fromagère (par l'activité de l'eau) et affecte l'activité de certaines enzymes (lipases et protéases), affectant ainsi le stade de maturation (la phase d'affinage) (**Leclercq-Perlat et al., 2004**). De plus, le salage complète l'égouttage en favorisant le drainage du lisier dans le caillé, et aide à former une croûte par modification et hydratation. (**Maache, 2000**).

Il existe trois méthodes de salage, à savoir l'immersion du fromage dans la saumure, le salage à sec en surface et le salage à sec.

Quel que soit la méthode utilisée, le processus se déroule toujours en deux étapes : d'abord, le sel est absorbé en surface, puis progressivement diffusé vers le centre du fromage. Le camembert est traditionnellement mariné en saumure (**Gillis, 2004 ; Sutherland, 2002**).

I.4.3.5.2. Le ressuyage

Le ressuyage consiste à un séchage en surface, il est réalisé à une température de 15°C et à une humidité de 85% (**Vignola, 2002**). Le ressuyage est effectué en même temps qu'une pulvérisation du *Penicillium candidum* (**Eck, 1990**).

I.4.3.5.3. L'affinage

Il est défini comme l'étape finale, qui implique la maturation enzymatique du fromage, où la croûte de la floraison de *Penicillium* peut se développer pendant un certain temps (de 12 à 14 jours), à une plage de température de 12 à 13°C et l'humidité de 85-90% (**Cholet, 2006**).

La température, l'humidité, la vitesse de circulation de l'air et le renouvellement de la chambre d'affinage sont les quatre facteurs qu'il faut maîtriser et ajuster à chaque étape d'affinage (**Luquet, 1990**).

Selon **Romain et al.(2008)**, l'affinage est le résultat de trois principaux effets biochimiques qui se produisent simultanément, à savoir :

- Dégradation des protéines.
- Hydrolyse des graisses.
- Fermentation du lactose

I.4.3.5.4. L'Emballage et le Conditionnement

L'emballage du camembert commercialisé doit apporter la garantie qu'il est protégé des agressions extérieures. Le meilleur emballage reste cependant papier cellulosique ainsi que la mise en place du produit dans des boîtes en carton (**Jeantet et al., 2008**).

II. Influence du gras/sec sur le rendement final du camembert

II.1. Définition du rendement fromager

Le rendement est l'expression mathématique de la quantité de fromage obtenue à partir d'une quantité donnée de lait (généralement 100 litres ou 100 kg) (**Vandewegh, 1997**). La production du fromage est exprimée selon la formule suivante :

$$\text{RDT} = (\text{EST (lait)} - \text{EST (sérum)}) / (\text{EST (coagulum)} - \text{EST (sérum)})$$

Le lait n'est pas seulement un quelconque ingrédient, c'est la matière première et le composant de base de la fabrication du fromage. Presque toute la caséine et la graisse du lait ainsi qu'une partie remarquable de l'eau se retrouve dans le fromage ; et une proportion faible du lactose et des sels est retenue quel que soit la nature du produit fabriqué (**Hanno et al., 1991 ; Libouga et al., 2006**).

La valorisation du lait par les fromagers passe par la production de produits de qualité mais aussi par une optimisation de la quantité de fromage produite à partir du lait. L'amélioration du rendement est, ou devrait donc être une préoccupation quotidienne des fromagers. En effet, la perte de quelques grammes de fromage par jour peut sembler insignifiante sur la production journalière. Mais rapportée à l'année et sur l'ensemble des fromages, les pertes économiques peuvent vite prendre une plus grande ampleur (**Cuvillier, 2005**).

II.2. Importance du contrôle du rendement fromager

Un industriel fromager doit prévoir la production fromagère du lait qu'il reçoit, car c'est l'une des données les plus importantes de la fromagerie. Cette importance est contenue dans :

Premièrement, la quantité de fromage habituellement obtenue est plus faible par rapport à la quantité de matières premières utilisées (il faut environ 100 kg de lait pour obtenir 10 à 12 kg de fromage). D'un autre côté, de petits changements dans la production peuvent avoir des conséquences économiques importantes (**Eck, 1997**). Il est impossible d'imaginer le bon fonctionnement des entreprises industrielles sans prévoir la production de la matière première (lait) en produit fini (fromage). Cette connaissance préalable de la production peut réduire considérablement les marges de sécurité coûteuses qui nécessitent l'hétérogénéité des matières premières et des produits finis (d'un endroit et d'un jour à l'autre). De petites différences de rendement entraînent d'énormes différences de bénéfices.

Deuxièmement, le fait que les produits fabriqués doivent être conformes à la législation en vigueur et doivent donc présenter une composition bien définie.

Troisièmement, la mesure du rendement est utilisée pour déterminer le prix des composants du lait afin d'évaluer l'efficacité des changements de processus et l'efficacité des nouveaux ingrédients utilisés pour fabriquer le fromage.

II.3. Facteurs influençant le rendement fromager

II.3.1. La composition du lait

Le potentiel de rendement du lait utilisé pour la fabrication du fromage dépend dans une large mesure de la composition du lait, notamment en matières grasses et en protéines. La teneur en caséine des protéines du lait est le principal facteur qui affecte la dureté, le taux de déshydratation et le taux de rétention d'eau des caillés, et affecte finalement la qualité et le rendement du fromage. (**Lawrence, 1993**).

On considère que 1g de matière azotée fixe 2,3 à 22,8 g d'eau, tandis que 1 g de matière grasse fixe au plus 0,2 g. Par conséquent, lors de la fabrication d'un fromage vendu séparément, nous devons ajuster la quantité de lait utilisée pour obtenir un fromage à poids constant en fonction de la teneur en protéines du lait. (**Mietton, 1986**).

La matière grasse est également le composant principal de la production, et elle interfère avec la synérèse. Plus le lait produit est riche, plus le rendement est élevé : on considère qu'un gramme par litre de matière grasse en plus fait gagner 1,3 g de fromage.

Verdier-Metz et al. (2001), étudient la relation entre la teneur en matières grasses et en protéines du lait et la production fromagère, le fromage Saint-nectaire a été étudié ; ce fromage est fabriqué en standardisant le rapport matière grasse/caséine du lait dans le tank. D'autres ont observé une corrélation linéaire entre l'augmentation de la production et l'augmentation de la somme des teneurs en matière grasse et en caséine, ce qui explique 77% de la production fromagère. Parmi les différents facteurs qui affectent la production et qui sont contrôlés par les fabricants du fromage, l'humidité peut être le plus important. L'humidité signifie que plus de solides de lactosérum et de sel sont récupérés dans le fromage (par exemple, pour 90 kg de fromage/1000 kg de lait), en ajustant l'humidité à 36%, on obtient 91.6 kg de fromage/1000 kg de lait).

II.3.2. Bactéries psychotrophes du lait cru

Le rendement du moulage est affecté par la population psychotrophes initiale et le temps de stockage du lait cru. **Hicks,(2000)** a constaté que si le nombre de bactéries aérobies est élevé, la perte est importante, et le rendement en fromage acide fabriqué à partir de lait inoculé diminue avec le niveau d'inoculation psychotrophique.

La réduction du rendement due à la dégradation des lipides et des protéines, et la perte de matière sèche sont respectivement de 45 et 55%. Les produits de dégradation sont solubles dans le lactosérum (**Hicks,2000**).

Les psycho-bactéries sont particulièrement un inconvénient, **Law et al. (1976)** ont constaté que certaines souches de bactéries psychotrophiques conservaient 20 à 25% de leur activité lipasique (lipase extracellulaire) même après avoir été traitées à 100 C° pendant 10 minutes.

Dans une étude menée par **Cousin et Marth, (1976)**, après 8 jours de stockage à 7°C, le nombre de bactéries psychotrophes dans le lait cru et le lait pasteurisé est passé d'une moyenne de 105 à 108 CFU/ml. De plus, il a été observé que par rapport au lait cru non inoculé, les lactobacilles contenant *Lactobacillus* spp et *Pseudomonas* spp coagulaient plus lentement lorsqu'ils étaient inoculés avec du lait cru, et le temps nécessaire pour que tout le lait coagule diminuait régulièrement durant la période d'incubation de 8 jours.

II.3.3. Compactage des cellules somatique du lait cru

Lorsqu'une vache laitière souffre de mastite, la concentration de cellules somatiques dans le lait augmente, les cellules somatiques activent l'enzyme protéolytique plasmine, puis décomposent la caséine. De ce fait, les caséines et la matière grasse se retrouvent dans le lactosérum (**Barano,2000**).

En effet, **Barano et al. (1991)** ont constaté qu'une concentration en CS supérieur à 100 000 cellules/ml aurait un impact négatif sur l'efficacité du rendement du fromage. Il a également été constaté qu'une teneur élevée en CS dans le lait entraîne une perte accrue de protéines et une teneur en humidité accrue dans le lactosérum, ce qui détériore la qualité du fromage, y compris une augmentation du temps de coagulation du lait et réduction du durcissement des caillés.

II.3.4. Les conditions de traitement

Diverses conditions de transformation peuvent affecter la production du camembert, et une perte potentielle d'ingrédients fromagers peut se produire à n'importe quel stade après la traite. Certains des facteurs impliqués peuvent avoir un impact relativement faible sur une seule production, mais lorsqu'ils sont extrapolés à la production à grande échelle, l'impact sur les coûts et les avantages peut être très important.

II.3.5.1. Le conditionnement du lait

Dans de nombreux pays, le refroidissement rapide du lait à 7°C ou moins à la ferme avant transformation est de plus en plus courant et la fréquence de collecte du lait a diminué. Il y'a aussi une tendance croissante des usines à ne fabriquer du fromage que 5 à 6 jours/semaine.

Ceux-ci entraînent une durée de conservation plus longue du lait. Le stockage au froid provoquera la dissolution de la caséine dans les micelles, ce qui aura tendance à augmenter la probabilité de protéolyse par Les enzymes des bactéries psychotropes et des cellules somatiques. Conservé à une température inférieure à 7°C pendant 48 heures, le lait contient une forte proportion de caséines solubles et coagule lentement. L'utilisation d'un lait froid au lieu d'un lait stocké à 10-20°C entraîne un rendement des caillés plus faible et des pertes plus importantes en matières sèches notamment en matières grasses qu'on retrouvera dans le lactosérum. Cependant, dans la plupart des cas, le lait froid subit un traitement thermique avant la transformation, ce qui entraîne la réincorporation de la caséine soluble dans la matrice du caillé sans perte significative du rendement en fromage (**Coulon et al., 2004**).

De plus, **Guinee et O'callaghan, (2010)** ont mentionné que : lorsque le fromage est fabriqué à partir de lait stocké à 3°C et 7°C, le rendement est considérablement réduit. À mesure que la durée de stockage du lait augmente, la production de fromage cottage diminue. Donc, une fois que le nombre de bactéries dans le lait cru atteint 106/ml, la production quotidienne du fromage à partir du lait stocké à basse température est réduite de 2,5 à 3%.

La teneur totale en solides et en matières grasses du fromage produit avec le lait de vache congelé est légèrement inférieure à celle du fromage au lait de vache frais, tandis que le stockage et la réfrigération augmentent considérablement la production fromagère (**Ammar, 1999**).

