

**République Algérienne Démocratiques et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou**  
**Faculté des Sciences Biologique et des Sciences Agronomiques**  
**Département de Biologie**



**Mémoire de fin d'étude**

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

**Spécialité : Biochimie de la Nutrition**

*Thème*

**Affinage du Fromage Industriel à  
Pâte molle type Camembert obtenu à  
partir de lait de vache**

**Présentée par : LOUNES Mounia**

**Devant les jurys :**

Présidente : M<sup>me</sup> Zennia -Siahmed S.

Examinatrice : M<sup>me</sup> Senoussi-Ghezali CH.

Promoteur : M<sup>f</sup> Sebbane H.

**2023-2024**

# **Remerciement**

*Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la force, la patience et le courage d'achever ce modeste travail.*

*Tout d'abord, je souhaite remercier chaleureusement mon promoteur Mr Sebbane. H pour son accompagnement précieux, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce travail.*

*Je remercie également les membres du jury Mme Zennia -Siahmed S.Mme Senoussi-Ghezali CH, pour leur disponibilité.*

*Je suis profondément reconnaissante envers mes enseignants et mes professeurs, dont l'enseignement et les encouragements ont constitué une base solide pour ce travail.*

*Je souhaite également exprimer ma gratitude envers le personnel de l'industrie fromagère LE FERMIER de DBK pour leur contribution et leur aide dans la collecte des données nécessaires à ce mémoire. Leur collaboration a été essentielle à la réalisation de cette recherche.*

*Un grand merci à mes parents, à ma famille et à mes amis pour leur soutien inconditionnel, leurs encouragements et leur présence ont été un véritable soutien moral et une source de motivation constante.*

*Je tiens à exprimer ma sincère gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, et ont fait partie de cette aventure académique. Leur aide et leur soutien ont été inestimables.*

*À tous, je vous adresse mes plus sincères remerciements.*

**Mounia**

## *Dédicaces*

*Mes parents : À mes merveilleux parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien infaillible et leurs encouragements constants. Sans vous, je ne serais pas là où je suis aujourd'hui. Ce mémoire vous est dédié avec toute ma gratitude.*

*Ma famille : À ma famille, pour chaque instant de bonheur, de patience et de sacrifice. Merci de croire en moi même quand je doutais de moi-même. Ce succès est aussi le vôtre.*

*Mes frères et sœurs : À mes frères et sœurs, pour avoir toujours été là, dans les moments de joie comme dans ceux de doute. Votre soutien m'a été essentiel et je vous en suis infiniment reconnaissante.*

*Mes amis proches : À mes amis les plus proches, Zahra, Nadjia, Rabah, Farid, Idir, Zamari Samy, Oumaouche Assalas, pour votre amitié sincère et votre soutien indéfectible. Vous avez su apporter de la lumière dans les moments les plus sombres. Je vous en suis éternellement reconnaissante.*

*Ma meilleure amie : À ma meilleure amie, Numidia, pour ta présence constante et ton écoute. Tu m'as soutenue à travers les défis et les moments de doute. Merci de toujours être là pour moi.*

## ***Résumé***

Le camembert occupe une position particulière dans le domaine de la production fromagère en raison de son goût et de sa méthode de production. L'affinage est l'une des étapes les plus complexes de la fabrication du camembert, en raison de la diversité de la composition du substrat et des interactions entre des phénomènes de diverses natures, qu'ils soient physiques, chimiques ou microbiens.

L'objectif de cette étude est de surveiller l'évolution des paramètres physico-chimiques et microbiologique pendant l'affinage du fromage à pâte molle type camembert.

À cet effet, des analyses physico-chimiques et des analyses microbiologiques ont été effectuées sur le lait pasteurisé de la production ainsi que du produit fini pendant plusieurs stades d'affinage.

Les résultats obtenus ont montré que les valeurs telles qu'EST, ESD, MG évoluent au cours de la maturation ce qu'explique la concentration des composants du caillé, en parallèle l'humidité de caillée diminue, cette diminution en effet est dû à la fixation de l'eau durant l'hydrolyse des composants de caillé ainsi aux échanges entre l'atmosphère du hâloir et la pâte. Les résultats microbiologiques ont montré le rôle de l'acidité sur l'inhibition du développement des micro-organismes pathogènes.

**Mots clés :** lait, fromage, camembert, affinage.

## ***Abstract***

*Camembert occupies a special position in cheese production due to its taste and production method. Ripening is one of the most complex stages in Camembert production, due to the diversity of the substrate composition and the interactions between various physical, chemical and microbial phenomena.*

*The aim of this study is to monitor changes in physico-chemical and microbiological parameters during the ripening of Camembert-type soft cheese.*

*To this end, physico-chemical and microbiological analyses were carried out on pasteurized milk from production and on the finished product during several stages of ripening.*

*The results obtained showed that values such as EST, ESD, MG evolve during ripening, which is explained by the concentration of curd components. At the same time, curd moisture decreases, this decrease being due to the fixation of water during hydrolysis of curd components, as well as to exchanges between the atmosphere of the hâloir and the paste. Microbiological results showed the role of acidity in inhibiting the development of pathogenic micro-organisms.*

*Key words: milk, cheese, camembert, ripening.*

# *Sommaire*

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des abréviations**

**Introduction**

## **I : Synthèse des données bibliographiques**

1.1. Lait.....	03
1.1.1. Définition du lait.....	03
1.1.2. Composition.....	03
1.1.2.7.2.3. Mécanisme de coagulation des caséines du lait.....	08
1.1.2.7.2.3.1. Coagulation par acidification.....	08
1.1.2.7.2.3.2. Coagulation enzymatique.....	08
1.1.2.7.2.3.3. Coagulation mixte.....	09
1.1.3. Microbiologie du lait de vache.....	10
1.1.4. Facteurs de variation de la composition du lait de vache.....	10
1.2. Fromage.....	11
1.2.1. Définition du fromage.....	12
1.2.2. Classification du fromage.....	12
1.2.3. Étapes de fabrication de Camembert industriel.....	12
1.3. Caractéristiques et évolution de l'étape de l'affinage de camembert.....	16
1.3.1. Flore d'ensemencement.....	16
1.3.2. Réactions biochimiques.....	18
1.3.2.1. Glycolyse.....	18
1.3.2.2. Protéolyse.....	21
1.3.2.3. Lipolyse.....	22
1.3.3. Rôle des paramètres physico chimique au cours de processus d'affinage...23	

1.3.4. Défauts rencontrés à l'affinage.....	25
---	----

## **II : Matériel et méthodes**

2.1 Matériel.....	26
2.1.1. Appareillage.....	26
2.1.2. Réactifs.....	26
2.1.3. Matériel biologique.....	26
2.2. Méthodes.....	27
2.2.3. Échantillonnage.....	27
2.2.4. Analyses physico chimiques.....	27
2.2.4.1. Analyses physicochimiques du lait.....	27
2.2.4.1.1. Acidité titrable.....	27
2.2.4.1.2. PH.....	28
2.2.4.1.3. Densité.....	28
2.2.4.1.4. Analyses de la qualité à l'aide d'un Lactoscane.....	28
2.2.4.1.5. Détection des résidus d'antibiotique dans le lait par une méthode rapide (Test de MilkSafe FAST 3 BTC).....	28
2.2.4.1. Analyses physicochimiques du fromage camembert.....	29
2.2.4.1.1. PH.....	29
2.2.4.1.2. Détermination de la matière grasse.....	30
2.2.4.1.3. Détermination d'extrait sec total (EST).....	31
2.2.5. Analyses microbiologiques.....	32
2.2.5.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	32
2.2.5.1.1 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans le lait pasteurisé.....	33
2.2.5.1.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans le fromage.....	33

## **III -Résultats et discussion**

3.1. Analyses physico chimiques de lait et de fromage.....	34
3.1.1. Analyses physico chimiques de lait.....	34
3.1.2. Analyses physico chimiques de camembert.....	36
3.2. Analyses microbiologiques du lait pasteurisé et du fromage.....	39
3.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux dans le lait pasteurisé.....	39
3.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux dans le fromage.....	39
<b>Conclusion.....</b>	<b>42</b>
<b>Références</b>	

## Liste des tableaux

<b>Tableau I :</b> Analyses des paramètres physico-chimiques des laits utilisés après la standardisation.....	34
<b>Tableau II :</b> L'évolution des coliformes totaux et fécaux au cours de la période d'affinage...	39
<b>Tableau III :</b> Les normes microbiologiques établies.....	40

## Liste de figures

<b>Figure 1 :</b> Composition de la matière grasse du lait (Amiot et al, 2002) .....	05
<b>Figure 2 :</b> Modèle sous-micelle de caséine proposé par Schmidt en 1982.....	06
<b>Figure 3 :</b> Micelles de caséine de lait écrémé cru observée par Cryo microscopie électronique à transmission (Marchin et al. 2007).....	07
<b>Figure 4 :</b> Représentation schématique d'une coupe transversale d'une micelle de caséine selon le modèle éponge (Bouchoux et al. 2010).....	08
<b>Figure 5 :</b> Modification de la structure micellaire lors de l'acidification (Croguennec et al., 2008).....	09
<b>Figure 6 :</b> Modification de la structure micellaire au cours de la coagulation du lait par la présure (Croguennec et Jeantet, 2008).....	09
<b>Figure 7 :</b> Schéma du procédé de fabrication de camemberts au GMPA (INRA-Grignon) (Sicard,2010).....	13
<b>Figure 8 :</b> La fermentation du lactose chez les bactéries lactiques : voie Homofermentaire et voie Hétérofermentaire (Leveau et Bouix, 1993).....	20
<b>Figure 9 :</b> Schéma général du métabolisme microbien des acides aminés (Hemme D et al., 1982).....	22

<b>Figure 10 :</b> Les voies métaboliques chez les micro-organismes conduisent à la formation de métabolites secondaires (surface grise) responsables de la saveur du fromage (Marilley et al., 2004).....	23
<b>Figure 11 :</b> teste de MilkSafe FAST 3 BTC.....	29
<b>Figure 12 :</b> Le mesurage de ph du fromage par un ph mètre de pailleasse.....	30
<b>Figure 13 :</b> Le mesurage de la matière grasse du fromage par la méthode acido-butyro métriques de Van Gulik.....	31
<b>Figure 14 :</b> Le mesurage d'EST à l'aide d'un dessiccateur infrarouge.....	32
<b>Figure 15 :</b> Absence des résidus d'antibiotiques, toutes les lignes de test sont plus résistantes que la ligne de contrôle (la ligne de contrôle est la cinquième ligne) .....	35
<b>Figure 16 :</b> L'évolution de ph au cours de l'affinage dans les hâloirs et après le conditionnement.....	36
<b>Figure 17 :</b> L'évolution de EST au cours de l'affinage dans les hâloirs et après le conditionnement.....	37
<b>Figure 18 :</b> L'évolution de MG au cours de l'affinage dans les hâloirs et après le conditionnement.....	38
<b>Figure 19 :</b> L'évolution de l'humidité au cours de l'affinage dans les hâloirs et après le conditionnement.....	38
<b>Figure 20 :</b> L'évolution des coliformes dans la pâte de fromage durant l'affinage.....	40

## Liste des abréviations

AB TASTA : test d'antibiotiques

CMP : caséinomacropéptide

CXS : Codex alimentarius

°D : Dornic

ESD : l'extrait sec dégraissé

EST : l'extrait sec total

EURL : L'entreprise unipersonnelle à responsabilité limitée

FAF : Matière grasse

FAO : Food and Agriculture Organisation

GMPA : La plateforme analytique de l'UMR (unité mixte de recherche) Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires

H% : L'humidité

INRA-Grignon : Institution royale agronomique de Grignon

J.O.R.A : Journal Officiel de la République Algérienne

MET : méthionine

MG : Matière grasse

OMS : L'Organisation mondiale de la Santé

OPP : Oligopeptides perméase

pH : Potentiel hydrogène

PHE : Phénylalanine

PO 4, 2Ca3 : phosphate de calcium

Prtp : protéase de paroi

SNF : les solides non gras

STLD : Société de Transformation du Lait et Dérivés

TEFD : Teneur en eau dans le fromage dégraissé

TB : le taux butyreux

TP : taux protéique

VRBL : Violet Red Bile Lactose Agar

# **Introduction générale**

## Introduction

Le lait joue un rôle crucial dans l'alimentation humaine en tant qu'aliment complet qui renferme les nutriments essentiels pour l'être humain. D'après Gaucheron (2010) depuis plus de 12 000 ans, l'homme a élevé différentes espèces telles que la vache, la chèvre et la chamelle pour répondre à ses besoins nutritionnels et pour la production et la transformation. Il a également mentionné que ce produit possède sa qualité biochimique et microbiologique varie en fonction de divers facteurs.

La fabrication du fromage est devenue un domaine économique majeur. Plusieurs types de fromages ont été évalués grâce à l'accumulation des connaissances en science et technologies du lait, chacun ayant sa propre création unique (Goudédranche et al., 2001). Le fromage le plus connu à l'échelle mondiale, le Camembert, qui est un fromage à pâte molle. Sa fabrication implique plusieurs étapes essentielles telles que la préparation du lait, la coagulation, l'égouttage, le salage et l'affinage. Cette étape est la plus complexe et joue un rôle essentiel dans les caractéristiques organoleptiques du produit final.

Selon Ramet (2006), l'affinage est un processus très complexe en raison de la variété de la composition du substrat et des interactions entre des phénomènes de différentes natures, qu'ils soient physiques, chimiques ou microbiens. Notre étude a pour objectif d'expliquer les réactions biochimiques, la glycolyse, la protéolyse et la lipolyse, ainsi que le rôle des agents d'affinage les agents microbiologiques et physicochimiques, ainsi que les interactions qui se produisent entre eux. Afin d'approfondir notre compréhension de cette collaboration, nous suggérons d'évaluer les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du camembert provenant d'une seule production et de le suivre à différents stades d'affinage.

Cette étude est composée d'une partie bibliographique et d'une section expérimentale et une conclusion permet de résumer les principales conclusions de cette étude.

# **Partie I**

## **Synthèse des données bibliographiques**

## 1.1. Lait

### 1.1.1. Définition du lait

Le lait a été défini lors du premier Congrès international pour la répression des fraudes à Genève, en 1908, comme le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne comportant pas de colostrum (Veisseyre, 1975).

### 1.1.2. Composition

Selon (Jean-Jacques et al., 2010) le lait est constitué de trois phases différentes :

- Une phase aqueuse : est une dispersante continue avec des molécules comme le lactose ou des ions tels que le calcium l'état dissous ;
- Une suspension colloïdale : des micelles phosphocalciques, sont des caséines liées aux minéraux ( $\text{PO}_4$ ,  $2\text{Ca}_3$ ) ;
- Une émulsion lipidique : des globules gras composés d'une goutte lipidique enveloppée d'une membrane lipoprotéique qui garantit l'individualité et l'intégrité du globule.

