

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Frère Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Appliquée



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnalisant
Filière : Sciences biologiques, Spécialité: Bioindustrie, Analyse et Contrôle

Par: BENLOUCIF Radia.
OULMI Amal.

Thème

**Etude du procédé de production du fromage du type
camembert : Effet de la nature des microorganismes sur la
qualité du produit.**

Jury d'évaluation :

Président de jury: Mr .KACEM CHAOUCHE N.

Prof. Univ. Constantine 1.

Rapporteur : Mme. CHAOURFA F.

Dr. Univ. Constantine 1.

Examineur: Mme. GHORRI S.

Dr. Univ. Constantine 1.

Maitre de stage: Mr. FIAD F.

Ing. I.N.A.T.A.A., UMC.

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2016-2017

Remerciements

Nous tenons à remercier notre encadreur Dr. CHAOURFA F pour son aide précieuse et le temps consacré pour notre orientation tout au long de la période de réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier également notre Co-encadreur monsieur FIAD F pour son aide.

Nous tenons à remercier profondément les membres du jury :
Monsieur le professeur KACEM CHAOUICHE N, pour avoir bien voulu présider ce jury et nous faire bénéficier de son examinations rigoureuse et pour l'ouverture de ce parcours.

Madame Dr. GHORRI S, qui a accepté de juger ce travail.

Nous tenons à remercier le personnel du service de la production et du laboratoire de la Laiterie de « *Numidia* » pour leur aide durant la période de stage.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à l'ensemble de l'équipe pédagogique qui nous a formé tout au long de notre parcours universitaire et nous a permis de nous préparer à la vie active.

Merci à tous

Dédicaces

Je dédie ce travail à:

Mes parents chéris pour leur sacrifice, leurs soutiens moral et financier et affectif tout au long de mon parcours scolaire,

Mon trésor frère Abdel wahab et à mes deux adorables sœurs Fadila et Amina qui ont été toujours présents à mes côtés et qui m'ont soutenu,

Toute ma famille sans exception et à ma chère amie Karima pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Ma camarade et binôme Amel et à toute la promotion 2016-2017 de Bioindustrie analyse et contrôle,

Tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.

-Radia -

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs Kaouther et Yousra pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A toute ma famille et à tous mes chers amis (es) pour leur soutien tout au long,

Merci d'être toujours là pour moi de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

-Amel-

Tableau 2.1 : Les différents types des fromages.....	16
Tableau 2.2 : Composition moyenne de fromage à pâte molle et à croûte fleurie de type Camembert.....	27
Tableau 4.1 : Description des ferments industriels utilisés par l'industrie « Numidia » dans la fabrication du camembert.....	45
Tableau 5.1: Quantités et doses d'ensemencement utilisées par l'unité «Numidia »	62
Tableau 5.2 : Résultats des analyses physico-chimiques du lait destiné pour la fabrication du Camembert.....	63
Tableau 5.3 : Résultats des analyses physico-chimiques du Camembert	67
Tableau 5 .4: Résultats des dénombrements microbiologiques des dix échantillons du Camembert (germes /g).....	70

- **A** : Absence
- **AFNOR** : Association Française de Normalisation
- **A O C** : Appellation d'origine contrôlée
- **B. linens** : *Brevibacterium linens*
- **BL** : bactéries lactiques
- **°C** : degré Celsius
- **Ca Cl₂** : chlorure de calcium
- **Cm** : centimètre
- **CIP** : Clean-in-Place
- **Cl. f** : Coliforme Fécaux
- **Cl .t** : coliforme totaux
- **Co₂** : dioxyde de carbone
- **D** : Dose
- **°D** : Degré Dornic
- **DM** : Dilution Mère
- **EPT** : Eau peptonée tamponnée
- **ESD** : Extrait Sec Dégraissé
- **EST** : Extrait Sec Total
- **H** : Humidité
- **h** : Heure
- **HR** : Humidité relative
- **J.O.R.A** : Journal Officiel de la République Algérienne
- **g** : gramme
- **G. candidum** : *Geotrichum candidum*
- **FAO** : Food and Agriculture Organization
- **FD** : *Flora Danica*
- **K cal** : Kilo Calories
- **Kg** : Kilogramme
- **Km** : Kilomètre
- **K. marxianus** : *Kluyveromyces marxianus*
- **l** : Litre
- **L. Lactis** : *Lactococcus lactis*

- **LRPC** : Lait recombinaé et reconstitué pasteurisé conditionné
- **Lyo** : Lyophilisé
- **MG** : Matière grasse
- **mg** : Milligramme
- **min** : Minute
- **ml** : Millilitre
- **M. P** : Matière Première
- **MTL** : Méthane thiol
- **Na Cl** : Chlorure de Sodium
- **NaOH** : Hydroxyde de sodium
- **P. camemberti** : *Penicillium camemberti*
- **P.F** : Produit fini
- **PH** : Potentiel d'hydrogéné
- **S / H** : Sel / Humidité
- **Sec** : Seconde
- **SNG** : Solides non gras
- **Staph** : *Staphylococcus*
- **St thermophilus** : *Streptococcus thermophilus*
- **T°** : Température
- **U** : Unité
- **UI** : Unité Internationale
- **α** : Alpha
- **β** : Béta
- **γ** : Gamma
- **κ** : Kappa
- **%** : Pourcentage

Introduction générale

Le fromage est l'une des formes les plus anciennes de la conservation du lait ou du moins des éléments susceptibles d'être conservés, au prix de fermentation que l'homme a appris à diriger (Eck et Gillis, 2006). Nous avons choisi le Camembert, fromage à pâte molle, pour étudier son procédé de fabrication et connaître les effets des micro-organismes (ferments industriels) sur sa qualité organoleptique en raison de son importance croissante sur le marché international.

Le camembert est obtenu à partir du lait pasteurisé entier ou standardisé, coagulé par la présure et/ou à l'aide d'enzymes spécifiques et acidifiés. Le caillé obtenu est moulé, salé et affiné. L'acidification et l'affinage du camembert sont effectués par des levains industriels qui ont une grande importance dans l'économie et présentent une grande utilité du point de vue technologique. Ces levains sont fournis sous forme liquide ou lyophilisée pour permettre la fermentation lactique et le développement des propriétés organoleptiques typiques des camemberts. En effet, c'est à ce moment que la microflore secondaire se développe en utilisant les nutriments présents dans la matrice fromagère, en particulier les protéines et les lipides. La protéolyse et la lipolyse sont reconnues comme étant des voies majeures qui mènent à la production de divers composés d'arômes.

La qualité est une préoccupation ancienne et récurrente au niveau des industries fromagères. Aussi « *Numidia* », entreprise algérienne où nous avons effectué notre travail, veille à satisfaire le consommateur en respectant les normes et le mode opératoire de l'analyse effectuée qui assurent la mise sur le marché de produits présentant une qualité nutritionnelle, hygiénique, sanitaire et organoleptique (goût) optimale.

L'objectif de notre travail est :

- De suivre le procédé de fabrication du fromage à pâte molle du genre camembert au niveau de la laiterie « *Numidia* » ;
- De savoir les effets des ferments industriels utilisés par l'usine sur la qualité du produit ;
- D'étudier quelques caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques du lait cru et du produit fini « camembert » au sein du laboratoire de l'usine.

Notre présent travail comporte deux parties :

- Dans la première, nous avons entamé une étude bibliographique (généralité et composition du lait, technologie fromagère et effets des microorganismes sur la qualité du camembert).
- Dans la seconde, nous avons réalisés une étude expérimentale où on a entamé les points suivants :
 - Matériels et méthodes utilisés de ce travail ;
 - Résultats de la recherche microbiologique et des analyses physico-chimiques ;
 - Discussion de ces résultats.

1. Généralités et composition du lait

1.1. Généralités sur le lait

Le lait occupe une place importante dans l'alimentation humaine, c'est un aliment particulièrement nutritif, il peut à lui seul couvrir tous les besoins de l'organisme durant les premiers mois de la vie, il contient pratiquement tous les éléments nécessaires à la croissance de l'organisme humaine.

1.1.1 .Définition du lait

Le lait destiné à l'alimentation humaine a été défini en 1908 par congrès international de la répression des fraudes à Genève : « le lait est le produit intégral de la traite totale et ininterrompu d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée Il doit être recueilli proprement et non contenir de colostrum » (Alais, 1975).

Il doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et présenter toutes les garanties sanitaires. Car il est le seul aliment des nouveau-nés chez les mammifères et il y a au tant de laits différents qu'il existe d'espèces dans le monde.

1.1.2. Principales caractéristiques du lait

1.1.2.1. Caractéristiques organoleptiques

Le lait est un liquide biologique comestible deux fois plus visqueux que l'eau, opaque, blanc d'une saveur douceâtre, d'odeur peu accentuée (Institut de l'élevage, 2009).

1.1.2.2. Caractéristiques physico-chimiques

Les principales propriétés physico-chimiques utilisées dans l'industrie laitière sont la masse volumique et la densité, le point de congélation, le point d'ébullition et l'acidité.

1.1.2.2.1. Densité

La densité moyenne des laits mesurée à 20°C est de 1,030. La densité dépend de la teneur en matière sèche, en matière grasse, de l'augmentation de la température et des disponibilités alimentaires. Deux facteurs déterminent la densité : la concentration des éléments

dissous et en suspension (solide non gras) et la proportion de matière grasse. La densité des laits écrémés s'élève au-delà de 1,035 alors qu'elle diminue lors du mouillage des laits (**Vignola, 2002**).

1.1.2.2.2. Acidité

Le pH du lait est souvent 6,6, il a une tendance légèrement acide, il dépend de l'action des bactéries lactiques qui sont responsables de l'acidité de celui-ci.

L'acidité du lait dû principalement à la présence de protéines surtout les caséines et la lactalbumine, des substances minérales telles que les phosphates et le CO₂ et les acides organiques le plus souvent l'acide citrique.

L'acidité apparente (naturelle) varie entre 0,13 et 0,17% d'équivalent d'acide lactique (**Vignola, 2002**).

1.1.2.2.3. Point de congélation

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau, puisque la présence des solides solubilisés abaisse le point de congélation, il peut varier de -0,53 à -0,575°C avec une moyenne de -0,555°C, un point de congélation supérieur à -0,530°C permet de supposer une addition d'eau au lait.

On vérifie le point de congélation du lait à l'aide d'une cryoscopie (**Vignola, 2002**).

1.1.2.2.4. Point d'ébullition

On définit le point d'ébullition comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée. Ainsi, comme pour le point de congélation, le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés, il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100,5°C.

Cette propriété physique diminue avec la pression, on applique ce principe dans le procédé de concentration du lait (**Amoit et coll, 2002**).

1.1.2.3. Caractéristiques microbiologiques

Le lait est un aliment dont la durée de vie est très limitée. En effet, son pH voisin de la neutralité, le rend très facilement altérable par les microorganismes et les enzymes ; sa richesse

et sa fragilité en font un milieu idéal aux nombreux microorganismes comme les moisissures, les levures et les bactéries [1].

C'est pour ce là ; la microbiologie est intimement liée à l'industrie laitière : elle s'applique à tous ses secteurs. Ses principes, en effet, justifient le mode de production hygiénique du lait, commandent plusieurs traitements et procédés industriels lors de sa transformation à l'usine, et sont à la base des méthodes de conservation des produits laitiers. La qualité du lait et des produits laitiers en dépend en grande partie, si bien que l'on tient compte des normes microbiologiques.

L'application des principes généraux d'hygiène permet de prévenir et empêcher la transmission de bactéries pathogènes par le lait et les produits laitiers et de cette façon protéger la santé des consommateurs ; prévenir et restreindre la croissance microbienne au lait et aux produits laitiers et ainsi empêcher leur détérioration et l'apparition de défauts [2].

La diversité des microorganismes dont la nature est directement liée à l'histoire du produit qui est les acteurs incontournables de l'élaboration des caractéristiques sensorielles des fromages [3].

1.1.3. Facteurs de variations de la composition du lait

Le lait qui arrive à l'usine, ayant une composition variable, dépend de différents facteurs. Ces principaux facteurs de variation sont bien connus. Ils sont soit intrinsèques liés à l'animal (facteurs génétiques, stade de lactation, état sanitaire, etc.), soit extrinsèques liés 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 interpréter compte tenu de leurs interrelations (Wolter, 1988).

1.1.3.1. Facteurs intrinsèques

1.1.3.1.1. Facteurs génétiques

Il existe des variations importantes de la composition du lait entre les différentes races laitières et entre les individus d'une même race. D'une manière générale, on remarque que les fortes productrices donnent un lait plus pauvre en matières azotées et en matière grasse. Ces dernières sont les plus instables par rapport au lactose (Veisseyre, 1979).

1.1.3.1.2. Stade de lactation

Au cours de la lactation, les quantités de matière grasse, de matières azotées et de caséines évoluent de façon inversement proportionnelle à la quantité de lait produite.

Les taux de matière grasse et de matières azotées, élevés au vêlage, diminuent au cours du premier mois et se maintiennent à un niveau minimal pendant le deuxième mois.

Ils amorcent ensuite une remontée jusqu'au tarissement. L'amplitude de variation est généralement plus importante pour le taux butyreux que pour le taux protéique.

Les laits de fin de lactation présentent les mêmes caractéristiques des laits sécrétés par les animaux âgés. En outre, les deux taux, protéique et butyreux, ont tendance à diminuer au cours des lactations successives (**Meyer et Denis, 1999**).

1.1.3.1.3. Age et nombre de vêlage

Le vieillissement des vaches provoque un appauvrissement de leur lait, surtout en caséines. Ces variations dans la composition sont attribuées à la dégradation de l'état sanitaire de la mamelle ; en fonction de l'âge, le nombre de mammites croît et la proportion de protéines solubles augmente en particulier celles provenant du sang (**Mahieu, 1985**).

Veisseyre ; 1979 montre que la quantité de lait augmente généralement du 1^{er} vêlage au 5^{eme}, puis diminue sensiblement et assez vite à partir du 7^{eme}.

1.1.3.1.4. Etat sanitaire

Lors d'infection, les leucocytes réalisent une réaction immunitaire importante qui, induit des modifications considérables dans la composition du lait.

Les mammites sont les infections les plus fréquentes dans les élevages laitiers. Elles sont à l'origine d'une modification des composants du lait avec pour conséquence, une altération de l'aptitude à la coagulation des laits et du rendement fromager (**Toureau et al, 2004**).

1.1.3.2. Facteurs extrinsèques

1.1.3.2.1. Alimentation

L'alimentation exerce une action spécifique sur la composition du lait ; elle permet d'agir à court terme et de manière différente sur les taux de matière grasse et de protéines.

Le taux protéique varie dans le même sens que les apports énergétiques, il peut aussi être amélioré par des apports spécifiques en acides (**Coulon et Hoden, 1991**).

Certains aliments peuvent communiquer au lait des défauts organoleptiques, ex : la moutarde, les choux, les navets et l'ail.

1.1.3.2.2. Saison et climat

La saison a une influence particulière sur la composition du lait, surtout concernant le taux de protéine et le taux butyreux.

A partir des travaux réalisés par **Spike et Freeman** en **1967** cité par **Coulon et al. En (1991)**, il a été montré que la production laitière est maximale au mois de juin et minimale en décembre. A l'inverse, les taux butyreux et protéique du lait sont les plus faibles en été et les plus élevés en hiver. Chez des vaches de type pie noire, ils atteignent 3g/Kg pour le taux butyreux et près de 2g/Kg pour le taux protéique.

1.1.4. Contrôle de la qualité du lait

La qualité du lait est déterminée sur la 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 utilisé pour mesurer la contamination par les bactéries. Le matériel de traite peut constituer une importante source de contamination. De même, le refroidissement insuffisant du lait entraîne une augmentation du nombre de germes, les exigences pour ce critère varient selon le devenir du lait. Ainsi, ils seront plus sévères dans le cas de fabrication de fromage au lait cru que lorsqu'il y a pasteurisation.

Le nombre de cellules somatiques est un indicateur important de la santé du pis. Un lait chargé en cellules présente un taux de protéines solubles élevé, une faible teneur en caséine, une protéolyse et une lipolyse accrue. En conséquence, le rendement fromager est diminué et des difficultés de coagulation apparaissent.

Pour le traitement des animaux malades, l'emploi de médicaments vétérinaires, notamment 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, chaque livraison de lait est analysée quant à la présence de résidus d'antibiotiques.

Les désinfectants sont nécessaires pour garder l'installation exempte de bactéries. Grâce à un rinçage à l'eau claire, les restes de ces produits sont éliminés. Si ce rinçage n'est pas effectué ou est insuffisant, des restes de ces produits peuvent aboutir dans le lait.

Le point de congélation du lait indique la présence d'eau ajoutée dans le lait. Le plus souvent, c'est dû à la négligence dans le nettoyage de l'installation de traite, de sorte que de l'eau de rinçage se mélange au lait, mais il peut être le résultat d'une fraude.

La propreté visible est déterminée par le filtrage du lait à l'aide du matériel filtrant adéquat. Un filtre sale indique que le pis et son environnement sont insuffisamment propres.

1.2. Composition du lait

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

- une solution vraie : sucre + protéines solubles + minéraux + vitamines hydrosolubles
- une solution colloïdale : protéines, en particulier les caséines
- une émulsion : matières grasses [4].

Les valeurs des compositions du lait de vache varient en fonction des différents facteurs : races animales, alimentation et état de santé de l'animal, période de lactation, ainsi qu'au cours de la traite.

1.2.1. Eau

C'est l'élément le plus important du point de vue pondéral (en quantité). Elle représente environ 81 à 87% du volume du lait selon la race, il se trouve sous deux formes : l'eau libre (96% de la totalité) et liée à la matière sèche (4% de la totalité) (**Ramet, 1985**). Elle provient du sang par filtration.

1.2.2. Glucides

Le sucre du lait est le lactose, c'est un disaccharide constitué par de l'alpha (α) ou bêta (β) glucose et de bêta (β) galactose, il est synthétisé à partir du glucose prélevé dans le sang par la mamelle (**Goursaud, 1985 ; dans LUQUET F.M 1985**).

Le lactose est le seul sucre qui peut être utilisé correctement par le jeune animal, car son tube digestif possède une lactase, mais ne possède pas de saccharase, ni de maltase, ni d'amylase.

Il est non seulement un élément nutritionnel important, mais il contrôle aussi la pression osmotique du lait, le lactose a un taux de 4.9/100ml (**Adrian et Lepen ,1987**).

1.2.3. Lipides

La matière grasse est présente dans le lait sous forme d'une émulsion de globules gras. Dans le lait de vache, ces globules gras mesurent en moyenne de 1 à 5 microns (jusqu'à 22 microns) de diamètre, et leurs membranes sont composées de 2 couches : Une interne, formée de phospholipides et l'autre externe, constituée de protéines, d'eau et des minéraux, lorsque tous ces globules gras se rassemblent ils forment une masse plus légère que l'eau qui remonte donc en surface : c'est la crème.

Les lipides du lait sont constitués de :

98% des triglycérides, 1% de phospholipides et 1% de stérols (cholestérol), tocophérol et vitamines liposolubles.

A une température ambiante, les triglycérides liquides, basés au centre du globule, et les triglycérides solides occupent la périphérie du globule.

La matière grasse du lait est produite principalement à partir des acides gras volatils (acides acétique et butyrique). Le premier est formé principalement à partir des glucides pariétaux des fourrages (cellulose) et le second à partir des glucides rapidement fermentescibles (sucre de betterave). Une partie de la matière grasse du lait provient de la mobilisation des réserves lipidiques de la vache (jusqu'à 60 kg). Sous certaines conditions, des graisses alimentaires peuvent également contribuer à la formation de la matière grasse du lait (**Stoll, 2003**).