Le rendement et le poids du fromage affiné fabriqué à partir de lait de chèvre chauffé avec ou sans chambre froide étaient relativement plus élevés que le lait de vache ou le lait de chèvre non chauffé (**Okasha, 2001**).

II .3.3.2. La standardisation du lait

La standardisation du lait permet aux producteurs de manipuler la composition finale du fromage en contrôlant la composition du lait au départ, afin de répondre à la définition légale d'une variété spécifique de fromage et augmenter la production.

De plus, l'utilisation de lait standardisé évite l'excès de graisse dans la production fromagère et minimise la perte de matières grasses et de caséine dans le lactosérum (**Scott, 1998**).

Chapman, (1991) a décrit trois méthodes principales de standardisation du lait pour la fabrication du fromage qui sont : l'ajout du lait écrémé en poudre, l'ajout de lait écrémé liquide et l'élimination de la crème.

Dans les deux premiers cas, l'historique de la qualité et de la température de la poudre de lait écrémé ou du lait écrémé liquide est important, en particulier pour la fabrication de fromage cheddar de haute qualité. Lorsque le cheddar est fabriqué à partir de lait qui présente des tendances saisonnières normales de composition et à partir d'un lait normalisé à un rapport protéines brutes/matières grasses de 0,9 (en ajoutant du lait écrémé), la normalisation a entraîné une légère diminution de la production du volume standard du lait (moyenne annuelle). Cette perte est compensée par un gain presque égale dans l'efficacité de rétention des matières grasses (**Banks et al., 1994**).

II.3.3.3. L'homogénéisation du lait

L'homogénéisation augmente la rétention lipidique et l'humidité des fromages, Il a été démontré que l'homogénéisation modifiait les fractions lipidique et protéique du lait. Elle réduit la taille des globules gras et modifie leur membrane par l'adsorption des protéines solubles à la surface. De plus, l'homogénéisation sous haute pression réduire la taille des micelles de caséine (**Vigneux, 2017**).

Le fromage à pâte molle type camembert fabriqué à partir de lait homogénéisé (35bar, 55c°) avant pasteurisation ou traitement à haute température (80c°, 3min) permet un rendement plus élevé par rapport aux produits laitiers à base de lait hétérogène et pasteurisé, les produits laitiers à base de lait homogénéisé et pasteurisé ont de meilleures propriétés

hydratantes, une teneur plus élevée en solides et capacité de récupération des protéines (Ghoshetal., 1999).

II.3.3.4. Les traitements thermiques du lait

Le traitement thermique du lait a un effet négatif sur la capacité de la présure à coaguler le lait. Le retard de la réaction enzymatique dans le lait chauffé serait lié à la dénaturation de la B-lactoglobuline et à son interaction avec la K-caséine (Van Hooydonk, 2001).

La dénaturation de la B-lactoglobuline entraîne une réduction du taux de conversion de la k-caséine de 20%. Pendant le processus de traitement thermique, la protéine de lactosérum dénaturée adhère à la surface des micelles de caséine, ce qui interfère avec la phase primaire et secondaire du processus de coagulation. Il a été constaté que l'abaissement de la valeur du pH pendant le traitement thermique du lait peut améliorer efficacement les caractéristiques de coagulation du lait. Bien que le chauffage du lait soit lié à un temps de coagulation plus long et à une structure de caillé faible, il peut également conduire à des rendements de moulage plus élevés en raison de l'incorporation des protéines de lactosérum dénaturées (Singhet Waugana,2001).

II.3.3.5. Incorporation du lactosérum

Pour des raisons économiques, les gens sont de plus en plus intéressés par l'ajout de protéines de lactosérum au fromage : le lactosérum contient environ 0,6% de protéines. L'ajout de protéines de lactosérum au fromage augmentera la production de fromage, augmentant ainsi la rentabilité de la fabrication du fromage.

Si le procédé peut être utilisé sans coûts correspondants (comme un équipement coûteux ou un fromage de mauvaise qualité) et s'il réduit le coût du traitement des eaux usées, l'ajout de protéines de lactosérum au fromage apportera des avantages nutritionnels. En fait, cette protéine a une valeur nutritionnelle plus élevée que la caséine en raison de sa teneur plus accrue en acides aminés essentiels. (Jensen et Stapelfedt, 1993).

En principe, les protéines du lactosérum peuvent être ajoutées au fromage de deux manières différentes :

- Directement : ajout de protéines de lactosérum au lait du fromage
- Indirectement : incorporation des protéines du lactosérum naturellement présent dans le lait de fromageries.

II.3.4. Contrôle du rendement et l'origine des pertes

D'un point de vue économique, la production totale de fromage valorisé comme matière première est la plus importante, car une augmentation de 1% de la production peut se traduire par une augmentation de 20% du profit. Elle est directement liée à la composition finale du produit, notamment en eau. Ce facteur modifie fortement la qualité du produit et sa capacité à développer sa propre qualité sensorielle, ce qui limite également l'augmentation possible du rendement (**Carole, 2002**).

II.3.4.1. Pertes de particules de caillé tout au long du procédé

Ces pertes proviennent principalement de diverses opérations d'égouttage. Toutes les opérations de découpage, de mélange et de transfert du caillé peuvent rompre le gel en très fines particules, qui seront entraînées dans le sérum. Par exemple, le type d'affûtage ainsi que la vitesse de rotation du couteau utilisé dans le processus de coupe entraîneront des changements importants dans la production de fromage (**Maubois et al., 1970**).

II.3.4.2. Pertes de matières grasses

La graisse ne fait pas partie du gel de caséine, mais elle est piégée dans le réseau protéique. Dans la fabrication normale, la perte de graisse peut être aussi élevée que la perte de la taille des cellules grasses de la graisse initiale (peuvent atteindre de 4 à 20% des matières grasses initiales). Les petits globules gras sont moins susceptibles de rester dans le gel et sont plus souvent emportés par le lactosérum ; par conséquent, l'homogénéisation du lait destiné au fromage doit généralement être évitée, car ce traitement augmente la perte de matière grasse du lait. D'autre part, la protéine immobilisée sur la membrane recombinante est perdue. (**Bankset al., 1984**).

II.3.4.3. Perte de protéines

La perte globale de protéines est principalement liée aux protéines sériques qui sont solubles dans l'eau qui est donc due au lactosérum. Dans une fabrication conventionnelle, 80 à 90% des protéines du sérum se retrouvent dans le lactosérum. Cependant, ces protéines ne représentent qu'un cinquième de la caséine récupérée à plus de 92% dans le fromage.

Afin d'améliorer le taux de récupération des protéines, la protéine sérique peut être traitée thermiquement ou acidifiée. S'il n'y a pas d'autres mesures préventives, ces traitements affecteront le rendement fromager, et peuvent aussi causer des problèmes d'égouttage et des défauts majeurs dans le produit fini (**Mahaut et al., 2000**).

II.3.4.4. Pertes liées à l'entreposage du lait

Il est à noter que le stockage du lait réfrigéré pendant trop longtemps (plus de 72 heures) entraînera une diminution de la production :

-Dissolution partielle de la caséine B.

-La protéolyse commence après l'activité de la plasmine, en particulier des enzymes protéolytiques bactériennes.

-Le début de la lipolyse, notamment sous l'action des enzymes des bactéries psychotrophes. (Alias, 1994).

II.3.4.5. Pertes liées au surpoids

Dans le fromage vendu séparément, il faut ajouter la perte due au surpoids, car dans ce cas il est difficile de contrôler précisément le poids final de chaque unité (Carole, 2002).

II.4. Influence de la matière grasse sur le rendement

La composition en matière grasse du lait (longueur et degré d'établissement de la chaîne carbonée) et la composition du fromage dépendent du stade de lactation ainsi qu'en alimentation animale. C'est l'origine des différentes textures et/ou saveurs du fromage. (Bugad et al.,2002).

Bugaudet al. (2000), ont observé une relation étroite entre les souches de fromage endommagées et la teneur en acides gras insaturés à long terme du lait. Ces acides gras ont des points de diffusion plus bas et des graisses plus lisses, donc les fromages sont plus lisses. Au cours de la maturation, certains acides gras peuvent être décomposés par des enzymes microbiennes.

Les caractéristiques des globules gras du lait dépendent en partie de l'alimentation et/ou de facteurs génétiques. On ajoute à cela, des travaux récents ont montré que les spécificités de ces globules gras peuvent modifier les propriétés physico-chimiques et sensorielles (dureté, élasticité, couleur) du camembert (Michalskiet al., 2003).

Le rendement augmente avec la hausse en matières grasses, mais elle présente une teneur bien inférieure à la teneur en protéines. Lorsque la caséine coagule, elle forme un réseau protéique qui capture d'autres composants, notamment la graisse sous forme de globules gras.

Ainsi, l'ajout d'une dose de matière grasse (TB) pour 100 litres de lait permet d'économiser 90 à 165 fromages.

Une teneur très accentuée en matière grasse peut devenir très gênante (**Chilliard et al.,2000**), Car elle empêche l'égouttage du réseau protéique formé au cours du processus de coagulation : même si le taux de protéines et les paramètres techniques sont identiques, lorsque la MG augmente, la synérèse va ralentir. On conclue alors que les fromages présentent plus de propriétés (acide lactique) car ils sont plus humides et déminéralisés pendant le processus de moulage, et contiennent plus de sucres résiduels (risque post-acidification) (**Munroet al.,1984**).

I. Présentation de l'unité

Notre travail a été réalisé après avoir effectué un stage pratique au sein de l'industrie laitière « TASSILI » qui a été créé en 1974 sous le nom de l'ONAL (Office National Algérien du Lait), située actuellement en plein centre-ville et couvre une superficie d'environ 40 000 m².

La laiterie contribue de manière efficace à l'assistance du développement de l'élevage et intervient directement depuis la collecte du lait au niveau des éleveurs jusqu'à la distribution au détaillant en passant par le traitement industrie.

- C'est dans ce cadre d'idées qu'a prévalu la laiterie de DBK dont sa fonction représente son activité à caractère industriel et commercial.
- Initialement prévue à la transformation de 50 000 L du lait par jour elle a augmenté ses capacités de production pour atteindre plus de 350 000 L/ jr, en instituant le système de travail continu en trois groupes (3éqpe/8hrs).

A compter de juin 2008 elle est privatisée dans le cadre de la cession des entreprises sociales, ce tableau présente le profil de l'entreprise :

Tableau VII: Profil de l'entreprise TASSILI

Raison sociale	laiterie de Draa Ben Khedda
Forme juridique	Société par action (SPA)
Création	1969
Début d'activité	1974, privatisé en juin 2008
Propriétaires	Famille AIRED
Sites	Site unique
Siège social	Rue Kasri Ahmed
Ligne de production	Laiterie et fromagerie
Nombre d'employés	499
Production	<ul style="list-style-type: none"> - Lait pasteurisé - Lait fermenté (L'ben et Raib) - Fromage frais - Fromage à pate molle type camembert - Crème fraiche - Jus
Capacités de production installées	<ul style="list-style-type: none"> - Lait pasteurisé : 310 000 L/jour - Lait fermenté (L'ben) : 10 000 L/jour - Fromage : camembert 20 000 pièces/jour
Exportation	Néant
Certification	Certifié ISO 9001:2000

Les circuits de collecte du lait de vache sont : Tizi-Ouzou, Boumerdes, Bouira et Béjaia ; les cuves de réfrigération ont une capacité de 35 000 L, et sont réparties à travers différents centres de collecte et points de regroupement de l'unité. Au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, l'unité a trois centres de collecte : Freha, Draa El Mizan et Mekla.