#### 1.1.2.1. Eau

L'eau est le constituant majeur du lait, il se trouve sous 2 formes eau libre (solvant) et l'eau liée 3,7% (Alais et al., 2008). L'eau liée est la proportion de l'eau du système qui n'est pas considérée comme un solvant pour un soluté de faible poids moléculaire tels que chlorure de sodium et sucre (Hardy, 1997).

#### 1.1.2.2. Glucides

Le lactose est un disaccharide réducteur est composé du glucose et de galactose présent uniquement dans le lait de mammifère, ce qui lui confère son nom de « sucre du lait ». Une faible quantité du glucose et du galactose qui proviendraient de l'hydrolyse du lactose peut être trouvée (Vignola et Carole, 2002). Dans le lait et le fromage, le lactose est soumis à des fermentations causées par la présence de bactéries lactiques qui dégradent le lactose en différents composants. Il y a deux types de fermentation différentes : la fermentation homofermentaire par la voie D'embden-Meyerhof-Parnas, où les bactéries telles que les *Entérocoques*, les *Lactocoques* et les *Weissella Pediococcus* dégradent le lactose en acide

lactique, et la fermentation hétérofermentaire par la voie 6-P-gluconate/phosphocétolase, où les bactéries telles que *Leuconostoc* et *Oenococcus* dégradent le lactose en acide lactique, acide acétique, éthanol et CO<sub>2</sub>. Les lactobacillus déclenchent également ces deux types de fermentations (Abdel Rahman et al., 2016 ; Liu et al., 2014). Selon Hallén (2008), cette fermentation entraîne une acidification du lait, entraînant également une coagulation ultérieure des protéines présentes dans le lait.

### **1.1.2.3. Minéraux**

Ces matières salines sont divisées en trois parties essentielles une proportion qui est soluble et non liée aux protéines (dialysable et ultra-filtrable), une proportion soluble, associée à des protéines solubles (n'est pas dialysable) et la fraction micellaire qui est associée aux micelles de caséine (Doudies et Floriane ,2019).

### **1.1.2.4. Vitamines**

Le lait est une excellente source de vitamines, on distingue deux catégories les vitamines hydrosolubles (vitamines B1, B2, B6) solubles dans la phase aqueuse et les vitamines liposolubles (vitamine A, D, E, K) solubles dans les graisses (Debry, 2001).

### **1.1.2.5. Enzymes**

Sont naturellement présentes dans le lait sont des substances organiques de nature protéique produites par les cellules ou les organismes vivants (Bouterfa, 2020). La majorité des d'enzymes se trouvent dans la membrane des globules gras, également le lait contient plusieurs cellules (leucocytes, bactéries) qui produisent des enzymes (Ghaoues,2010). Les enzymes de lait ont un rôle comme des catalyseurs dans les réactions biochimiques (Luquet,1985).

### **1.1.2.6. Lipides**

La majorité de la matière grasse du lait est constituée de gouttes de triglycérides (figure 1), ces dernières sont entourées d'une membrane interfaciale composée de phospholipides et de protéines qui constituent les globules gras (Shipe et al., 1978; Ruiz et al. 1996 ; Walstra et al. 200), et d'une partie insaponifiable constituée de stérols, carotènes et tocophérols (Alais et al., 2008). Le taux butyreux représente la teneur en matières grasses du lait (Leymarios, 2010) qui est un rapport entre la quantité de lait et de matières grasses citée (Perreau, 2014).



**Figure 1** : Composition de la matière grasse du lait (Amiot et al, 2002).

### 1.1.2.7. Les protéines

Les protéines du lait sont subdivisées en deux catégories en fonction de la solubilité des protéines dans l'eau. À un pH 4,6 : les caséines sont insolubles à ce pH elles présentent environ 80% des protéines du lait qui précipitent à ce pH et forment la matrice fromagère, les 20% restants forment les protéines du lactosérum (solubles à pH 4,6) (Visser et al., 1980 ; Brulé et al., 1997).

#### 1.1.2.7.1. Protéines solubles

Sont les protéines sériques (les protéines de lactosérum) qui sont en solution colloïdale (Vignola et carole ,2002). Elles ne précipitent pas lors de la coagulation enzymatique ou lors d'une acidification du lait (Ilboudo et al., 2012).

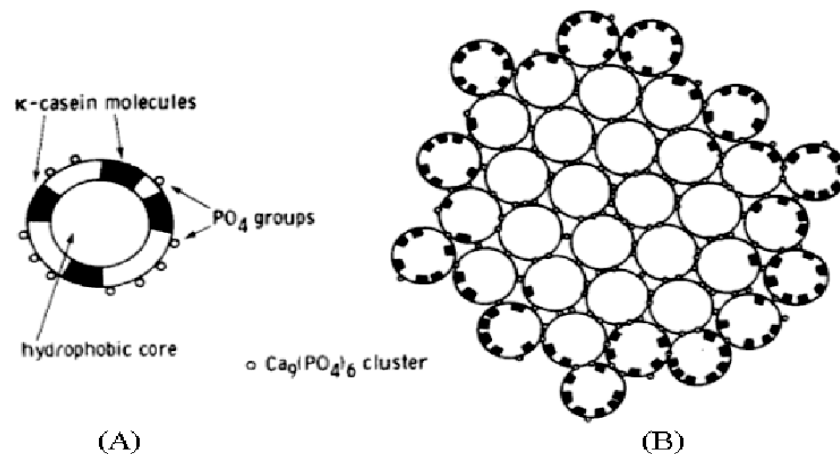
#### 1.1.2.7.2. Caséines

Protéines qui forment une suspension colloïdale dans la phase aqueuse du lait impliquées dans le processus de gélification du lait (Bonfatti et al., 2010). À un pH d'environ 4,6 (pH isoélectrique des caséines) les caséines sont précipitées par acidification (Ilboudo et al., 2012). Les caséines se regroupent sous forme sphérique appelée micelle, la taille de la micelle variant de 100 à 500 nm avec un diamètre moyen de 180 nm (Amiot et al., 2002 et Fox, 2004). Il y a entre 20000 et 150000 molécules de caséine dans la micelle (Schmidt, 1980).

### 1.1.2.7.2.1. Structure de caséines

D'après le modèle submicellaires proposé par Schmidt en 1982 (figure 2) les micelles de caséines se regroupent par l'association des sous unités associées les unes aux autres par des interactions de type hydrophobe, électrostatique et hydrogène et par des clusters de phosphate de calcium, chaque micelle caséine est formée par l'association des caséines  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , caséine  $\beta$ , caséine  $\kappa$  et des minéraux, notamment le calcium et le phosphate, et de quelques fragment peptidiques, les caséines  $\gamma$  issus de la protéolyse de la caséine  $\beta$  par la plasmine (Vignola et carole ,2002).

Le phosphate et le calcium sont répartis sous forme de nano-clusters, les caséines sont fortement hydrophobes selon l'ordre  $\beta > \kappa > \alpha_1 > \alpha_2$  (Little et Holt, 2004). Cette variation est due à la répartition non homogène des résidus à la fois hydrophobes basiques et des résidus chargés à caractère acide dans la séquence d'acides aminés (Fox, 1989).

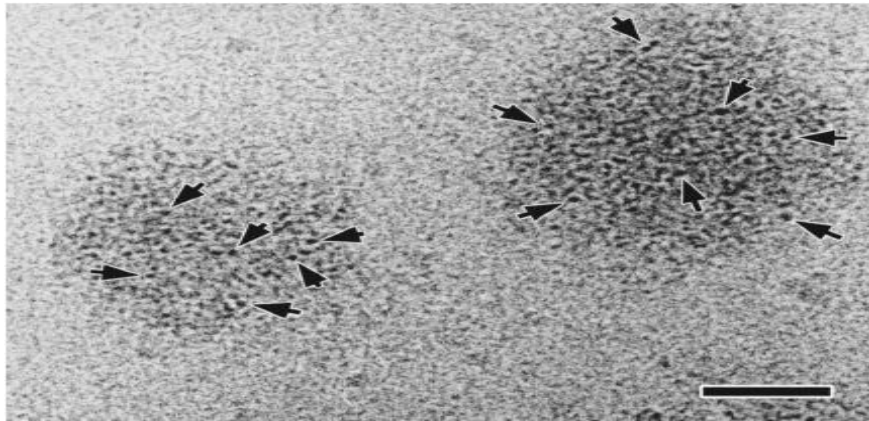


**Figure 2 :** Modèle sous-micelle de caséine proposé par Schmidt en 1982. Représentation schématique de (A) sous-micelle et (B) d'une micelle de caséine composée de sous-micelles.

### 1.1.2.7.2.2.1. Surface des micelles de caséines

La majorité des caséines  $\kappa$  se trouvent en périphérie de la micelle, avec une partie hydrophile C-terminale qui se prolonge dans la phase aqueuse du lait (Floriane Doudies ,2019).cette caséine présente une structure amphipolaire elle possède une partie N-terminale qui est hydrophobe et une partie C-terminale hydrophile (Walstra et Jenness, 1984) cette partie est l'origine de la stabilisation des micelles de caséines grâce à des répulsions électrostatiques et stériques (De Kruif et Zhulina, 1996 ; De Kruif, 1998). Également la surface sera recouverte

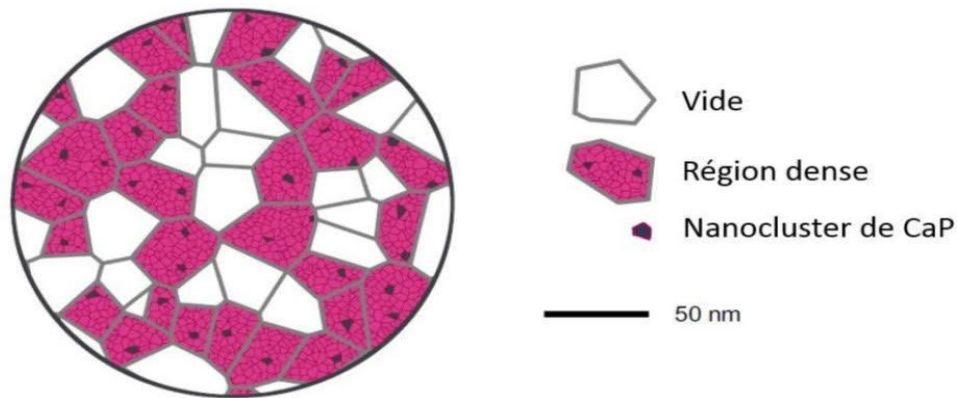
a par d'autres caséines ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  et  $\beta$ ) car la quantité des caséines  $\kappa$  est insuffisante (Dalgleish, 1998 ; Dalgleish et al., 2004 ; Dupont et al., 2011). D'après les travaux récents de Marchin et al (2007) basées sur les techniques d'observation de Cryo-microscopie à transmission (figure 3) ont montré que la caséine  $\kappa$  n'est pas uniquement à la surface de la micelle de caséine (Figure 3), également ils ont observé à des grains nanométriques de phosphate de calciums distribués dans la structure interne des micelles.



**Figure 3 :** Micelles de caséine de lait écrémé cru observée par Cryo microscopie électronique à transmission (Marchin et al. 2007). Les flèches pointent correspondant à des nano clusters de phosphate de calcium.

#### 1.1.2.7.2.2. Structure interne des micelles de caséine

D'après Floriane Doudies (2019) grâce aux études récentes basées sur des techniques de fusion de rayonnement cette technique est nommée la diffusion de rayon X aux petits angles et ultra petits angles, ils ont constaté l'absence de la structure sub- micellaire d'après le modèle de chaînes de pelotes statistiques obtenu (Pignon et al., 2004). Ils ont été d'accord que la structure interne des micelles qui est constituée d'un réseau complexe hétérogène de caséines dans lequel les grains nanométriques de phosphate de calcium sont dispersés (Marchin et al., 2007). Ils ont développé également un autre modèle (figure 4) modèle d'éponge de structure des micelles de caséines (Bouchoux et al., 2010).



**Figure 4** : Représentation schématique d'une coupe transversale d'une micelle de caséine selon le modèle éponge (Bouchoux et al., 2010).

#### 1.1.2.7.2.3. Mécanisme de coagulation des caséines du lait

La coagulation du lait est le changement d'état physique du lait d'un liquide à un gel et elle est provoquée par acidification ou par la présure. Les caséines sont les composés protéiques qui provoquent la coagulation du lait (Bonfatti *et al.*, 2010).

##### 1.1.2.7.2.3.1. Coagulation par acidification

La présence des bactéries lactiques qui dégradent le lactose en acide lactique ce qui entraîne l'acidification du milieu (figure 5). La baisse de pH du lait à 4,6 entraîne la précipitation des caséines avec une fuite de phosphate de calcium (Holt, 1997 ; Cayot et Lorient, 1998). Les protéines sont ensuite étirées et enchevêtrées pour former un gel (Visser *et al.*, 1980 ; Dalgleish et Law, 1989 ; Le Graet et Brule, 1993 ; Vignola, 2002).

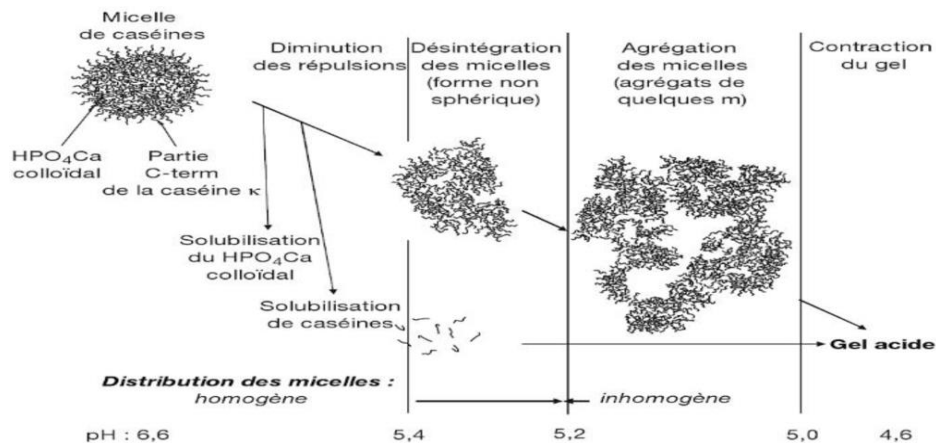
##### 1.1.2.7.2.3.2. Coagulation enzymatique

Il existe des enzymes protéolytiques d'origine animale, végétale et microbienne. La présure est une préparation enzymatique d'origine animale contient deux enzymes : la chymosine et la pepsine. La coagulation par la chymosine est divisée en trois étapes :

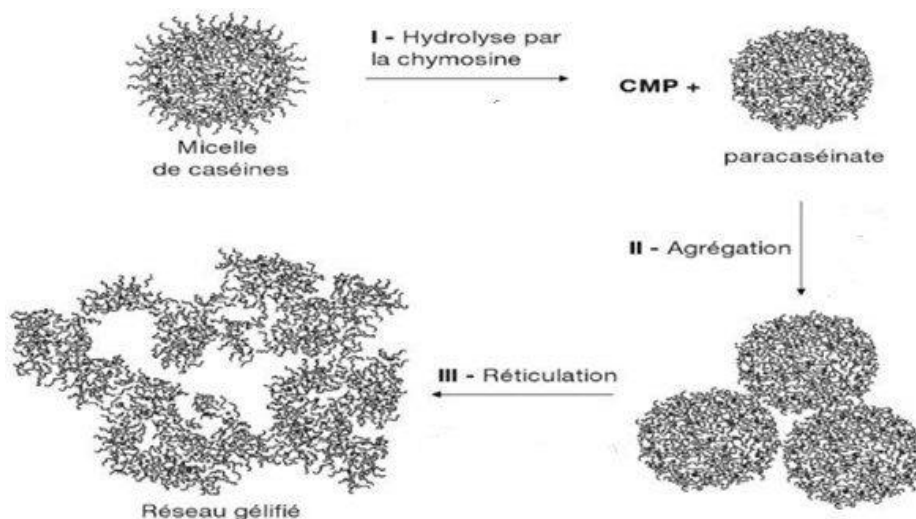
- La première étape : l'hydrolyse de la caséine dont la présure vise la caséine stabilisante de la micelle (caséine K) au niveau de la liaison PHE105-MET106 (Goudédranche et al., 2002). Ce qui entraîne la création de la paracaséine ainsi que de caséinomacropéptide (CMP) (Figure 6).