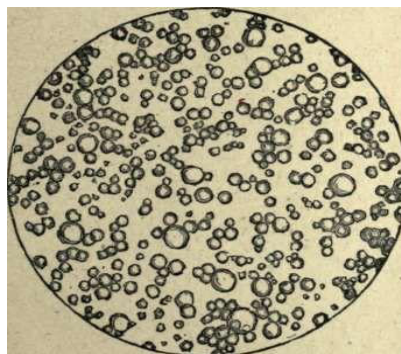


Figure 1.1 : Globules gras en émulsion dans le lait [5]

1.2.4. Matière azotée

On distingue deux groupes de matières azotées dans le lait : La fraction essentielle est la matière azotée protéique à 95% de l'azote total du lait, et la matière azotée non protéique à (5 %).

En fonction du pH, Les protéines se répartissent en deux phases :

- Une phase micellaire (insolubles à pH 4,6) ;
- Une phase protéique (solubles à pH 4,6).

- **La phase micellaire**

Les caséines présentent sous une forme micellaire. La micelle est formée par l'association des caséines, qui représente 80% des protéines du lait de vache et de composants salins dont les deux principaux sont le calcium et le phosphate. Toutes les micelles n'ont pas les mêmes dimensions, ni la même composition. Les grosses micelles ont une charge minérale plus élevée et des proportions relatives de caséines β et κ plus faibles que les petites. La forme est considérée comme sphérique, mais avec une surface granuleuse comme une framboise.

Une propriété importante des micelles est de pouvoir être déstabilisée par voie acide ou par voie enzymatique et de permettre la coagulation. Elle constitue le fondement de la transformation du lait en fromage et en laits fermentés (**Ramet, 1985**).

Les différentes caséines qui forment la phase micellaire sont :

- La caséine α_{s1} ou Alpha-caséines
- La caséine α_{s2} ou Alpha-caséines
- La caséine β ou Bêta-caséine
- La caséine γ ou gamma-caséines
- La caséine κ ou Kappa-caséine

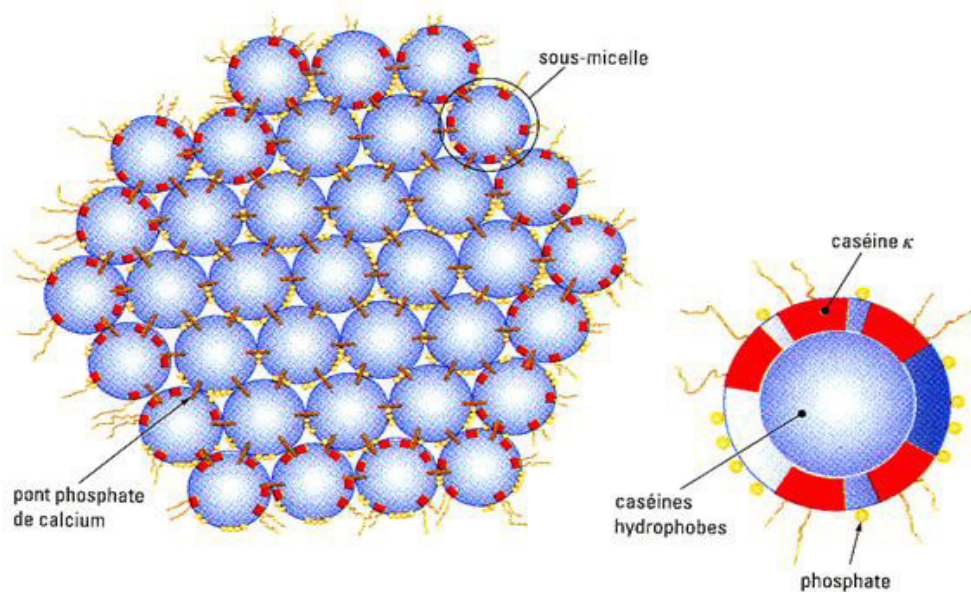


Figure 1.2 : Modèle de micelle de caséine avec sous-unités (Amiot et al, 2002)

1.2.5. Minéraux

La matière minérale et saline du lait, d'environ 9 g/l, est fondamentale d'un point de vue nutritionnel et technologique. En effet, le lait contient tous les éléments minéraux indispensables à l'organisme, le calcium, le phosphore, le magnésium, le potassium, le sodium et le chlore. Les matières minérales ne se sont pas exclusivement sous la forme de sels solubles (molécules et ions) ; une partie importante se trouve dans la phase colloïdale insoluble (micelles de caséines). On constate que la composition minérale est variable selon les espèces, les races, le moment de la lactation. Le lait contient également les oligo-éléments indispensables pour l'organisme humain tels que le zinc, le fer, le cuivre, le fluor, l'iode et le molybdène.

1.2.6. Biocatalyseurs : vitamines et enzymes

1.2.6.1. Enzymes

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

Une grande partie se retrouve dans la membrane des globules gras, mais le lait contient de nombreuses cellules (leucocytes, bactéries) qui élaborent des enzymes : la distinction entre

enzymes naturelles et enzymes extérieures n'est donc pas facile. Ces enzymes peuvent jouer un rôle très important en fonction de leurs propriétés :

- Lyses des constituants originels du lait ayant des conséquences importantes sur le plan technologique et sur les qualités organoleptiques du lait (lipase, protéase) ;
- Rôle antibactérien, elles apportent une protection au lait (lactopéroxydase et lysozyme) ;
- Indicateurs de qualité hygiénique (contrôle de l'efficacité de la pasteurisation donc recherche de la phosphatase alcaline).

1.2.6.2. Vitamines

Les vitamines sont nécessaires à la croissance et au fonctionnement normal des processus vitaux, mais l'organisme humain est incapable de les synthétiser, il doit donc puiser ces sources dans l'alimentation. On classe les vitamines en deux grandes catégories :

- Les vitamines hydrosolubles (vitamines du groupe B et vitamine C) de la phase aqueuse du lait.
- Les vitamines liposolubles (vitamines A, D, E et K) associées à la matière grasse, certaines sont au centre du globule gras et d'autres à sa périphérie.

Le lait et ses dérivés sont des sources assez riches en vitamine A, B₁₂ et B₂ ; un peu moins en vitamine B₁, B₆ et PP ; par contre, ils ne contiennent que peu de vitamines E, acide folique et biotine.

1.2.7. Eléments biologiques

Le lait contient toujours un nombre variable de cellules. Ces cellules sont, non seulement, des constituants normaux comme les globules blancs (leucocytes), et les cellules épithéliales de la mamelle, mais aussi des micro-organismes contaminants.

De très nombreuses variétés de micro-organismes peuvent contaminer le lait : bactéries, moisissures, levures. L'importance et la nature des contaminants dépendent de l'état sanitaire de l'animal, mais également des conditions hygiéniques observées lors de la traite, de la collecte et de la température de conservation du lait.

1.3. Lait de vache : matière première dans la fabrication fromagère

La fabrication des fromages exige l'emploi d'un lait de haute qualité bactériologique et physico-chimique.

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

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

2. Technologie fromagère

2.1. Définition des fromages

Le fromage est défini par la FAO comme étant un produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir d'une matière d'origine exclusivement laitière suivante : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisée seule ou en mélange et coagulée en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse. La teneur minimale en matière sèche du produit ainsi défini doit être de 23g/100g de fromage.

Le codex alimentaire donne la définition suivante "Le fromage est le produit frais ou affiné, solide ou semi solide, dans lequel le rapport protéines de lactosérum/caséine n'excède pas celui du lait, obtenu par coagulation du lait grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés, et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation. Sur le plan nutritionnel, le fromage est un aliment noble grâce à ses protéines de haute valeur biologique et à sa richesse minérale.

2.2. Grandes familles technologiques du fromage

Il existe une multitude variétés de fromages qui diffèrent de par leur goût, leur odeur, leur texture, ou leur forme. La diversité des fromages dépend de l'origine du lait (y compris le régime alimentaire de l'animal), de la manière dont le lait est transformé, de son traitement thermique

(lait cru, thermisé ou pasteurisé), des paramètres technologiques appliqués, ainsi que du métabolisme des ferments utilisés et les types des micro-organismes intervenant dans l'affinage. Selon l'affinité des fromages, on peut les classer en trois catégories différentes, ces classifications sont mentionnées dans le tableau 2.1 ci-dessous.

2.2.1. Fromage à pâte fraîche

Fromages peu égouttés qui n'ont pas été affinés, il y'a juste coagulation des protéines du lait sous l'effet des ferments lactiques (acidification) (**Chamba et Irlinge, 2004**), dont le taux d'humidité est très élevé, de 60 à 80 % et une teneur en matière grasse réduite, de 0,5 à 30 (**Majdi, 2009**). La pâte fraîche est d'un blanc éclatant, d'une texture molle, granuleuse ou lisse, crémeuse et veloutée selon le fromage. Le caillé égoutté peut être aromatisé à l'ail, aux fines herbes, au poivre, à l'oignon haché, aux raisins secs, etc.



Figure 2.1 : Fromage frais [6]

2.2.2. Fromage à pâte pressée (pâte ferme)

Il s'agit des fromages dont le caillé est pressé après soutirage, puis mis à l'affinage. Ils sont constitués d'une pâte compacte, renfermant un peu moins d'eau que les fromages frais, mais contenant plus de sels minéraux dont les sels de calcium notamment. Dans cette catégorie, on distingue les fromages à pâte pressée non cuite et les fromages à pâte pressée cuite (**Yıldız, 2010 ; Parente et Cogan, 2004**).



Figure 2.2: fromage à pâte ferme cuite (Emmenthal) [7]

2.2.3. Fromage à pâte molle

Les fromages à pâte molle sont définis dans la norme internationale Codex Alimentarius (**Codex Stan A-6-1978, révisé 1-1999, amendé 2001**) comme étant tous les fromages dont la teneur en eau après élimination des matières grasses est supérieure à 67 %, ils sont des fromages affinés et dont la pâte n'est ni cuite ni pressée, fabriqués à partir de lait pasteurisé ou de lait cru de chèvre, de vache ou de brebis. Ces fromages ont une texture généralement crémeuse et onctueuse avec une légère élasticité dans la pâte.

Selon la conduite de l'affinage, deux types de croûte peuvent se développer sur les fromages à pâte molle permettant de diviser cette famille en deux sous familles : les pâtes molles à croûte fleurie et les pâtes molles à croûte lavée.

Tableau 2.1: Différents types des fromages (Majdi, 2009).

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

2.3. Principes généraux de la technologie fromagère

Les paramètres technologiques utilisés lors de la production varient selon le type de fromage que l'on désire produire.

Les principales étapes de la fabrication fromagère sont décrites dans les lignes ci-après, Ces étapes visent à organiser la microstructure du caillé et ainsi obtenir la fermeté, la consistance et l'élasticité désirée au produit.

2.3.1. De la traite à la laiterie

Comme pour tout produit laitier, la première étape de fabrication du fromage commence à la ferme laitière. C'est là que les fermiers entreprennent la traite des vaches, une traite désormais automatisée grâce à des machines reproduisant le mouvement des mains de l'homme. Une fois le lait traité, il est réfrigéré, afin de le protéger et de le conserver au mieux. Analysé pour vérifier qu'il est conforme aux normes de consommation, le lait est ensuite collecté par des camions-citernes isothermes qui le conduisent jusqu'à la laiterie, là où il sera traité, avant de subir sa transformation en fromage [8].

2.3.2. Préparation du lait

A l'usine, la nécessité de produire des fromages de composition régulière et de qualité hygiénique et organoleptique bonne et constante imposent la mise en œuvre d'une matière première dont le comportement est chaque jour identique. Pour cette raison, on est amené à faire subir au lait des correctifs avant de le mettre en fabrication. La préparation du lait comprend plusieurs opérations (citées ci-après), certaines pouvant être facultatives ou obligatoires selon la technologie, la réglementation, les produits voulus, etc. [9].

2.3.2.1. Dégazage

Permet de débarrasser le lait des mauvaises odeurs, permet aussi de réduire la destruction des vitamines c'est-à-dire en diminuant fortement la teneur en oxygène ambiant (Majdi, 2009).

2.3.2.2. Nettoyage du lait par filtration statique ou centrifuge

Cette technique utilise les procédés à membrane, qui permettent de séparer les éléments en suspension ou en solution dans un liquide, il permet de retenir les impuretés du lait. L'opération centrifuge est plus efficace, elle retient notamment les leucocytes (**Anonyme, 1995**).

2.3.2.3. Standardisation

La composition du lait est variable, Selon les espèces, le type d'alimentation et les saisons. La standardisation consiste à donner au lait la composition correspondante à celle du fromage à élaborer, elle est réalisée par un ajustement de la teneur en matière grasse et parfois du taux de protéines (**Abdoune, 2003**). L'écrémeuse sépare la crème, riche en matière grasse, du lait écrémé. La teneur en matière grasse désirée est obtenue en rajoutant de la crème au lait écrémé [10].

2.3.2.4. Homogénéisation

L'homogénéisation du lait est utilisée dans l'industrie laitière pour stabiliser l'émulsion de matière grasse du lait et éviter la séparation de la crème. Ce procédé consiste à faire éclater les globules de matière grasse en fines particules. Celles-ci ne remontent ainsi pas à la surface, mais se répartissent de façon homogène dans la phase aqueuse du lait, ce qui empêche la séparation de la crème même après un entreposage de plusieurs jours [11].

L'homogénéisation est inutile pour les laits concentrés sucrés, facultative pour le lait pasteurisé, mais indispensable pour les autres types de lait (**Abdoune, 2003**).

2.3.2.5. Pasteurisation

La pasteurisation est un traitement thermique qui entraîne la destruction de la plupart des formes végétatives des micro-organismes banaux, celle de tous les micro-organismes pathogènes (**Guiraud, 2003**), tout en s'efforçant de ne toucher qu'au minimum à sa structure physique, à ses équilibres chimiques et à ses éléments biochimiques (**Ould Mustapha et al. 2012**).

La pasteurisation retarde l'acidification et la coagulation (le caillage) du lait, elle conserve pendant un certain temps sa valeur marchande. Selon **Guiraud, 1998**, il existe trois types de pasteurisation : pasteurisation basse, haute et flash.



Figure 2.3 : Pasteurisation du lait [12]

2.3.2.6. Rééquilibrage en calcium

Pour redonner au lait un comportement normal au cours de la coagulation et de l'égouttage, il suffit généralement de lui ajouter du chlorure de calcium pour le corriger car une partie du calcium a précipité lors de la réfrigération.

2.3.2.7. Maturation du lait

Après la pasteurisation, le lait doit mûrir, cette maturation consiste à laisser séjourner le lait à une température et un temps donné, avec ou sans ensemencement du lait par des bactéries lactiques, Il existe diverses méthodes de maturation dont le choix est fonction de la qualité du lait reçu, de l'organisation du travail et de la nature du fromage (**Anonyme, 1995**).

2.3.3. emprésurage et coagulation (caillage)

L'emprésurage correspond au moment où l'on ajoute la présure en vue de provoquer sa coagulation, Cette dernière est l'étape la plus importante dans la fabrication du fromage.

Elle correspond à la déstabilisation des micelles de caséine, par modification de leurs propriétés physicochimiques, suivie de la formation d'un gel (ou coagulum) accompagné d'une phase liquide appelée lactosérum (petit lait) par floculation, ce qui emprisonne les éléments solubles du lait, Sous l'effet des bactéries lactiques (culture microbienne) ou/et de présure.

Le caillé obtenu est ensuite traité selon diverses techniques (égouttage, moulage, salage, affinage ...) pour donner les différentes variétés de fromage.

2.3.3.1. Coagulation acide

Le mécanisme de la coagulation par voie fermentaire aussi dite coagulation acide, est de nature électrochimique et induit par les ferments lactiques.

Les genres *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, et *Streptococcus* sont les plus utilisés tout en variant en fonction des fromages et des technologies.

La fonction principale de ces bactéries est de dégrader le lactose pour produire de l'acide lactique. Ce dernier est libéré lors de la croissance des microorganismes et neutralise progressivement les charges électronégatives des caséines κ . La répulsion électrostatique entre les micelles de caséine diminue au fur et à mesure de l'enrichissement du milieu en ions H^+ , puis disparaît provoquant ainsi un rapprochement et une agrégation des micelles de caséine [13].

2.3.3.2. Coagulation enzymatique (ou présure)

Il y'a un grand nombre d'enzymes protéolytiques, d'origine animale, végétale ou microbienne, ayant la propriété de coaguler le lait. La présure d'origine animale est le coagulant le plus utilisé (ST-Gelais et al ,2002). Selon Ramet (1997), la dénomination « présure » est donné à l'extrait coagulant provenant de caillète (quatrième poche de l'estomac) de jeunes ruminants (en générale des veaux) abattus avant sevrage. Elle contient en réalité deux fractions actives, l'une, majeur, par la chymosine, l'autre, mineure, par la pepsine, dont la proportion varie selon l'âge de la bête.

En général, la présure commerciale est très majoritairement composée de chymosine (à au moins 85 %), Cette dernière est une endopeptidase qui, par une réaction d'hydrolyse spécifique ciblant la caséine κ , permet la gélification du lait (Farkye, 1999). Les conditions optimales d'action de cette enzyme sont : un pH 5.4, et T° de 40 à 41°C et aussi la présence d'ions calcium [14].

La coagulation enzymatique est un phénomène complexe permis par des forces d'interactions égales à la somme des répulsions électrostatiques et des interactions hydrophobes [13].

Ce type de coagulation est influencé par l'acidification, la concentration en Ca et la température (Brûlé, Lenoir et Remeuf, 2009). Le gel de type présure est très minéralisé, ce qui favorise l'augmentation de sa cohésion et de sa fermeté. La coagulation par la présure se déroule en trois étapes (Figure 2.4) :

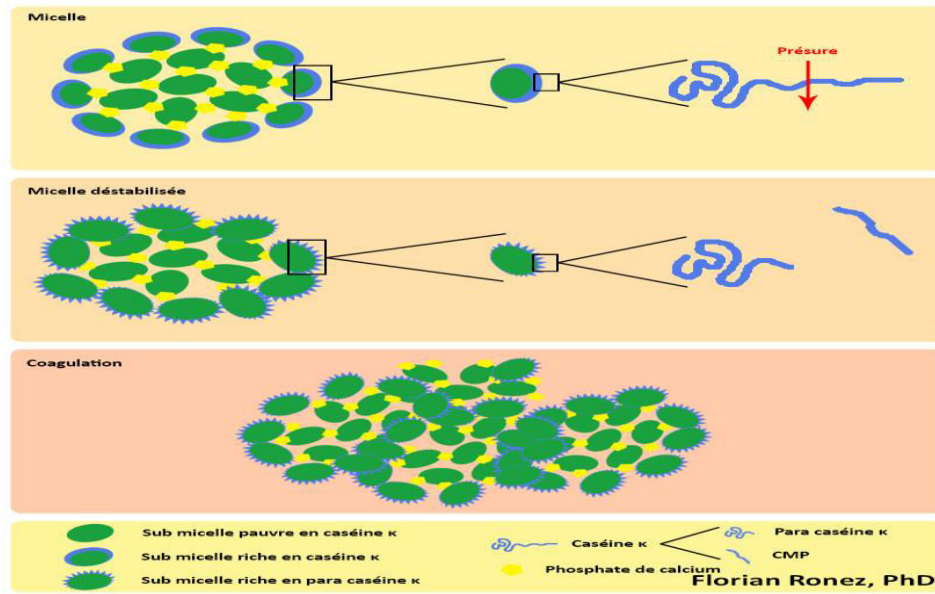


Figure 2.4 : Formation d'un caillé présure par action de la présure sur les caséines du lait (d'après de modèle de Schmidt & Walstra) [13]

2.3.3.3. Coagulation mixte

Il existe également des coagulations dites "mixtes" qui associent les deux types de coagulation. Les propriétés des gels ainsi formés et l'aptitude à l'égouttage sont intermédiaires entre celles du coagulum acide et celles du coagulum présure.

2.3.4. Décaillage et délactosage

Le décaillage est la phase de découpage du caillé. Il sert à éliminer une partie du lactosérum (petit lait) emprisonné dans la masse coagulée en multipliant les surfaces de sortie du sérum : c'est le début de l'égouttage [15].

Ensuit la délactosage, l'opération qui consiste à remplacer une partie du sérum par de l'eau pour abaisser la richesse du caillé en lactose pour éviter une suracidification (réduire l'acidité par l'ajout de l'eau) (Majdi, 2009).