La structure organisationnelle de la laiterie est considérée comme structure fonctionnelle avec état-major présentée par le schéma ci-dessous :

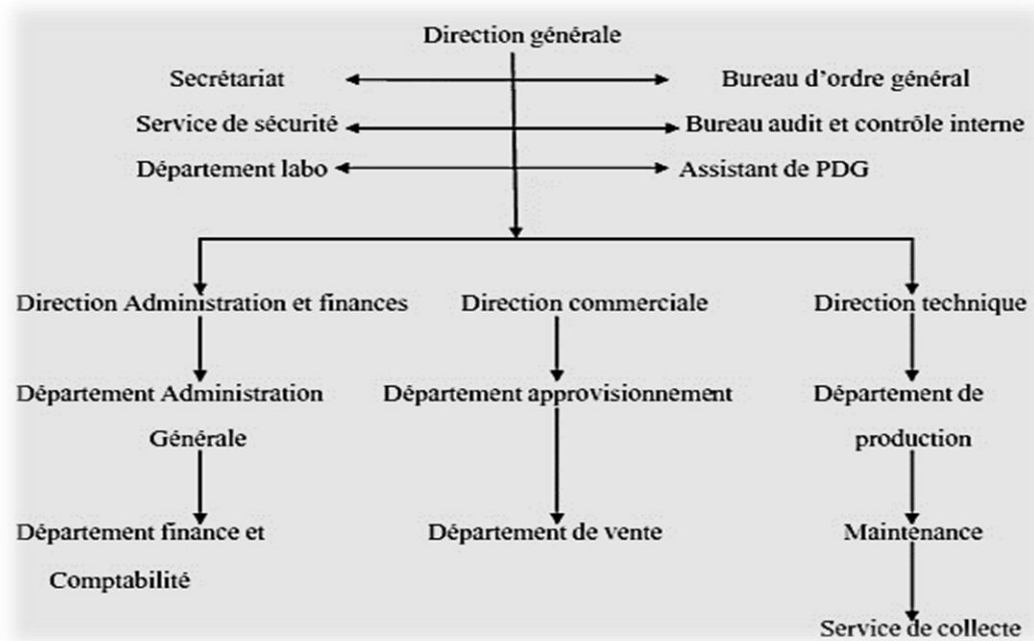


Figure III : Organigramme structurelle de l'unité réalisé par Mr Bacha, (2018).

Source : (Département commercial)

La mission de la laiterie de DBK est de développer et gérer les industries de traitement et de transformation de lait et ses dérivés, pour assurer un approvisionnement régulier du marché régional par une répartition rationnelle et adaptée afin d'éviter le déséquilibre de production et de distribution.

L'objectif fixé par la laiterie est de maintenir sa part de marché au lieu de le conquérir et cela en obtenant la satisfaction de la demande en matière de lait et ses dérivés. Face à une demande croissante et à une offre limitée de matières premières, la laiterie s'est impliquée à satisfaire en priorité les besoins de la population en lait pasteurisé et en second lieu celui des fromages.

II. Processus de fabrication du camembert

II.1. Réception du lait

Le lait de vache qui parvient à l'usine est un lait du mélange, il est acheminé au moyen des camions citernes qui assurent un transport à une température de 4°C à 6°C. Avant que le lait soit traité il subit différentes analyses pour vérifier sa conformité aux critères d'acceptation. Le contrôle à la réception est résumé comme suite : Réception du lait des camions citernes. Prise d'échantillons après agitation du lait. Contrôle des paramètres physico-chimiques, comme la mesure de l'acidité, la densité et le test antibiotiques. Si le lait répondant aux critères d'acceptation il passe par les étapes suivantes :

-décharge du lait

-filtration : qui est effectuée dans le but d'éliminer certaines impuretés et corps étrangers du lait.

- refroidissements : le lait passe dans des échangeurs à plaques traversée par l'eau glacée (0°C) à contre-courant avec le lait. Ce refroidissement a pour but de stopper l'activité microbienne.

-stockage : il ne doit pas dépasser 48 heures pour éviter la protéolyse et la lipolyse. Il se fait dans des tanks à double paroi iso-thermiques qui garde la Température entre 2°C et 4°C.

II.2. La standardisation

Elle consiste à donner au lait la composition correspondante à celle du fromage à élaborer, et cela s'effectue en ajoutant de la poudre du lait (0% et 26%). Et pour stabiliser l'émulsion de la MG et éviter la remontée de la crème, le lait subit une homogénéisation.

II.3. La pasteurisation

La pasteurisation est un processus de conservation des aliments qui consiste à les chauffer à une température donnée (inférieure à celle d'ébullition) durant une durée déterminée avant un refroidissement brusque, dans le but de détruire la flore microbienne banale (forme végétative non sporulée).

Le lait est transporté de la réception à une température de (2 à 4°C) vers le bac de lancement puis pompé grâce à la pompe centrifuge vers l'échangeur à plaque dont l'enjeu est de maximiser l'échange convectif. Ce dernier fait référence au transfert de chaleur se produisant entre une surface et un fluide en mouvement lorsque ceux-ci sont à des températures différentes.

L'échangeur à plaque comporte 3 circuits de circulation :

- Le circuit de circulation du lait
- Le circuit de circulation de l'eau froide
- Le circuit de circulation de l'eau chaude

Il comporte également 3 zones caractéristiques : une zone de pré-refroidissement, une zone de chauffage et une zone de refroidissement. Ainsi, au cours de la pasteurisation se font les échanges suivants :

- Échange lait-lait c'est la phase de préchauffage.
- Échange lait-eau glacée c'est la phase de refroidissement.
- Échange lait-eau chaude c'est la phase de chauffage.

Après avoir passé par ces étapes le lait passe par le chambreur où s'effectue la pasteurisation interne et qui se fait à 86°C pendant 15 secondes. En sachant que les débits des différents fluides sont mesurés à l'aide de débitmètres.

Le lait pasteurisé fait sa sortie vers les cuves de maturation avec une température de 38°C. Celui-ci est enfin prêt à être transformé. Une fois le lait refroidi de 8 à 10°C, il est réparti dans des tanks de 10 000 L auquel on ajoute 1.5 L de CaCl₂. On introduit également des levains fongiques qui jouent un rôle important dans le phénomène d'affinage. Ensuite on laisse le lait reposer 10 à 12 heures. Après la pré-maturation le lait est passé dans un réchauffeur à plaques à une température de 36°C, pour lesensemencements avec ferment lactiques.

II.4. Phase d'ensemencement-maturation

C'est l'étape d'introduction de groupes de bactéries lactiques sélectionnés qui participeront : D'une part, à la coagulation du lait (entraînant une acidification), c'est-à-dire la production d'acide lactique, qui est un sous-produit de la fermentation (un moyen de dégrader le sucre en conditions anaérobies). En revanche, lorsque le fromage mûrit (joue un rôle dans l'activité protéolytique), les bactéries lactiques ne peuvent absorber et utiliser que des acides aminés libres, peu riches dans le lait, ou des peptides courts (constitués de quelques acides aminés seulement). Après avoir ajouté des produits fermentés au lait, les bactéries commencent à décomposer le lactose en acide lactique.

II.5. emprésurage et coagulation

Après maturation, le lait (10 000 litres par production) est transporté vers la salle de production par le pipeline de la fromagerie pour remplir des cuves de 1000 litres. Pour 10 000 litres de lait on ajoute 190g de présure (19g / 1000 litres). La présure est diluée avec 1 L d'eau

distillée. Un volume de 100 ml de présure diluée sont ajoutés pour 1000 litres de lait, puis le mélange est remué. La température du caillé est comprise entre 36 et 37°C. Pour la coagulation, le lait passe d'un état liquide à un état gel durant le temps calculé (lorsque le temps de coagulation est défini). Le temps de coagulation est compris entre 10 et 15 minutes, il est obtenu par chronométrage à partir du moment de l' emprésurage jusqu'à l'apparition des flocons.

II.6. Le Décaillage

Il comprend le tranchage, y compris la découpe du caillé en plusieurs portions pour libérer le lactosérum. Il subit deux types de tranchage, l'un est horizontale et l'autre verticale à l'aide d'une tranche caillée. Quant au brassage il s'effectue pour éviter le durcissement du caillé et favoriser le drainage du lactosérum. En laiterie, le caillé est découpé en petits carrés de 1 à 2 cm² et découpé au double du temps de prise qui va de 15 à 20 minutes (le temps de découpe est déterminé par le temps de prise). Donc le caillé découpé subit deux brassages :

- Un premier brassage qui se fait 15 min après découpage.
- Le deuxième brassage se fait 15 min après le 1^{er} brassage.

II.7. Le moulage

Le caillé brassé est versé dans des moules dans le but de donner la forme définitive au fromage. Les moules utilisés à l'unité Tassili sont des moules en plastique, de forme cylindrique, ils ont un diamètre de 12 cm et une hauteur de 8 cm. Les moules ne comportant pas de fond, ils sont placés directement sur des plaques en plastiques perforées pour éviter les pertes du caillé. Ces plaques reposent eux-mêmes sur des plateaux en aluminium, qui sont munies des trous sur les côtés qui permettent l'écoulement du sérum. La température de la salle de moulage est de 26 à 28°C.

II.8. L'égouttage

Lorsque le moulage est terminé le fromage s'égoutte durant 12 heures. Cette étape permet d'évacuer le sérum restant. Des retournements chaque 2h sont indispensables pour l'égouttage des deux côtés. Si l'acidité augmente progressivement, le 3^{ème} retournement n'est pas nécessaire.

Le démoulage consiste à enlever les moules des fromages, il se fait après 24 heures quand l'acidité du sérum atteint la moyenne de 120°D. Au moment du démoulage, le pH du

caillé est < 4.9 et le taux d'humidité est de 58 à 60 %. Après le démoulage, le fromage est transporté vers la salle de salage.

II.9. Le salage

Il complète l'égouttage et crée à la surface du fromage un milieu sélectif aux activités chimiques, enzymatiques qui se dérouleront au cours de l'affinage, il contribue également à la saveur, mais surtout à sa conservation. Les futurs camemberts sont ensuite démoulés pour être salés sur les surfaces.