- La deuxième étape : l'agglomération des caséines, la formation d'un gel dû à l'établissement des liaisons hydrophobes et électrostatiques entre les micelles modifiées gel (Dalglish, 1992 ; Mahaut et al., 2000).

- La dernière étape : une réorganisation profonde des micelles des caséines agrégées dû à la formation des liaisons phosphocalciques et éventuellement des ponts disulfures entre les para caséines (Ilboudo et al., 2012).



**Figure 5 :** Modification de la structure micellaire lors de l'acidification (Croguennec et al., 2008)



**Figure 6 :** modification de la structure micellaire au cours de la coagulation du lait par la présure (Croguennec et Jeantet, 2008), CMP : caséinomacropéptide

### 1.1.2.7.2.3.3. Coagulation mixte

Il s'agit d'une action conjuguée de la présure et de l'acidification. Au moment de la coagulation lorsque le lait a une acidité moyenne (pH 6,5 à 5,5) une quantité de présure

intermédiaire est ajoutée (10 à 25 ml pour 100 litres de lait en général) (Goudédranche et al., 2002).

### **1.1.3. Microbiologie du lait de vache**

Le lait contient principalement des bactéries, mais il peut également contenir des moisissures, des levures et même des virus (Lamontagne et al., 2002). Les microorganismes présents dans le lait sont classés en deux catégories principales: la flore endogène ou originale et la flore de contamination, la flore de contamination est également divisée en deux catégories : la flore d'altération et la flore pathogène (Vignol, 2002). Selon le même auteur, la flore endogène est la flore originelle des produits laitiers est composée de tous les microorganismes présents dans le lait lors de la traite, la majorité sont des mésophiles, on y trouve des microcoques, des streptocoques lactiques et des lactobacilles.

La flore de contamination est composée de deux catégories: la flore d'altération et une autre flore pathogène (Lamontagne, 2002): La flore d'altération sont les germes indésirables qui sont ceux qui causent des problèmes de fabrication, d'apparence, de goût et de durée de conservation laits (Lévesque, 2007).Selon Perreau(2022) Cette flore comprend

- Les psychrotrophes : par exemple Pseudomonas, ces bactéries se développent au froid et peuvent être éliminées par les traitements thermiques du lait en laiterie, mais leurs enzymes sont thermorésistantes, ce qui entraîne des défauts de fabrication.

- Les bactéries thermorésistantes : bactéries qui résistent aux traitements thermiques, elles sont responsables de la dégradation putréfiante, ce qui entraîne des défauts de conservation du lait et du fromage.

La flore pathogène renferme la flore de contamination d'origine fécale et les bactéries qui provoquent des toxi-infections (Raiffaud et al., 2017).

### **1.1.4. Facteurs de variation de la composition du lait de vache :**

La composition physico chimique du lait de vache varie selon plusieurs facteurs, ces derniers intervenant sur la production laitière en termes de qualité et de quantité. Parmi eux les facteurs génétiques, selon Boujenane (2003) même si les conditions d'élevage sont extrêmement perfectionnées, si le potentiel génétique de l'animal est faible, son rendement le sera aussi. Les taux protéiques sont principalement affectés par l'effet race, sachant que les taux

butyreux sont dépendants des facteurs alimentaires, la race a un impact sur la teneur en protéines et le rapport caséines/protéines totales qui sont des critères qui influent sur la qualité fromagère des laits (Snappe et al., 2010). Un autre facteur important est l'âge, d'après Perreau (2022) jusqu'à la quatrième lactation, le niveau de production augmente avec l'âge, cette progression est particulièrement remarquable au début de la lactation, cependant, à mesure que les vaches vieillissent, leur persistance diminue. Un autre facteur, le stade de l'action, d'après Coulon et al (1991) la teneur en protéines et matières grasses évolue de façon inverse au taux de production ; au début de lactation, elles diminuent pour atteindre un minimum durant le 2ème et le 3ème mois, puis augmentent lentement jusqu'en fin de lactation. L'alimentation a une action à court terme et peut influencer de manière autonome les taux de butyrique et de protéines (Martin et Coulon, 1995). Le facteur de la traite qui influe à la fois sur la qualité et la quantité. En utilisant trois traites par jour, les quantités du lait produites par l'animal augmentent, tandis que la mono-traite les réduit en quantité et en qualité c'est dû à la pression intra-mammaire pendant l'intervalle entre deux traites, alors que la suppression d'une traite par semaine peut avoir un impact négatif, même si elle est bien gérée (Perreau, 2014). D'après le même auteur, la matière grasse des premiers jets est faible, tandis que celle des derniers est plus riche, ce qui rend une traite complète importante. Des facteurs liés à l'environnement comme la saison qui est un effet sur composition. Cette dernière est liée aux disponibilités alimentaires et caractéristiques de ration (Matallah et al., 2015).

## **1.2. Fromage**

### **1.2.1. Définition du fromage :**

La dénomination " fromage " est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitière suivantes : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées 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 23 grammes pour 100 grammes de fromage (Larché , 2016). Il existe deux catégories du fromage par rapport au processus d'affinage un fromage affiné et non affiné. Le fromage non affiné est le fromage qui est prêt à la consommation peu de temps après sa fabrication (Carole, 2013). Le fromage non affiné est fromage qui n'est pas prêt à la consommation peu après sa fabrication, mais qui

doit être maintenu pendant un certain temps à la température et dans les conditions nécessaires pour que s'opèrent les changements biochimiques et physiques caractéristiques du fromage (Carole, 2002).

### **1.2.2. Classification du fromage**

On se référant au J.O.R.A 2022, il existe plusieurs classifications du fromage qui se diffèrent selon plusieurs critères, comme exemple classification du fromage selon le pourcentage de la teneur en eau dans le fromage dégraissé (TEFD) :

- Fromage à pâte extra-dure : lorsque (TEFD) < 51% ;
- Fromage à pâte dure : lorsque (TEFD) entre 49% et 56% ;
- Fromage à pâte ferme ou semi -dure : lorsque (TEFD) est entre 54% et 69% ;
- Fromage à pâte molle » : lorsque (TEFD) > 67%.

Le camembert, un fromage à pâte molle de Normandie, est un fromage affiné avec une flore de surface moisissures, c'est un fromage à pâte molle, cylindrique et plat, d'un caillé non divisé, mesurant entre 10 et 11 cm de diamètre et d'une épaisseur de 3 cm avec 110 grammes de matière sèche et au moins 40% de matière grasse (Veisseyre, 1975).

### **1.2.3. Étapes de fabrication de Camembert industriel**

Le processus d'élaboration de fromage à pâte molle type camembert qui possède des caractéristiques organoleptiques spécifiques est réalisé par le suivi de plusieurs étapes technologiques (figure 7).

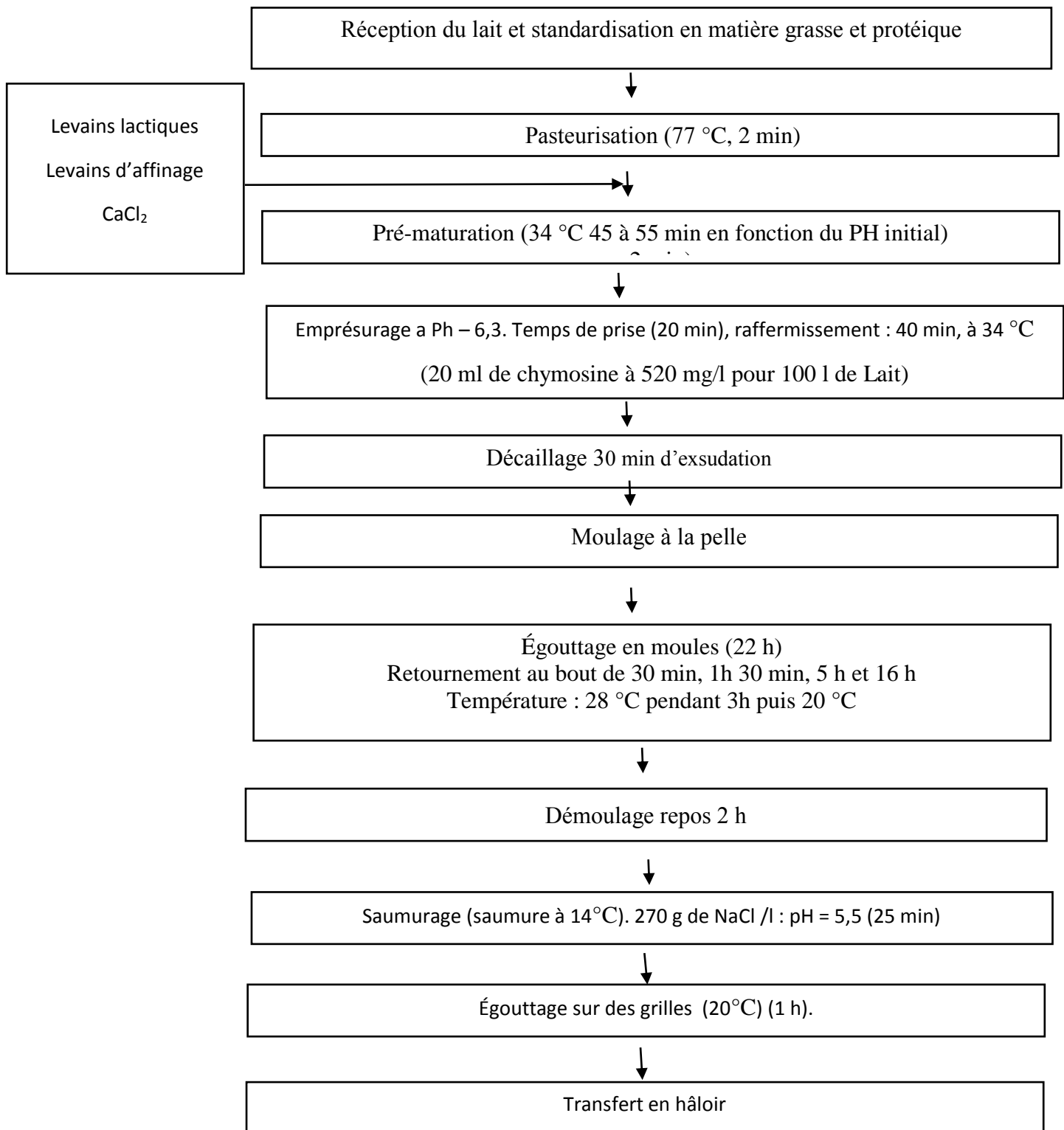


Figure 7 : Schéma du procédé de fabrication de camemberts au GMPA (INRA-Grignon)

### 1.2.3.1. Réception du lait

Au niveau de la réception des critères physicochimiques et microbiologiques sont mis en place dans le but de distinguer la qualité du lait et est-ce qu'il s'agit d'un lait frelaté. Le lait avec des valeurs hors les normes sera refusé. Le lait accepté va être refroidi par un système de refroidissement (froid échangeur) puis l'ajouter au lait stocké dans les grandes cuves. Ce refroidissement vise à préserver la qualité du lait et ralentir la prolifération des espèces bactériennes présentes, principalement la flore mésophile lactique, qui provoque l'acidification du lait, et la flore pathogène ou nuisible (Goudédranche et al.,2001). Ce refroidissement est sous homogénéisation. L'homogénéisation consiste à réduire le diamètre des globules gras pour les empêcher de monter à la surface du lait (Belantar,2016).

### 1.2.3.2. Préparation du lait :

La réussite des fabrications fromagères impose une certaine préparation du lait à l'industrie sur le plan microbiologique et physicochimique. Pour la préparation du lait sur le plan microbiologique le lait subit une pasteurisation qui est un traitement thermique modéré vis à assainir le lait des microorganismes pathogènes et d'un grand nombre de microorganismes d'altération. La pasteurisation doit être suivie d'un refroidissement soudain pour empêcher la croissance des germes restants (Aboutayeb,2011). Une fois que le lait est traitée, on passe à l'étape d'ensemencement ou de maturation dont laquelle la flore lactique est introduit dans le but de participer à la coagulation du lait et le processus d'affinage, des levains fongiques sont également introduits des spores de *Penicillium camemberti*, *Penicillium caseicolum* ainsi que *Geotrichum candidum* (Dahou, 2017). Ce qui concerne la préparation du lait sur le plan physicochimique, des modifications volontaires sont possibles sur la matière première selon le type de fromage que l'on désire produire, des ajustements sur la teneur en protéine, la teneur en matière grasse, en lactose, en sels minéraux et en ph (Maubs, 2006).

### 1.2.3.3. Coagulation

Il s'agit de la transformation du lait au coagulum, dans le cas de camembert la coagulation a un caractère mixte présure et les bactéries lactiques (Ramet, 2006). Les bactéries lactiques transforment le lactose en acide lactique provoquant la diminution de Ph pour atteindre une valeur exacte du pH pendant l'emprésurage (Goudedranche et al.,2001). Un ph inférieur à 6 une solubilisation de calcium et de phosphate inorganique débute ce qui entraîne la diminution de la fermeté de coagulum (Lucy et al., 2003

**1.2.3.4. Égouttage**

L'égouttage est l'élimination du lactosérum, le gel va subir un traitement mécanique pour rendre cette étape rapide, le tranchage d'une manière verticale et horizontale pour augmenter la surface d'exsudation du lactosérum et un brassage afin de maintenir libre les surfaces d'exsudation formées à ce stade un délactosage est appliqué pour réduire l'acidification ultérieure (Ramet,2006).