2.3.5. Moulage

Le caillé est moulé afin d'obtenir un fromage qui sera défini par sa forme et sa masse. Ceci contribue donc à l'apparence finale du produit qui pourra être reconnu par les consommateurs. C'est la dernière étape de fabrication des fromages à pâte fraîche mais les autres fromages doivent encore passer par une étape cruciale pour leur goût, leur croûte et parfois leur trous : l'affinage [12].



Figure 2.5 : Moulage du fromage [17]

2.3.6. Egouttage

Le gel formé par acidification ou par action de la présure est dans un état physique instable. Plus ou moins rapidement selon la nature du coagulum, la phase dispersante se sépare spontanément du coagulum sous forme de lactosérum (c'est la partie liquide issue de la coagulation du lait). Cette séparation se fait spontanément. Ainsi, en observant un gel au repos, on voit spontanément sourdre à sa surface de fines gouttelettes qui grossissent, se rejoignent en traînées festonnées et finalement forment un film liquide. En même temps, le gel se décolle des parois du récipient et diminue de volume.

2.3.7. Démoulage

Le démoulage, effectué après 24 à 48 H d'égouttage, il reste un travail délicat, le fromage étant encore très frais et fragile.

2.3.8. Salage

Le salage constitue une phase importante de la fabrication de beaucoup de fromage à l'exception de la plupart des fromages frais qui ne sont pas salés ; il consiste à enrichir la pâte en chlorure de sodium, au taux moyen de 2% (**Ramet, 1985**) ; elle peut s'élever à 3-4% (**Alais et Linden, 1997**).

On reconnaît habituellement au chlorure de sodium incorporé dans le fromage un triple rôle :

Il complète l'égouttage des fromages. Il modifie également l'hydratation des protéines

Il règle l'activité de l'eau. Il apporte son goût caractéristique (**Eck et coll., 1975**).

La quantité de sel incorporé dans les fromages dépend de plusieurs facteurs, notamment la concentration de la saumure, le temps de salage, la température et le pH de la solution de saumure et du caillé, la forme, l'humidité et le ratio sel/humidité (S/H) initial des caillés (**Guinee et Fox, 2004 ; Guinee, 2004 ; Guinee et Sutherland, 2011**).



Figure 2.6 : Salage en saumure [18]

2.3.9. Ressuyage

Cette étape a pour fonction d'assécher la surface du fromage dans une salle dédiée. L'objectif de cette opération est de favoriser le développement de la flore recherchée, en limitant celui des bactéries et autres indésirables [19].

2.3.10. Affinage (maturation)

Selon **Jeant et al (2007)**, l'affinage correspond à une phase de digestion enzymatique des constituants protéiques et lipidique du caillé. C'est un processus biochimique complexe pour plusieurs raisons :

-D'une part, la matrice fromagère issue de la coagulation et de l'égouttage du lait présente une très grande hétérogénéité physicochimique ;

-D'autre part, les enzymes intervenant dans l'affinage ont plusieurs origines : il peut s'agir d'enzymes endogènes du lait (plasmine, lipase, etc), ajoutées au lait au cours de la fabrication (enzymes, micro-organismes) ou produite au cours d'affinage par synthèse microbienne (bactéries, levures, moisissures).

La température et l'humidité ont une grande influence sur la progression de l'affinage pour atteindre la saveur finale.

Par ailleurs, chaque fromage a besoin d'un affinage spécifique en fonction de son type de pâte ou de sa famille : sa durée d'affinage peut varier (de quelques semaines à plusieurs mois), tout comme le type de caves ou de hâloirs (caves à fromages) utilisés.

L'affinage est dominé par plusieurs phénomènes biochimiques dont les plus importants sont :

- La dégradation enzymatique des protéines (La protéolyse) : les protéines sont hydrolysées à vitesse croissante en éléments de plus en plus simples et à une rapidité croissante : polypeptides, peptides, acide aminés, ammoniac.
- L'hydrolyse de la matière grasse (La lipolyse) : La dégradation de la matière grasse est surtout notable dans le cas des pâtes persillées, les triglycérides sont hydrolysés en acide gras et glycérol eux-mêmes peuvent être transformés en résidus aromatiques.
- La fermentation du lactose résiduel (La glycolyse) et consommation du lactose.

Ces transformations confèrent à la pâte fromagère des caractères nouveaux : elles la modifient dans son aspect, dans sa composition, dans sa consistance. Simultanément, saveur, arôme et texture se développent.

2.3.12. Lavage

Cette phase est parfois considérée comme faisant partie intégrante de l'affinage du fromage. Elle est propre au fromage à croûte lavée, aucun autre type de fromage ne passe par celle-ci. Cette étape consiste à frotter le fromage dès son premier stade de protéolyse, avec divers ingrédients qui apporteront du goût supplémentaire [16].

2.3.13. Conditionnement

Dans la fabrication fromagère l'étape la plus importante est le conditionnement car l'emballage est nécessaire pour protéger le fromage contre la contamination des microbes, des infestations et de mauvaise odeur de l'environnement. Il a pour rôle aussi d'éviter la perte d'humidité. Cette dernière a pour but de conserver la qualité et de conserver son apparence. On peut utiliser des plastiques, résines, aluminium, boîte, polyéthylène, polyvinyle pour le conditionnement des produits (**Razafindrajaona J.M. Cours industrie laitière**).

2.4. Technologie fromagère des pâtes molles de type camembert

2.4.1. Définition du camembert

Selon **Veisseyre (1975)**, le Camembert est défini comme étant un fromage à pâte molle, à caillé non divisé en forme de cylindre plat. Il a un diamètre de 10 à 11 cm et une épaisseur de 3 cm. Il renferme au moins 40 % de matière grasse et 110 g de matière sèche. C'est un fromage affiné à moisissures superficielles, originaire de Normandie (France).



Figure 2.7 : Fromage à pâte molle « camembert » [20]

2.4.2. Origine et extension

Il tire son nom du village de camembert près de Vimoutiers (orne) France. A l'origine, fromage fermier, mis au point vers 1796 par une fermière Marie Harel.

A la fin du 19^{ème} siècle, premières installations industrielles en Normandie. Peu à peu, le fromage passe de la ferme à l'usine, il y a cependant actuellement, dans le pays d'auge, encore quelques fabrications fermières. En industrie, son aire de production s'étend aux départements normands, puis au-delà. La technique a subi quelques transformations, et on distingue nettement la fabrication normande de celle des autres régions.

Le syndicat des producteurs du véritable camembert de Normandie a eu une action nette dans la conservation de la technique d'origine. On distingue les camemberts normands, ils sont souvent supérieurs à ceux des autres régions (qualité, dimension ...).

2.4.3. Composition et valeur nutritionnelle

Le Camembert renferme 30 à 50 % de matière azotée / matière sèche, selon son mode d'élaboration. Il s'inscrit ainsi parmi les meilleures sources alimentaires de protéines ayant une digestibilité élevée (**Mietton, 1995**).

De plus, la haute valeur biologique de ces protéines lui est conférée tant par leur composition équilibrée en acides aminés, que par leur propriété de former une pâte fromagère très appréciée par les consommateurs dans de nombreuses régions du monde.

La matière grasse du Camembert (25 à 40%) conditionne l'onctuosité de la pâte et constitue une source importante de la saveur particulière conférée au produit fini (**Neelakanten et al, 1971**).

Concernant le lactose, il faut noter que les fromages affinés sont pratiquement dépourvus des glucides car la faible quantité de lactose, restant dans le caillé après égouttage, est transformée en acide lactique au cours de l'affinage. Pour les autres nutriments, le Camembert constitue un apport important en calcium. (200 à 700 mg/ 100g), en phosphore, en sodium et en vitamines (**Eck, 1990**).

Le tableau 2.2, donne la Composition moyenne de fromage à pâte molle et à croûte fleurie de type Camembert (**Guégen, 1979**).

Tableau 2.2 : Composition moyenne de fromage à pâte molle et à croûte fleurie de type Camembert (Guégen. 1979)

Constituants	Composition
Eau (g)	50
Energie (Kcal)	310
Glucides (g)	4
Lipides (g)	24
Protéine (g)	20
Calcium (mg)	400
Phosphore (mg)	250
Magnesium (mg)	20
Potassium (mg)	150
Sodium(mg)	700
Zinc (mg)	5
Vitamine A (U.I)	1010

2.4.4. Etapes clés de la fabrication du Camembert

L'élaboration de ce type de fromage à des caractéristiques organoleptiques particulières passe par la réussite de nombreuses étapes technologiques dont principalement : L'ensemencement – maturation, la coagulation, l'égouttage et enfin l'affinage.

2.4.4.1. Phase d'ensemencement – maturation

Le lait destiné à la fabrication du camembert, après pasteurisation et standardisation en matière grasse, est stocké dans un tank à une température de 8°C à 10°C. Avant de procéder à la maturation, le lait est réchauffé à une température de 33°C à 34°C puis, il estensemencé avec des ferments lactiques sélectionnés qui vont participer, d'une part, à la coagulation du lait (en provoquant l'acidification), et d'autre part, à l'affinage du fromage (rôle dans l'activité protéolytique), des levains fongiques qui jouent un rôle important dans le phénomène de l'affinage. Il s'agit de spores de *Penicillium Camemberti*, *Penicillium caseicolum* ainsi que *Geotrichum candidum*.

Une quantité de chlorure de calcium (CaCl_2) est ajoutée selon la quantité du lait, un excès de chlorure de calcium, peut rendre le coagulum si dur ce qui va rendre le tranchage difficile. L'ensemble est agité afin de bien répartir le mélange et d'uniformiser la température dans toute la masse du lait.

Un temps de maturation suffisant est laissé dans le but de permettre la multiplication et le développement des souches de bactéries lactiques inoculées (**Bertrand, 1988**).

2.4.4.2. Coagulation

La coagulation se traduit par la formation d'un gel (ou coagulum) qui résulte dans le cas du Camembert, des modifications physico-chimiques qui interviennent autour des micelles de caséines et qui concourent à leur déstabilisation extrême. Dans le caillé Camembert, la coagulation est de type mixte (**Codex Alimentarius, 2010, Cholet, 2006**).

En effet, la température du lait entre 28 et 35 °C et le pH à l'emprésurage autour de 6,3-6,4 sont des conditions idéales à la fois pour les bactéries lactiques et pour les enzymes.



Figure 2.8 : Caillage du lait

2.4.4.3. Égouttage

C'est l'étape qui permet la séparation du lactosérum du caillé. Son but est non seulement de régler la teneur en eau du caillé mais aussi la minéralisation de ce dernier et son délactosage.

Dans le cas du Camembert, des traitements mécaniques tels que le découpage, le brassage, le moulage et les retournements sont utilisées pour permettre l'élimination du lactosérum (**St Gelais et Tirard-Collet, 2002**). Puisque l'humidité de ce type de fromage est élevée, au

maximum 56 % (**Ministère de la justice, 2012**), l'égouttage du caillé Camembert est très modéré comparé à d'autres variétés de fromages. Pour les fromages à pâte molle et à croûte fleurie, la maîtrise du salage est indispensable pour permettre une bonne implantation de la flore de surface au cours de l'affinage, la pâte obtenue est salée par addition de chlorure de sodium. La concentration en sel dans le Camembert est généralement souhaité entre 1,5 et 2,5 % (**Ryser et Marth, 1987 ; Sousa, 2003**).

2.4.4.4. Affinage

L'affinage est la dernière étape de la transformation fromagère. Sa durée varie de quelques jours à quelques mois selon le type de fromage et ce, afin d'obtenir les qualités texturales et organoleptiques désirées.

Dans le cas des pâtes molles type camembert, l'affinage se fait également de la surface vers l'intérieur, la période d'affinage du Camembert est généralement courte, soit entre 12 et 45 jours et se déroule à une température variant habituellement entre 12 et 14° C. Les fromages sont généralement entreposés dans un lieu d'affinage permettant de contrôler l'humidité relative entre 85 et 95 % (**Cholet, 2006**), Le pH à la fin d'affinage du Camembert atteint environ 7,4 en surface et 6,9 au centre. Concernant l'affinage des fromages à pâte molle et à croûte fleurie, ce sont surtout les activités de La flore de surface des fromages qui confèrent à ces fromages leur typicité. Ensuite, les fromages de type camembert sont emballés sous film et boîte en bois ou en carton. Les propriétés des films d'emballage peuvent différer en termes de perméabilité aux gaz et à la vapeur d'eau et permettre ainsi de maîtriser l'évolution de l'affinage jusqu'au moment de la consommation.



Figure 2.9: Affinage des camemberts [21]

3. Intérêt technologique des microorganismes dans la fabrication du camembert

Le camembert est considéré comme un écosystème, il comporte des microorganismes qui sont essentiels à leur fabrication. Ils participent soit de manière directe avec leur activité métabolique, soit de manière indirecte avec la libération d'enzymes dans la matrice fromagère.

3.1. Microflore utile dans la fabrication fromagère de type camembert

Dans le domaine de la fabrication fromagère de type camembert, de multiples microorganismes utiles sont impliqués comme les bactéries, les moisissures, les levures d'origine naturels et /ou additionnel, ces micro-organismes sont introduits dans le lait au début de la fabrication sous forme des « ferments », ils sont sous forme lyophilisée, congelée ou liquide et on peut les utiliser soit en pulvérisation, soit versé directement dans le lait avec emprésurage, qui jouent un rôle majeur dans le développement des qualités sanitaires et sensorielles du produit fini.

3.1.1. Bactéries

Les bactéries nécessaires à la fabrication des fromages de type Camembert se regroupent en deux principales catégories : les bactéries lactiques et les bactéries d'affinage.

3.1.1.1. Bactéries lactiques (BL)

Dans le processus de transformation du lait en fromage à coagulation lactique ou mixte, la microflore lactique est la première flore à intervenir. Les bactéries lactiques sont classées en différents genres, selon la composition de leur paroi cellulaire, leurs caractéristiques biochimiques et génétiques (**Stiles&Holzapfel, 1997**).

Elles sont des cellules procaryotes organotrophes (**Badis et al, 2005**), formant une famille de bactéries, de morphologie et de physiologie assez hétérogènes (coque ou bacille, mésophile ou thermophile, homofermentaires ou hétérofermentaires...) [14]. Ce sont des bactéries à Gram positif, catalase-négatives, asporulées, aéroanaérobies facultatives ou micro-aérophiles c'est-à-dire qui se développent dans un milieu faiblement oxygéné, à métabolisme fermentaire strict, acido-tolérantes et capables de croître à des températures comprises entre 10°C et 45°C et à des pH

allant de 4.0 à 4.5, Ces bactéries sont généralement immobiles et se caractérisent par la production d'acide lactique comme produit majeur du métabolisme (**Salminen et al, 2004; König et Fröhlich, 2009 ; Pringsulaka et al, 2011**).

Les BL sont introduites dans le lait au début de la fabrication sous forme de « levains sélectionnés » encore appelés « ferments », ces ferments lactiques sont principalement fermentaires et ne nécessitent pas la présence d'oxygène, Parmi ces bactéries fermentaires, on retrouve deux types : les homofermentaires et les hétérofermentaires ; la fermentation dite homolactique se définit comme la transformation du lactose présent dans le lait en acide lactique, Lors de la fermentation hétérolactique un mélange d'acide lactique, d'acide acétique, de dioxyde de carbone (CO₂) et d'éthanol sont produits.

Les BL utilisées comme ferment dans la fabrication fromagère ont pour rôles essentiels :

- D'acidifier le lait et le caillé, cette activité est possible d'abord grâce à la présence de l'enzyme β -galactosidase, qui permet de scinder le lactose en glucose et en galactose, Cette acidification se caractérise aussi par des odeurs et des saveurs sûres.
- De réaliser une fermentation lactique, c'est-à-dire une réaction de transformation du lactose, sucre majoritairement contenu dans le lait en acide lactique.
- D'abaisser le pH par la production d'acide lactique aux dépens du lactose du lait, ce qui favorise la microflore acidophile comme les levures et les moisissures.
- D'augmenter la synérèse du caillé.
- De participer à la formation du goût (protéolyse, production de composés aromatiques et de précurseur d'arômes) et participer à la texture (gélification du produit, modification des conditions physicochimiques de la matière première, enzymes de coagulation, exopolysaccharides...), donc améliorer la qualité organoleptique des fromages.
- D'augmenter la durée de conservation des fromages.
- D'inhiber la croissance des bactéries nuisibles.

On distingue couramment deux types de ferments : les mésophiles et les thermophiles.

Les levains mésophiles (ex. *Lactococcus*, *Leuconostoc*) sont en général utilisés pour des variétés de fromage dont la température des caillés pendant la phase d'acidification ne dépasse pas 40 °C, alors que les levains thermophiles (ex. *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii*) sont plutôt employés dans des variétés de fromage où la température dépasse 40 °C en début de fabrication (**Fleet, 1999 ; Parente & Cogan, 2004**).

Dans les pâtes molles, les ferments lactiques principalement utilisés en industrie sont des bactéries mésophiles acidifiantes (*Lactococcus lactis*) ainsi que des bactéries thermophiles (*Streptococcus thermophilus*).

➤ ***Lactococcus lactis* (*L. lactis*)**

Lactococcus lactis (ou lactocoque lactique) est une bactérie à Gram positif, non mobile, non sporulante, mesurant en moyenne de 0,5 par 1,5 micromètre, est une lactique homofermentaire, son métabolisme est hétérotrophe, anaérobie aérotoleante. Sa température optimale de croissance se situe aux environs de 30 °C (elle est dite mésophile), Leur fonction principale est d'acidifier le lait, créant ainsi un milieu défavorable au développement des germes indésirables. Les *Lactococcus lactis* sont utilisés dans la plupart des levains laitiers mésophiles souvent associés à *Leuconostoc mesenteroides subsp. cremoris*. Ces levains mésophiles sont en général employés pour la fabrication des fromages dont la température du caillé ne dépasse pas 40 °C soit principalement les fromages à pâte molle [11].

➤ ***Streptococcus thermophilus* (*St thermophilus*)**

Streptococcus thermophilus est un ferment thermophile utilisé surtout pour les fromages à pâte pressée cuite (**Auclair J et Accolas JP 1983**), dans les fromages Camembert, l'ajout de ferments thermophiles a donné naissance aux fromages dits stabilisés, en opposition aux caillés traditionnels qui n'en contiennent pas. L'intérêt pour les pâtes stabilisées vient du fait qu'elles s'affaissent moins une fois coupées, ce qui est recherché par certains consommateurs.

Dans ces fromages stabilisés, l'acidification de la pâte est ralentie, et le pH atteint des valeurs autour de 5,2. Dans ces conditions, le calcium est davantage retenu dans la matrice fromagère, ce qui favorise l'apparition d'une texture plus élastique, et donc moins coulante (**Lawrence RC, Creamer LK et Gilles J, 1987**).

St thermophilus disparaît rapidement durant l'affinage. On suppose que cette disparition résulte de la lyse des cellules bactériennes [14].

3.1.1.2. Bactéries d'affinage

Les bactéries lactiques ne sont pas les seuls micro-organismes jouant un rôle dans la fabrication du fromage du genre camembert, C'est aussi des bactéries d'affinage « bactéries de surface ». Elles se retrouvent à leur surface, soit à un ensemencement naturel et/ou dirigé.

Ces bactéries sont généralement aérobies se développent en présence d'oxygène, mésophiles et halophiles, elles croissent en milieu salé mais acido-sensible. Le pH en surface doit être supérieur à 5,5 pour permettre leur développement.

Les bactéries de surface jouent un rôle majeur dans l'affinage des fromages, par leurs activités protéolytiques, lipolytiques et estérasiques conduisant à la formation de nombreux composés d'arôme dans la matrice fromagère et à la coloration de la croûte (**Mahaut et al, 2000**). Ce sont principalement des *Micrococcaceae* et des bactéries corynéformes, Parmi les bactéries corynéformes, l'espèce majoritairement rencontrée à la surface des fromages est *Brevibacterium linens* (**Mounier et al, 2007**).