Le salage à l'unité Tassili s'effectue par à sec par saupoudrage superficiel, par frottement ou par incorporation dans la masse du caillé. C'est-à-dire l'incorporation du sel à sec se fait avec une saleuse automatique projetant le sel à la surface de fromage. On obtient en effet un fromage avec un taux de sel de 1.6 à 2%. (Le salage est fait par injection directe sur une moyenne de 2g/ une pièce de camembert pesant environ 250g)

II.10. L'affinage

L'affinage se fait dans des chambres froides à une humidité de 95% et à une température de 12°C pendant 12 jours, les fromages sont placés dans des hâloirs ou ils seront retournés chaque 3 jours pour développer leurs arômes et leurs croûtes blanches qui résultent de la pulvérisation du pénicillium à sa surface. Après 6 à 7 jours, les fromages se fleurissent c'est-à-dire ils développent une croûte. Après le dixième jour, la couche blanche se forme complètement, cette nappe s'appelle « la croûte ». Cette croûte fleurie ne présente aucun risque pour la santé et peut donc être consommée en toute sécurité.

II.11. Conditionnement et emballage

Après l'étape d'affinage les fromages vont acquérir leurs qualités organoleptiques et leur texture onctueuse, ils vont être triés en fonction de leur niveau d'affinage avant d'être emballés dans du papier qui laisse passer une partie d'humidité afin de le laisser respirer puis placés dans des boîtes avec l'appellation « Tassili ». A l'unité DBK, les fromages sont emballés manuellement dès le 12^{ème} jour lorsque la moisissure est suffisamment développée. Ils sont enveloppés dans un papier perforé cellulosique puis dans des boîtes en cartons.

II.12. Stockage et commercialisation

Le stockage s'effectue dans des chambres froides à (4-6°C) avant d'être commercialisé.

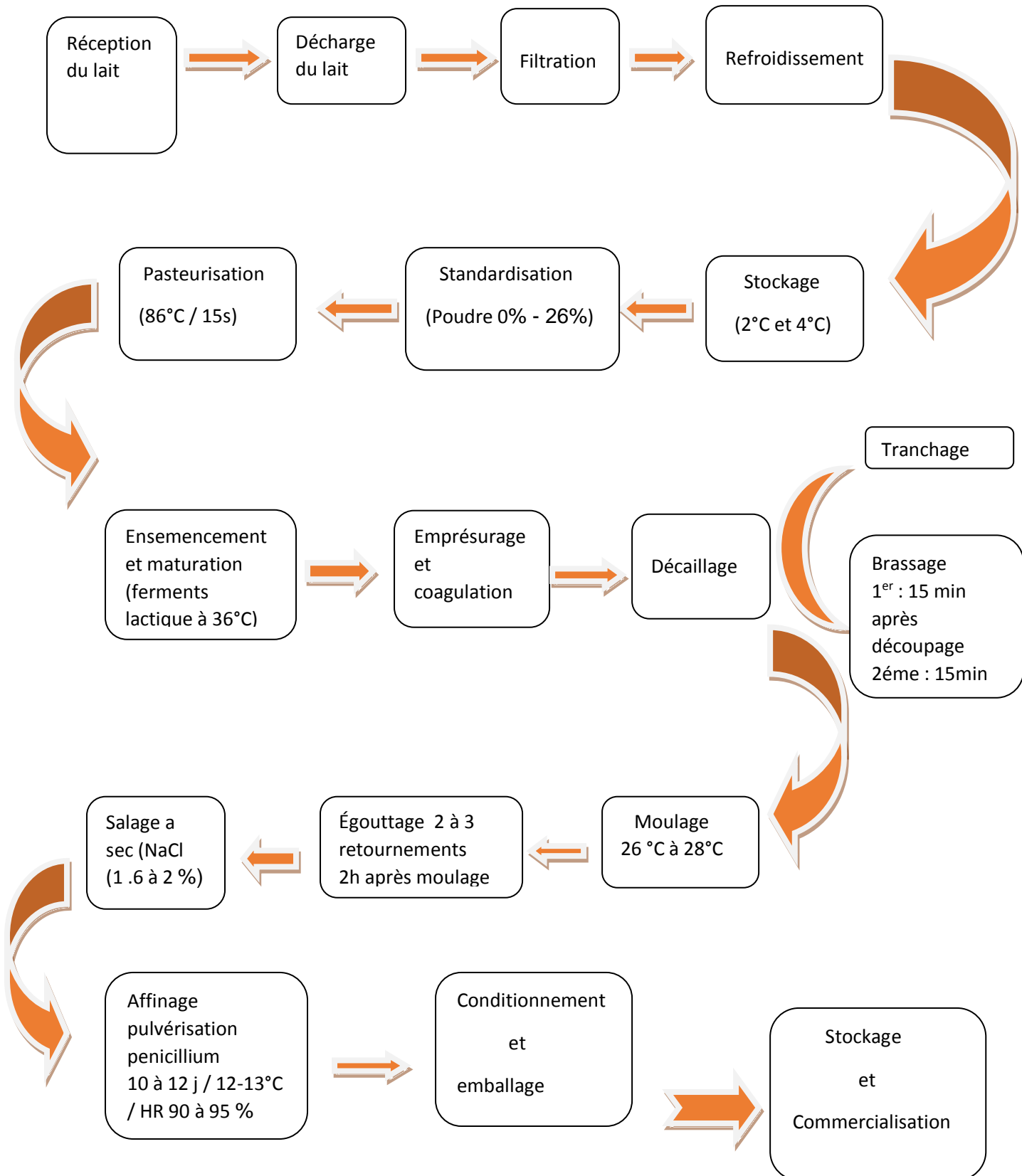


Figure IV : Diagramme de fabrication du camembert « Tassili » à l'unité DBK

III. Echantillonnage

Pour réaliser notre travail nous avons effectué un suivi de quatre productions de fromage à pâte molle type camembert dont on a analysé les paramètres technologiques. Nous avons aussi effectué certaines expérimentations afin de fixer la matière grasse et l'extrait sec dégraissé dans le but de déterminer l'influence du rapport gras/sec sur le rendement fromager.

Les échantillons du caillé et du lactosérum ont été prélevés à partir de 3 cuves représentant chaque production, (c'est-à-dire chaque production représente la moyenne des trois cuves précédemment citée plus précisément ont fait l'étude de 4 production dont chaque production on fait suivre trois cuves et pour déduire les résultats final d'une production on fait la moyenne trouvée des trois cuves).

Nous avons effectué notre échantillonnage au niveau de plusieurs points qui sont les suivants :

- Prélèvements d'échantillons de lait enrichie ou standardisé (la matière grasse et extrait sec dégraissée ont été fixé) et échantillons de lait mature pour chaque production puis des analyses physicochimiques sont réalisées.
- Pour le lactosérum, le prélèvement se fait à plusieurs reprises : au moulage, au premier et au deuxième retournement, le lactosérum est concerné par les analyses suivantes : le test d'acidité, le dosage de la matière grasse, le taux d'extrait sec dégraissé et l'humidité.
- Les échantillons de fromage sont prélevés au démoulage, pour accomplir des analyses spécifiques incluant le dosage de la matière grasse, l'humidité relative et l'extrait sec dégraissé, ainsi que le pH.

IV. Matériel et méthodes

IV.1. Matière première utilisée

La matière première utilisée dans cette étude est le lait de vache venant de plusieurs régions : Freha, Béjaia, Bouira ... Etc.

IV.2. Matériels

- Balance analytique de précision.
- Butyromètre
- Lactodensimètre
- PH mètre

- Centrifugeuse
- Dessiccateur infrarouge

Autre matériel

- Verrerie (pipettes 10ml, 11ml), béchers (100ml)
- Boîtes pétris
- Burette de titrage automatique 25ml
- Opercule en aluminium
- Spatules
- Pipettes
- Eprouvette de 250ml
- Capsule

Produits chimique et réactifs

- Acide sulfurique 1.83N et 1.54N
- Alcool iso-amylique
- Phénolphtaléine
- Solution NaOH à 0.111N
- Eau distillée
- Thiocyanate d'ammonium
- NO_3 65 % (0, 01N).
- HKMnO_4 75%
- AgNO_3 (0.1N)
- Alun de fer à 38%
- Hydroxyde de sodium à 0.1N

IV.3. Méthodes**IV.3.1. Réception et conservation de la matière première**

La réception du lait se fait tout au long de la journée, les éléments du laboratoire se charge d'analyser le lait à son arrivé, s'il répond aux normes exigées par la législation algérienne, ce dernier sera filtré et envoyer au tank de stockage après thermisation. On obtient ainsi un lait appelé lait de mélange, qui sera ensuite enrichi par le lait reconstitué et le calcium puis conservé au frais jusqu'à sa transformation.

IV.3.2. Prélèvement et préparation des échantillons

Les échantillons du lait et du fromage ayant servi aux différents tests analytiques ont été prélevés à la Laiterie TASSILI de Draa Ben Khedda au niveau de plusieurs stades de transformation.

Le lait destiné à la fabrication du fromage est prélevé durant plusieurs étapes : après réception, ajout des ferments de pré-maturation et après maturation et chauffage.

Les prélèvements du fromage sont faits au court du moulage, au démoulage et après affinage.

Quant au lactosérum il a été est prélevé au moment du moulage et à chaque retournement.

IV.3.3.1. Analyses physico-chimiques du lait cru

Les analyses physico-chimiques ont pour but d'assurer la fiabilité et la consistance d'un produit afin de garantir ses caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques. Ces analyses sont dans certains cas communs aussi bien pour la matière première que pour le produit fini (Scriban, 1999).

Afin d'évaluer la qualité physico-chimique de la matière première et du produit fini nous avons procédé à l'évaluation des paramètres suivant :

IV.3.3.1.1. Détermination du pH (4.7 et 5)

Principe

Le potentiel hydrogène est la mesure de l'activité chimique des ions hydrogène en solution à l'aide d'un pH-mètre en introduisant la sonde dans le produit.

Mode opératoire

Après étalonnage du pH-mètre à l'aide d'une solution tampon (pH : 4 et pH : 7), l'électrode est plongée dans l'échantillon à analyser. L'analyse est effectuée à 20°C.

Expression des résultats

La valeur du pH est lue directement sur l'échelle graduée du pH-mètre.

IV.3.3.1.2. Détermination de l'acidité (16°D et 18 °D)

Principe

Le principe est de neutraliser l'acide lactique d'un échantillon par une solution de NaOH à 0.111N en présence de phénolphthaléine comme indicateur coloré, celui-ci indique la limite de la neutralisation par changement de couleur (rose pâle). Cette acidité est exprimée en degré Dornic (°D) dont 1 ° D représente 0,1 g d'acide lactique dans un litre de lait.

Mode opératoire

Dans un bécher de 100 ml, on introduit à l'aide d'une pipette, 10 ml d'échantillon (lait) auquel on ajoute 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine, le tout est titré par une solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 N jusqu'au virage en couleur rose.

Expression des résultats

L'acidité titrable, exprimée en degré Dornic (°D), est donnée par la formule suivante :

$$AD = V.10$$

Avec :

AD : acidité titrable **V :** volume en millilitre de la solution d'hydroxyde de sodium (0,11N).

IV.3.3.1.3. Détermination de la densité (1028UI et 1035 UI)

Principe :

La densité est le poids d'un litre de lait à 20°C, cette densité est déterminée à l'aide d'un thermo-lactodensimètre étalonné de manière à donner la densité de l'échantillon à analyser dans lequel il flotte (par simple lecture du trait correspondant au point d'effleurement).