**1.2.3.5. Moulage**

C'est le versement du contenu homogène caillé et sérum dans des moules, elle permet de poursuivre l'égouttage, des retournements sont effectués pour continuer l'égouttage. Le retournement permet d'éliminer l'accumulation de lactosérum dans les cavités, il est possible de rendre la teneur en eau plus homogène dans les différents endroits et d'accélérer l'égouttage (Goudedranche, 2001).

**1.2.3.6. Salage et ressuage**

Après le dernier retournement, les pâtes vont passer au démoulage puis au salage. La pâte est salée en ajoutant du chlorure de sodium, le sel permet de poursuivre l'étape d'égouttage, élimine certaines proliférations microbiennes et il est un exhausteur de goût (Bouterfa, 2019).

**1.2.3.7. Affinage**

Il s'agit d'une phase de digestion enzymatiques qui donne à la pâte fromagère les propriétés sensorielles et structurelles. Est un processus biochimique complexe où se déroulent ces réactions biochimiques suivantes : la dégradation des protéines, l'hydrolyse de la matière grasse et la fermentation de lactose (Desmazeaud et Cogan,1996). La complexité est due à la variété des agents impliqués dans l'affinage, ainsi qu'à la transformation des composants du substrat. Ainsi l'existence de nombreuses interactions entre les phénomènes responsables (Champagne et al., 2003). Les enzymes qui participent à l'affinage on trouve les enzymes protéolytiques et lipolytiques microbiennes provenant des ferments lactiques et des agents d'affinage, ainsi que les enzymes endogène (plasmine, lipoprotéines, phosphatases, protéases), les enzymes coagulantes ajoutées au lait au cours de fabrication (pepsine, chymosine) (Lessard ,2014). Sachant que les facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité relative, le débit d'air et la composition atmosphérique d'un hâloir ont également un impact significatif sur le développement de l'apparence et des propriétés sensorielles du fromage en raison de leur

influence sur la croissance microbienne et l'activité enzymatique (Tempel et Nielsen, 2000 ; Bonaiti et al, 2000 ; Leclercq et al et al ,2006).

#### **1.2.3.8. Emballage et conditionnement**

Ils servent à empêcher la déshydratation excessive des fromages, à les préserver de la contamination par des micro-organismes d'altération ou même pathogènes, en plus d'inhiber, de réprimer ou de permettre les métabolismes des ferments qui conduisent à l'utilisation de l'oxygène ou à la production de CO<sub>2</sub> (Picque et al., 2010).

### **1.3. Caractéristiques et évolution du Camembert au cours de l'affinage**

#### **1.3.1. Flore d'ensemencement**

Les interactions entre le substrat et les microorganismes du fromage permettent le développement de ses caractéristiques organoleptiques grâce à des réactions biochimiques qui génèrent des métabolites qui sont l'origine de ces propriétés. Les traitements thermiques (63-65 °C/15-20 s ou 72 °C/20-30 s) ont un impact sur la flore originelle du lait cru et sur ses propriétés technologiques (ce qui concerne la coagulation et la diminution de la charge biologique) (Dahou, 2017). La standardisation biologique permet de recréer un autre écosystème nécessaire pour la coagulation et la maturation du fromage, cette flore exogène comporte les bactéries lactiques et les ferments d'affinage.

##### **1.3.1.1. Bactéries lactiques**

Les bactéries lactiques servent à coaguler le lait. Elles participent également à la maturation du fromage par leurs aptitudes protéolytiques et lipasique qui permettent le développement de la flaveur, des arômes et la texture (Singleton, 2002). Selon les méthodes utilisées, les bactéries lactiques peuvent être mésophiles, hétérofermentaires, homofermentaires ou thermophiles et c'est leurs enzymes endo et exo cellulaires qui participent à l'affinage du fromage (Dahou, 2017). Elle s'agit généralement de souches de *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* et *Streptococcus* (Fleet ,1999).

### 1.3.1.2 Ferment de maturation

#### 1.3.1.2.1. Bactéries

La plupart des bactéries de fromages à pâte molle ont la capacité de contribuer à l'arôme grâce à leur aptitude lipolytique et protéolytique ( Lessard, 2014). Ces bactéries font partie des familles appartiennent des *Micrococacceae* (*Micrococcus sp* Et *Staphylococcus sp*) et des *Corynebacteriaceae* (*Arthrobacter sp.*, *Brachybacterium sp.*, *Corynebacterium sp*), et *Brevibacterium* qui est la principale bactérie de l'affinage du camembert qui appartient au groupe *Corynebacterium* (Cogan et al., 2007). Les réactions protéolytiques de la *Brevibacterium* qui manifestent à la surface des pâtes en produisant des catabolites qui sont des produits soufrés, ammoniac, amines, composés aromatiques qui participe à la flaveur finale des produits (Boyaval et Desmazeaud, 1983). D'après Forquin (2010) dû que les corynéforme sont des bactéries acido-sensibles, les levures favorisent leurs croissances car ces dernières permettent la désacidification du milieu par la consommation de lactate et la production d'ammoniac également, pour les bactéries de genre *Brevibacterium* sont l'origine de l'odeur typique et de la couleur rouille en croûte d'un Camembert bien affiné.

#### 1.3.1.2.2. Levures et les moisissures

Les levures et les moisissures appartiennent à la flore de surface qui participent au développement de la flaveur et des arômes grâce à leurs aptitudes d'alcalinisation de milieu et leurs activités cataboliques. Les principaux rôles des levures et moisissures sont la synthèse des enzymes, les lipases et les protéases respectivement hydrolysent la matière grasse et les protéines (Dahou, 2017). Les levures et le penicillium ont la capacité à métaboliser le lactate par la voie oxydatif, CO<sub>2</sub> émis, ce qui augmente le ph de 4,8 à 5,8 ou plus (Pilet et al., 2005).

Cette désacidification favorise le développement des bactéries aérobies, halophiles et acido-sensibles à la surface du fromage (Molimard et Spinnler, 1996 ; Guizani et al., 2002 ; Sousa, 2003 ; Leclercq et al., 2004 ; Spinnler et Gripon, 2004 ; Leclercq, 2011). Les levures les plus courantes dans les fromages à pâte molle sont *Candida*, *Debaryomyces*, *Geotrichum*, *Kluyveromyces*, *Saccharomyces*, *Torulaspora* et *Yarrowia* (Lessard, 2014). *Geotrichum candidum* est considérée comme la levure la plus importante dans la fabrication du camembert grâce à ses avantages technologiques (Molimard et Spinnler, 1996, Boutrou et Gueguen, 2005). Cette levure est dimorphique, ce qui indique qu'elle peut être observée soit sous forme de mycélium, soit sous forme levuriforme (Lessard,2014). Elle contribue à la maturation de

fromage type camembert à croûte fleurie, elle participe à ses saveurs typiques en produisant d'alcools secondaires, de méthylcétones et de composés soufrés (Boutrou et Gueguen, 2005). Son mycélium dessèche la surface des fromages, ce qui réduit le risque de croûte collante (Eliskases et al., 2011). Le *Penicillium camemberti* est la moisissure la plus importante des fromages Camemberts due à ses multiples rôles. Elle intervient comme une souche de protection contre les microorganismes indésirables (Bockelmann, 2010). Elle provoque la désacidification du fromage par la consommation de l'acide lactique et assure l'hydrolyse des protéines (la protéolyse). Elle produit plusieurs enzymes protéolytiques, y compris les carboxypeptidases, des métalloprotéases, une aspartyl-protéase et une aminopeptidase et permet la synthèse des acides aminés libres (Cerning et al., 1987 ; Sousa, 2003 ; Spinnler et Gripon, 2004). Cette protéolyse participe à la saveur des produits en créant de peptides et d'acides aminés qui se transforment en composés aromatiques grâce à des réactions enzymatiques et chimiques (Adda et al., 1982).

### 1.3.2. Réactions biochimiques

Des transformations biochimiques des composants du lait confèrent au fromage sa qualité organoleptique. Ce métabolisme comprend des réactions primaires et secondaires le métabolisme primaire est responsable de la saveur de base du fromage et comprend principalement la glycolyse, la protéolyse et la lipolyse et le métabolisme secondaire qui est l'origine de la saveur particulière à une variété de fromage (Zheng et al, 2021). Il s'agit la décarboxylation des acides aminés, la transamination, la désamination, la désulfatation, la bêta-oxydation des acides gras et l'estérification ( Marilley et Casey, 2004 ).

#### 1.3.2.1. Glycolyse

Le lactose est le sucre principal du lait est un disaccharide composé du glucose et de galactose, dans le but de l'intérêt de la technologie fromagère les bactéries lactiques métabolisent le lactose en acide lactique ce qui entraîne la baisse de PH ce qui favorise la coagulation des caséines, cette réaction comme elle a un rôle dans la coagulation elle intervient également dans l'affinage (figure 8).

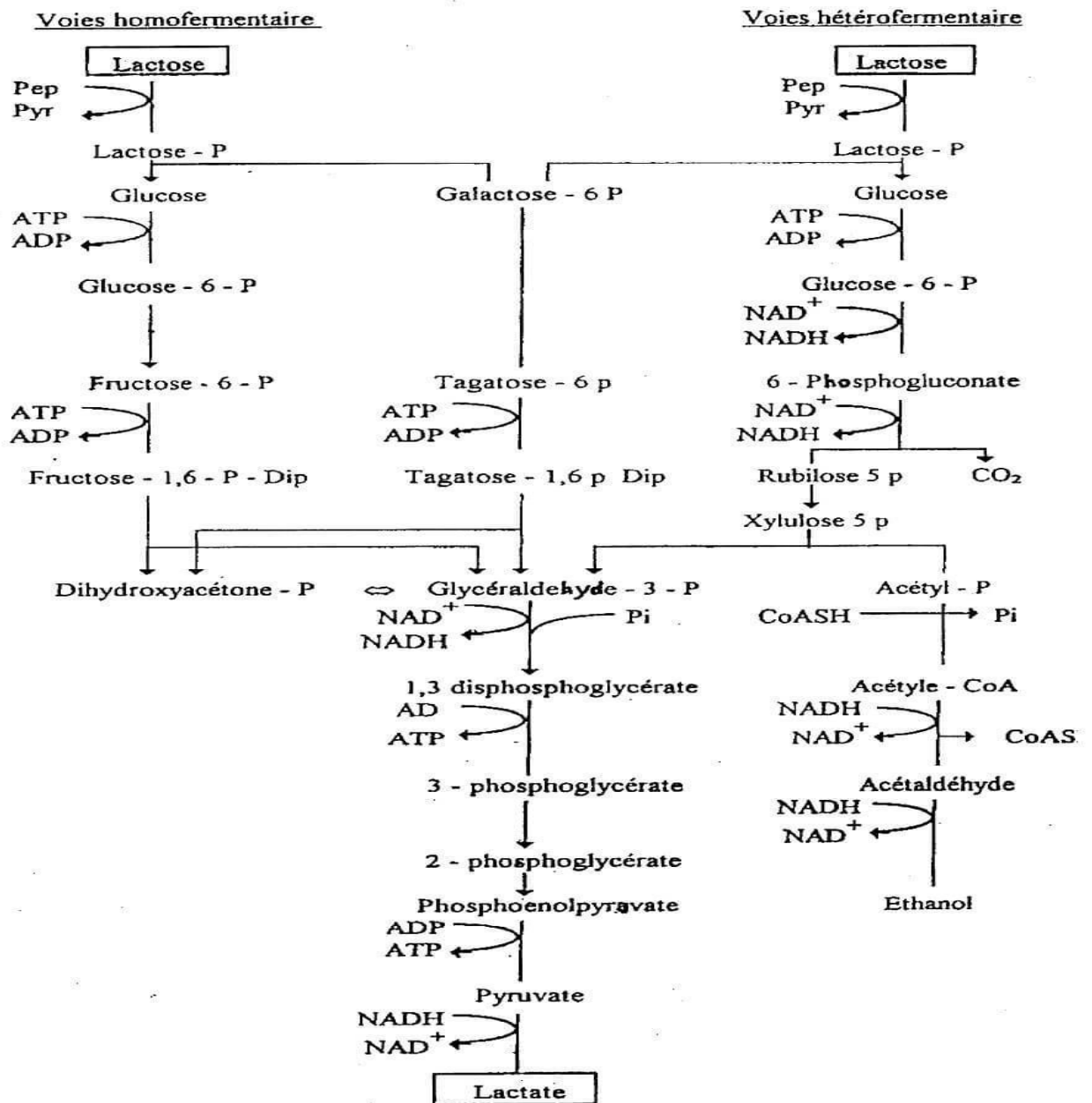
D'après (Cholet, 2006) La glycolyse de lactose suit 3 étapes premièrement la pénétration du lactose à travers la membrane cellulaire, puis la dégradation de lactose selon 2 voies métaboliques la voie homofermentaire qui dégrade le lactose seulement en acide lactique via la voie d' Embden-Meyerhof-Parnas , ou par la voie hétérofermentaire qui donne à partir de

lactose de lactate , l'éthanol et de CO<sub>2</sub> par la voie des pentoses phosphates , à la fin la production et la libération de l'acide lactique à l'extérieur des cellules.

Les principaux métabolites issus de catabolisme du lactose sont L- lactate ou D-lactate ou les deux à la fois (Vedamuthu, 1994). Le lactate produit subit une oxydation au début d'affinage (Merlet, 1995). Le lactate est métabolisé par la flore secondaire par *Geotrichum candidum* et *Debaryomyces hansenii*, ensuite par *Penicillium camemberti* et peut-être corynéformes bactéries telle que le linge *Brevibacterium* (Mcsweeney et Sousa, 1999). Les résultats de ce métabolisme sont des acides organiques plus simples acide propionique, acide acétique et acide Butyrique ces métabolites peuvent être transformés en composants de la flaveur comme les aldéhydes et les cétones (Dahou ,2017).Le citrate métabolisé par certains lactobacilles mésophiles de la flore secondaire (Mcsweeney et Sousa ,1999). Selon les mêmes auteurs les métabolites issus de citrate sont l'acétate, le diacétyle, acétoïne et 2,3-butanediol. Il faut du citrate pour que les molécules aromatiques en C<sub>4</sub> se forment : diacétyle, acétoïne et 2,3-butanediol (Cachon et Diviès, 1993).

L'acétate peuvent être formés par les bactéries lactiques à partir de métabolisme de lactose par l'acide lactique ainsi par le métabolisme de citrate et du lactate et également à partir de métabolismes des acides aminés (Mcsweeney et Sousa ,1999).

Durant l'affinage l'acide lactique produit va être consommé par la flore secondaire ce qui entraîne une désacidification. Cette dernière permet la fixation et la croissance des bactéries Acido-sensibles tels que ceux de la flore de surface (Lenoir, 1984 ; Choisy et al., 1997). Également leurs développements sont favorisés par les acides aminés et le glycérol provenant respectivement de la protéolyse et de la lipolyse (McSweeney et Soua, 2000) .