➤ *Brevibacterium linens* (*B. linens*)

Les *Brevibacterium linens* sont plus communément appelés "ferments du rouge". Ces bactéries aérobies, gram positif, appartiennent au groupe des bactéries corynéformes, elles se présentent sous la forme de bâtonnets, Elles sont nécessaires à l'élaboration des fromages à pâtes molles tel le Camembert, bien que l'utilisation de *B. linens* tant que ferment d'affinage dans les fromages de type Camembert semble relativement peu répandue, cette bactérie possède des capacités technologiques intéressantes, elle se développe après désacidification de la pâte par les levures et moisissures leur croissance reste importante dans les conditions d'affinage entre 8 et 13°C, même en présence de milieu salé et leur utilisation s'associe souvent avec d'autres microorganismes (*Geotrichum*, Levures).

Il a été démontré que *B. linens* possède une activité protéolytique et lipolytique et est en mesure de produire des substances antimicrobiennes, sa fonction biochimique la plus intéressante reste la production de composés soufrés. Malgré leur caractère acido-sensible, *B. linens* est un micro-organisme important dans l'industrie fromagère puisqu'il est capable de produire des composés aromatiques comme le méthane thiol (MTL) à partir de la L-méthionine (**Ratray & Fox, 1999**) ce qui confère aux fromages des arômes de chou.

En fin, elle possède un pigment rouge-orangé visible sur la croûte et typique des camemberts de type AOC (**Richard et Zadi, 1983**).

3.1.2. Levures

Les levures sont présentes dans le lait cru mais elles sont détruites au cours de la pasteurisation. Les levures trouvées dans les fromages industriels proviennent donc essentiellement de la contamination par l'atmosphère et le matériel de fromagerie, et parfois par un ensemencement volontaire de surface [22].

Elles se trouvent essentiellement sur la surface des fromages à pâte molle (Ex : camembert) qu'à l'intérieur, où elles peuvent participer à la désacidification de la pâte en début d'affinage par consommation des acides, cette consommation de la teneur en acide lactique entraîne une remontée du pH, laquelle favorise le développement de bactéries en surface, permettant ainsi l'implantation ultérieure d'une flore acide et interviennent également dans la formation du goût. Selon les souches, les levures consomment le lactose, le lactate, et/ou le galactose.

Les levures participent également, grâce à leurs enzymes, à la dégradation des lipides et des protéines, ce qui contribue au développement des composants d'arômes et peuvent aussi hydrolyser certains peptides au goût amer provenant de l'action de la présure sur la caséine, ce qui améliore la saveur du fromage.

Les levures caractéristiques du camembert sont principalement *Geotrichum candidum* et *Kluyveromyces marxianus*

➤ *Geotrichum candidum* (*G. candidum*)

Par le passé, le *Geotrichum candidum* était plus particulièrement connu sous le nom *Oidium lactis*. Souvent décrit à mi-chemin entre levure et moisissure, les chercheurs classent aujourd'hui *Geotrichum candidum* plutôt comme une levure, Le morphotype levuriforme de *G. candidum* est caractérisé par des colonies crémeuses, de couleur blanc-crème, Lorsque *G. candidum* est utilisée comme ferment dans les fromages du genre camembert, il joue un rôle clé dans l'affinage de ce genre du fromage car il permet la désacidification de la pâte en consommant les lactates mais il participe aussi à sa désamérisation en lysant les peptides amérisants produits par *Penicillium camemberti*. Enfin, *G. candidum* favorise la cohésion et le séchage de la croûte et libère des arômes typiques du camembert (Berger et al, 1999). Cette levure a connu un regain d'intérêt ces vingt dernières années. Son utilisation dans la fabrication du camembert au lait pasteurisé permet d'obtenir des produits au croûtage et à la saveur plus traditionnels.

De plus, sa rapidité de croissance lui donne avec *Kluyveromyces marxianus* un rôle de couverture et de lutte contre les contaminants (dont le Mucor). Elle se développe dès le premier jour, sa croissance augmente du 4-5^{ème} jours au 10 -12^{ème} jours puis se stabilise.

➤ *Kluyveromyces marxianus* (*K. marxianus*)

Kluyveromyces marxianus a pour principale fonction la désacidification de la pâte par dégradation du lactose. Après épuisement du lactose en surface, *K. marxianus* métabolise le lactate (**Leclercq Perlat et al. 2004a**). C'est surtout en rendant le lactose limitant que cette levure réduit les risques de post-acidification (baisse du pH après le début d'affinage qui conduit à des défauts importants des fromages).

Cette levure produit également de l'acétate d'éthyle dont l'odeur de pomme verte fermentée est caractéristique du début d'affinage des fromages de type camembert. A la surface du camembert, l'évolution de *K. marxianus*, dans des conditions d'affinage de 13 °C, 93 % HR, a été décrite d'après par une croissance exponentielle jusqu'au 4^{ème} jour, une phase stationnaire entre le 5^{ème} et le 19^{ème} jour et une phase de mortalité jusqu'à la fin de l'affinage (**Leclercq Perlat et al, 2006**).

3.1.3. Moisissures

Les moisissures sont des microorganismes aérobies obligatoires qui s'établissent surtout à la surface des fromages, elles consomment l'acide lactique et diminuent l'acidité de la pâte de façon encore plus efficace que les levures. Elles produisent des quantités importantes d'enzymes protéolytiques et lipolytiques, et jouent un rôle déterminant dans la formation des caractéristiques sensorielles des fromages.

La principale espèce de *Penicillium* utilisée pour les fromages du genre Camembert est : *Penicillium camemberti*, elle est utilisée pour leurs caractères technologiques.

➤ *Penicillium camemberti* (*P. camemberti*)

Penicillium camemberti (nommé aussi *penicillium candidum*) est la moisissure des fromages à pâte molle et à croûte fleurie de type Camembert (**Lenoir et al, 1983**).

C'est une moisissure filamenteuse, aérobie stricte, sensible aux teneurs en dioxyde de carbone trop élevées. Elle est considérée comme peu sensible au sel bien que cette propriété soit variable

d'une souche à l'autre. (**Leclercq Perlat et al, 2006**). *P. camemberti* est peu influencé par le pH. Il se développe convenablement entre 4,0 et 8,0.

A la surface du Camembert, il est visible après 6 à 7 jours d'affinage. Il recouvre ensuite toute la surface du fromage d'un feutrage blanc. Sa croissance est rapide.

P. camemberti représente la principale moisissure utilisée dans la fabrication des fromages à pâte molle et à croûte fleurie car il possède donc certaines caractéristiques biochimiques qui en font un micro-organisme indispensable à leurs maturations.

Cette flore de surface utilise le lactose et les lactates comme source de carbone contribuant à la remontée du pH dans le caillé (**Aldarf et al, 2006**). Cependant, dans le cas des camemberts, les quantités en lactose sont négligeables lorsque le mycélium de *P. camemberti* apparaît. De sorte que le substrat principalement assimilé par cette moisissure en début d'affinage est le lactate, elle produit de grandes quantités de CO₂ qui changent l'environnement gazeux des hâloirs et possède un système protéolytique complexe et une activité lipasique importante, ce qui lui confère un rôle important dans l'aromatisation des fromages.

De plus, le mycélium de *P. camemberti* forme une barrière qui empêche la prolifération de bactéries pathogènes et de moisissures indésirables (**Bockelmann et al, 1999**).

L'association de *P. camemberti* avec *K. marxianus* et *G. candidum* permet une désacidification plus rapide du caillé, agissant favorablement sur le développement de la flore bactérienne superficielle (**Mounier et al, 2005**).

3.2. Flore responsable à l'altération du camembert

Le camembert peut être contaminé par des micro-organismes qui, en se multipliant dans le milieu, provoquent des transformations nuisibles à la qualité du produit par dégradation de leurs constituants (protéines, lipides, lactose) et libération en leur sein de composés indésirables. Ces dégradations peuvent être dues à des bactéries, levures et moisissures et se traduisent par des défauts de goût, d'odeur, d'aspect et de texture.

3.2.1. Bactéries

➤ Coliformes

Les coliformes peuvent être responsables de gonflements précoces dans les fromages, conduisant notamment en pâte molle, à des accidents spectaculaires (fromage à aspect

spongieux). Ce gonflement est dû principalement à la formation d'hydrogène très peu soluble dans le fromage, lors de leur développement dans le lait et les produits laitiers, ces enzymes peuvent provoquer des défauts de goût dans les fromages (goût de rance, amertume).

Les coliformes sont en effet souvent associés à un défaut d'aspect, principalement dans les fromages à pâte molle. Il s'agit du gonflement précoce et de la formation de trous dans la pâte pendant la fabrication et les premiers jours d'affinage. Ces ouvertures sont le résultat d'une accumulation d'hydrogène, générée par la dégradation du formate issu du métabolisme du lactose (Fox et al, 2000).

3.2.2. Levures

➤ *Geotrichum candidum*

Elle peut devenir un agent d'altération (défaut de texture et de goût) en technologie pâte molle s'il est amené à trop se développer (accident de la « graisse » ou de la « peau de crapaud »).

3.2.3. Moisissures

➤ *Penicillium camemberti*

Un développement trop important est cependant défavorable (liquéfaction de la pâte sous la croûte, apparition d'une couche gluante en surface, production excessive d'ammoniaque...). Une mauvaise implantation de *P. camemberti* ce qui donne une sous croûte très coulante et amère (Lenoir, 1983).

➤ *Mucor*

Mucor est responsable de l'accident dit « poil de chat » principalement en fromage à pâte molle, Il apparaît lorsqu'il y a un manque d'hygiène dans le hâloir, se caractérisant par un défaut d'aspect des fromages, par l'apparition de mauvais goûts et des taches noirâtres au-dessus du feutrage blanc du mycélium de *P. camemberti* (Lenoir, 1983).

Le *Mucor* est utile en Tomme de Savoie, mais nuisible en Camembert (accident du « poil de chat ») (Beuvier et Feutry, 2005).

L'étude et le suivi du procédé de fabrication du camembert ont été réalisés au sein de l'atelier de fabrication fromagère à l'unité industrielle « Numidia ».

Les analyses de contrôle de la qualité physico-chimique et microbiologique des échantillons prélevés de la matière première « lait cru » et du produit fini « camembert » ont été effectuées au niveau du Laboratoire d'analyses et de contrôle de la qualité de l'unité « Numidia ».

4.1. Présentation de la laiterie « Numidia »

La laiterie « Numidia » est située à 4 Km au sud-est de Constantine, au lieu dit Châabet-Ersas. C'est la deuxième unité de production laitière de l'Est algérien après celle d'Annaba. Elle a été mise en service au mois de mai 1980.

Les bâtiments de la laiterie sont aménagés sur un terrain d'environ 5,4 hectares et se répartissent comme suit :

Locaux de fabrication proprement dits comprenant : La laiterie, la fromagerie et la yaourtière (non opérationnelle) ;

Locaux de conditionnement et de stockage des produits finis, lesquels abritant les services généraux et locaux de stockage et de liquéfaction des matières premières (lait en poudre, matière grasse laitière anhydre...) ;

Bâtiments administratifs ;

Atelier pour l'affinage du camembert (capacité : 20.000 litres par jour).

Par ailleurs, l'unité est équipée de deux laboratoires d'analyses et de contrôle de la qualité : l'un pour les analyses physico-chimiques, l'autre pour les analyses microbiologiques. Ainsi, que d'une installation automatique de nettoyage et de désinfection (C.I.P) et d'une centrale de traitement des eaux.

A l'heure actuelle, le volume de production est de 432000 litres de lait par jour, avec un effectif de 170 personnes.

L'unité commercialise les différents produits suivants :

- Le lait recombinaé et reconstitué pasteurisé conditionné LRPC (sachet de 1litre) ;
- Le lait fermenté pasteurisé (sachet de 1litre) ;
- beurre fermier ;
- lait raib ;

- crème fraîche ;
- pâte molle/camembert (boîte en carton 250g), objet de notre étude.

Dans l'atelier de fabrication du camembert nous avons suivi les différentes opérations de confection du fromage depuis la maturation du lait jusqu'à la distribution du produit fini.

L'atelier « camembert » dispose de plusieurs salles :

- une salle de la maturation du lait ;
- une salle de moulage ;
- une salle d'égouttage ;
- une salle de salage ;
- une salle ressuyage ;
- quatre salles pour affinage (hâloirs) ;
- une salle de conditionnement ;
- une Chambre froide pour le stockage.

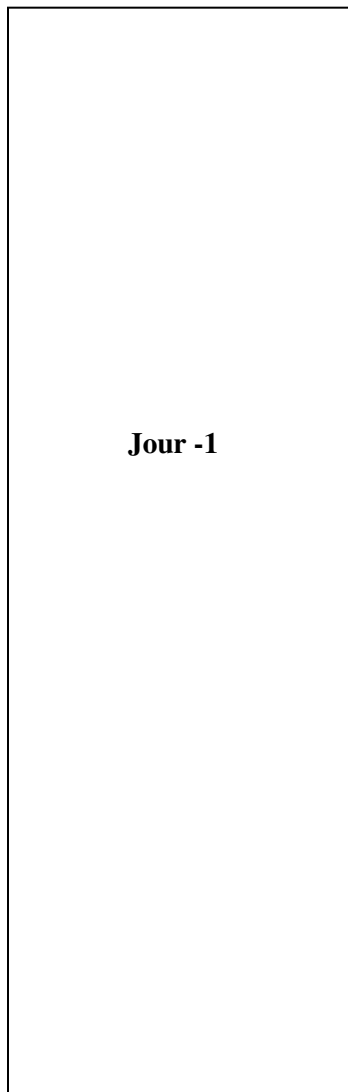
La disposition et l'aménagement des différentes salles sont conçus de façon à permettre au fromager de travailler dans des meilleures conditions de confort, d'hygiène et de sécurité et une meilleure organisation du travail.



Figure 4.1: laiterie « Numidia » Constantine

4.2. Procédé de la fabrication du fromage à pâte molle type camembert au niveau de la laiterie « Numidia »

Les différentes étapes de la fabrication du camembert sont illustrées sur la figure 4.2 suivante :



-Réception et préparation du lait de vache :

Le lait cru est ramené à l'unité dans des camions citernes isothermes. Dès sa réception, le lait subit des analyses pour contrôler sa composition et leur qualité afin de sélectionner le meilleur lait utilisé dans la fabrication du camembert (La capacité sélectionnée pour le camembert est de 7000 l).

-Standardisation : un système de standardisation permet d'ajuster le taux en MG à 28 g/l.

-Pasteurisation : le lait utilisé pour la fabrication du camembert, est pasteurisé dans un échangeur à plaque à une température de 85°C pendant 15s, puis il est refroidi dans la zone de réfrigération où le lait est amené à sa température de stockage (4° C environ) au moyen d'énergie frigorifique fournie par un courant d'eau glacée.

-Pré-maturation : le lait après pasteurisation, est placé dans un tank agité pour subir une pré maturation pendant une nuit à une température de 10-12°C avec l'addition du chlorure de calcium CaCl₂ (Additif alimentaire SIN509, dose : 700 ml / 7000 l de lait) + les souches du *penicillium camemberti* (PC 12 , PC SAM3 , PC Neige).

Jour +0

- **Réchauffage et ensemencement des ferments:** le lait est réchauffé à une température de 37° à 38°C pour favoriser le travail des ferments d'acidification ensemencés dans le lait ;

-Les ferments sont :

25% des levains lactiques mésophiles (*Flora Danica*) ;

75% des levains lactiques thermophiles (ST-B01).

L'acidité du lait est vérifiée après une demi-heure d'ensemencement des ferments lactiques, s'il y'a une augmentation dans sa valeur ; on remplit les bassines (Remplissage des 7 bassines d'une capacité de 1000 l chacune)

-**Emprésurage**

Adjonction de la présure en poudre (de type HY-MAX® /dose : 130g pour 7000 l) ;

L'acidité du lait à l' emprésurage est 20°D ;

La température de la salle à l' emprésurage est 26°C-28°C ;

-**Coagulation**

Le temps de prise est de 15min x 2

Le temps total de coagulation est de 45min

La température de coagulation est 36°C

-**Tranchage** : après la coagulation, le caillé est découpé en petit cube de 2 à 2,5 cm de coté à l'aide d'un tranche-caillé.

-**Brassage (léger)** : le brassage est effectué à l'aide d'un brossoir, on peut aller de 2 à 3 brassage si le caillé est plus ferme

Le temps entre le tranchage et le brassage est de 15min

Le temps entre le 1ère brassage et le 2ème est de 10min

Jour+0

-Moulage : le caillé est mis en moules, les moules sont égalisés par des peilles (T° de la salle entre 28-30°C), Ces moules ont une forme ronde ou circulaire (épaisseur 5cm, diamètre 9cm), ils ne comportent pas de fond .ils sont placés directement sur des sortes en plastique limitant ainsi les pertes de caillé.

Les sortes reposent eux-mêmes sur des plateaux en aluminium munis de carrelures afin de permettre l'écoulement du sérum.

-Egouttage en moules et retournements :

Dès la mise en moules du caillé, le sérum s'exsude à travers les trous du sorte pendant ce temps le caillé descend dans le moule.

Retournement (le 1er retournement a lieu 1heure après le moulage, l'acidité est de 25°D, le 2éme retournement a lieu 1heure après le 1^{er} retournement, l'acidité est de 40 à 55°D, le 3^{éme} retournement a lieu 1heure après le 2^{éme} retournement, l'acidité est d'environ 60 à 80°D).

La température de la salle est maintenue à 26-28°C le jour et à 18-20°C la nuit, les fromages sont abandonnés pendant 16à18 h.

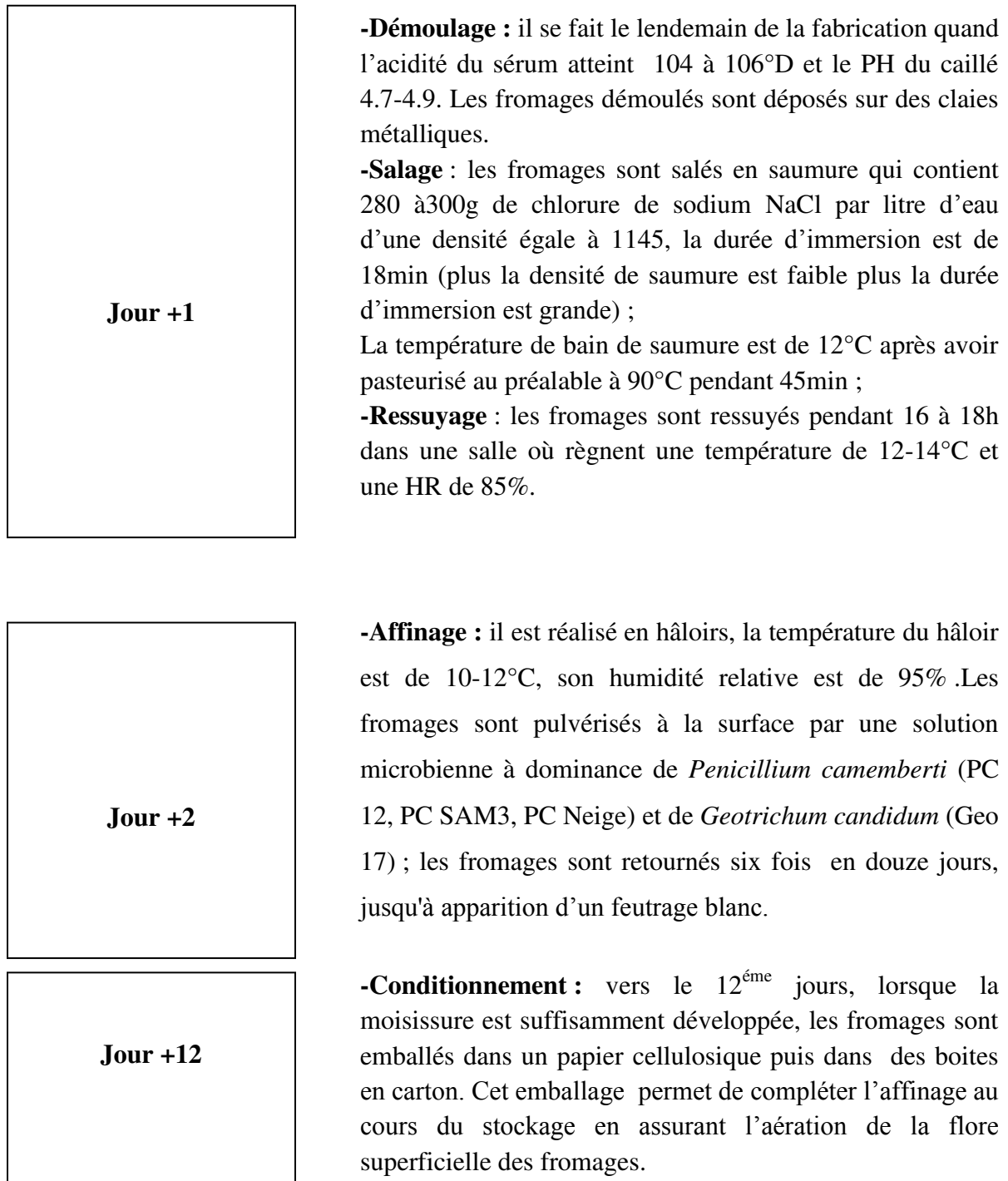


Figure 4.2 : Etapes de fabrication du fromage à pâte molle type camembert au niveau de Laiterie « Numidia ».