Deux facteurs déterminent cette densité :

- La concentration des éléments dissous et en suspension.
- La proportion de la matière grasse.

Mode opératoire

Le lait est versé dans l'éprouvette de 250 ml, tenu inclinée afin d'éviter la formation de mousse ou des bulles d'air. Le lactodensimètre est plongé verticalement dans l'éprouvette. Après sa stabilisation, on lit la valeur de la densité sur l'échelle à la surface du lait.

Expression des résultats

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

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

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

Si $T^{\circ} = 15^{\circ}\text{C} \rightarrow$ la densité reste la même.

Avec : T° : température lue sur le lactodensimètre D° : densité lue sur le lactodensimètre.

IV.3.3.1.4. Détermination de la teneur en matière grasse (30 g/l et 36 g/l)

Le principe est basé sur l'attaque des composants autre que la matière grasse par l'acide sulfurique. Sous l'influence d'une force centrifuge et grâce à l'adjonction d'une faible quantité d'alcool iso-amylique, la matière grasse se sépare en couche claire. Les graduations du butyromètre révèlent le taux de la matière grasse.

• Cas du lait

Principe

La méthode acido-basique repose sur l'agression des composants autre que la matière grasse par l'acide sulfurique. Ensuite, la matière grasse est séparée par l'alcool iso-amylique.

Mode opératoire

Dans un butyromètre à lait (**butyromètre Gerber**), on introduit 10 ml d'acide sulfurique de densité 1,83 puis on ajoute 11 ml de lait pour permettre la séparation des phases. On ajoute ensuite 1 ml d'alcool iso-amylique, puis on centrifuge à 1200 tr/min pendant 5 min.

Expression des résultats

La lecture se fait directement sur les graduations du butyromètre.

• Cas du 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 3 g de fromage dans un godet en verre, puis l'introduire dans un butyromètre. Ajouter 10 ml d'acide sulfurique dont sa densité est de 1,54 puis chauffer le contenu jusqu'à dissolution totale ensuite, ajouter 1 ml d'alcool iso-amylique. Enfin introduire l'échantillon dans la centrifugeuse (1110 tr/min pendant 5 min).

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 exprimée ainsi : $MG = N' - N$

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

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

IV.3.3.1.5. Détermination de la teneur en extrait sec total (EST), extrait sec dégraissé (ESD) et de l'humidité

Détermination de la teneur en extrait sec total (EST) (117 g/l et 121 g/l)

Principe

L'extrait sec total est déterminé à l'aide d'un dessiccateur infrarouge. Le principe consiste à sécher l'échantillon par l'émission de radiations infrarouges et à contrôler en continu le poids à l'aide d'une balance intégrée. Le pourcentage d'humidité est déterminé par la variation entre le poids humide initial et le poids sec final.

Mode opératoire

Dans un dessiccateur infrarouge possédant une balance de précision intégré on place une capsule préalablement séchée et lavée, contenant 3 à 5 grammes de l'échantillon à analyser. La température du dessiccateur varie selon l'humidité de l'échantillon, elle peut aller de 165 °C pour le lait et lactosérum, mais inférieur pour la poudre de lait 105 °C.

Expression des résultats

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

Détermination de l'extrait sec dégraissé (ESD) (83 g/l et 88 g/l)

L'extrait sec dégraissé (ESD) est déterminé en faisant la différence entre l'extrait sec total (EST) et la matière grasse (MG).

$$ESD = EST - MG$$

Détermination de l'humidité (%) : (53% et 54%)

$$H (\%) = 100 - EST$$

Avec :

EST : extrait sec total

ESD : extrait sec dégraissé

MG : matière grasse

IV.3.3.1.6. Détermination du rapport matière sèche MG/MS du fromage (38 % et 40%)

Principe

Ce rapport correspond au pourcentage de matières grasses contenu dans la matière sèche du fromage ce qui consiste à la détermination simultanée de la teneur en matière sèche et la teneur en matière grasse du fromage.

Expression des résultats

La teneur en matière grasse, exprimé en gramme pour 100g de matière sèche est donnée par la formule suivante : **(MG/MS) • 100**

Avec : MG : matière grasse du fromage. **MS** : matière sèche.

IV.3.1.7. Détermination du taux de chlorure (1.54% et 1.58%)

Principe

La détermination du taux de chlorures consiste en une destruction de la matière organique avec le permanganate de potassium et de l'acide nitrique, puis de la teneur des chlorures est déterminée par titrage en présence du sulfate double d'ammonium et de Fe^{3+} comme indicateur coloré.

Mode opératoire

Dans un bêcher ont introduit 2g de fromage (broyé et débarrassé de sa croûte), 25 ml d' $AgNO_3$ (0,1N) , 25 ml de HNO_3 65% (0, 01N) , le contenu est chauffé jusqu'à obtention de la coloration jaune citron puis on ajoute 15 ml de $KMnO_4$ 75% jusqu'à ce que le liquide devient clair, additionné de 5 ml d'Alun de fer à 38% et 100 ml d'eau distillée et enfin on fait le titrage avec le thiocyanate d'ammonium jusqu'à l'apparition de la couleur rouge brique.

Expression des résultats

La teneur en chlorure est exprimée selon la formule suivante

$$NaCl = \frac{(25 - V)}{P} \times 0.585$$

Avec :

25 = Volume en ml d' $AgNO_3$.

V = Volume en ml du thiocyanate d'ammonium (0,1N)

P = Prise d'essai (g).

0,585 = obtenu à partir de la masse moléculaire de NaCl multiplié par la normalité du nitrate d'argent et celle de thiocyanate d'ammonium.

IV.3.3.2. Analyses physico-chimiques du lait enrichi

Le lait enrichi est un lait de vache à qui on a ajouté une quantité de lait reconstitué dont le but d'améliorer le rendement fromager, pour ce fait on ajoute 500L de lait reconstitué à 9500L de lait de vache.

Pour ce mélange on applique pratiquement les mêmes analyses faites à la réception du lait.

IV.3.3.3. Analyses physico-chimiques du lait mature

Après l'ajout des ferments de maturation, un échantillon est prélevé et analysé (pH, acidité et température).

V. Résultat et discussion

V.1. Résultats des analyses physicochimiques

V.1.1. La matière première

Les résultats des analyses physicochimiques de la matière première (le lait) après standardisation et maturation sont présents dans les tableaux suivants.

V.1.1.1 Lait standardisé

Les résultats d'analyses du lait standardisé obtenues sont cités dans le tableau suivant :

Tableau VIII : résultats des analyses physicochimiques de la matière première (lait standardisé)

Paramètre		Lait standardisé				
		ESD (%)	Acidité (°D)	MG (g/l)	PH	EST (%)
Production	1 ^{ère}	87,5	18	30	6,54	117,5
	2 ^{ème}	88,8	19	30	6,58	118,8
	3 ^{ème}	86,25	17,5	30	6,58	116,25
	4 ^{ème}	86	20	30	6,58	116
Fixation de la MG	1 ^{ère}	87,5	18	30	6,54	117,5
	2 ^{ème}	88,8	19	30	6,58	118,8
	3 ^{ème}	86,25	17,5	30	6,58	116,25
	4 ^{ème}	86	20	30	6,58	116
Fixation de l'ESD	1 ^{ère}	88	19	34	6,58	122
	2 ^{ème}	88	19,5	32,5	6,61	120,5
	3 ^{ème}	88	18	29	6,56	117
	4 ^{ème}	88	18	28	6,58	116

Les résultats cités dans le tableau VIII sont d'une part obtenus en fixant la matière grasse à une valeur de 30g/l et en modifiant la valeur de l'ESD, et d'autre part en fixant l'ESD à une valeur de 88g/l et en modifiant la teneur en MG, on obtient cela grâce à la technique de standardisation afin de déterminer leurs influences.

V.1.1.1.1. L'EST

On a enregistré pour ce paramètre des valeurs de 117.5g/l pour la première production, 118g/l pour la 2^{ème} production, 116.25g/l pour la troisième production et 116g/l pour la dernière production lors de la fixation de la MG et des valeurs de 122g/l, 120.5g/l, 117g/l et 116g/l pour les productions (1,2,3 et 4) respectivement après fixation de l'ESD

Il apparaît qu'il y a une variance en EST d'une production à une autre, cela est attribué aux différents laits de mélange venants des différentes régions et à la quantité de la poudre de lait ajoutée, mais ces valeurs restent conformes aux normes exigées par l'unité.

V.1.1.1.2. Mesure du PH

D'après les valeurs obtenues on observe que lors de la fixation de la MG dans la première production le PH est de 6.54 et 6.58 pour les trois autres productions, et lors de la fixation de l'ESD les valeurs de PH sont de 6.58 pour la 1^{ère} et 4^{ème} production, 6.61 pour la 2^{ème} production et 6.56 pour la 3^{ème} production.

Le pH de lait à 20° C se situe entre 6,6 et 6,8. Les résultats du pH obtenu pour le lait standardisé sont conformes aux normes, ce qui prouve le respect des bonnes conditions de la traite, stockage et transport.

Selon **Siousarran, (2003)**, la détermination du pH nous renseigne sur le stade d'évolution du produit et sur une éventuelle présence de germes.

V.1.1.1.3. Mesure de l'acidité

Les échantillons du lait analysés dans cette étude après fixation de la MG donnent des valeurs de 18, 19, 17.5 et 20°D pour les quatre productions. Et après fixation de l'ESD des valeurs de 19, 19.5 °D pour la 1^{ère} et 2^{ème} production, 18°D pour la 3^{ème} et 4^{ème} production.

Les valeurs obtenues pour l'acidité du lait répondent dans l'ensemble à la limite d'acceptation évoquée par l'AFNOR et qui est comprise entre 16 et 18°D. Ceci démontre que le lait est frais et n'a pas subi une fermentation lactique.

L'augmentation de l'acidité traduit une mauvaise conservation ou mauvais transport du lait. On ajoute à cela, la rupture de la chaîne de froid provoque le développement de la flore lactique. L'acidité accrue du lait est due à sa richesse en constituants à caractères acides

tels que l'acide lactique et anions phosphates, et si l'acidité est élevée le pH du lait baisse (Vignola, 2002).

Par ailleurs, Essalhi, (2002) rapporte que le mouillage du lait diminue l'acidité normale du lait frais. Ce paramètre est très important en industrie car il contribue à la détection des fraudes.

V.1.1.2. Lait maturé

Le lait est obtenu en ensemençant le lait standardisé avec des ferments lactiques. Les résultats d'analyses obtenues sont cités dans le tableau suivant :

Tableau IX : résultats des analyses physicochimiques de la matière première (lait maturé)

Paramètre		Lait maturé				
		Acidité (°D)	pH	T (°C)	MG (%)	ESD (%)
Production	1 ^{ère}	20	6.38	35.5	30	117.5
	2 ^{ème}	21	6.38	35.5	30	118.8
	3 ^{ème}	21	6.38	30	30	116.25
	4 ^{ème}	19	6.42	36	30	116
Fixation de la MG	1 ^{ère}	20..5	6.39	34.5	34	88
	2 ^{ème}	21	6.36	34.9	32.5	88
	3 ^{ème}	20	6.38	37	29	88
	4 ^{ème}	20.5	6.39	36	28	88
Fixation de l'ESD	1 ^{ère}	20..5	6.39	34.5	34	88
	2 ^{ème}	21	6.36	34.9	32.5	88
	3 ^{ème}	20	6.38	37	29	88
	4 ^{ème}	20.5	6.39	36	28	88

V.1.1.2.1. L'ESD, l'EST et la MG

Les résultats obtenus dans le lait maturé sont identiques à celle du lait standardisé ce qui confirme que ces paramètres ne sont pas ciblés par la fermentation.