**Figure 8** : La fermentation du lactose chez les bactéries lactiques : voie Homofermentaire et voie Hétérofermentaire (Leveau et Bouix, 1993).

### 1.3.2.2. La protéolyse

La protéolyse est le métabolisme le plus complexe durant la phase de maturation du fromage, il contribue à la fois à la texture de la pâte et sa flaveur. Cette réaction permet d'hydrolyser les caséines du lait en peptides et en acides aminés libres (figure 11). Cette protéolyse est un résultat de combinaison de l'action de la présure et de celle des enzymes microbiennes (Visser, 1977 ; Keeffe, 1978 ; Desmazeaud et Gripon, 1977).

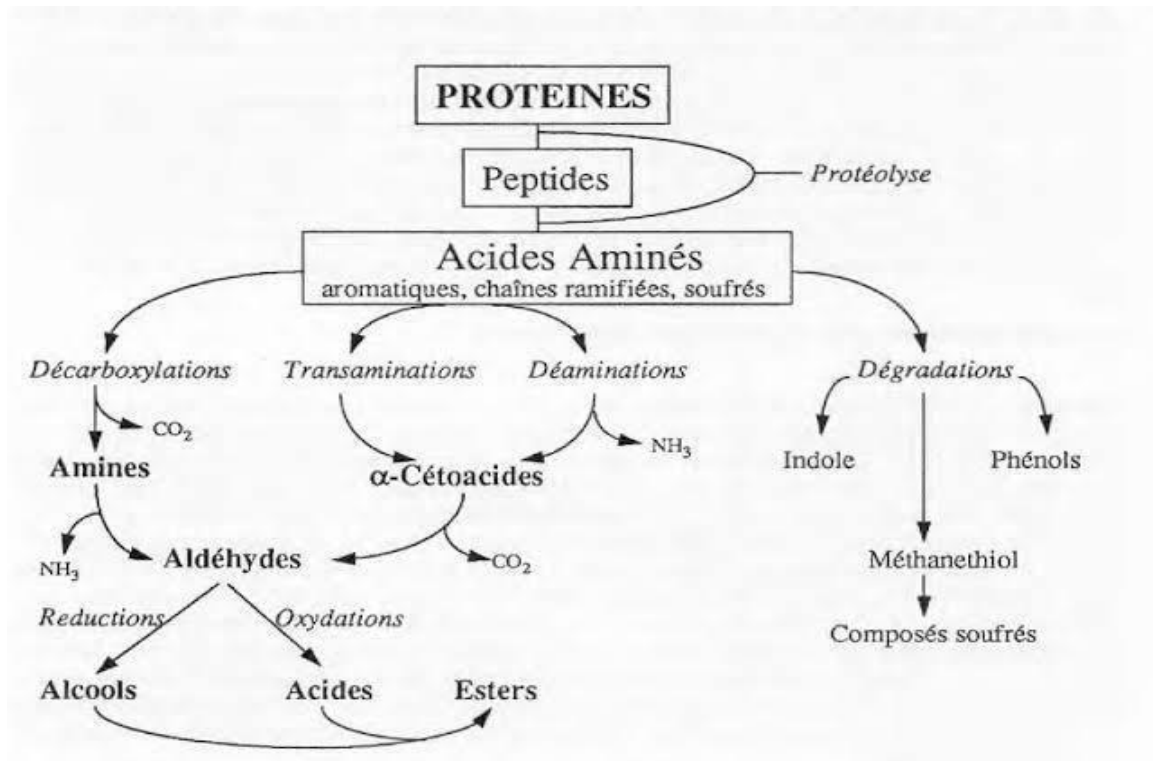
Les acides aminés libérés lors de la protéolyse et les précurseurs d'arômes participent à la flaveur de fromage (Bourdat et al., 2004). Les acides aminés libres tels que l'acide glutamique et l'aspartique, la leucine ou la phénylalanine subissent une désamination ce qui conduit à la formation d'aldéhydes, l'aldéhyde se transformerait en alcool par une déshydrogénase (Cholet, 2006).

Chez les bactéries lactiques cette réaction est amorcée par une protéase de la paroi (PrtP) qui assure l'hydrolyse de la caséine en oligopeptide, les oligopeptides sont ensuite transportés à l'intérieur de la cellule par différents transporteurs de peptides dont le système Opp est le principal (Forquin, 2010). Les peptides sont ensuite hydrolysés par les peptidases intracellulaires (oligopeptidases, endopeptidases ou exopeptidases) en acides aminés libres (Corrieu et Luquet, 2008).

La *Brevibacterium* parmi les bactéries majeures de la flore de surface, elle participe à la maturation grâce à son activité protéolytique. Des protéinases intracellulaires et membranaires sont également produites par les *Brevibacteriaceae*, mais leurs activités sont relativement faibles par rapport à celles des protéases extracellulaires (Ratray et Fox, 1999). *G. candidum* notamment est capable d'intervenir dans la protéolyse dû qu'elle possède un système aminopeptidasique et un système carboxypeptidasique (Auberger et al., 1997). *Penicillium camemberti* jouerait également un rôle dans la maturation du camembert car il possède un système protéolytique complexe et une activité lipasique élevée, ce qui lui décerne un rôle important dans l'aromatisation des fromages (Cholet, 2006).

D'après McSweeney et Sousa (1999), le métabolisme secondaire des acides aminés commence premièrement par une succession de réactions tels que la décarboxylation, la désamination, la transamination, la désulfuration ou peut-être l'hydrolyse des chaînes latérales des acides aminés, ce qui résulte de la formation des amines  $\alpha$ -cétoacides, l'action des

désaminases sur les amines permet convertir les amines et les  $\alpha$ -cétoacides et les acides aminés eux-mêmes en aldéhydes, au final, la réduction des aldéhydes en alcool ou leur oxydation en acides. Selon les mêmes auteurs, les acides aminés soufrés peuvent être transformés en divers composés, tels que le méthanthiol et d'autres dérivés du soufre (figure 9).

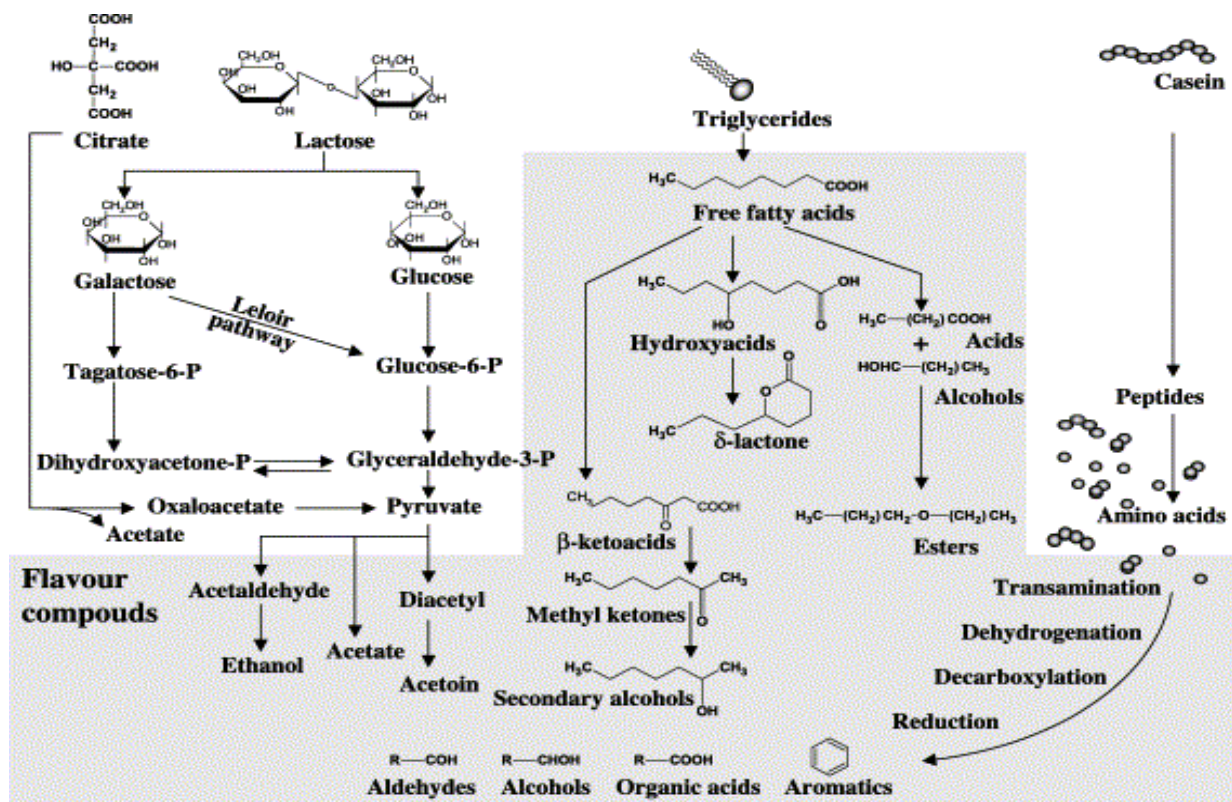


**Figure 9 :** Schéma général du métabolisme microbien des acides aminés (Hemme et al., 1982)

### 1.3.2.3. Lipolyse

La lipolyse est une réaction biochimique qui joue un rôle important dans la flaveur du fromage (figure 12). La lipoprotéine lipase contribue à la lipolyse cas des fromages au lait cru qui permet la création de la saveur de fromage, mais elle a peu d'influence sur la saveur du fromage fabriqué à partir de lait pasteurisé (Sert et al., 2014). Le *P. camemberti* est l'agent lipolytique principal du Camembert, qui produit deux lipases alcalines extracellulaires. (spinnler et Gripon, 20224). Deux lipases sont également synthétisées par *G. candidum*, qui ont chacune une action sélective (Baillargeon et al., 1989).

Le mécanisme de la lipolyse résulte une dégradation enzymatique des triglycérides en glycérol et les mono- ou diglycérides et des acides gras libres (Spinnler et Gripon, 2004). Ces derniers contribuent aux développement des arômes, ils sont considérés comme des précurseurs des molécules aromatiques tels que méthylcétones, des lactones, des esters et des alcools (Mcsweeney et Sousa, 2000) (figure 10). Selon les même auteurs l'estérification intramoléculaire d'acides gras hydroxylés forme des lactones, en perdant d'eau pour former des composants cyclique et il est possible que les acides gras libres réagissent avec des alcools pour créer des esters (très aromatisés) ou avec des groupes sulfhydriles libres en formant des thioesters.



**Figure 10 :** Les voies métaboliques chez les micro-organismes conduisent à la formation de métabolites secondaires (surface grise) responsables de la saveur du fromage (Marilley et al., 2004).

### 1.3.3. Rôle des paramètres physico chimique au cours de processus d'affinage

Certains facteurs tels que le pH,  $a_w$ , la température ont un effet sur les caractéristiques du fromage au cours de sa maturation, la flore de la surface provoque l'alcalinisation du la croûte par la consommation de l'acide lactique. Une étude réalisée par (Monnet et al., 2020) dans le but de déterminer la relation entre le pH et les caractéristiques rhéologique du

camembert, il a traité le camembert par solution de pimarinine pour inhiber la flore fongique responsable sur la protéolyse et l'incube dans une atmosphère artificiellement alcaline par l'ammoniac, il a observé un ramollissement de la croûte cette étude a montré qu'il existe une relation entre le pH et la caractéristique texturale du camembert.

L'augmentation du pH entraîne l'évolution de la charge nette des caséines et le changement des interactions entre les protéines et les protéines-eau. L'éloignement des caséines de leur zone d'insolubilité entraîne une augmentation de leur capacité de sorption d'eau (Rueg et Blanc, 1976). C'est dû à l'augmentation du pH qui entraîne l'évolution de la charge nette des caséines et le changement des interactions entre les protéines et les protéines-eau (Ribadeau-Dumas, 1984). Également le pH a un effet sur la migration des minéraux dans le caillé. D'après (Le Graet et al., 1983) l'alcalinisation de la surface du caillé crée un gradient de pH ce qui provoque l'accumulation du calcium et de phosphate à la surface et la diminution graduelle de ces ions à l'intérieur.

Selon Ramet (2006), l'activité de l'eau est liée à l'humidité des locaux qui est toujours inférieur à la saturation durant l'affinage le fromage perdre son humidité d'une manière progressive jusqu'à d'un gradient de concentration de la croûte au cœur de caillée ou la teneur est importante. On peut expliquer la migration d'eau de l'intérieur vers l'extérieur du fromage dû au transfert des ions hydratés, par une hydratation accrue des protéines de surface à la suite de l'élévation du pH et par une absorption d'eau par le développement du *Penicillium* (Le Graet et al., 1983). Les réactions biochimiques de catabolisme fixent l'eau ce qui diminue la teneur en eau libre (Ramet, 2006).

Selon Goudédranche et al (2001), il est nécessaire de créer un cycle de température qui favorise le développement optimal de la protéolyse et la lipolyse et des caractéristiques gustatives, la température de l'affinage habituellement est variée de 4 à 24 °C plus basse que la température optimale de développement des bactéries lactiques 25 à 45 °C et l'activité enzymatique 30 à 45 °C. Selon Ramet (2006) les fromages à pâte molle qui possèdent une microflore à très fort potentiel enzymatique sont moins résistants aux variations de température, ce qui provoque des modifications significatives des caractéristiques organoleptiques tels qu'hétérogénéité de texture entre la croûte et le cœur de fromage et le développement d'amertume, et un décollage de la croûte ce qui entraîne la fragilité de la pâte.

Également la composition de l'atmosphère a un effet significatif sur le déroulement de l'affinage comme le CO<sub>2</sub> et la présence d'ammoniac dans les hiloires. L'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère entraînait une augmentation de la population de *G. candidum*, tandis que l'inverse était observé pour le mycélium de *P. camemberti* (Leclercq et al., 2006). Car le *Geotrichum candidum* provoque aussi une réduction du développement du *Penicillium*, une réduction de l'amertume (Vassal

et Gripon, 1984). Le gaz d'ammoniac participe à la neutralisation de l'acidité de surface ce qui favorise le développement de la flore de la surface de ce fait il est nécessaire de régler sa teneur en atmosphère (Ramet ,2006).

#### 1.3.4. Défauts rencontrés à l'affinage

La technologie de fabrication fromagère connaît plusieurs accidents au niveau de différents stades de fabrication, ces accidents altèrent la qualité sanitaire, nutritionnelle, organoleptique. En ce qui concerne l'affinage du camembert on peut rencontrer plusieurs défauts tels que l'amertume, le poil de chat, les taches bleues.