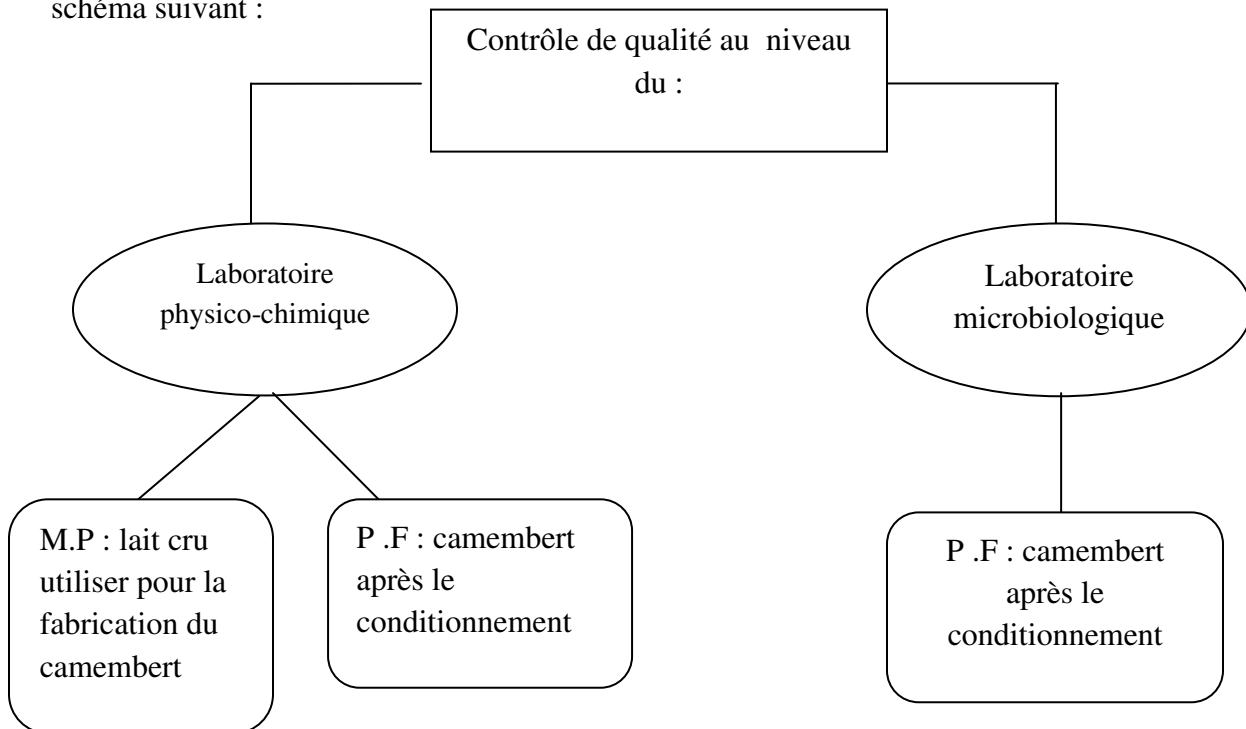
4.3. Ferments utilisés dans la fabrication du camembert au niveau de la laiterie « Numidia » et leurs effets sur la qualité du produit

Les ferments utilisés par l'industrie « Numidia » dans la fabrication du camembert sont des ferments industriels lyophilisés pour ensemencement direct du lait. Ces ferments sont commercialisés généralement dans des sachets en aluminium imperméables à l'eau et à l'air. Ils peuvent se conserver douze mois à +4°C et jusqu'à dix-huit mois à -18°C si la chaîne de froid est correctement appliquée.

Les ferments industriels utilisés par l'unité « Numidia » sont décrits dans le tableau 4.1 ci-dessous :

4.4. Méthodes d'analyses

La méthodologie de travail adoptée dans cette étude expérimentale est récapitulée dans le schéma suivant :



M.P : Matière première / P .F : produit fini

Figure 4.3 : Méthodologie de travail adaptée.

Tableau 4.1 : Description des ferments industriels utilisés par l'industrie « Numidia » dans la fabrication du camembert.

Nom du ferment	Fabricant	Description
<i>Flora Danica</i>	Chr. Hansen	<p><i>Flora Danica</i> est une culture mésophile utilisée pour acidifier le lait et ajouter un goût complet, au beurre, aux fromages comme le brie et le camembert</p> <p>Cette culture contient :</p> <ul style="list-style-type: none"> -<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Cremoris</i> -<i>Leuconostoc</i> -<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Lactis</i> -<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Lactis</i> biovar <i>diacetylactis</i>
ST-B01	Chr. Hansen	Souche de <i>Streptococcus thermophilus</i> .
Pc 12 Lyo (10D)	Danisco	Culture de maturation composée de spores de moisissures blanches pour Camembert.
Pc neige Lyo (10D)	Danisco	Culture de maturation composée de spores de <i>penicillium candidum</i>
Pc SAM 3 (10D)	Danisco	Culture d'affinage constitué de spores <i>Penicillium candidum</i> , Il est particulièrement adapté pour lutter contre les pollutions mucorales.
Geo 17 Lyo(10D)	Danisco	Agent important dans l'affinage des fromages, le <i>Geotrichum</i> s'installe très rapidement à la surface des fromages (le premier) facilitant ainsi (avec les levures) l'implantation du <i>Penicillium candidum</i> .

Lyo : Lyophilisé

4.4.1. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques sont effectuées dans le but de vérifier la composition et la qualité physico-chimique des produits en analysant la matière première « lait cru » utilisé dans la fabrication du camembert et le produit fini « camembert ».

4.4.1.1. Matériels et produits

- **Matériels nécessaires**

- Une éprouvette de 250 ml;
- Un thermo lactodensimètre (étalonné à une température donnée) ;
- Centrifugeuse ;
- Echantillons du lait ;
- Flacons de récepteur ;
- Flacon de tiges ;
- Seringue ;
- Embouts ;
- Un acidimètre Dornic
- béchers ;
- Une pipette de 10 ml;
- Butyromètre ;
- Pipettes;
- Echantillons du camembert ;
- Balance intégrée ;
- dessiccateur infrarouge ;
- bain marie ;

- **Produits et réactifs**

- Un indicateur de pH : la phénolphtaléine
- Solution de l'acide sulfurique ;
- Solution d'alcool iso-amylique ;
- Solution de NaOH de normalité N/9,

4.4.1.2. Préparation des échantillons

Selon le journal officiel de l'arrêté n° 35 du 27 Mai 1998 pour réaliser une analyse physico-chimique du lait, la technique utilisée diffère d'un produit à l'autre :

- La matière première telle que le lait cru, est prélevée en haut et en bas de la citerne, une simple agitation à l'aide d'une baguette en verre suffit à le rendre suffisamment homogène ;
- Le produit fini est prélevé au hasard au niveau des conditionneuses.

4.4.1.3. Analyses effectuées

4.4.1.3.1. Matière première : lait utilisé pour la fabrication du camembert

4.4.1.3.1.1. Détection d'Antibiotiques dans le lait par le β s.t.a.r. Combo

➤ Principe de l'analyse

Le β s.t.a.r. Combo est une méthode de type "Récepteur Assay" pour la recherche rapide, dans le lait de résidus actifs d'antibiotiques de la famille :

- des β lactames (ex pénicillines,...) ;
- des tétracyclines ;

Le test de détection d'antibiotique est basé sur l'emploi d'un récepteur spécifique lié à des particules d'or. Au cours de la première étape d'incubation, les antibiotiques β lactames et tétracyclines, s'ils sont présents dans l'échantillon de lait, se lient au récepteur.

Pendant la deuxième étape d'incubation, le lait migre sur un support immunochromatographique qui présente trois bandes de capture.

- une bande retient tous les récepteurs qui n'ont pas lié d'antibiotiques β lactames (B) (négatif)
- une bande retient tous les récepteurs qui n'ont pas lié d'antibiotiques tétracyclines (T) (négatif)
- une bande sert de référence (C).

➤ Mode opératoire

Une quantité de 0,2 ml de lait a été mise dans un flacon récepteur, et incubée à 47,5°C (3 mn pour réaliser la liaison des antibiotiques présents au récepteur) cette réaction a été terminée par un premier signal ; Ensuite une tige a été plongée dans le flacon et incubée à 47,5°C (2 mn pour le Beta et pour le Combo) après un deuxième signal passant à la lecture :

Si l y aura des lignes rouges, le test sera invalide.

Si l'intensité de la première et / ou la troisième bande a été supérieure ou égale à l'intensité de la bande de référence, le résultat sera interprété comme négatif (pas d'antibiotique).

Si la première et / ou la troisième bande ont été absentes ou inférieures à l'intensité de la bande de référence, le résultat sera considéré comme positif (présence d'antibiotiques).



Figure 4.4 : Beta s.t.a.r. Combo

4.4.1.3.1.2. Détermination de la température et de la densité

➤ **But**

Etude de mouillage du lait

➤ **Principe**

La densité d'un liquide est le rapport entre la masse volumique de ce liquide et celle d'un même volume d'eau à 15° C.



Figure 4.5: Lactodensimètre

➤ Mode opératoire

Le lait pasteurisé a été versé dans l'éprouvette tenue inclinée afin d'éviter la formation de mousse ou de bulles d'air.

L'introduction de lactodensimètre dans l'éprouvette pleine de lait doit provoquer un débordement de liquide. Ce débordement est nécessaire, il débarrasse la surface du lait des traces de mousse qui gêne la lecture.

Le lactodensimètre a été plongé doucement dans le lait et maintenu dans l'axe de l'éprouvette, puis il a été retenu dans sa descente jusqu'au voisinage de sa position d'équilibre.

30 secondes à une minute nécessaire pour effectuer la lecture de la graduation.

La densité et la température ont été directement lues sur la partie graduée.

La densité relevée peut être corrigée si la température du lait est différente de 15°C par la formule suivante valable que pour une mesure faite entre 10 et 20°C.

$$D = D' + 0.2 (T - 15^{\circ}\text{C})$$

D : Densité corrigé ;

D' : Densité brute ;

T : Température du lait ;

0.2 : Coefficient de correction de température ;

4.4.1.3.1.3. Détermination de l'acidité

On entend par acidité titrable du lait, l'acidité déterminée dans les conditions de la méthode décrite ci-après (détermination du taux de constituants acides du lait donc le degré de fraîcheur du lait). Elle est exprimée conventionnellement en acide lactique.

➤ But

Dosage de l'acide lactique par la soude NaOH.

➤ Principe

Le titrage de l'acidité du lait se fait par l'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine comme indicateur.



Figure 4.6: Acidimètre et la phénolphtaléine

➤ **Mode opératoire**

10 ml de l'échantillon ont été introduits dans le bécher et 3 gouttes de phénolphtaléine ont été ajoutées pour la mesure de l'acidité du lait, ensuite il a été procédé au titrage avec l'acidimètre où NaOH a été ajouté goutte à goutte. Le tout a été agité doucement dans le bécher à chaque goutte versé jusqu'au premier virage où une coloration rose a été apparue.

Le volume de NaOH nécessaire au virage a été noté (chute de burette).

NB :

Le degré dornic est une unité de mesure d'acidité de lait du nom de Mr. Dornic ancien directeur de l'école d'industrie laitière. 1°D correspond à 0.1g d'acide lactique par litre de lait.

Un lait est considéré comme frais lorsqu'il a une valeur inférieure ou égale à 18°D.

4.4.1.3.1.4. Détermination de la matière grasse

La matière grasse est déterminée par la méthode acido-métrique GERBER.

➤ **Principe**

Mesure de la matière grasse par désagrégation des protéines par centrifugation. Après ajout d'alcool iso-amylque et centrifugation, les gouttelettes de graisse qui se réunissent en une couche claire sont évaluées quantitativement grâce à une échelle adéquate.



Figure 4.7 : Acide sulfurique et alcool isoamylique



Figure 4.8 : Centrifugeuse

➤ **Mode opératoire**

10 ml d'acide sulfurique ont été introduits dans un butyromètre sans mouiller le col.

Ensuite 11 ml du lait et 1 ml d'alcool iso-amylque ont été ajoutés, après bouchage de butyromètre il a été procédé à l'agitation jusqu'à dissolution complète de la caséine qui se coagule au contact de l'acide. Le butyromètre, a été centrifugé durant 5 minutes à une vitesse de rotation 1200 tours par minute sans le laisser refroidir.

Une colonne claire et transparente de matière grasse a été obtenue dans la partie graduée de butyromètre a la sortie de la centrifugeuse, le résultat a été lu à la hauteur.

4.4.1.3.2. Produit fini : le camembert

4.4.1.3.2.1. Détermination de la teneur en matière grasse

➤ **Principe**

Dissolution de la caséine du fromage dans un butyromètre, par de l'acide sulfurique, la matière grasse est séparée par centrifugation. Le pourcentage en masse de matière grasse lu directement à la partie graduée du butyromètre (c'est la méthode acido-butyrométrique).

➤ **Mode opératoire**

3g de l'échantillon de fromage ont été introduits dans un godet en verre préalablement taré.

Le godet a été enclavé dans la panse du butyromètre et le bouchon fixé au col.

Ensuite l'acide sulfurique a été ajouté par l'ouverture de la tige jusqu'à ce que le niveau d'acide dépasse le godet de 2 mm environ après avoir bouché l'ouverture de la tige, le butyromètre a été

placé dans un bain d'eau à 65°C, ce dernier a été agité dans un plan horizontal de temps en temps jusqu'à dissolution complète de la prise d'essai.

1 ml d'alcool iso-amylique a été ajouté, ensuite de l'acide sulfurique jusqu'au trait 35 de la graduation. Le butyromètre a été agité énergiquement pour rendre le liquide homogène, et placé ensuite dans le bain d'eau pendant 5 mn, il a été centrifugé pendant 10 mn et placé de nouveau dans le bain d'eau pendant 5 mn avant de faire la lecture.

La teneur en matière grasse de l'échantillon, exprimée en pourcentage en masse, est égale à $n'-n$ avec

n' = la valeur correspondant au niveau supérieur de la colonne grasse.

n = graduation correspondant au niveau inférieur de la colonne grasse.



Figure 4.9: Butyromètre

4.4.1.3.2.2. Détermination de la teneur en extrait sec total

La détermination est faite à l'aide d'un dessiccateur infrarouge (**PRECISA XM120**, poids maximal 124g).

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 a été calculé par la différence entre le poids humides initiale et le poids sec final.

4.4.1.3.2.3. Détermination de la teneur en extrait sec dégraissée

Le pourcentage d'extrait sec dégraissé a été calculé par la différence entre extrait sec total et la matière grasse :

$$ESD = EST - MG$$

ESD : extrait sec dégraissée ;

EST : extrait sec total ;

MG : matière grasse.

4.4.2. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques nécessitent une préparation rigoureuse de l'échantillon à analyser en respectant les règles d'asepsie dont le but d'éviter toute contamination, ces analyses sont effectuées dont le but d'évaluer et de contrôler la qualité hygiénique et les caractéristiques microbiologiques des échantillons prélevés.



Figure 4.10 : Laboratoire d'analyse microbiologique

4.4.2.1. Matériels utilisés

Pour atteindre nos objectifs nous avons travaillé avec

➤ **Appareillage**

- Bain marie (PROLABO) ;

- Balance de type de type (RADWAGE, 0.01 de précision et 2000g poids maximal) ;
 - Bec bunsen ;
 - Etuve d'incubation 37°C, 44°C.
- **Autre matériel**
- Verrerie (boite de pétri, tubes à essai, flacon de 250ml, pipettes) ;
 - Anse de platine ;
 - Portoirs.
- **Bouillons et milieux de culture**
- Nous avons utilisé les bouillons et les milieux de culture cités ci-après, dont leur composition et leur préparation seront détaillées en annexe n°01
- Bouillon Giolitti Cantonii ;
 - Bouillon sélénite F broth « SFB » ;
 - Gélose Chapman ;
 - Gélose Desoxycholate lactose agar « DCLA » ;
 - Gélose Salmonella-Shigella « SS ».
 - **Les additifs** : Tellurite de potassium
 - **Diluant** : Eau peptonée tamponnée « EPT ».

4.4.2.2. Prélèvement et préparation des échantillons

Dix échantillons du camembert après leurs fabrications et avant distributions ont été analysés.

Les échantillons du camembert sont prélevés au hasard et sont analysés le jour même du prélèvement au niveau du laboratoire d'analyses microbiologique.



Figure 4.11 : Échantillon du camembert

4.4.2.3. Traitement des échantillons

Les échantillons du camembert ont été découpés en 4 secteurs à l'aide d'une spatule stérile, ce qui nous a permis de prélever de l'intérieur du fromage ou « cœur du fromage ». Les prélèvements sont effectués dans des conditions stériles et devant la flamme du bec bunsen.



Figure 4.12 : Echantillon du camembert découpé en 4 secteurs

4.4.2.4. Préparation de la solution mère

Nous avons pesé 5 g du camembert à l'aide d'une balance de type (RADWAGE, 0.01 de précision et 2000g poids maximal) aseptiquement dans un flacon de 250 ml stérile. Après l'introduction 45 ml d'eau peptonée tamponnée stérile, le mélange est chauffé dans un bain marie de type (PROLABO) pendant 20min à environ 45°C pour mieux solubiliser les constituants de la prise d'essai, puis homogénéisé par agitation manuelle jusqu'à obtention d'une suspension homogène dont la presque totalité du fromage s'est solubilisée; Cette suspension constitue alors la dilution mère (DM) qui correspond à la dilution 1/10 ou 10^{-1} (J.O.R.A, 1998).

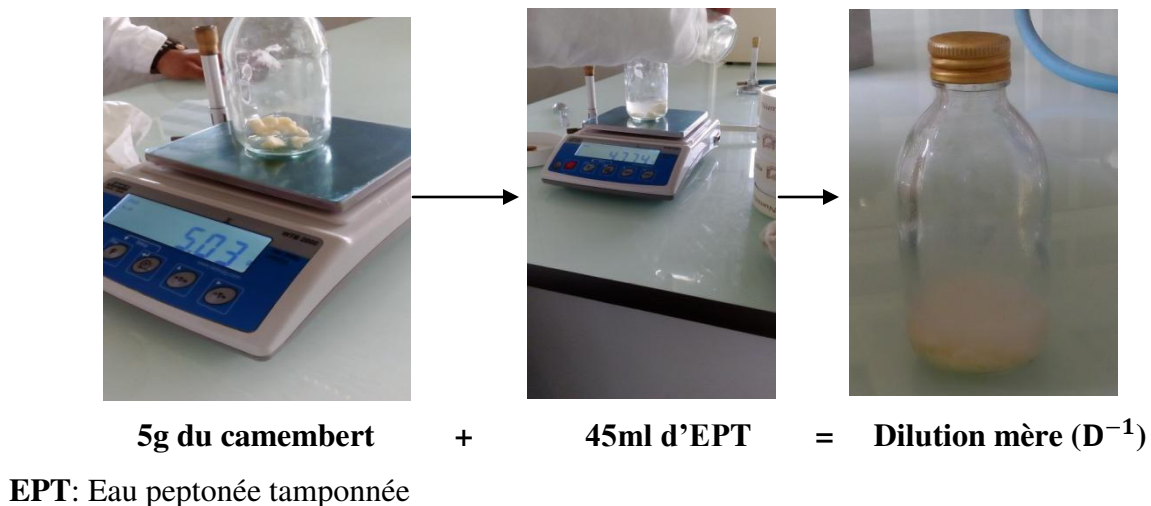


Figure 4.13 : Schéma de préparation de la solution mère (D⁻¹)

4.4.2.5. Recherche et dénombrement des germes de contamination

On entend par « organismes de contamination » tout micro-organisme autre que ceux responsables de fermentations et d'affinage spécifiques de type du camembert considéré.