V.1.1.2.2. Le PH et l'acidité

Les résultats obtenus ont montré l'existence d'une légère modification dont une augmentation de l'acidité (19 à 21°D) et une diminution du pH (6.36 à 6.42), cela est dues au développement des bactériesensemencées dans le lait. Ces dernières utilisent le lactose comme substrat pour produire l'acide lactique et induisent ainsi l'augmentation de l'acidité et la diminution du pH.

Nous avons également observé des fluctuations dans la composition chimique des types de laits utilisés pour la fabrication du fromage. Ces fluctuations sont dues à la concentration des différents laits (y compris l'enrichissement avec la poudre de lait) pour atteindre les paramètres requis de notre recherche.

Les résultats obtenus sont conformes aux normes de (**Annexel**), qui prouve le respect des bonnes conditions de la traite et de stockage.

Tableau X : Normes fixées par l'unité(**Annexe1**), pour les éléments du lait destinés à la fromagerie.

Paramètres	Normes
MG (g / L)	30 - 36
Acidité (°D)	16 - 18
Densité (g/kg)	1.026 - 1.035
ESD (g/l)	83 - 88
EST (g/l)	117 - 121

V.1.2. Lactosérum

Le tableau suivant montre les résultats d'analyse physico-chimique du lactosérum.

Tableau XI : résultats des analyses physico-chimiques de lactosérum

Paramètre		MG (g/l)	ESD(%)	H(%)	Acidité (°D)	EST (%)
Production						
Fixation de la MG	1 ^{ère}	2.5	72.9	93.20	55	75.4
	2 ^{ème}	0.5	69.8	92.62	58	70.3
	3 ^{ème}	2	71.5	94.66	59	73.5
	4 ^{ème}	1.5	70.8	93.4	54	72.3
Fixation de L'ESD	1 ^{ère}	2	70,44	91.3	56	72.44
	2 ^{ème}	2	72,5	94.22	57	74.5
	3 ^{ème}	2	69,7	92.3	55	71.7
	4 ^{ème}	2,5	70,5	93.5	56	73

Après chaque étape de fabrication il y'a une certaine quantité de lactosérum exsudée. En effet, une grande quantité est éliminée au cour de l'égouttage, puis elle diminue au fur et à mesure que la ligne de production avance.

V.1.2.1.MG

La teneur en MG du lactosérum après fixation de la MG est évaluée entre 0.5 g/l à 2.5 g/l pour la 1ère et 2ème productions, et entre 1.5% à 2 %pour la 3ème et 4ème production. En revanche après fixation de l'ESD la teneur en MG est évaluée entre 2% et 2.5%.

Les valeurs trouvés dans la 3ème et 4ème production après fixation de la MG et celle de la 1ère ,2ème et 3ème production après fixation de l'ESD de l'étude précédente sont identiques à celles de **WOO (2002)** qui vont e 1 à 2g/l ,ce qui prouve une bonne conduite de brassage .Cependant les valeurs trouvés dans la 1ère et 2ème production après fixation de la matière grasse et la 4ème production après fixation de l'ESD diffèrent légèrement celles de **WOO (2002)** cela est due au brassage poussé qui a été effectué avant le décaillage du lait dans le but séparer le lactosérum du caillé dont des fuites de MG peuvent avoir lieu (**WOO 2002**).

V.1.2.2. L'EST

L'EST est la résultante de la MG, des protéines et du lactose, donc sa variation est liée directement à la qualité des laits utilisés pour la fabrication du fromage à pâte molle type « camembert ».

Après fixation de la MG et l'ESD le taux en EST du lactosérum étudié est supérieur à 70 g/l pour toutes les productions suivies, tandis que celui avancé par **WOO (2002)** est de 60.5 g/l cela est probablement expliqué par le rationnement des vaches ou bien par le lait en poudre ajouté.

V.1.2.3 L'acidité

L'acidité Dornic est le résultat de l'acide naturel du lait (liée à sa richesse en protéines et minéraux) au quelle s'ajoute l'acidité développée (grâce à l'action des ferments lactiques qui transforment le lactose du lait en acide lactique) (**Franworth et Mainville 2010**)

Les valeurs en acidité titrable obtenues après fixation de la MG pour les 04 productions suivies sont de 55,56, 58, 59°D respectivement, et celle obtenue après fixation de l'ESD sont de 55,56, 57,56°D respectivement. Ces valeurs sont conformes aux normes de l'unité qui sont (55 à 56°D) cela signifie que la fermentation s'est bien déroulée.

V.1.3. Les analyses physico-chimiques du produit fini

L'analyse physicochimique du produit fini est un outil important dans le processus, il consiste à mettre à la disposition du consommateur des produits sains et loyaux.

Ces analyses permettent de vérifier :

- ✓ La composition des produits (loyauté de la transaction commerciale).
- ✓ Les fiches techniques du produit.
- ✓ Le respect des normes et des dispositions réglementaires.

Les tableaux XII et XIII nous démontrent les résultats d'analyses physicochimiques du produit fini lors de la fixation de la MG et l'ESD

Tableau XII_: Résultats des analyses physicochimiques du produit fini après fixation de la MG.

Production Paramètre	1^{ère}	2^{ème}	3^{ème}	4^{ème}	Norme de L'unité (AFNOR 1986)
H%	55.8	56.23	52.22	53.54	54-60
EST%	47.10	47.3	45.2	47.5	45-50
ESD%	27.10	28	26.5	29	25-30
MG	20	19.3	18.7	18.5	18-20
G/S8 %	42.46	40.80	41.37	38.94	≤45
Ph	4.88	4.76	4.79	4.80	4.70-4.90
NaCl%	1.52	1.59	1.55	1.56	1.54-1.58

Tableau XIII : Résultats des analyses physicochimiques du produit fini après fixation de l'ESD

Production Paramètre	1^{ère}	2^{ème}	3^{ème}	4^{ème}	Norme de l'unité (AFNOR 1986)
H%	52.6	54.2	57.6	55.3	54-60
EST%	45.7	46.3	46.4	47	45-48
ESD%	27.1	28.1	26.88	27.1	25-30
MG%	18.6	18.2	19.52	19.9	18-20
G/S%	40.70	39.30	42.06	42.34	≤45
PH	4.76	4.86	4.79	4.74	4.70-4.90
NaCl%	1.52	1.55	1.52	1.57	1.54-1.58

Les résultats de l'analyse physico-chimique effectuée sur le produit fini (Camembert) répondent quasiment aux normes exigées.

On observe dans la troisième et la quatrième production dont on a fixé la MG (30g/l) et la première production où l'ESD est fixé, un faible taux d'humidité ce qui peut amener la pâte à être légèrement sèche.

L'humidité

Après fixation de l'ESD les valeurs de l'humidité de camembert diffèrent d'une production à une autre. Dans la 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} production, les valeurs sont conformes aux normes exigées (54% à 60%), mais dans la 1^{ère} production ils sont inférieurs à celle exigée. Et même après fixation de la MG les valeurs de l'humidité dans la 1^{ère}, 2^{ème} et 4^{ème} productions sont conformes aux normes exigées tandis que dans la 3^{ème} production les valeurs sont inférieures. Ce qui peut amener la pâte à être légèrement sèche et provoquer la perte du poids des pièces cela est due à la mauvaise maîtrise des paramètres du stockage.

Taux de chlorure

Les résultats de NaCl obtenus après fixation de la Mg et de l'ESD varient d'une production à une autre on constate que dans la 3^{ème}, 4^{ème} production (après fixation de MG) et la 2^{ème} et 4^{ème} production (après fixation de l'ESD) le taux de chlorure est conforme aux normes exigées (1.54 à 1.58). Cependant dans la 1^{ère} production (après fixation de MG) et dans la 1^{ère}, la 3^{ème} production (après fixation de l'ESD) le taux de chlorure est inférieur aux normes exigées. On constate aussi que dans la 2^{ème} production après fixation de la MG le taux de chlorure dépasse la norme ce qui est attribué au salage médiocre.

V.1.4. Le rendement et le poids du camembert

Le tableau nous montre les résultats du rendement et le poids du fromage

Tableau XIV : Résultats du rendement et le poids du fromage

Paramètre		MG g/l	ESD (%)	POIDS (g)	Rendement
Fixation de la MG	1 ^{ère}	30	87,5	310	2.28
	2 ^{ème}	30	88,8	305	2.23
	3 ^{ème}	30	86,25	320	2.35
	4 ^{ème}	30	86	318	2.31
Fixation l'ESD	1 ^{ère}	34	88	307	2.38
	2 ^{ème}	32.5	88	340	2.33
	3 ^{ème}	29	88	325	2.30
	4 ^{ème}	28	88	324	2.42

Les résultats du tableau si dessus sont traduits dans l'histogramme si dessous

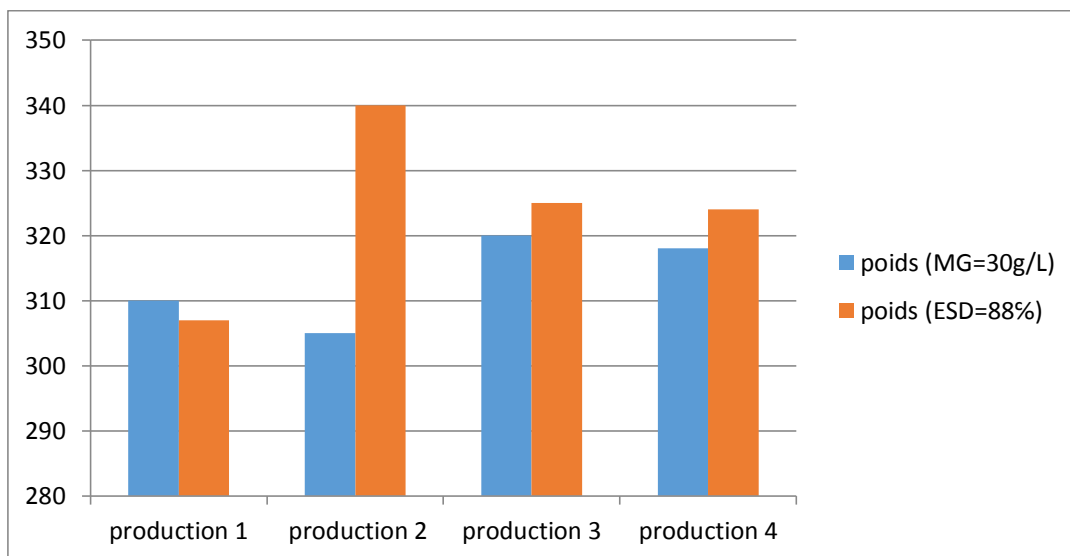


Figure V : Histogramme des variations du poids des pièces en fonctions des productions lors de la fixation de la MG et de l'ESD.