Le poil de chat, l'espèce responsable de ce défaut est le *Penicillium mucor*, il présente sous forme des taches noirâtres sur le feutrage blanc du mycélium de *Penicillium camemberti* (Lenoir, 1983). Plusieurs types de penicillium ont la capacité de donner lieu à des taches bleu-vert plus ou moins grandes à l'intérieur de la pâte ou en surface (Cholet ,2006). On appelle ces imperfections d'apparence l'accident du « bleu » (Cholet, 2006). Ce problème se manifeste à des températures basses et entraîne une croissance anormale du *P. camemberti* (Lenoir, 1983). Également lorsque sa croissance n'est pas restreinte, le *Penicillium* est devenu le principal responsable de l'amertume des fromages à pâte molle de type Camembert (Vassal et Gripon, 1984).

Peau de crapaud est un aspect qui peut avoir lieu sur la surface du fromage si *G. candidum* se développe trop au détriment de *P. camemberti* (Sicard, 2010). Le goût rance du camembert à pâte molle est un défaut de flaveur dû à la présence d'une forte dose des acides gras libres sont particulièrement les acides gras à chaînes courte et moyenne due à une lipolyse importante (Bergère et Lenoir ,2006). Et peut être due à un déséquilibre entre les réactions biochimiques notamment une l'activité protéolytique insuffisante et lipolytique normale (Fox et Law 1991). Un autre défaut d'origine fongique *cladosporium herbarum* qui est l'origine d'apparition des tâches vert foncé à noires qui apparaîtront surtout à la fin d'affinage car ce champignon ne supporte pas l'acidité mais il résiste aux basses températures (Bergère et Lenoir ,2006).

À l'exception de *Hafnia*, tous les coliformes ont la capacité de fermenter le lactose, ce qui entraîne la production d'acide de gaz carbonique et surtout d'hydrogène, qui est très peu soluble dans le fromage, ce qui favorise le gonflement (Coiffier ,1992).

# **Partie II**

## **Matériel et méthodes**

Les analyses effectuées dans le cadre de cette étude ont été réalisées au niveau de l'unité fromagère (LE FERMIER) situé à Draa Ben Khedda Tizi Ouzou.

## **2.1 Matériel**

### **2.1.1. Appareillage**

- PH mètre ;
- Thermo-lactodensimètre ;
- Test d'antibiotique (AB TASTA) MILK SAFE 3 BTC ;
- Lactoscane ;
- Balance analytique ;
- Bain marie ;
- Centrifugeur pour butyromètre ;
- Dessiccateur infrarouge ;
- Butyromètre à fromage ;
- Hotte de laboratoire ;
- Mixeur à sachets avec fenêtre ;
- Des étuves.

**Autres matériels :** Bêcher, boîtes de pétries, burette, pipeteur, capsule en aluminium, pipette graduée, pipettes de pasteur, Bec bunsen.

### **2.1.2. Réactifs**

- La soude NaOH
- Alcool iso amylique
- Acide sulfurique 61,72 % à 62,63 %
- Indicateur coloré phénolphtaléine

Également : le milieu de culture VRBL, l'eau physiologique.

### **2.1.3. Matériel biologique**

- Lait de vache ;
- Fromage camembert (des analyses effectuées sur des échantillons camembert durant 12 jours).

## **2.2. Méthodes**

### **2.2.3. Échantillonnage**

Dans cette étude expérimentale, la méthode de travail utilisée repose sur des analyses physicochimiques et microbiologiques à partir des échantillons suivants : le lait de vache pasteurisé utilisé pour la fabrication du camembert provenant de différents producteurs, ainsi que le fromage à pâte molle type camembert. Quatre échantillons de camembert ont été prélevés à différents stades d'affinage le premier, le cinquième et le huitième jour, ainsi qu'un autre échantillon placé dans un réfrigérateur et examiné vingt jours après le conditionnement. D'autres analyses ont également été réalisées sur le lait de vache pasteurisé utilisé pour cette production.

### **2.2.4. Analyses physico chimiques**

#### **2.2.4.1. Analyses physicochimiques du lait**

##### **2.2.4.1.1. Acidité titrable**

Le degré Dornic est déterminé par le titrage 10 ml du lait par la soude NaOH N/9 en présence d'un indicateur coloré phénolphtaléine, ce dernier est incolore en milieu acide et de couleur rose en milieu alcalin. Cette méthode permet de mesurer la quantité d'acide lactique exprimé soit par le degré Dornic soit par gramme par litre, sachant que 1 degré Dornic égale 0,19 d'acide lactique par litre et la valeur de la d'acidité en Dornic est obtenue par la multiplication d'acide lactique en gramme par 10.

### 2.2.4.1.2. Ph

Ce paramètre est mesuré à l'aide d'un ph mètre portable utilisé sur la ligne de production et un ph mètre de paillasse utilisé en laboratoire qui mesure pH-température par une électrode de pH combinée en verre et une sonde de compensation automatique de température.

### 2.2.4.1.3. Densité

Par définition la densité du lait est le rapport des masses volumiques de lait et de l'eau à 20° Celsius et à la même pression, ce paramètre est mesuré à l'aide d'un Thermo-lactodensimètre gradué qui permet de mesurer la densité de lait à une température de 20° Celsius, si la température de l'échantillon diffère de la température de l'étalonnage, la valeur obtenue peut être corrigée par la table de correction de densité. Ce contrôle est dans le but de détecter le mouillage, si la valeur inférieure à l'énorme, en revanche argumentée si le lait est écrémé.

### 2.2.4.1.4. Analyses de la qualité du lait à l'aide d'un Lactoscane

Le Lactoscane est un appareil qui permet de déterminer plusieurs paramètres : la matière grasse FAF, les solides non gras SNF, les protéines, le lactose, sels, eau ajoutée, la température, le point de congélation, le PH, la conductivité, la densité.

### 2.2.4.1.5. Détection des résidus d'antibiotique dans le lait par une méthode rapide (Test de MilkSafe FAST 3 BTC)

En ce qui concerne la réception du lait, chaque échantillon de lait de chaque collection est soumis à un test de détection d'antibiotiques à l'aide d'une méthode rapide (Test de MilkSafe FAST 3 BTC) afin d'éviter les accidents de fabrication et de garantir la sécurité alimentaire (figure 13).

Test de MilkSafe FAST 3 BTC est un test de détection rapide en une étape pour les bêta-lactames, y compris la céphalexine, et les tétracyclines dans le lait (figure 11). Le test s'effectue à température ambiante. Verser 200µl de lait dans une cupule, placer la cassette dans l'incubateur et incuber à 50°C durant 3 minutes. Enlever la cassette et lire la formation de couleur dans les 2 minutes. La lecture visuelle est comme suit :

- Négatif : toutes les lignes de test sont plus résistantes que la ligne de contrôle ;

- Positif : toute ligne de test est plus faible que la ligne de contrôle ;
- Faiblement positif : toutes les lignes de test sont identiques à la ligne de contrôle ;
- Invalide : aucune ligne de contrôle n'est présente.

Le lait qui contient des antibiotiques on ne pourrait pas l'utiliser dans la fabrication fromagère car leur présence tuerait les bactéries utilisées dans les processus de fabrication, sont considérées comme des perturbateurs de fermentation lactique.



**Figure 11** : Test de MilkSafe FAST 3 BTC

### **2.2.4.1. Analyses physico chimiques du fromage camembert**

#### **2.2.4.1.1. pH**

Cette mesure est réalisée par un ph mètre de paillasse, on introduit l'électrode de ph et la sonde dans la pâte de fromage, attendant jusqu'à ce que la valeur soit stabilisée. Après l'utilisation, on nettoie l'électrode avec l'eau distillée puis on le conserve dans une solution spéciale (figure 12).



**Figure 12 :** Le mesurage de ph du fromage par un pH mètre de paillasse

#### **2.2.4.1.2. Détermination de la matière grasse**

Par la méthode acido-butyro métriques de Van Gulik, basé sur la dissolution des protéines par l'acide sulfurique et la séparation de la matière grasse dans un butyromètre par centrifugation, cette séparation est favorisée par l'alcool amylique. Le résultat est obtenu par la lecture directe sur l'échelle du butyromètre exprimée en gramme pour 100 grammes de fromage, numériquement équivalent à une fraction massique en pourcentage (figure 13).

Le plan de travail est le suit :

- Retirer la croûte de fromage, peser 3 grammes de fromage broyé introduit dans un bouchon ;
- Fermer le col de butyromètre avec ce bouchon, ajouter de l'acide sulfurique 61,72 % à 62,63 % soigneusement jusqu'à l'immersion totale de l'échantillon ;
- Placer le butyromètre dans un bain marie jusqu'à la dissolution complète de l'échantillon ;
- Ajouter 1 ml d'alcool iso-amylique, ensuite ajouter l'acide sulfurique jusqu'à que le niveau atteigne le trait repère 40% de l'échelle. ;
- Agiter butyromètre à l'aide d'un centrifugeur pour butyromètre ;
- Passer à la lecture, Le butyromètre doit être tenu verticalement pendant les lectures et l'œil doit être au niveau du point de lecture, le résultat est calculé par la différence entre l'extrémité supérieure et l'extrémité inférieure de la colonne de matière grasse.



**Figure 13** : La mesure de la matière grasse du fromage par la méthode acido-butyrométrique de Van Gulik

#### 2.2.4.1.3. Détermination d'extrait sec total (EST)

L'EST est déterminé à l'aide d'un dessiccateur infrarouge (figure 14) qui permet également de mesurer automatiquement l'humidité. L'évaporation est provoquée par l'émission des radiations infrarouges. Sur la capsule peser 5 mg du fromage broyé ensuite, étaler le, l'échantillon va s'évaporer à fin d'obtenir EST exprimé en pourcentage. L'extrait sec dégraissé et l'humidité sont calculés par les formules suivantes :

$$\text{ESD} = \text{EST} - \text{MG}$$

$$\text{H\%} = 100 - \text{EST}$$



**Figure 14 :** La mesure d'EST à l'aide d'un dessiccateur infrarouge

## 2.2.5. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques permettent l'évaluation de l'hygiène lors de la manipulation, un jugement sur la salubrité de denrée alimentaire et de déterminer si des mesures correctives doivent être mises en place afin d'éviter des concentrations élevées de micro-organismes qui peuvent nuire la sécurité alimentaire et de modifier les caractéristiques sensorielles des produits finis.

### 2.2.5.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Selon la définition de l'organisation internationale de normalisation (ISO) en 2006, les coliformes sont des bactéries qui, à la température spécifiée (c'est-à-dire 30 °C ou 37 °C, selon accord), fermentent le lactose avec production de gaz, lorsque l'essai est effectué dans les conditions spécifiées dans la présente Norme internationale.

Les coliformes thermotolérants (fécaux) se définissent comme des bactéries anaérobies facultatives, à Gram négatif, sporulées, en forme de bâtonnet et produisant des colonies bleues en moins de 24 heures à 44,5 °C sur un milieu de type m-FC contenant du lactose. En raison de leur capacité de croître à la température élevée de 44,5 °C et non seulement à 35 °C comme les coliformes totaux.

### **2.2.5.1.1 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans le lait pasteurisé**

En utilisant la méthode d'ensemencement, on effectue le dénombrement des coliformes totaux et fécaux sur la gélose VRBL à partir des dilutions décimales. Porter aseptiquement 1 ml de chaque dilution dans les boîtes de pétri deux fois, ensuite les compléter avec 20 ml de la gélose VRBL, on réalise des mouvements sous forme (8), ensuite on les incube de 24h à h. Une série de boîtes les incubent dans des étuves à 30 °C et une autre en 44 °C, respectivement pour la recherche et le dénombrement des coliformes totaux et fécaux. Ces coliformes apparaissent sous formes colonies rondes, de couleur rouge-pourpre.

### **2.2.5.1.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans le fromage**

Les échantillons sont prélevés dans des conditions d'asepsie rigoureuse, avec une spatule métallique stérilisée, dans le but de préparer la solution mère on prélève 20 gramme de fromage camembert, on introduit le fromage dans un sachet stomacher puis on ajoute 180 ml de l'eau physiologique puis on passe à l'homogénéisation.

On ensemence à l'aide d'une pipette pasteur stérile 1 ml de solution mère dans 2 boites pétries déjà préparées on ajoute la première couche de milieu de culture VRBL (20 ml) on doit agiter les boites en forme de 8 afin de répartir l'échantillon de manière homogène dans le milieu de culture. Après la solidification de la première couche, on ajoute la deuxième (9 ml). Après que les 2 milieux soient solidifiés on incube les boites dans des étuves à 30 °C /24h et 44 °C /24h, respectivement pour la recherche et le dénombrement des coliformes totaux et fécaux.

**Partie III**  
**Résultats et discussion**

### 3.1. Analyses physico chimiques de lait et de fromage

#### 3.1.1. Analyses physico chimiques de lait

Les résultats obtenus par le lactoscane sur la composition de lait pasteurisé sont comme suit (tableau II).

**Tableau II :** Analyses des paramètres physico-chimiques du lait pasteurisé

Paramètres	Valeurs	Normes
Matière grasse	32,7 g/l	La teneur minimale 30 %
Protéines	30 g/l	Entre 35 et 40 g/l
Lactose	40,4 g/l	49 g/l
Densité	1,03	[1,028 -1,033]
pH	6,52	Entre 6,6 et 6,8
Acidité	17,96 °D.	14 °D et 18 °D.
TB/TP	0,91	La valeur optimale 1,15

La valeur de la densité de lait obtenue est de 1,030, cette valeur est conforme aux valeurs apportées par le journal officiel de la république algérienne qui sont entre 1,028 et 1,033. La densité varie en fonction de la concentration de la matière sèche non grasse qui est la fraction des éléments dissous en suspension (Mosbah et al., 2019). La densité est fortement influencée par la quantité de matière sèche, qui est fortement liée à la fréquence de l'abreuvement (Siboukeur et al., 2012).

Le pH est de 6,52, le pH du lait est moyen, probablement dû à la diminution de la flore lactique qui synthétise l'acide lactique.

L'acidité est de 17,96 °D. Cette valeur est conforme aux normes, selon l'arrêté interministériel du 25 janvier 1998 relatif aux spécifications microbiologiques de certaine denrée alimentaire l'acidité du lait pasteurisé doit est entre 14 °D et 18 °D.

Le taux en protéines influe sur l'aptitude de la coagulation qui a une influence sur le rendement et la qualité de fromage, les industries ont normalisé le taux protéique entre 35 et 40

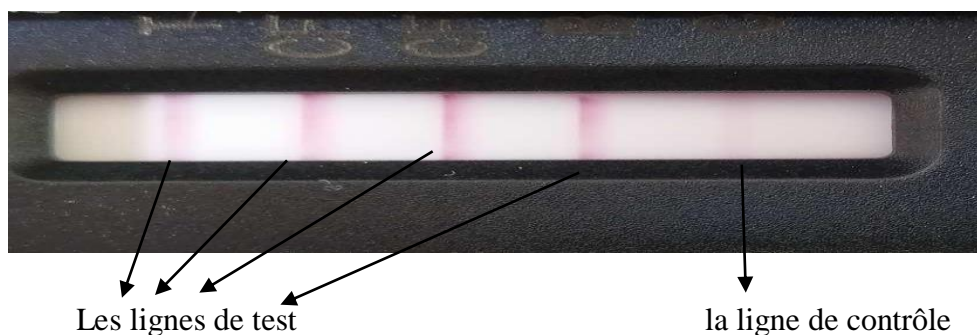
g/l (Magaut et al., 2003). La matière grasse a un effet sur la qualité fromagère selon la réglementation la teneur minimale en MG est de 30 % (CODEX STAN 276-1973).