Les germes recherchés dans les différents échantillons du camembert au niveau de laboratoire microbiologique de la laiterie « Numidia » sont ceux cités dans **le journal officiel de la république algérienne n° 35 du 27 mai 1998**, il s'agit de :

4.4.2.5.1. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux et totaux

Les coliformes se caractérisent par leur aptitude à fermenter plus ou moins le lactose. Elles sont dénombrées en milieu solide sur la gélose DCLA, l'ensemencement a été fait dans la masse avec 1ml de la dilution mère 10^{-1} sur une boîte de pétri stérile, les colonies sont dénombrées après 24heurs d'incubation à 30°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux.

Les colonies caractéristiques des coliformes sont rouge foncé et ont 0.5 mm de diamètre

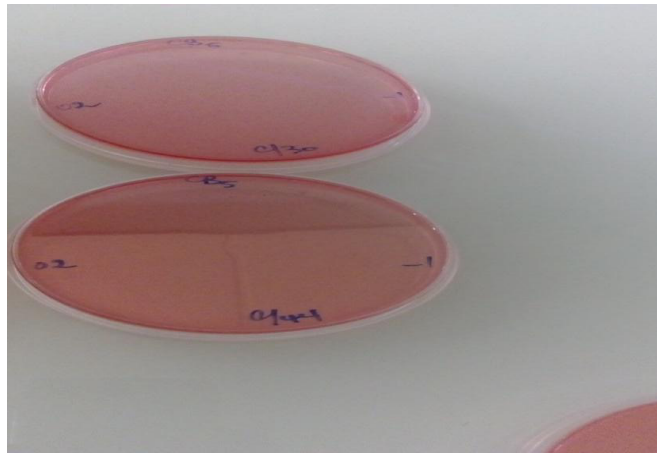


Figure 4.14 : Dénombrement des coliformes fécaux et totaux sur le milieu de gélose DCLA

4.4.2.5.2. Recherche des *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*)

La recherche des *S. aureus* a été faite en deux étapes principales :

- **Enrichissement**

1ml de la solution mère a été introduit à l'aide d'une pipette dans un tube stérile contenant 9ml de bouillon Giolitti Cantoni additionné de tellurite de potassium, ensuite le contenu de tube est bien homogénéisé pour éviter la formation des bulles d'air et incubé 24 heures à 37 °C.

Les résultats sont considérés positifs quand le tube présente un noircissement.

- **Isolement**

A partir des tubes positifs, deux gouttes de la suspension bactérienne sont étalées en stries à l'aide d'une anse de platine sur des boîtes de pétri contenant un milieu de Chapman déjà solidifié (ensemencement en surface), les boîtes sont incubées à l'étuve pendant 24 heures à 37°C.

Les espèces *S. aureus* se caractérisent par la présence d'un halo jaune autour de la colonie indiquant la fermentation du mannitol par la bactérie et les espèces non pathogènes se caractérisent par des colonies transparentes visqueuses.

4.4.2.5.3. Recherche des salmonelles

La recherche des salmonelles a été effectuée en deux étapes :

- **Enrichissement**

Une quantité de 1ml de la dilution mère D^{-1} a été introduite dans un tube à essai contenant 9ml de bouillon SFB ensuite le tube est incubé à l'étuve 24 heures à 37 °C ;

Les résultats sont considérés positifs quand le tube représente un trouble.

- **Isolement**

A partir des tubes positifs, deux gouttes de la suspension bactérienne sont étalées en stries à l'aide d'une anse de platine sur des boîtes de pétri contenant un milieu SS déjà solidifié (ensemencement en surface), les boîtes sont incubées à l'étuve pendant 24 heures à 37°C.

-Expression des résultats

Les colonies comptent entre 30 et 300 colonies sont retenues pour l'expression finale des résultats ;

Le nombre des colonies est multiplié par l'inverse de la dilution ;

Les résultats sont exprimés en nombre de germes /g.

- **N.B**

Tous les tests microbiologiques effectués dans cette étude sont faits dans des conditions stériles et devant la flamme du bec bunsen ;

Les boîtes ensemencées dans la masse ont subi des mouvements circulaires et de va et vient en forme « 8 » pour permettre à l'échantillon analysé de se mélanger à la gélose utilisée.

4.4.3. Analyses statistiques des données expérimentales

Le logiciel Excel version 2007 a été utilisé dans notre travail pour l'analyse statistique des données expérimentales et pour la réalisation des courbes et des histogrammes ;

Les calculs de certains paramètres arithmétiques nous permettent d'évaluer avec précision les différences qui peuvent exister dans les résultats obtenus. La comparaison par des paramètres statistiques facilite la détection des différences entre les mesures et la décision finale.

Les paramètres statistiques effectués dans notre travail sont:

La moyenne, la valeur maximale, la valeur minimale et l'écart-type.

- Pour les résultats physico-chimiques, la moyenne a été déterminée ;
- Pour les données expérimentales des analyses microbiologiques, la moyenne, la valeur maximale, la valeur minimale et l'écart-type ont été déterminés.

5.1. Introduction

Dans cette étude les résultats obtenus, à savoir les analyses de la matière première et de produit fini, sont prises en considération.

Nous verrons en premier lieu l'effet de l'ensemencement de chaque micro-organisme sur notre produit ainsi que la dose de chaque levain selon la recette de production de « Numidia ».

Et en deuxième lieu, les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques de la matière première et du produit fini sont discutés.

5.2. Ferments utilisés dans la fabrication du camembert au niveau de la laiterie « Numidia » et leurs effets sur la qualité du produit

Le camembert « Numidia » acquiert son aspect et ses qualités organoleptiques particulières (goût, odeur, couleur et consistance) grâce aux ferments industriels utilisés par l'unité qui sont soit ajoutés au lait lors de la fabrication du camembert ou inoculés en surface des camemberts à l'étape d'affinage.

Les effets de chaque ferment sur la qualité du produit fini sont décrits dans les lignes suivantes :

- ***Flora Danica (FD)***

La souche *FD* est une culture mésophile utilisée pour acidifier le lait et ajouter un goût complet au camembert ; ce ferment est utilisé aussi pour assurer une meilleure qualité hygiénique du produit contre les pathogènes alimentaires tels que *Listeria monocytogenes* et pour améliorer la conservation du produit fini grâce à leur concentration élevée en bactériocine.

- **ST-B01**

Le ferment ST-B01 est principalement utilisé dans la production des fromages stabilisés comme le camembert avec une faible acidification « post-acidification » et une production d'acide lactique modérée.

- **PC12**

Le ferment PC12 est une souche de *penicillium candidum* permettant d'obtenir une couverture mycélienne stable sur des caillés à pâte molle jusqu'à la date limite de consommation du fromage, pas de défaut de goût pendant la durée de vie du fromage : stabilité biochimique grâce à des activités enzymatiques faibles, blancheur et homogénéité de la croûte sur les faces.

- **PC SAM 3**

Il est particulièrement adapté pour lutter contre les pollutions par mucorales « Souche anti-mucor » ; il donne un aspect blanc et stable sous le papier d'emballage et assure la production d'arôme.

- **PC NEIGE**

Le PC Neige présente une couverture dense d'épaisseur plus grande par rapport au PC 12 et PC SAM3, ce ferment assure l'aromatisation du camembert et l'inhibition des contaminations.

- **GEO 17**

Apparence semblable à une moisissure, désacidification rapide par consommation de l'acide lactique en 24 - 48 heures grâce à l'implantation d'une flore sélectionnée facilement maîtrisable, l'activité enzymatique est faible par rapport au *P. candidum*, mais il a un rôle considérable sur l'arôme et le goût du fromage et améliore l'aspect final du fromage : protéolyse limitée (moins d'ammoniac).

La combinaison entre les ferment GEO 17 et les souches de *P. candidum* a des avantages sur la qualité du camembert

- Développement de la flore de surface plus rapide ;
- Meilleure protection contre les contaminants ;
- Croûte plus régulière et plus mince ;
- Meilleure stabilité de l'écorce pendant la durée de conservation ;
- Diminution de l'amertume et du défaut d'arôme (champignons, ammoniac ...).

Afin d'éviter tous problèmes liés au ralentissement de l'acidification du lait, à la formation de grumeaux, à la formation de mousse et à la mauvaise dispersion des ferments dans le lait. L'unité « Numidia » doit respecter les recommandations suivantes :

- Respecter l'utilisation de la température et la durée exacte d'incubation ;
- Ne pas verser le contenu du sachet d'un seul coup pour éviter la formation de grumeaux. ;
- Saupoudrer rapidement au-dessus du lait, en évitant la mousse ;
- Ensemencer les ferments dès que le fond de la cuve de fabrication est couvert de lait et réaliser une bonne agitation pour favoriser la dispersion des ferments dans le lait.

Les quantités et les doses d'ensemencement utilisées par l'unité «Numidia » dans la fabrication du camembert, en fonction de la technologie dirigée et les caractéristiques de produit recherchées, sont mentionnées dans le tableau 5.1 suivant :

Tableau 5.1: Quantités et doses d'ensemencement utilisées par l'unité «Numidia »

Type de ferments	Dose
Méso= <i>Flora Danica</i> (FD)	Un sachet de 500U pour 7000l du lait
Thermo=STBO1	Un sachet de 500U et demi pour une quantité du lait 7000l
PC 12	Deux souches de 20D pour 7000 l du lait
PC NEIGE	Une souche de 10D pour 7000 l du lait
PC SAM3	Une souche de 10D pour 7000 l du lait
GEO17	Une souche de 10D pour 7000 l du lait

Méso: Mésophile; **Thermo:** Thermophile; **PC:** penicillium; **GEO:** *Géotrichum*; **U:** unité; **D:** dose

5.3. Analyses physico-chimiques de la matière première et du produit fini

5.3.1. Analyses de la matière première

Tableau 5.2 : Résultats des analyses physico-chimiques du lait destiné pour la fabrication du Camembert

Parameters Echantillon	Acidité (°D)	Température (°C)	M.G (g/l)	Densité	E.S.T (g/l)	E.S.D (g/l)	ATB
1	16	7	28	1,033	120.34	93.34	abs
2	16	9	31	1,031	119.81	88.81	abs
3	17	7	29	1,033	122.74	93.74	abs
4	16	8	32	1,031	121,01	89,01	abs
5	17	7	32	1,032	123,65	91,65	abs
6	16	7	32	1,031	121,01	89,01	abs
7	16	6	32	1,032	123,68	91,68	abs
8	17	8	32	1,030	118,35	82,35	abs
9	16	7	32	1,031	121,01	89,01	abs
10	16	8	28	1,031	116,215	88,215	abs
Moyenne	16,3	7,4	30,8	1,0315	120,7815	89,6815	Abs

Les résultats illustrés dans ce tableau montrent que la teneur moyenne de l'acidité est de 16.3°D, celle de la densité est de 1.0315, celle de la matière grasse est de 30.7 g/l et celle de l'extrait sec total est de 120.78g/l. On constate que ces valeurs sont conformes aux normes AFNOR., 1985.

5.3.1.1. Acidité

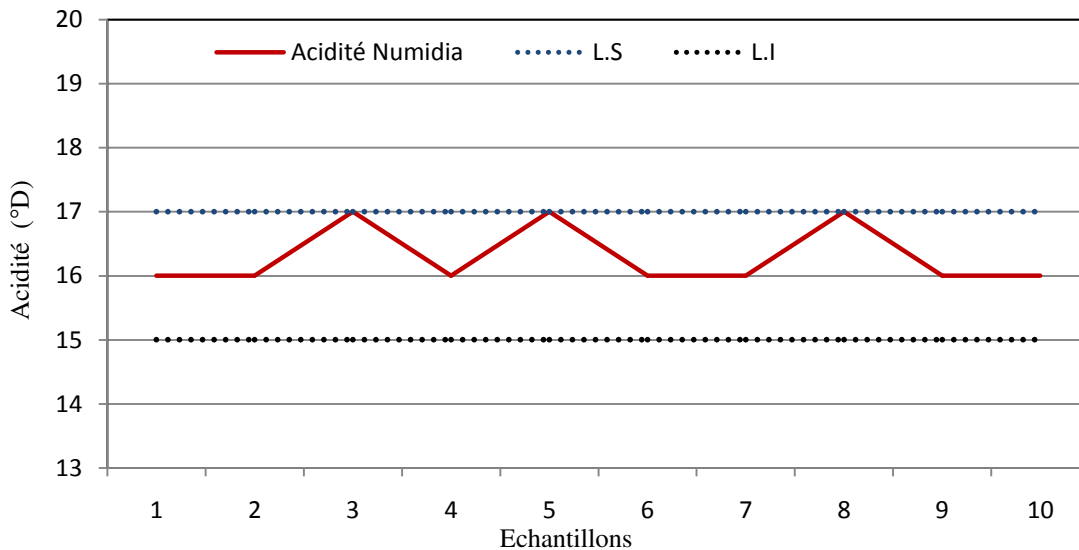


Figure 5.1: Variation de l'acidité

La courbe obtenue, est caractérisée par une valeur d'acidité presque stable selon les échantillons étudiés. Et la faible variation d'acidité enregistrée est limitée dans l'intervalle [15 - 17° D] avancé par l'AFNOR., 1985. Donc les valeurs de l'acidité de la matière première assurent la conformité du lait pour ce paramètre.

L'acidité dépend de la teneur en caséine et en sels minéraux, des conditions hygiéniques lors de la traite, de la flore microbienne totale et son activité métabolique et de la maturation du lait.

Le lait cru est légèrement acide car il contient des substances acides (caséines, groupes phosphates, acides organiques) et une acidité développée provoquée par l'acide lactique. Acidité augmente avec la formation lactique dans le temps, ce qui transforme une partie du lactose du lait en acide lactique.

5.3.1.2. Densité

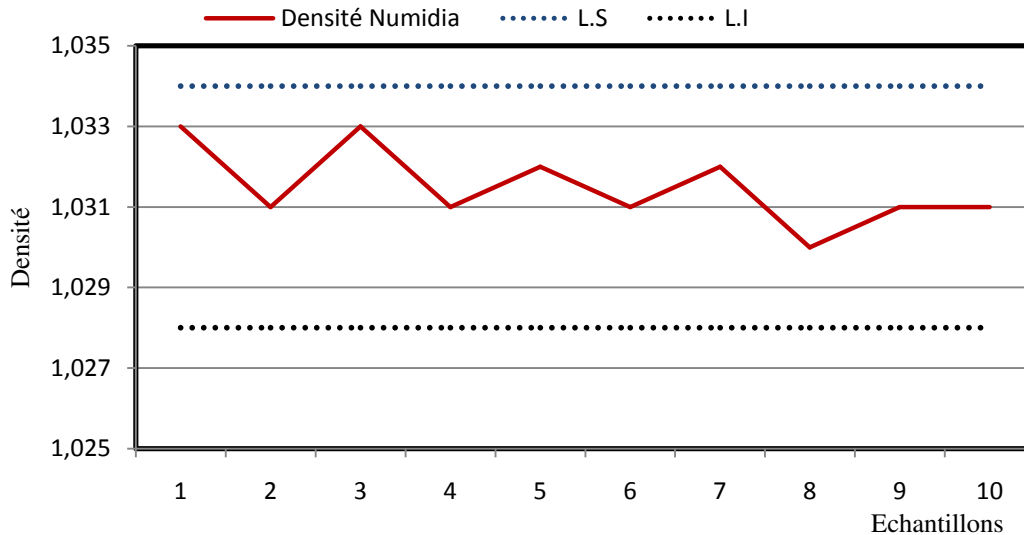


Figure 5.2: Variation de la densité

Les valeurs de la densité des échantillons faisant l’objet de cette étude sont comprises entre 1,028 et 1,034 avec une moyenne de 1,0315. Ces valeurs se situent dans l’intervalle mentionné dans les normes d’AFNOR., 1985.

D’après ce résultat et la courbe obtenue, nous constatons une petite variation de la densité qui nous montre que les échantillons étudiés sont bien sélectionnés pour la fabrication du camembert.

Les constituants du lait agissent sur la densité; de plus les solides non gras (SNG) ont tous une densité supérieure à 1. Par conséquent, plus la teneur en SNG est élevée plus la teneur du produit laitier le sera aussi ; plus un aliment contient un pourcentage élevé de matières grasses plus sa densité sera basse (Vignola, 2002).

La densité étant aussi en relation étroite avec la température, la valeur moyenne de températures enregistrées est de 7,4°C ; elle se situe dans l’intervalle de température de conservation qui doit être de [6 à 10°C].

La densité dépend de la teneur en matière sèche, en matière grasse, de l’augmentation de température et des disponibilités alimentaires.

5.3.1.3. Matière Grasse

Le principal agent formateur de la matière grasse dans la mamelle est l'acide gras acétique, qui est un acide gras volatil formé par la fermentation du rumen à partir de la cellulose, d'où l'intérêt d'utiliser des aliments ligneux riches en cellulose pour l'alimentation des bétails.

La teneur en matière grasse des échantillons varie entre 28 et 32 g/l avec une moyenne de 30,8 g/l.

D'après la moyenne que nous avons obtenue (30.8g/l), on peut dire que ce résultat est situé dans l'intervalle mentionné dans la norme AFNOR, 1985 entre [28 à 32 g/l].

La variabilité de la teneur en matière grasse dépend de facteurs, tels que les conditions climatiques, le stade de lactation et l'alimentation.

5.3.1.4. Extrait sec total et dégraissé

La mesure de la matière sèche permet de nous renseigner sur la composition du lait et elle est obtenue après évaporation de l'eau par chauffage.

Les valeurs de l'extrait sec total des échantillons variant entre 116,215 et 123,68 g/l avec une moyenne de 120,7815 g/l. Cette dernière est conforme aux normes. L'extrait sec dépend de facteurs climatiques et alimentaires.

La moyenne que nous avons obtenue pour l'extrait sec dégraissé est de 89, 6815 g/l et elle est conforme aux normes.

5.3.1.5. Test d'antibiotique

Nous remarquons que nos échantillons du lait de vache qui est destiné à la fabrication du camembert, sont tous caractérisés par une absence totale d'antibiotique, donc ce lait a une sélection bien affectée pour la fabrication du camembert.

La présence de résidu d'antibiotique présente des risques directs ou indirects pour le consommateur, il peut aussi être l'origine de l'inhibition totale ou partielle des phénomènes fermentaires d'origine bactérienne.