On observe dans l'histogramme issue du tableau précédant que le poids des pièces varie d'une production à une autre et qu'il dépasse la norme fixée de l'unité qui est de 250g, on peut expliquer cela par les corrections faites aux pièces au moment des retournements

(l'addition du caillé manuellement pour combler les vides de la pièce ce qui influe de façon direct sur le poids fromage).

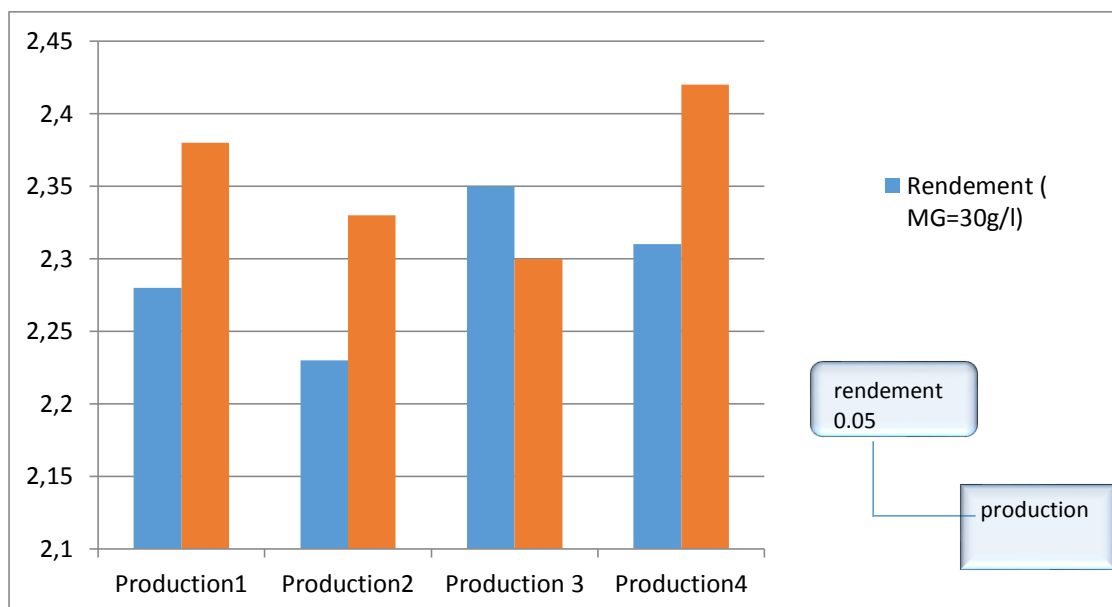


Figure VI : Histogramme des variations du rendement en fonctions des productions lors de la fixation de la MG et de l'ESD

Le rôle joué par les composants du lait a pu être mis en évidence, non seulement sur le plan quantitatif (poids du fromage obtenu) mais aussi sur le plan qualitatif (composition du fromage) c'est-à-dire que l'enrichissement du lait avec l'EST peut augmenter le rendement.

Le rendement fromager est instable et varie d'une production à une autre, attribué à l'influence respective des principaux éléments de la composition du lait la variation de la composition de lait de départ, ainsi que la maîtrise des bonnes pratiques de fabrication.

La deuxième production issue de la fixation de la MG à 30g /L et l'ESD de 88.8 g /L est considérée comme exemple idéal d'un bon rendement vue les valeurs satisfaisantes observées. En revanche, lorsque la valeur de la MG est de 28g/L ou de 34g /l avec un ESD de 88g/L le rendement fromager reste insuffisant. Ce constat peut être justifié par deux raisons, soit l'extrait sec dégraissé n'est pas adéquat pour un bon rendement ou la matière grasse a exercé un effet négatif sur le réseau protéique lors de la coagulation (cas de la 1^{ère} production dont la matière grasse est de 34 g/l) ou bien la MG est insuffisante (cas de la 4^{ème} production dont la matière grasse est de 28g/l).

En fin, on peut dire que d'après les résultats obtenus à partir de cette étude, que la variation du taux d'ESD et de MG peut maîtriser la coagulation qui va former un caillé

suffisamment ferme c'est-à-dire que la perte de caillé dans le lactosérum est minime, ce qui aboutit à un rendement considérable. Donc, le meilleur rendement à partir de lait enrichi à une valeur limite là où le gel est satisfaisant, car les teneurs très élevées auront des effets inverses.

Il existe une corrélation positive entre la fermeté du caillé et le rendement fromager : plus le caillé est ferme, meilleur est le rendement. Un caillé bien structuré perdra moins de matière indispensable (protéines, matières grasses) lors du démoulage et de l'égouttage.

La fabrication du camembert est un processus très technique et délicat. De bonnes compétences professionnelles, une connaissance approfondie de tous les facteurs impliqués dans la fabrication et une bonne maîtrise des paramètres technologiques représentent une importance capitale pour le développement d'une technologie de fabrication irréprochable. Lorsqu'il s'agit de produire un camembert répondant aux désirs du consommateur, cette connaissance est absolument nécessaire car celui-ci n'a plus de comportement passif vis-à-vis de l'alimentation, mais il est toujours à la poursuite de la qualité.

Lors de notre stage pratique effectué au sein de la laiterie de Draa Ben Khedda (Tassili), nous avons pu suivre les différentes étapes de fabrication du camembert et effectuer certaines analyses physico-chimiques pour évaluer la qualité du produit. Nous avons également étudié l'effet du rapport gras/sec sur le rendement fromager.

Les résultats de ces analyses ont révélé une conformité des paramètres mesurés aux normes que ce soit pour la matière première que pour le produit fini, ce qui signifie le respect des bonnes pratiques de fabrication et la maîtrise adéquate du procédé de fabrication de ce produit. Ces analyses ont démontré que la matière grasse a un impact considérable sur le rendement fromager. En effet, deux types d'effet peuvent être exercés, soit positif : lorsque le rendement et la teneur en matière grasse augmentent en même temps, ou effet négatif : lorsque la teneur en matière grasse est très importante, elle peut devenir perturbante en encombrant le réseau protéique formé lors de la coagulation ce qui réduit le rendement.

Pour des transformations en pâtes molles effectuées sur les laits de plusieurs productions, les taux butyreux protéiques permettent d'expliquer 77% des variations de rendement fromager. Cependant, il nous éclaire sur une partie des phénomènes complexes qui se produisent lors de la transformation du lait en caillé en présentant l'intérêt par rapport aux paramètres chimiques d'une vision plus globale.

Une bonne valorisation économique du lait passe par des produits de qualité mais aussi par une optimisation de la quantité de fromage produite à partir du lait. A l'échelle d'une journée, la perte de quelques grammes de fromage peut sembler insignifiante. Mais rapportées à l'année et sur l'ensemble de la gamme, les pertes économiques peuvent prendre de l'ampleur. L'amélioration des rendements doit donc aussi être une préoccupation en production fermière. De la qualité de la matière première aux paramètres de fabrication, il existe différents leviers pour optimiser ses rendements tels que la stabilisation pH en fin d'acidification qui est un facteur important dans la maîtrise du produit.

Pour conclure, on peut déduire que la meilleure prédiction d'un rendement est obtenue par l'utilisation simultanée de la composition chimique du lait et des paramètres de la coagulation.

-A-

- **Aboutayeb, R. (2009).** Technologie du lait et dérivés laitiers. Consulté à l'adresse <http://www.azaquar.com>, le, 15(05), 2016.
- **AFNOR. (1986) :** Contrôle de la qualité des produits laitiers-Analyses physiques et chimiques.
- **Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R et Turgeon H.,(2002) :** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait .
- **Ammar, E. T. (1999).** Composition and properties of Domiati cheese from cold and frozen stored buffalo milk. *Egyptian Journal of Dairy Science*, 27, 109-126.
- **Araba, A. (2006).** Conduite alimentaire de la vache laitière. *Bulletin mensuel*.

-B-

- **B Vigneux, M. P. (2017).** Impact de l'homogénéisation partielle de la matière grasse du lait et de l'homogénéisation haute pression (HHP) du lait écrémé sur ses aptitudes à la transformation fromagère.
- **Banks, J. M., & Tamime, A. Y. (1987).** Seasonal trends in the efficiency of recovery of milk fat and casein in cheese manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, 40(3), 64-66.
- **Benhedane N 2011.** Qualité microbiologique du lait cru destiné à la fabrication d'un type de camembert dans une unité de l'est Algérien. Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, 123p.
- **Bertrand F., (1988).** Le fromage grand œuvre des microbes .revue générale de froid, 78,519-527.
- **Bourgeois, C. M., & Larpent, J. P. (1989).** Microbiologie alimentaire, vol. I-II. Edit. Lavoisier, Paris.
- **Boutrou, R., Gaucheron, F., Piot, M., Michel, F., Maubois, J. L., & Léonil, J. (1999).** Changes in the composition of juice expressed from Camembert cheese during ripening. *Le lait*, 79(5), 503-513.
- **Bugaud, C., Buchin, S., Hauwuy, A., & Coulon, J. B. (2002).** Texture et flaveur du fromage selon la nature du pâturage: cas du fromage d'Abondance. *Productions animales*, 15(1), 31-36.

- **Bugaud, C., Doreau, M., Chabrot, J., Hauwuy, A., & Buchin, S. (2000, September).** Composition en acides gras des laits alpins. Relation avec la composition en acides gras des pâturages. In *Qualité et valorisation des productions animales de montagne* (pp. 2-p).
- **Bylund G. 1995.** Dairy processing handbook-Tetra pak processing systems. Lun Swed en, 436 p.

-C-

- **C. ALAIS. G. LINDEN (1993).** Biochimie alimentaire Abrégés, 2ème édition. Masson. Paris, 120.
- **Cammack, R., Chapman, A., McCracken, J., & Peisach, J. (1991).** Electron spin-echo spectroscopy of the iron–sulphur clusters of xanthine oxidase from milk. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, 87(19), 3203-3206.
- **Carole, L. V., (2002).** *Science et technologie du lait: transformation du lait*. Presses inter Polytechnique.
- **Castillo, M., Payne, F. A., Hicks, C. L., & Lopez, M. B. (2000).** Predicting cutting and clotting time of coagulating goat's milk using diffuse reflectance: effect of pH, temperature and enzyme concentration. *International Dairy Journal*, 10(8), 551-562.
- **Cauty, I., & Perreau, J. M. (2009).** *La conduite du troupeau bovin laitier*. France Agricole Editions.
- **Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R. M., & Doreau, M. (2000, May).** Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. In *Annales de zootechnie* (Vol. 49, No. 3, pp. 181-205). EDP Sciences.
- **Cholet, O. (2006).** *Etude de l'écosystème fromager par une approche biochimique et moléculaire* (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).
- **Codex alimentaire. (1978) CXS 266-1978. Norme générale pour le fromage. Révisée en 1999.**
- **CODEX ALIMENTAIRE. (1999).** Norme générale pour l'utilisation de termes de laiterie CODEX STAN 206-1999. pp : 1-4.
- **CODEX STAN (2010).** CODEX STAN 243-2003: Codex standard for fermented milks.