Le rapport TB/TP ne doit pas dépasser la valeur de 1,20, TB/TP égale 1,15 est la valeur optimale pour la fabrication fromagère. La valeur en protéines (30 g/l), et matière grasse (32,7 g/l) du lait analysé est dans les normes.

L'importance du rapport entre le taux de butyreux et le taux de protéine (TB/TP) est également cruciale et influence le niveau d'égouttage, ce qui affecte la texture, la qualité organoleptique (Andrieu, 2021). Les propriétés rhéologiques du caillé lors de la coagulation, la synérèse lors de l'égouttage, les rendements fromagers et l'humidité dans la fraction dégraissée sont directement influencées par le rapport protéines/grasse qui modifie l'affinage et les qualités sensorielles du fromage (Vignol, 2002).

Le lactose est le substrat de fermentation lactique, une post acidification peut être provoquée dû une teneur élevée en lactose ce qui altère la qualité organoleptique de fromage, en revanche une carence en lactose dans le lait entraîne la réduction de la fermentation et aura un effet texture et l'affinage (Magaut et al., 2003).

La détection des résidus d'antibiotique : La lecture visuelle nous permet de distinguer l'absence ou la présence des résidus d'antibiotique dans le lait de vache, la totalité de lait acceptée par l'industrie est dépourvue des résidus d'antibiotiques, la lecture est illustrée dans (figure 15).



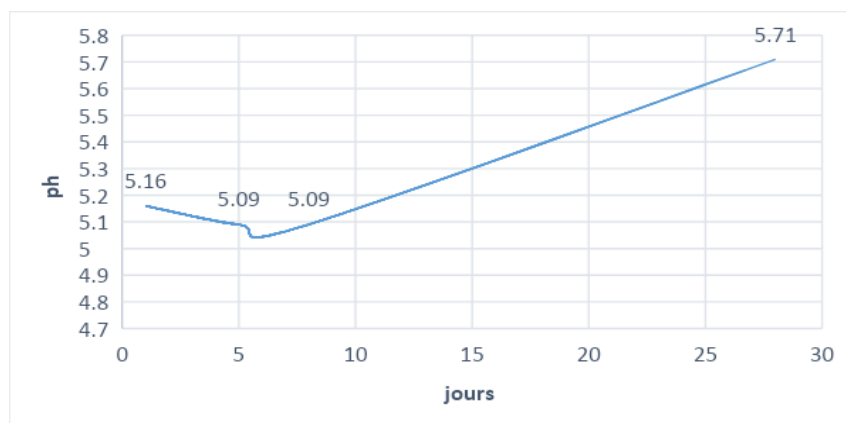
**Figure 15 :** Absence des résidus d'antibiotiques, toutes les lignes de test sont plus résistantes que la ligne de contrôle (la ligne de contrôle est la cinquième ligne).

### 3.1.2. Analyses physico chimiques de camembert

Les résultats obtenus sur les paramètres physicochimiques au cours de l'affinage des fromages sont illustrés par les figures suivantes : figure 16, figure 17, figure 18 et figure 19.

Les valeurs de pH sont compatibles avec les réactions biochimiques durant la maturation (figure 16). L'augmentation du pH est dû à la consommation de l'acide lactique par la flore de surface notamment par le penicillium (Vassal et al., 1986), cela entraîne une hausse de pH (figure 16). Le développement de levures et des moisissures à partir de l'acide lactique comme source de Carbone assure la neutralisation de la pâte (Magaut et al 200). L'activité des enzymes est également très sensible aux variations de pH. La production d'enzymes par ces microorganismes et leur activité sont déterminées par le pH, les protéases possèdent une activité maximale entre ph 5,5 et 6,5 également les lipases à un caractère basophile plus par rapport aux protéases elles possèdent une activité maximale entre pH 6,5 et 7,5 9 (Ramet ,2006).

Lors de la protéolyse l'ammoniac est libéré sous l'action des désaminases (Ribadeau-Dumas, 1984). Selon le même auteur, le pH de la masse augmente en raison de la consommation de lactate par les moisissures, et par la formation de l'ammoniac en tant que produit azoté final de la dégradation des protéines par l'action des désaminases.



**Figure 16 :** L'évolution de ph au cours de l'affinage dans les hâloirs et après le conditionnement.

La matière grasse a un rôle capital dans la qualité sensorielle de camembert, leur hydrolyse confère aux fromages des caractéristiques organoleptiques particulières telles que la flaveur les arômes. Les lipides contribuent aux développement des arômes, ils sont considérés comme des précurseurs des molécules aromatiques tels que méthylcétones, des lactones, des

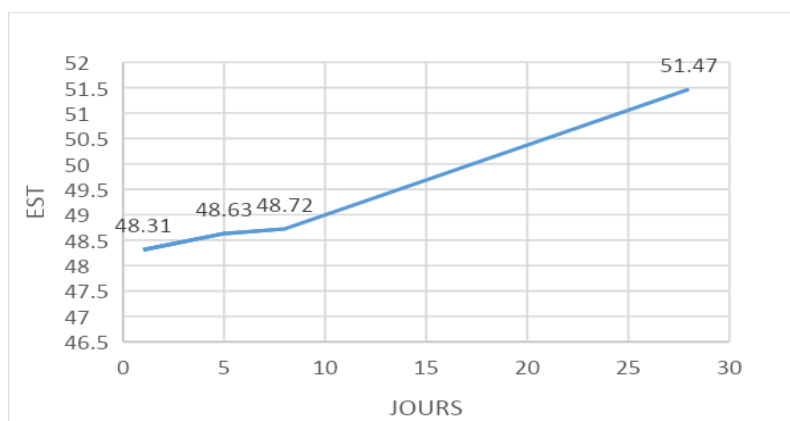
esters et des alcools (Molimardet Spinnler, 1996 ; Spinnler et Gripon ,2004 ; Kinsella et al., 1976;Sable et Cottenceau, 1999).

Le résultat montre que la teneur en matière grasse du fromage obtenue est conforme à la réglementation, selon le codex alimentarius (CXS 208-1999) concerne le fromage à pâte molle la teneur minimale en matière grasse dans l'extrait sec exigée est de % 40 et la Teneur minimale en extrait sec % 40.

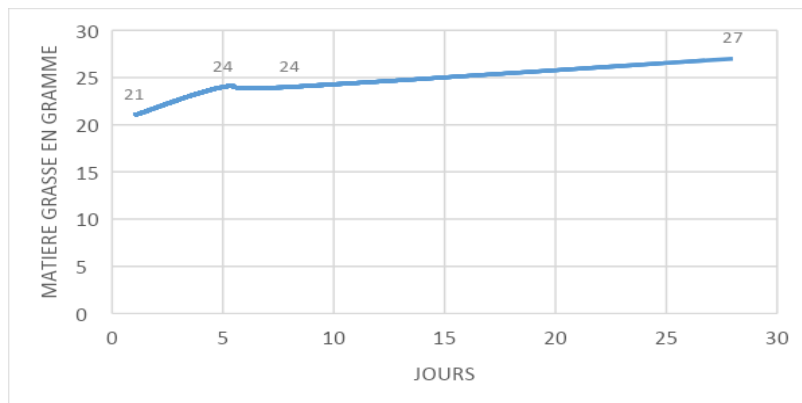
Il est important de standardiser le lait en MG pour chaque type de fromage dans le but de maîtriser l'activité de l'eau dans le fromage et satisfaire MG/ EST minimal requis par la législation (Magaut et al.,2003).

La valeur obtenue de MG/MS est de 49,26 %, gras sur sec de camembert recherchée par les industries est de 45 %.

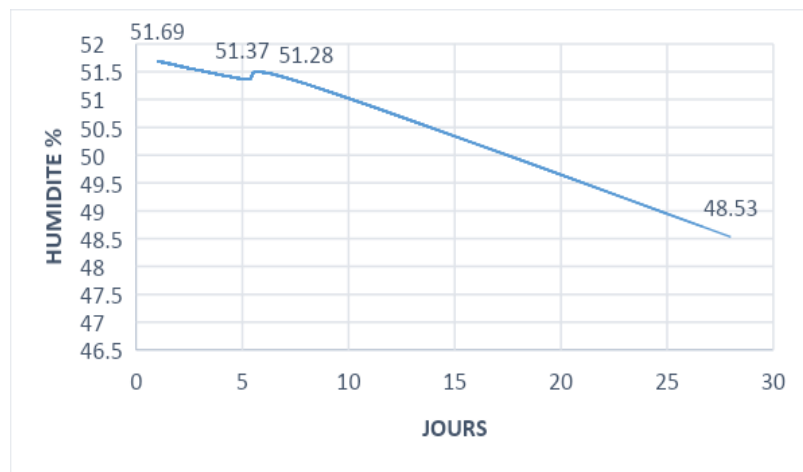
EST et la teneur en MG remontent progressivement durant la période de maturation et évoluent de façon inversement proportionnelle avec l'humidité de fromage (figure 17 et 18 et 19). De là on conclut que les éléments de la matière sèche concentrent également ce phénomène est liée à la perte d'eau. Le fromage perd son humidité due aux réactions biochimiques d'hydrolyse de substrat qui fixent de l'eau par conséquent entraîne la diminution de l'activité de l'eau (Ramet ,2006). Et En raison de la transformation de l'eau de la croûte de fromage vers l'aire des hâloirs (Neyers, 2018).



**Figure 17 :** L'évolution de EST au cours de l'affinage dans les hâloirs et après le conditionnement



**Figure 18 :** L'évolution de MG au cours de l'affinage dans les hâloirs et après le conditionnement



**Figure 19 :** L'évolution de l'humidité au cours de l'affinage dans les hâloirs et après le conditionnement.

Dans le but de contrôler la qualité du produit fini, l'indicateur de fermeté du fromage, selon les normes internationales (A-6/1978) de la FAO et de l'OMS, un fromage à pâte molle doit avoir une teneur en HFD (la teneur en eau dans le fromage dégraissé) supérieure à 67%.

La valeur de HFD obtenue au premier jour d'affinage égale 65,43.

D'après (Choisy et al., 2006) durant l'affinage de camembert entre le cinquième et le dixième jour de fabrication, lorsque *Penicillium camemberti* se développe, la quantité de lactose résiduel du caillé diminue rapidement dans le camembert, puis, le taux de lactose diminue plus

lentement, le lactose a complètement disparu après 20 à 30 jours d'affinage, cette disparition étant plus rapide en surface qu'au centre du fromage.

Pendant la manipulation par le dessiccateur infrarouge, on a observé une cuisson de l'échantillon. La réaction Maillard se manifeste par la formation de pigments bruns lors de la réaction entre le sucre réducteur et les acides aminés. Après chaque manipulation, la couleur de l'échantillon se dégrade pendant la période d'affinage. Cette dégradation peut être utilisée comme un indicateur de la concentration de lactose. Les graphiques ci-dessous illustrent comment ce marqueur est évalué. On observe une détérioration graduelle de cette couleur en raison de la diminution de la concentration de lactose utilisée comme substrat (la glycolyse).

### 3.2. Analyses microbiologiques du lait pasteurisé et du fromage

#### 3.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux dans le lait pasteurisé

Absence totale des coliformes dans le lait pasteurisé, ce qui reflète l'efficacité de la pasteurisation et que la pasteurisation a été faite dans des conditions optimales.

#### 3.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux dans le fromage

Les résultats obtenus sont enregistrés dans le tableau suivant (Tableau III) :

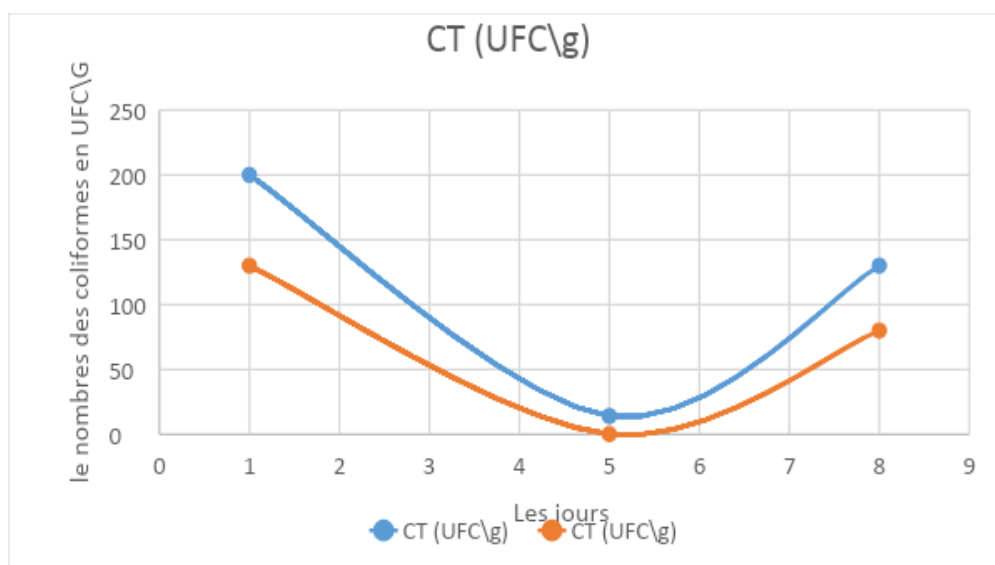
**Tableau II** : L'évolution des coliformes totaux et fécaux au cour de la période d'affinage.

<b>Le nombres des coliformes \ le jours de prélèvement</b>	<b>1<sup>er</sup> jour</b>	<b>5<sup>ème</sup> jour</b>	<b>8<sup>ème</sup> jour</b>
Les coliformes totaux (UFC/g)	200	14	130
Les coliformes fécaux ( UFC/g)	130	0	80

**Tableau III :** Les normes microbiologiques établies, selon le journal officiel Algérien (J.O.R.A n°39 2017)

Microorganismes	Normes
les coliformes totaux.	10 <sup>3</sup> UFC/g
les coliformes fécaux	10 <sup>2</sup> UFC/g

Les résultats enregistrés lors du dénombrement des coliformes totaux durant le 1<sup>er</sup> et le 5<sup>ème</sup> et le 8<sup>ème</sup> jours d'affinage respectivement sont 200 UFC/g et 14 UFC/g et 130 UFC/g, pour les coliformes fécaux respectivement sont 130 UFC/g et 0 UFC/g et 80 UFC/g (tableau 3). Le taux de contaminations par ces microorganismes ne dépasse la norme exigée par le journal officiel Algérien (J.O.R.A n°39 2017) pour les coliformes totaux est de 10<sup>3</sup> UFC/g et pour les coliformes fécaux est de 10<sup>2</sup> UFC/g (Tableau III).