5.3.2. Analyses du produit fini

Tableau 5.3 : Résultats des analyses physico-chimiques du Camembert

Paramètres	M.G	Humidité	E.S.T	E.S.D
Echantillon	(g/l)	(%)	(%)	(%)
1	18	50,99	49,00	31,00
2	18	54,05	45,94	27,94
3	21	55,18	44,81	23,81
4	21	46,07	53,92	32,92
5	18	52,08	47,91	29,91
6	19,5	52,55	47,44	27,94
7	21	46,06	53,39	32,39
8	22,5	51,47	48,52	26,02
9	23	47,72	52,27	29,27
10	20,5	49,64	50,35	29,85
Moyenne	20,25	50,581	49,355	29,105

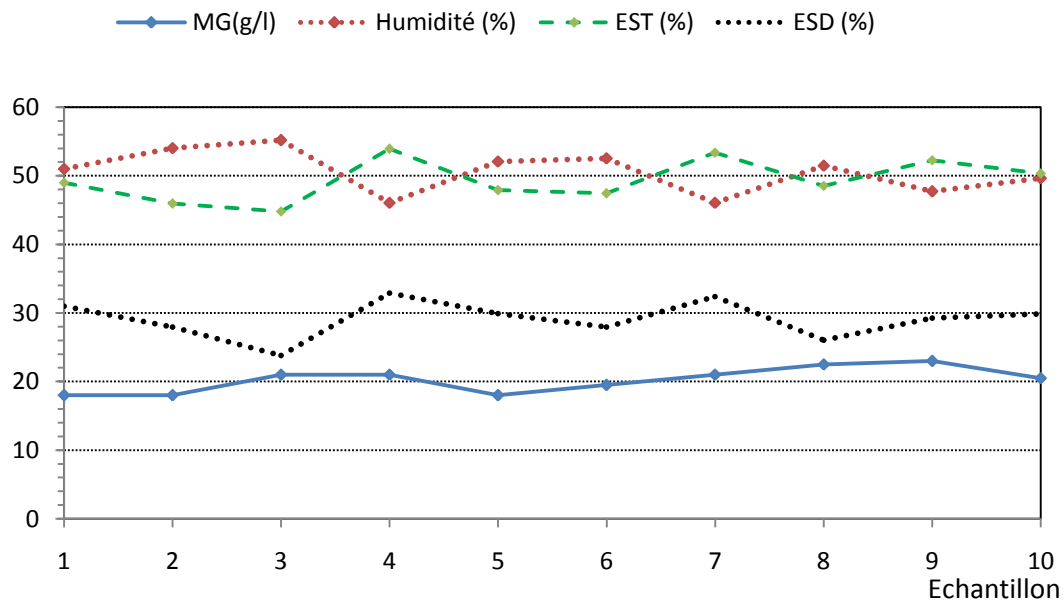


Figure 5.3: Variation de la matière grasse, de l'humidité, d'EST et d'ESD.

D'après la figure 5.3 on constate que :

- La teneur en matière grasse varie entre [18 - 22,5] g/l, avec une moyenne de 20.25g/l. Cette variation fait référence à la qualité de la matière première utilisée pour la fabrication du Camembert. Les valeurs de la matière grasse montrent que notre produit fini est donc de bonne qualité.
- Selon les normes, l'évolution d'humidité du camembert est caractérisée par une variation entre 46,06 et 55,18 %. On a une relation inversement proportionnelle entre l'humidité et l'extrait sec total.
- Au cours de la conservation, l'égouttage de l'eau du Camembert fait que la teneur en humidité varie aux différents stades de la maturation.
- Une légère fluctuation de l'extrait sec total de nos échantillons étudiés (entre 44,81 et 53,92 g/l, soit une moyenne de 49,355 g/l). Les écarts ne sont pas assez importants, ceci est à mettre en corrélation avec les pertes en poids des fromages.

5.4. Analyses microbiologiques du produit fini « camembert »

Les résultats des analyses microbiologiques des camemberts exprimés en germes/g sont présentés dans le tableau 5.4. Ils représentent la charge en différentes microflores recherchées et dénombrées dans les échantillons analysés.

Les germes recherchés et dénombrés dans notre travail sont considérés comme des indicateurs de la qualité globale du produit fini et des pratiques d'hygiène.

Les résultats obtenus ont permis d'évaluer la qualité microbiologique du produit fini après sa fabrication et avant sa distribution.

Le dénombrement des germes est effectué par la multiplication du nombre des germes par l'inverse de la dilution mère D^{-1} .

Tableau 5.4: Résultats des dénombrements microbiologiques des dix échantillons du camembert (germes /g).

Echantillon	Germes dénombrés et recherchés en germes /g			
	Cl.t	Cl.f	Staph	Sal
1	900	80	A	A
2	980	90	A	A
3	850	70	A	A
4	700	60	A	A
5	880	80	A	A
6	600	50	A	A
7	400	30	A	A
8	800	70	A	A
9	920	90	A	A
10	930	80	A	A
<i>Minimum</i>	400	30	A	A
<i>Maximum</i>	980	90	A	A
<i>Moyenne</i>	796	70	A	A
<i>Ecart-type</i>	180.26	18.85	A	A
<i>Normes (germe/g)</i>	< 90.000	< 90	A	A

Cl.t: Coliformes totaux ; **Cl.f:** coliformes fécaux ; **Staph:** Staphylocoques ; **Sal:** Salmonelles; **A:** Absence.

5.4.1. Coliformes totaux

Les échantillons du camembert analysés présentent une charge moyenne en coliformes totaux de 796 ± 180.26 germes/g, avec une valeur minimale de 400 germes/g et maximale de 980 germes/g (tableau 5.4). Ces résultats confirment une forte hétérogénéité entre les différents échantillons du camembert analysés (figure 5.4). En effet, selon les normes utilisées par l'unité « Numidia », ces seuils de contaminations en coliformes totaux ne dépassent pas la norme fixée à < 90.000 germes/g.

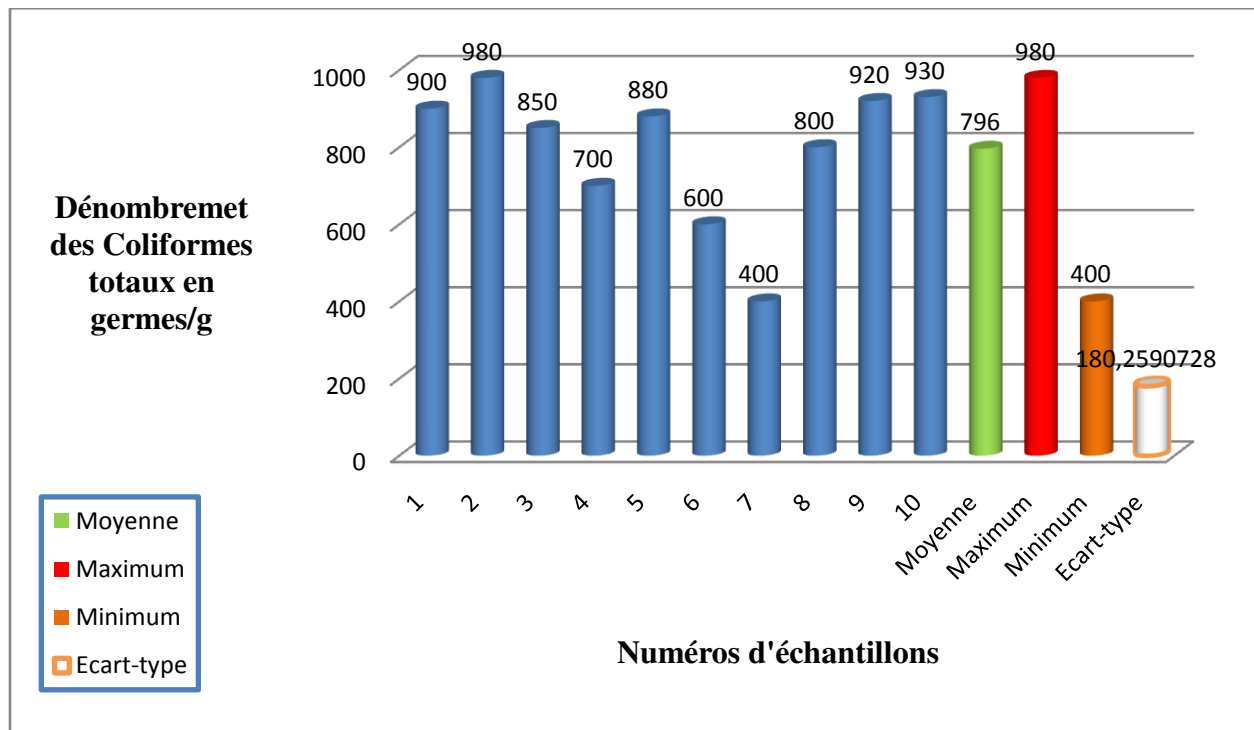


Figure 5 .4: Dénombrement des coliformes totaux sur milieu DCLA

Le degré de contamination du camembert par les coliformes totaux peut être lié aux conditions hygiéniques dans lesquelles s’effectuent la préparation et la manipulation du produit, leur nombre peut aussi indiquer qu’ils se sont multipliés après la pasteurisation du lait cru utilisé dans la fabrication du camembert ou lors d’un mauvais nettoyage dans les rinçures de machines laitières.

Une multiplication importante des germes peut se produire au cours de l’affinage. En effet, la contamination peut survenir pendant la fabrication, avant que les levains n’acidifient le milieu

(destruction des coliformes), et même après celle-ci, le Camembert n'est pas complètement assainit des coliformes.

5.4.2. Coliformes fécaux

Les dénombrements de ces germes présentent des résultats qui varient entre 30 germes /g comme valeur minimale et 90 germes/g comme valeur maximale, pour une moyenne de 70 ± 18.85 (tableau 5.4). L'écart type est important dénotant une forte hétérogénéité des résultats obtenus (figure 5.5). Les teneurs en Coliformes fécaux trouvés sont inférieures ou égales à celles mentionnées dans les normes <90 germes/g.

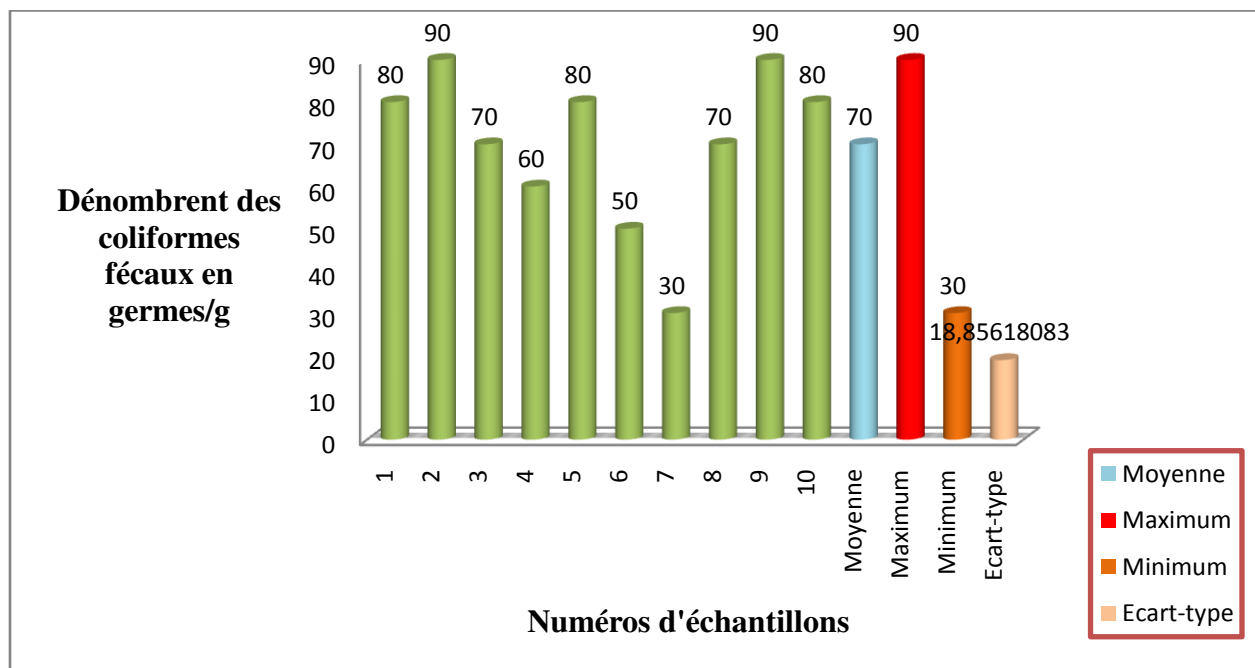


Figure 5.5. Dénombrement des coliformes fécaux sur milieu DCLA

La recherche des microorganismes indicateurs de la contamination d'origine fécale permet de juger l'état hygiénique d'un produit. Même à des niveaux faibles, ils témoigneraient de conditions hygiéniques dégradées lors la manipulation ou au cours de fabrication du camembert.

En fait, la présence des coliformes fécaux dans les camemberts peut avoir plusieurs origines, soit la matière première, soit le personnel et/ou le matériel de fabrication.

La matière première qui est le lait cru, peut être une source de contamination. Ceci indique que le lait a été collecté dans de très mauvaises conditions d'hygiène. Mais en sachant que la fromagerie procède à la pasteurisation (à 85°C / 5Sec) du lait cru avant son utilisation, donc cette source de contamination qui est le lait cru, n'est pas la vraie cause de présence des coliformes dans les fromages. La contamination peut être due donc à une mauvaise hygiène corporelle du personnel de la fromagerie, ou à un mauvais nettoyage du matériel de production.

Selon (**Larpent, 1990**), la présence des coliformes n'est pas obligatoirement une indication directe de la contamination fécale. Certains coliformes sont, en effet, présents dans les résidus humides rencontrés au niveau de l'équipement laitier.

5.4.3. *Staphylococcus aureus*

L'analyse microbiologique de ce groupe microbien pathogène n'a pas montré de contamination (tableau 5.4), l'absence totale de ces germes dans le camembert est la conséquence de l'utilisation de matières premières de qualité microbiologique satisfaisante et peut s'expliquer par le bon respect des règles d'hygiène générale durant les opérations de préparation du camembert.

5.4.4. Salmonelles

L'absence totale dans tous les échantillons du camembert répond aux normes, ce qui indique que notre camembert est de bonne qualité microbiologique, hygiénique et que les conditions au niveau de la chaîne de fabrication du camembert sont très bonnes.

Les résultats précédents confirment:

- La bonne qualité microbiologique et hygiénique de lait utilisé dans la fabrication du camembert ;
- Le traitement thermique efficace ;
- La technologie rigoureuse de la préparation.

Nous constatons que le produit « Numidia » analysé ne présente aucun risque pour la santé du consommateur car il ne contient aucune bactérie pathogène responsable d'intoxication. Ces résultats indiquent que les échantillons du camembert « Numidia » sont de très bonne qualité du point de vue microbiologique.

5.5. Conclusion

Dans notre travail, nous avons suivi le procédé de fabrication du fromage à pâte molle type camembert à la laiterie « Numidia » en nous intéressant particulièrement aux effets des ferments industriels sur la qualité de notre produit ainsi que la dose de chaque ferment (*Flora Danica*, ST-B01, PC 12, PCSAM3, PC Neige et Géo 17) selon la recette de cette laiterie.

Les échantillons de lait cru de vache destiné à la fabrication d'un fromage type Camembert et de produit fini « camembert » ont été analysés pour évaluer leurs caractéristiques physico-chimiques.

Les résultats des caractéristiques physico-chimiques (acidité, densité, matière grasse et EST) du lait cru donnent des valeurs moyennes respectives de 16.3°D, 1.0315 g/l, 30.7 g/l et de 120g/l. lesquelles sont conformes aux normes d'AFNOR, 1980.

Les résultats d'analyse physico-chimiques du produit fini « camembert » des paramètres, matière grasse, humidité, EST et ESD avec des moyennes respectives (20.28g/l, 50.57%, 49.35% et 29.10%) montrent que notre produit fini est de bonne qualité selon les normes précisées par l'unité.

L'analyse microbiologique a porté sur 4 groupes microbiens : parmi les groupes indicateurs d'hygiène (coliformes totaux et coliformes fécaux) et certains groupes potentiellement pathogènes (*Staphylococcus aureus*, salmonelles). Les niveaux de contamination ont été interprétés sur la base des critères microbiologiques précisées par l'unité « Numidia ». Le dénombrement des coliformes totaux et fécaux permet de souligner la faible contamination des échantillons analysés avec des moyennes respectives de 796 ± 180.26 germes/g et 70 ± 18.85 germes/g. Par ailleurs, on relève l'absence de *Staphylococcus aureus* et salmonelles dans tous les échantillons.

Au vu des normes internes de l'unité, le camembert « Numidia » analysé ne présente aucun risque pour la santé du consommateur car il ne contient aucune bactérie pathogène responsable d'intoxication donc le produit est de très bonne qualité du point de vue microbiologique.

Conclusion générale

Dans ce travail nous nous sommes intéressées à un aliment essentiel qui est le camembert lequel s'inscrit parmi les meilleures sources alimentaires de protéines ayant une digestibilité élevée. De plus, la haute valeur biologique de ses protéines lui est conférée tant par leur composition équilibrée en acides aminés, que par leur propriété de former une pâte fromagère très appréciée par les consommateurs dans de nombreuses régions du monde.

Notre étude montre que la recette de fabrication du camembert, à base de lait de vache appliquée par l'unité « *Numidia* », est fiable et que les ferments industriels et leurs doses sont appropriés donnant ainsi au produit sa notoriété.

Au cours de notre travail, nous avons réalisé des analyses physico-chimiques (acidité, densité, matière grasse, EST, ESD) du lait cru destiné à la fabrication du camembert et du produit fini « camembert » pour connaître leurs caractéristiques, ainsi que les analyses microbiologiques du camembert (dénombrement de coliformes totaux et fécaux absence.. ...) du produit fini « camembert » pour évaluer leur qualité hygiénique, sanitaire et microbiologique.

A la suite des différentes analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons du lait cru, nous avons obtenu des résultats conformes aux normes d'AFNOR. 1985, donc le lait cru utilisé dans la fabrication du camembert au niveau de l'unité est de bonne qualité et sur les échantillons du produit fini « camembert » nous avons obtenu des résultats conformes aux normes précisées par l'unité « *Numidia* ».

A la suite des différentes analyses microbiologiques effectuées sur les échantillons du camembert, les résultats obtenus montrent une charge moyenne en coliformes totaux de 796 ± 180.26 germes/g, une charge moyenne en coliformes fécaux de 70 ± 18.85 germes/g et une absence totale des germes *Staphylococcus aureus* et des salmonelles. La comparaison de ces résultats aux normes précisées par l'unité « *Numidia* », nous permet de conclure que le camembert « *Numidia* » est de qualité hygiénique, sanitaire et microbiologique acceptable et qu'il est de bonne qualité nutritionnelle.

Ces observations ouvrent des perspectives futures :

- Comparer nos résultats sur la qualité physico-chimique et microbiologique du Camembert « *Numidia* » avec d'autres résultats d'un autre produit.
- Comparer nos résultats des effets des ferments industriels utilisés par « *Numidia* » sur la qualité du camembert avec ceux d'un camembert fabriqués par d'autres ferments industriels.

-Liste des références bibliographiques-

Abdoune O. (2003). Qualité du fromage à pâte molle type Camembert fabriqué à la laiterie

Draa ben khedda : nature de la matière première et évaluation de l'activité protéolytique au cours de l'affinage et de l'entreposage réfrigéré du fromage. Mémoire de magister en science alimentaire, Constantine. 88 p.

Adrian .et Lepen B. (1987). La science alimentaire de A à Z ,2ème édition, Tec et Doc, Lavoisier, 79 : 477 p.

AFNOR. (1985). Contrôle de la qualité des produits laitiers –Analyses physiques et chimiques, 3ème édition.

Alais C. (1975). Sciences du lait. Principes des techniques laitières. Edition Sepaic, Paris.

Alais C. et Linden G. (1997). Abrégé de biochimie alimentaire.4ème édition. Masson. 248p.

Anonyme (1995). FOA. Organisation des nations unies pour alimentation et l'agriculture, catalogage avant publication de la bibliothèque Davide Lubin, Italie. 179-186 p.

Amiot J., Fournier F., Lebeuf Y., Paquin P.et Simpson R. (2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et technique d'analyse du lait.

Dans : Science et technologie du lait : transformation du lait. Presses internationales Polytechnique, Montréal. 1-7 p.

Badis A., Laouabdia-Sellami N., Guetarni D., Kihal M. et Ouzrout R. (2005).