- **COULON, J.B., CHILLIARD, Y., et REMOND, B. (1991)** : Effets du stade physiologique et de la saison sur la composition chimique du lait de vache et ses caractéristiques technologiques. *INRA Prod. Anim.*, 4 (3).pp: 219-228.
- **Courtet-Leymarios, F. (2010)**. *Qualité nutritionnelle du lait de vache et de ses acides gras: voies d'amélioration par l'alimentation* (Doctoral dissertation).
- **Cousin, M. A., & Marth, E. H. (1976)**. Cheddar cheese manufactured from milk precultured with psychrotrophic bacteria. *J. Dairy Sci.*, 59(Suppl. 1), 44.

-D-

- **Debry, G. (2001)**. Lait, nutrition et santé. Edition Tec et Doc Lavoisier, Paris.
- **Desmazeaud, M. (1997)**. Principaux paramètres de l'écologie microbienne des produits laitiers fermentés. *MAN Microbiologie, aliments, nutrition*, 15(2), 99-114.
- **Dillon JC., Berthier AM., (1997)**. Le fromage dans l'alimentation. In Eck A., Gillis JC. Le fromage. Paris : TEC & DOC - Lavoisier, p. 713-724.

-E-

- **Eck, A. (1990)**. El queso: las propiedades organolépticas del queso. *Barcelona: Omega*.
- **Eck, A., & Gillis, J. C. (1997)**. Le Fromage de la science à l'assurance-qualité.
- **Essalhi, M. (2002)**. Relation entre le système de productions bovines et les caractéristiques du lait. *Mémoire 3eme cycle*.

-F-

- **Favier, J. C. (1985)**. Composition du lait de vache I. lait de grand mélange. *Cah. Nutr. Diét*, 20, 283-291.
- **Fernane Boumedine, H. A. B. I. B. A. (2017)**. Etude des bactéries thermorésistantes dans le lait.
- **Franworth, E., & Mainville, I. (2010)**. Les produits laitiers fermentés et leur potentiel thérapeutique, Centre de recherche et de développement sur les aliments, Saint-Hyacinthe.
- **Fredot, E. (2006)**. Connaissance des aliments, ed. *Lavoisier, Paris*, 397.

-G-

- **Gabli, A., & Ouzrout, R. (2005).** Etude cinétique des cellules somatiques dans le lait des vaches atteintes de mammites et de vaches saines.
- **Gaucheron, F. (2004).** Minéraux et produits laitiers, Tec et Doc, Lavoisier. P 494-783. (922 pages).
- **Giraud J et Galzy P.(1980) :** les analyses microbiologiques dans les industries agroalimentaires. Edition de l'usine nouvelle. Paris. P. 236.
- **Guinee, T. P., & O'callaghan, D. J. (2010).** Control and prediction of quality characteristics in the manufacture and ripening of cheese. *Technology of cheesemaking*, 8904, 260.

-J-

- **Jean, C., & Dijon, C. (1993).** *Au fil du lait*. ISBN 2-86621-P172-3.
- **Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P. et Brule G. (2008).** Les produits laitiers, 2ème édition, Tec et Doc, Lavoisier, Paris,(185 p).
- **Jensen, G. K., & Stapelfeldt, H. (1993).** Incorporation of whey proteins in cheese, including the use of ultrafiltration. *Monograph on factors affecting the yield of cheese.*, 88-108.

-K-

- **Keenan, T. W., & PATTON, S. (1995).** The structure of milk: Implications for sampling and storage: A. The milk lipid globule membrane. In *Handbook of milk composition* (pp. 5-50). Academic Press.
- **Kirat S.** Les conditions d'émergence d'un système d'élevage spécialisé en engraissement et ses conséquences sur la redynamisation de l'exploitation agricole et la filière des viandes rouges bovines : cas de la Wilaya de Jijel en Algérie. (Thèse pour l'obtention du titre de Master en Science). Institut agronomique méditerranéen : Montpellier, 2007, 139 p.

-L-

- **Law, B. A., Sharpe, M. E., & Chapman, H. R. (1976).** The effect of lipolytic Gram-negative psychrotrophs in stored milk on the development of rancidity in Cheddar cheese. *Journal of Dairy Research*, 43(3), 459-468.

- **Lawrence, R. C. (1993).** Cheese yield potential of milk. *Monograph on factors affecting the yield of cheese.*, 109-120.

- **Leclercq-Perlat, M. N., Buono, F., Lambert, D., Latrille, E., Spinnler, H. E., & Corrieu, G. (2004).** Controlled production of Camembert-type cheeses. Part I: Microbiological and physicochemical evolutions. *Journal of Dairy Research*, 71(3), 346-354.

- **Libouga, D. G., Vercaigne-Marko, D., Djangal, S. L., Choukambou, I., Ebangi, A. L., Ombionyo, M., ... & Guillochon, D. (2006).** Mise en évidence d'un agent coagulant utilisable en fromagerie dans les fruits de *Balanites aegyptiaca*. *Tropicult*, 24(4), 229-238.

- **LUQUET F .M . (1986).** Lait et les produits laitiers, vache, brebis et chèvre. Chapitre1 : p .p 281-331.

-M-

- **Mahaut M., Jeantet R. and Brulé G., 2000.** Initiation à la technologie fromagère. Paris: Lavoisier.

- **Mahieu, H. (1985).** Facteurs de variation de la composition du lait. *Laits et produits laitiers*, 1, 119-183.

- **Majdi A., (2009).** 'Les fromages AOP et IGP.', in Séminaire sur les fromages AOP et IGP. INT-Ingénieur agronomie, 88p.

- **MATHIEU, J., (1999)** Initiation à la physicochimie du lait, Tec et Doc, Lavoisier, Paris: 3-190 (220 pages).

- **Maubois, J. L., Ricordeau, G., Mocquot, G., Dupont, J. Y., Gervais, E., & Barbier, N. (1970).** Étude des rendements en fromagerie de Camembert et de Saint-Paulin. *Le lait*, 50(497), 351-373.

- **McSweeney, P. L. (2004).** Biochemistry of cheese ripening. *International journal of dairy technology*, 57(2-3), 127-144.

- **McSweeney, S., Mulvihill, D.M., O'Callaghan, D.M.,** The influence of pH on the heat-induced aggregation of model milk protein systems and model infant formula emulsions stabilized by milk protein ingredients, *Food Hydrocolloids* 18 (2004) 109-125.
- **Mdahou A., (2017).** Etude de l'évolution de la flore microbienne indigène d'un fromage industrielle à pâte molle type camembert au cours de son affinage et évaluation de ces aptitudes technologiques. Thèse de doctorat en production et biotechnologie animales, université d'Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 132p.
- **MEYER, C., et DENIS, J.P. (1999).** Elevage de la vache laitière en zone tropicale .Edition Quae, CTA, presses agronomiques de Gembloux.
- **Michalski, M. C., Gassi, J. Y., Famelart, M. H., Leconte, N., Camier, B., Michel, F., & Briard, V. (2003).** The size of native milk fat globules affects physico-chemical and sensory properties of Camembert cheese. *Le lait*, 83(2), 131-143.
- **Michel, V., Barral, J., Laithier, C., & Parguel, P. (2005).** Peut-on agir sur la flore microbienne du lait? 2005. *GIS AdN*.
- **Mietton, B., Desmazeaud, M., De Roissart, H., & Weber, F. (1994).** Transformation du lait en fromage.
- **Munro, G. L., Grieve, P. A., & Kitchen, B. J. (1984).** Effects of mastitis on milk yield, milk composition, processing properties and yield and quality of milk products. *Australian Journal of Dairy Technology*.

-P-

- **Patrick L(2010).** Les caractéristiques d'une réponse sensorielle. In : Félix D. Évaluation sensorielle Manuel méthodologique. Lavoisier, Paris, p8- 12.
- **Piveteau, P. (1999).** Metabolism of lactate and sugars by dairy propionibacteria: a review. *Le Lait*, 79(1), 23-41.
- **Pougheon, S., & Goursaud, J. (2001).** Le lait: caractéristiques physicochimiques. *Lait, Nutrition, Santé*, 2-42.

-R-

- **Ramet, J. P. (2001).** *The technology of making cheese from camel milk (Camelus dromedarius)* (No. 113). Food & Agriculture Org..
- **REMEUF, F. (1994).** Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et aptitudes fromagères des laits. *Rec, méd, vét.*, , 170 (6/7) : 359-365.

-S-

- **Salmeron, J., De Vega, C., Perez-Elortondo, F. J., Albisu, M., & Barron, L. J. R. (2002).** Effect of pasteurization and seasonal variations in the microflora of ewe's milk for cheesemaking. *Food microbiology*, 19(2-3), 167-174.
- **Scott, R., Scott, J. E., Robinson, R. K., & Wilbey, R. A. (1998).** *Cheesemaking practice*. Springer Science & Business Media.
- **Singh, H., Waungana, A.,** Influence of heat treatment of milk on cheesemaking properties, *Int. Dairy J.* 11 (2001). 543-551.
- **Sraïri, M. T., Hasni Alaoui, I., Hamama, A., & Faye, B. (2005).** Relations entre pratiques d'élevage et qualité globale du lait de vache en étables suburbaines au Maroc.
- **St-Gelais, D., & Tirard-Collet, P. (2002).** Fromage. *Science et technologie du lait: transformation du lait*, 349-415.
- **Sutherland, B. J. (2002).** CHEESE| Salting of Cheese.

-T-

- **Thapon, J. L. (2005).** Science et technologie du lait. *Agrocampus-Rennes, France*, 14, 77.
- **Thomas, C. R. O. G. U. E. N. N. E. C., Romain, J. E. A. N. T. E. T., & Gérard, B. R. U. L. É. (2008).** *Fondements physicochimiques de la technologie laitière*. Lavoisier.
- **Toureau, V., Bagieu, V., & LE BASTARD, A. M. (2004).** Une priorité pour la recherche: la qualité de nos aliments. *Les recherches sur la qualité du fromage. INRA mission communication*.

-V-

- **Van Hooydonk, A.C.M., de Koster, P.G., Boerrigter, I.J.**, The renneting properties of heated milk, *Neth. Milk Dairy J.* 40 (1987) 3-18.
- **VANDEWEGH, J. (1997)**. Le rendement en fromage: prédétermination et mesure. *ECK A. Le fromage*, 2, 791-874.
- **VEISSERY.(1975)**. Technologie du lait .constituants, récolte traitement et transformation du lait. Edition. Maison rustique. Paris. pp : 112-133.
- **VEISSEYRE, R. (1979)**.Technologie du lait constitution, récolte, traitement et transformation du lait. 3éme édition. Edition la maison rustique, Paris.
- **Verdier-Metz, I., Coulon, J. B., & Pradel, P. (2001)**. Relationship between milk fat and protein contents and cheese yield. *Animal Research*, 50(5), 365-371.
- **VIGNOLA C.L. (2002)**.Science et technologie du lait: Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, Canada, 600 p.

-W-

- **Woo, A. (2002)**. La grande diversité du lactosérum. *Agriculture et agroalimentaire, Canada*, 313.