Caractérisation phénotypique des bactéries lactiques isolées à partir de lait cru de chèvre de deux populations caprines locales « Arabia et Kabyle ». Sci. Technol. 23: 30-37p.

Berger C., Khan J.A., Molimard P., Martin N.et Spinnler H.E. (1999). Production of sulfur flavors by ten strains of *Geotrichum candidum*. Appl Environ Microbiol, 65 : 5510-5514p.

Bertrand F. (1988). Le fromage grand œuvre des microbes. Revue générale de froid, 78,519-527p.

Beuvier E. et Feutry F. (2005). Quelques bases sur la microbiologie du lait et du fromage. Unité de Recherches en Technologie et Analyses laitières.

Bockelmann W., Portius S., Lick S. & Heller K. J. (1999). Sporulation of *Penicillium camemberti* in submerged batch culture. *Systematic and Applied Microbiology*. 22, 479-485p.

Brûlé G., Lenoir J et Remeuf F. (2009). La micelle de caséine et la coagulation du lait. In: Eck A, Gillis JC, editors. *Le fromage*. 3rd ed. Paris, France: Lavoisier Tec & Doc. 7-41p.

C**hamba J. F. et Irlinger F. (2004).** Secondary and adjunct cultures. In *Cheese, Chemistry, Physics and Microbiology, Vol. 1 General Aspects*, P. F. Fox, P. McSweeney, T. M. Cogan, and T. P. Guinee, 191-206p. London, UK : Elsevier Academic Press Inc.

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

Codex Alimentarius. (2010). Norme Codex pour le Camembert (codex Stan 2831978) [Enligne]. [URL:www.codexalimentarius.org/input/download/standards/218/CXS_276f.pdf](http://www.codexalimentarius.org/input/download/standards/218/CXS_276f.pdf).

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) : 219-228p.

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

D**ezmazaud M.J. (1982).** Les bactéries lactiques ; recherche et application industrielle en agro-alimentaire. Colloque APRIA du 12-13 septembre 1992, Caen, France.

E**ck A. (1990).** *Le Fromage* 3eme Edition, Techniques et Documentation, Lavoisier, Paris.

Eck A. (1975). *Le lait et l'industrie laitière*. Imprimerie des presses universitaires de France Vendôme. 127 p.

Eck A. et Gillis J.C. (2006). *Le fromage*. 3ème Edition : Tec et Doc, Lavoisier. Paris. 891p.

Farkye N.Y. (1999). Cheese Microbiology of cheese-making and maturation. Dans: Robinson, R.K. (Ed. -en chef), Encyclopedia of Food Microbiology. Elsevier, Oxford, UK. 381-387p.

Fleet G. H. (1999). Microorganisms in food ecosystems. International Journal of Food Microbiology 50, 101-117p.

Fox P. F., Guinee, T. P., Cogan T. M. & McSweeney P. L. H. (2000). Microbiology of cheese ripening. In Fundamentals of cheese science, 206-232p. Aspen Publisher, Inc., Gaithersburg, Maryland.

Goursaud J. (1985). Composition et propriétés physico-chimiques. Dans Laits et produits laitiers vache, brebis, chèvre. Tome 1 : Les laits de la mamelle à la laitière. Luquet F.M. Edition Tec et Doc Lavoisier, Paris.

Guegen L. (1979). Cach. Nutr. Diét. 14, 213-217p.

Guinee T.P. (2004). Salting and the role of salt in cheese. Int J Dairy Technol 57: 99-109p.

Guinee T.P. and Fox P.F. (2004). Salt in Cheese: Physical, Chemical and Biological Aspects. In: Fox PF, McSweeney PL, Cogan TM, Guinee TP, editors. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. 3rd ed. 207-259p.

Guinee T.P. and Sutherland B.J. (2011). Cheese | Salting of Cheese. In: Editor-in-Chief: John WF, editor. Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition). San Diego: Academic Press. 595-606p.

Institut de l'élevage. (2009). Traite des vaches laitières. Matériel. Installation. Entretien. 1ere Edition France Agricole. Produire mieux. 55-506p.

Jeanet R., Croguennec T., Schuck P. et Brule G. (2007). Science des aliments.

Technologie des produits alimentaires. Edit Tech.Doc. Lavoisier (Paris). Tome 2, 7, 50-51p.

J.O.R.A.N°35. (1998). Critères microbiologiques des laits et des produits laitiers.

König H. and Fröhlich J. (2009). Biology of microorganisms on grapes, in must and in wine. Springer- Verlag. Berlin. Heidelberg, 18-20p.

Larpent JP. (1997). Microbiologie alimentaire, technique de laboratoire.464p.

Lawrence R.C., Creamer L.K. et Gilles J. (1987). Texture development during cheese ripening. J Dairy Sci 70 : 1748-1760p.

Leclercq-Perlat, M.N., Buono, F., Lambert, D., Latrille, E., Spinnler, H.E. et Corrieu, G. (2004). Controlled production of Camembert-type cheeses. Part 1: Microbiological and physicochemical evolutions. J. Dairy Sci. 71(3) : 346-354p.

Leclercq-Perlat M.N., Picque D., Riahi H. et Corrieu G. (2006). Microbiological and biochemical aspects of Camembert-type cheeses depend on atmospheric composition in the ripening chamber. J. Dairy Sci. 89(8): 3260-3273p.

Lenoir J. (1983). The surface microflora and their actions during cheese ripening. International Dairy Federation. Bull. FIL-IDF 171: 3-19p.

Lenoir J., Lamberet G. & Schmidt J. L. (1983). L'élaboration d'un fromage : l'exemple du Camembert. Pour la Science, 69, 30-42p.

Mahieu H. (1985). Modification du lait après récolte. Dans : Lait et produits laitiers.

Vaches, brebis, chèvres. Luquet F.M tome 1. Tech. & Doc., Coll. STAA, Lavoisier, Paris.

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

Meyer C. et Denis J.P (1999). Elevage de la vache laitière en zone tropicale. Edition Quae, CTA, presses agronomiques de Gembloux.

Mietton B. (1995). Incidence de la composition des fromages au démoulage et des paramètres d'environnement sur l'activité des agents de l'affinage. Revue des ENIL, 189, 19-27p.

Ministère de la Justice. (2012). Règlement sur les aliments et drogues [En ligne]. URL : http://lawslois.justice.gc.ca/fra/reglements/C.R.C.,_ch._870/ (Dernier accès le 30 août 2012).

Mounier J., Gelsomino R., Goerges S., Vancanneyt M., Vandemeulebroecke K., Hoste B., Scherer S., Swings J., Fitzgerald G. F. et Cogan T. M. (2005). Surface microflora of four smearripened cheeses. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(11): 6489-6500p.

Neelakanten J., Shahani K.M. et Arnold R.G. (1971). Lipases and flavor development in some italian cheese varieties. *Food Production Development*, 5, 52-58p.

Ould Mustapha A., N'diyae, D. et Ould Kory B. (2012). Etude de la qualité du lait pasteurisé des industries laitières situées à Nouakcote (Mauritanie) *Sciences du vivant Biologie*. Editions Mersenne : Volume 4 N 0120804 ISSN 2111 – 4706p.

Parente E. et Cogan T. M. (2004). Starter cultures: general aspects. In : Fox, P. F., McSweeney P. L. H., Cogan T.M. et Guinee, T. P. (Eds.), *Cheese : Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. I. Chapman and Hall, London, 123-148p.

Parente E. et Cogan T. M. (2004). Starter cultures: general aspects. In *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, pp. 123-148. Edited by P. F. Fox, P. L. H. Mc Sweeney, T. M. Cogan & T. P. Guinee. London: Elsevier.

Pringsulaka O., Thongnam N., Suwannasai N., Atthakor W., Pothivejkul K. et Rangsiruji A. (2011). Partial characterization of bacteriocin produced by lactic acid bacteria isolated from Thai fermented meat and fish products. *Food. Control* : 23 : 547-551p.

Pougheon S. (2001) : Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses Conséquences en technologie laitière. Thèse doctorat d'état en médecine vétérinaire, université Paul Sabatier de Toulouse, France.

Ramet J. P. (1985). La fromagerie et les variétés de fromages du bassin méditerranéen. Collection FAO Alimentation et nutrition n°48.

Ramet J. P. (1997). Les agents de la transformation du lait. P.p. 165 – 174. In : ECK A., Gillis J.C. *Le fromage : de la science à l'assurance qualité*. Ed. : 3. Techniques et Documentation – Lavoisier, Paris, 891 p.

Ramet J.P. (1985). La fromagerie et les variétés du bassin méditerrané. 187 p.

Rattray, F. P. & Fox P. F. (1999). Aspects of enzymology and biochemical properties of *Brevibacterium linens* relevant to cheese ripening: a review. *Journal of Dairy Science* 82, 891-909p.

Razafindrajaona J.M. Cours industrie laitière. Analyses microbiologiques des aliments. Département IAA de l'ESSA. Université d'Antananarivo.106p.

Remeuf F., Cossi N., Dervi N. et Tomasson R. (1991). Relation entre les paramètres physico-chimiques du lait et son aptitude fromagère. Tec et Doc Lavoisier, Paris. 549p.

Richard J. et Zadi H. (1983). Dominant bacterial-flora of camembert cheese made from raw-milk. *Lait*, 63(623-):25-42p.

Ryser E.T. et Marth E.H. (1987). Behavior of *Listeria monocytogenes* during the manufacture and ripening of Cheddar cheese. *Journal of Food Protection*. 50, 7-13p.

Salminen S., Wright A.V. et Ouwwehand A. (2004). Lactic acid bacteria. Microbiological and functional aspects. Marcel. Dekker. Inc., U.S.A.

Sousa M.J. (2003). Cheeses | Surface mold-ripened cheese varieties. Dans: Caballero, B. (Ed.-en-chef), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2ème éd. Elsevier, Oxford, UK. 1122-1129p.

Stiles M.E. et Holzapfel W.H. (1997). Review article Lactic acid bacteria of foods and their current taxonomy. *Int. J. Food Microbiol.* 36: 1-29p.

ST – Gelais, D., Tirard – Collet P. (2002). Chapitre 6 : Fromage. Dans : Vignola, C.L. (Ed.), *Science et technologie du lait - Transformation du lait*. Presses internationales Polytechnique, Montréal, Canada, 349-416p.

Stoll W. (2003). Vaches laitières: l'alimentation influence la composition du lait. *RAP Agri*. N° 15/2003, vol. 9, Suisse.

Toureau V., Bagieu V. et 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.

Vignola C. (2002). Science et Technologie du Lait Transformation du Lait. Edition Presses Internationales Polytechnique, Canada. 3-75p.

Veisseyre R. (1979). Technologie du lait constitution, récolte, traitement et transformation du lait. 3^{ème} édition. Edition la maison rustique, Paris.

Wolter R. (1988) Alimentation de la vache laitière. 3^{ème} édition. Editions France Agricole. Paris.

Yildiz F. (2010). Developpement and manufacture of yougurt and other dairy products, CRC Press Taylor &Francis Group, USA, 435p.

-Liste des sites électroniques-

[1] : http://www.fastonline.org/CD3WD_40/LSTOCK/001/LSPrdts/GR19/B139_3.HTM

[2] : <http://www.fidocl.fr/content/composition-du-lait>

[3] : <http://www.azaquar.com/doc/composition-physico-chimie-et-microbiologie-du-lait>

[4] : http://veritable.camembert.free.fr/pages/Lait_cru_microorganismes.htm

[5] : <http://lemondeetnous.cafe-sciences.org/2009/06/le-lait-a-la-loupe/>

[6] : https://www.gastronomiac.com/fabrication_fromag_/pate-fraiche/

[7] : <https://www.quizz.biz/quizz-143132.html>

[8] : <https://www.produits-laitiers.com/le-circuit-de-fabrication-du-fromage/>

[9] : <http://www.fao.org>

[10] : <http://www.maison-du-lait.com>

[11] : <https://www.agroscope.admin.ch>

[12] : <https://projetcapalouest.files.wordpress.com/2013/08/pasteurisation-du-lait.jpg>

[13] : <https://www.youlab.fr>

[14] : <https://fr.wikipedia.org>

[15] : <http://www.tome-des-bauges.com/decaillage-et-brassage.html>

[16] : <http://thelmasamuel2.wixsite.com>

[17] : <http://scrat.hellocoton.fr/img/classic/materiel-de-fromagerie-pour-fabriquer-le-fromage-2528478.jpg>

[18] : http://s3.e-monsite.com/2011/03/01/04/resize_250_250//bain-saumure.jpg

[19] : <http://www.mavallee.com>

[20] : <http://www.keldelice.com/gastronomie/articles/camembert-de-normandie-fromage-a-pate-molle-et-croute-fleurie-aoc-aop>

[21] : http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/alimentation/jpg/14163_121_cle899fc6.jpg

[22]: <http://www.guide-des-aliments.com/dietetique/Information/Micro-organismes/CE-Fermentation-Fromages.html>

Annexe n° : 01

Composition des milieux de culture

➤ **Gélose de CHAPMAN**

-Composition :

- Tryptone.....5,0 g
- Peptone pepsique de viande5,0 g
- Extrait de viande1,0 g
- Mannitol10,0 g
- Chlorure de sodium75,0 g
- Rouge de phénol25,0 mg
- Agar agar bactériologique.....15,0 g
- PH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,4 ± 0,2.

Préparation

➤ **Salmonella Shigella Agar « SS »**

- Composition :

- Extrait de bœuf5,0 g.
- Digestion pancréatique de caséine.....2,5g.
- Digestion peptique de tissu animal.....2,5g.
- Lactose..... 10,0g.
- Sels biliaires.....8,5g.
- Citrate de sodium8,5g.
- Thiosulphate de sodium.....8,5g.
- Citrate ferrique.....1,0g.
- Rouge neutre.....0,025g.
- Gélose13,5g.
- Vert brillant.....0,330 mg.
- PH de 7,2 ± 0,2

➤ **Gélose lactosée au désoxycholate « DCLA »**

- Composition :

- Peptone pepsique de viande10,00 g
- Lactose10,00 g
- Désoxycholate de sodium.....0,50 g

- Chlorure de sodium.....5,00 g
- Citrate de sodium.....2,00 g
- Rouge neutre0,03 g
- Agar agar bactériologique.....15,00 g

PH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,1 ± 0,2.

➤ **Bouillon SFB (sélénite- cystéine)**

Composition :

- Peptone 5g
- Phosphate de sodium..... 10 g
- Lactose 4 g

➤ **Milieu Giolitti et Cantoni**

-Composition :

- Tryptone.....10g
- Extrait de viande..... 5g
- Extrait de levure..... 5g
- Chlorure de lithium5g
- Mannitol20g
- Chlorure de sodium5g
- Glycine..... 1, 2g
- Pyruvate de sodium..... 3g

-PH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 6 .9 ± 0,2.

➤ **Diluant : Eau peptonée tamponnée « ETP »**

-Composition :

- Peptone de caséine10,00g
- Chlorure de sodium5,00g
- Phosphate de sodium, dibasique, 12 g
- H2O.....9,00 g
- Phosphate de potassium, dibasique1, 50 g

-PH final à 25°C : 7,0 ± 0,2

-Résumé-

Dans notre travail, nous avons suivi le procédé de fabrication du fromage à pâte molle type camembert à la laiterie « *Numidia* », en nous intéressant à des résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques et particulièrement aux effets des ferments industriels sur la qualité de notre produit.

Les résultats des analyses physico-chimiques du lait et du « camembert » montrent que notre produit fini est de bonne qualité selon les normes exigées.

Les analyses microbiologiques du Camembert « *Numidia* » indiquent que ce produit ne présente aucun risque pour la santé du consommateur car il ne contient aucune bactérie pathogène responsable d'intoxication, donc le produit est de très bonne qualité du point de vue microbiologique.

On conclut que le camembert « *Numidia* » est de qualité hygiénique, sanitaire et microbiologique de valeur et qu'il est de bonne qualité nutritionnelle, donnant ainsi au produit sa côte sur le marché.

Mots-clés: Lait cru, pâte molle, camembert, ferments, analyses physico-chimiques, analyses microbiologiques.

-Abstract-

In our work, we followed the process of manufacturing soft cheese type Camembert in the dairy "*Numidia*" by focusing on the results of physico-chemical and microbiological analyzes and particularly the effects of industrial ferments on the quality of our product.

The result of the physicochemical analyzes of milk and "camembert" show that our finished product is of good quality according to the required standards.

The microbiological analyzes of the Camembert "*Numidia*" indicate that this product does not pose any risk to the health of the consumer because it contains no pathogenic bacteria responsible for poisoning, therefore the product is of very good quality from the microbiological point of view.

It is concluded that the "*Numidia*" Camembert is of high hygienic, sanitary and microbiological quality and is of good nutritional quality, thus giving the product its edge on the market.

Keyword: Raw milk, soft dough, camembert, ferments, physic-chemical analyzes, microbiological analyzes.

-ملخص-

خلال عملنا، لقد تابعنا عملية صنع الجبن من نوع كاممبير في مصنع الألبان "نوميديا"، مركزين على النتائج الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية وبصفة خاصة على عمل تأثير الإنزيمات الصناعية على نوعية منتجنا. نتائج التحاليل الفيزيائية الكيميائية للحليب و "الكاممبير" تبين أن منتجنا النهائي ذو نوعية جيدة وفقا للمعايير المطلوبة.

التحاليل الميكروبيولوجية للكاممبير "نوميديا" تشير إلى أن هذا المنتج لا يشكل أي خطر على صحة المستهلك لأنه لا يحتوي على البكتيريا الممرضة المسؤولة عن التسمم، وبالتالي فإن المنتج ذو نوعية جيدة نظرا للتحاليل الميكروبيولوجية.

نستنتج من ذلك أن الكاممبير "نوميديا" ذو نوعية قيمة، في جانب الصحة والميكروبيولوجيا و أنه ذو نوعية غذائية جيدة، وهذا كله يعطي المنتج مكانة في السوق.

كلمات البحث : الحليب الخام، العجين لينة، كاممبرت، التخمير، التحليلات الفيزيائية والكيميائية، والتحليلات الميكروبيولوجية

Noms et Prénoms : BENLOUCIF Radia OULMI Amal	Date de soutenance : 12 /09/2017
<p align="center">Thème : Etude du procédé de production du fromage du type camembert : Effet de la nature des microorganismes sur la qualité du produit.</p>	
<p>Résumé :</p> <p>Dans notre travail, nous avons suivi le procédé de fabrication du fromage à pâte molle type camembert à la laiterie « <i>Numidia</i> », en nous intéressant à des résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques et particulièrement aux effets des ferments industriels sur la qualité de notre produit.</p> <p>Les résultats des analyses physico-chimiques du lait et du « <i>camembert</i> » montrent que notre produit fini est de bonne qualité selon les normes exigées.</p> <p>Les analyses microbiologiques du Camembert « <i>Numidia</i> » indiquent que ce produit ne présente aucun risque pour la santé du consommateur car il ne contient aucune bactérie pathogène responsable d'intoxication, donc le produit est de très bonne qualité du point de vue microbiologique.</p> <p>On conclut que le camembert « <i>Numidia</i> » est de qualité hygiénique, sanitaire et microbiologique de valeur et qu'il est de bonne qualité nutritionnelle, donnant ainsi au produit sa côte sur le marché.</p>	
<p>Mot-clés : Lait cru, pâte molle, camembert, ferments, analyses physico-chimiques, analyses microbiologiques.</p>	
<p>Laboratoires : Laboratoire d'Autocontrôle, d'Analyse et de Contrôle de la Qualité Microbiologique et Physico-chimique « <i>Numidia</i> ». Laboratoire de Mycologie, de Biotechnologie et de l'Activité Microbienne (LamyBAM)</p>	
<p>Président de jury: Mr. KACEM CHAUCHE N Rapporteur : Mme. CHAOURFA F. Examinatrice: Mme. GHORRI S. Responsable de stage: Mr. FIAD F.</p>	<p>Prof. Univ. Constantine 1. Dr. Univ. Constantine 1. Dr. Univ. Constantine 1. Ing. I.N.A.T.A.A., UMC.</p>