**Figure 20 :** L'évolution des coliformes durant l'affinage

La figure 20 illustre l'évolution des coliformes fécaux et totaux durant la période d'affinage, le nombre des coliformes varient d'un stade d'affinage à un autre. On observe une chute importante des coliformes entre le 1<sup>er</sup> jour et le 5<sup>ème</sup> jour et une absence totale des coliformes fécaux en 5<sup>ème</sup> jour. Cette diminution est conjointe avec la diminution de pH de la

pâte (figure 16), après le 5<sup>ème</sup> jour on remarque la reprise de la croissance de ces coliformes cette évolution est accompagnée par l'augmentation du pH du caillé, de ce fait on peut constater au vue des résultats obtenus, que le PH contribue à croissance des coliformes qui est en relation avec l'activité des bactéries lactiques.

Le principal objectif des bactéries lactiques utilisés comme ferments est d'acidifier le lait, ce qui permet la gélification du lait et l'augmentation de la synérèse du caillé et contribue aux caractéristiques rhéologiques du produit final, ainsi que dans l'inhibition de la croissance des nuisibles (Papamanoli et al., 2003).

Il convient de souligner que ces phénomènes d'inhibition provoqués par les bactéries lactiques peuvent également être actifs contre de nombreux organismes étrangers (staphylocoques, clostridium, streptocoques non lactiques, bactéries coliformes) (Juillard et al., 1987). Les bactéries lactiques ont ainsi la capacité d'hydrolyser les protéines en formant des peptides bioactifs. Certaines caractéristiques découvertes dans les fromages ont été liées à la présence de peptides bioactifs qui possèdent une activité antibactérienne (Pritchard et al., 2010 ; Theolier et al., 2014).

## **Conclusion générale**

### Conclusion générale

L'affinage offre au fromage ses caractéristiques organoleptiques grâce à l'activité métabolique complexe où plusieurs interactions physico-chimiques et microbiologiques sont incluses. Ce travail a été réalisé sur le fromage à pâte molle camembert « LE FERMIER », fabriqué au niveau de la Laiterie EURL STLD « Société de Transformation du Lait et Dérivés » de Draa Ben Khedda. Les échantillons analysés proviennent d'une seule production, ces échantillons sont prélevés aux plusieurs stades d'affinage et après le conditionnement, dans le but d'évaluer certains caractéristiques physicochimiques et microbiologiques de produit.

Dans cette optique, nous avons réalisé des études sur la matière première (le lait de vache), ainsi que sur le fromage, les analyses physico chimiques tels que le pH, l'EST, le taux de MG. Ensuite, nous avons calculé les ESD, l'humidité, le MG/MS et le HFD. D'autre part, nous avons mesuré l'évolution des coliformes totaux et fécaux.

Au cours de l'affinage, la quantité de MG, ESD et EST augmentent, ce qui entraîne une diminution de l'humidité de la pâte. Cette hausse est causée par la concentration des composants de caillé, ce qui peut expliquer la diminution de l'humidité en raison des réactions d'hydrolyse qui fixent l'eau ainsi qu'aux échanges entre la pâte et l'atmosphère. Également les résultats microbiologiques ont montré le rôle de l'acidité sur l'inhibition du développement des micro-organisme pathogènes.

La qualité hygiénique du produit est confirmée par les analyses microbiologiques obtenues. Les bactéries lactiques ont une activité biologique essentielle pour lutter contre les germes pathogènes en produisant des acides lactiques et des composants antimicrobiens. D'après les résultats obtenus, nous pouvons également conclure que le produit respecte les normes établies par la loi algérienne.

## **Références bibliographiques**

## Références

### A

**Abdel-Rahman, M.L.; Sonomoto, K (2016).** Opportunities to overcome the current limitations and challenges for efficient microbial production of optically pure lactic acid. *J. Biotechnol*, 236, 176–192.

**Aboutayeb, R. 2011.** Technologie du lait et dérivés laitiers. Composition, physicochimie et microbiologie du lait.

**ADDA J, GRIPON J. C. and VASSAL L. 1982.** - The chemistry of flavor and texture generation in cheese. *Food chemistry*, 9, 115-129

**Alais C, Linden G et Miclo L. (2008).** Biochimie alimentaire, Dunod 6ème édition. Paris.

**Amiot J., Fourier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R., (2002).** Composition propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait. IN : Science et technologie du lait, 1-74.

**Auberger, B., Lenoir, J. & Bergère, J. L. (1997).** Caractérisation partielle des exopeptidases d'une souche de *Geotrichum candidum*. *Science des Aliments* 17, 655-670

### B

**Baillargeon, M.W., Bistline, R.G., Sonnet, P.E., 1989.** Evaluation of strains of *Geotrichum candidum* for lipase production and fatty acid specificity. *Applied Microbiology and Biotechnology* 30, 92-96

**BELANTAR, I. (2016).** Étude microbiologique du lait pasteurisé. Doctoral dissertation, Université ibn khaldoun-Tiaret).

**Bonfatti V, Martino G , Cecchinato A , Degano L , Carnier P. 2010.** Effects of beta Kappa casein (CSN2-CSN3) haplotypes, beta-lactoglobulin (BLG) genotypes, and detailed protein composition on coagulation properties of individual milk of Simmental cows. *Journal of Dairy Science*, 93(8): 3809- 3817

**Boutrou, R. et M. Gueguen (2005).** Interests in *Geotrichum candidum* for cheese technology, *International journal of food microbiology*, 102(1):1-20.

- Boutrou R, Gueguen M (2005).** Interests in *Geotrichum candidum* for cheese technology. *Int J Food Microbiol* 102: 1-20.
- Bockelmann, W. (2010).** Secondary cheese starter cultures, dans *Technology of cheesemaking*, Law B.A. et A.Y. Tamime (eds.), Wiley-Blackwell, pages 193-230.
- Bouchoux, A., G. Gésan-Guiziu, J. Pérez & B. Cabane 2010.** How to Squeeze a Sponge: Casein Micelles under Osmotic Stress, a SAXS Study , *Biophysical Journal* 99.11 : 3754-3762. doi : 10.1016/j.bpj.2010.10.019.
- Boujenane I., (2003).** Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA) Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P:6446- Instituts, Rabat, Maroc.
- Bonaiti C, Leclercq-Perlat MN, Latrille E, van den Tempel T, Nielsen MS (2000).** Deacidification by *Debaryomyces hansenii* of smear soft cheeses ripened under controlled conditions: relative humidity and temperature influences. *J Dairy Sci* 87: 3976-3988.
- Boyaval, P., & Desmazeaud, M. J. (1983).** Le point des connaissances sur *Brevibacterium linens*. *Le Lait*, 63(627-628), 187-216.
- Bouterfa, A., Bekada, A., Benguendouz, A., Homrani, A., Amrane, A., Zribi, A., ... & Proestos, C. (2019).** Influence of lactation stage on lipids and fatty acids profile of artisanal Algerian Camembert-type cheese manufactured with cow's milk. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 9(1).
- Bonaiti C, Leclercq-Perlat MN, Latrille E, van den Tempel T, Nielsen MS (2000).** Deacidification by *Debaryomyces hansenii* of smear soft cheeses ripened under controlled conditions: relative humidity and temperature influences. *J Dairy Sci* 87: 3976-3988.
- Bourdat-Deschamps, M., Le Bars, D., Yvon, M. et Chapot-Chartier, M. P. (2004).** Autolysis of *Lactococcus lactis* AM2 stimulates the formation of certain aroma compounds from amino acids in a cheese model. *International Dairy Journal* 14, 791-800
- Boutrou R, Gueguen M (2005).** Interests in *Geotrichum candidum* for cheese technology. *Int J Food Microbiol* 102: 1-20
- Brulé G, Lenoir J, Reneuf F. 1997.** La micelle de caséine et la coagulation du lait. In *le Fromage*. TEC & DOC Lavoisier: Paris; 7-41.

**Carol ,2002.** Science et technologie du lait ,(2002),149 p.

**Carol, p., (2013).** Phage renaissance: new hope against antibiotic resistance. Environ. Health persp. 121: A49-A53.

**Cachon R., Diviès. C. (1993).** A descriptive model for citrate utilization by *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* biovar *diacetylactis*. Biotechnology Letters 15(8): 837-842.

**C. CHOISY, M. DESMAZEAUD, J.C. GRIPON, G. LAMBERET ET J. LENOR. 2006.** «LA BIOCHIMIE DE L’AFFINAGE », jean-Claude Gillis, Le fromage, Lavoisier tec & doc.

**Champagne CP, Soullignac L, Marcotte M , Innocent J-P ,2003.**Texture et evolution du pH de fromages de type Brie entreposés en atmosphere controlee . Lait 83: 145-151

**Cholet, O. (2006).** Etude de l'écosystème fromager par une approche biochimique et moléculaire (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).

**Choisy, C., Desmazeaud, M., Guéguen, M., Lenoir, J., Schmidt, J. L. & Tourneur, C. (1997).** Les phénomènes microbiens. In *Le fromage*, pp. 377-446. Edited by A. Eck & J. C. Gillis. Paris: Technique & Documentation, Lavoisier

**Corsetti, A., Rossi, J. & Gobbetti, M. (2001).** Interactions between yeasts and bacteria in the smear surface-ripened cheeses. *International Journal of Food Microbiology* 69, 1-10.

**Croguennec, T., R. Jeantet, and G. Brulé (2008),** Chapitre 6. Stabilité des micelles de caséines, in *Fondements physicochimiques de la technologie laitière*, Lavoisier. Figure 6 et 7

**Cerning, J., J. Gripon, C., G. Lamberet et J. Lenoir (1987).** Les activités biochimiques des *Penicillium* utilisés en fromagerie, *Lait*, 67(1):3-39.

**Cholet, O. (2006).** Etude de l'écosystème fromager par une approche biochimique et moléculaire (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).

**Choisy, C., Desmazeaud, M., Guéguen, M., Lenoir, J., Schmidt, J. L. & Tourneur, C. (1997).** Les phénomènes microbiens. In *Le fromage*, pp. 377-446. Edited by A. Eck & J. C. Gillis. Paris: Technique & Documentation, Lavoisier

**Corrieu, G. et Luquet, F. M. (2008).** Bactéries lactiques : De la génétique aux ferments. Lavoisier, Paris, pp. 849

**Coiffier O.,1992** .In , les groupes microbiens d'intérêt laitier , CEPIL, Paris pp .303-323.

### D

**Dalgleish DG, Law JR. 1989.**pH-induced dissociation of bovine casein micelles. II. Mineral solubilization and its relation to casein release. *Journal of Dairy Research*, 56: 727-735.

**Dalgleish DG. 1992.** The enzymatic coagulation of milk. *Advanced Dairy Chemistry Proteins*, 1: 579–619

**DAHOU, A. E. A. (2017).** Étude de l'évolution de la flore microbienne indigène d'un fromage industriel à pâte molle type camembert au cours de son affinage et évaluation de ses aptitudes technologiques (Doctoral dissertation, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis).

**De Kruif, C. G. 1998.** « Supra-aggregates of casein micelles as a prelude to coagulation », *Journal of Dairy Science* 81.11 : 3019–3028

**De Kruif, C. G. & E. B. Zhulina 1996.** « Kappa-casein as a polyelectrolyte brush on the surface of casein micelles ».

**Desmazeaud M. et Cogan T.M. 1996.** Role of cultures in cheese ripening. In: Cogan T.M.,Accolas J.P (Eds.), *Dairy Starter Cultures*. VCH Publishers, Inc., New York. pp. 207- 231

**DESMAZEAUD (M.J.) and ZEVACO(C.) (1977).** - General properties and substrate specificity of an intracellular soluble dipeptidase from *Streptococcus diacetylactis*. *Ann. Biol. anim, Bioch. Biophys.*, 17, 723-736.

**Doudies, F. (2019).** Filtration de dispersions de micelles de caséine.: Propriétés physiques, rhéologiques et cohésives des couches concentrées accumulées à la surface de la membrane (Doctoral dissertation, Agrocampus Ouest)..

### E

**Eliskases-Lechner, F. & Ginzinger, W. (1995).**The bacterial flora of surface-ripened cheeses with special regard to coryneform. *Lait* 75, 571-584

### F

**Fleet GH (1999).**Microorganisms in food ecosystems. *Int J Food Microbiol* 50: 101- 117.

**Floriane Doudies.2019.** Filtration de dispersions de micelles de caséine : propriétés physiques, rhéologiques et cohésives des couches accumulées à la surface de la membrane. Ingénierie des aliments. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 2019.

**Fox P., McSweeney P., Cogan T., Guinee T., (2004).** Cheese: chemistry, physics and microbiology: general aspects Volume 1. 3ème Ed Elsevier Academic Press, London, P. 640

**Forquin, M. P. (2010).** Étude de *Brevibacterium aurantiacum*, une bactérie d'affinage de fromage: de son métabolisme du soufre à son interaction avec *Kluyveromyces lactis* (Doctoral dissertation, AgroParisTech).

**Franck Neyers.2018.** « Affinage sous film. » Revue des écoles Nationales d'Industrie Laitière, N 348 (21/06/2018) : 16.

**Forquin, M. P. (2010).** Étude de *Brevibacterium aurantiacum*, une bactérie d'affinage de fromage: de son métabolisme du soufre à son interaction avec *Kluyveromyces lactis* (Doctoral dissertation, AgroParisTech).

### G

**Gaucheron, F. (2010, May).** Diversité des laits et des produits laitiers dans le monde. In Colloque Cultures des laits du Monde Observatoire CNIEL des habitudes alimentaires (p. np)

**Ghaoues.S(2010).** Evaluation de la qualité physico-chimique et organoleptique des Cinq marque de laits reconstitués partiellement écrémé commercialisé dans l'est algérien. Mémoire magister : science alimentaire. Constantine. Université Mentouri. 187p

**GOUDEDRANCHE, H., CAMIER-CAUDRON, B., GASSI, J. Y., & SCHUCK, P. (2001).** Procédés de transformation fromagère (partie 1). Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire, 3(F6305), F6305-1

**Guizani, N., S. Kasapis, Z.H. Al-Attabi et M.H. Al-Ruzeiki (2002).** Microbiological, physicochemical, and biochemical changes during ripening of Camembert cheese made of pasteurized cow's milk, International journal of food properties, 5(3):483-494.

### H

**Hallén, E. (2008).** Coagulation Properties of Milk [Doctoral dissertation, Swedish university of agricultural sciences]. SLU service. [https://pub.epsilon.slu.se/1879/1/EH\\_kappa\\_EH.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/1879/1/EH_kappa_EH.pdf)

**Hardy, J. 1997.** L'activité de l'eau et le salage. In *Le fromage Lavoisier Tec & Doc*. Paris. p.62-84. A verifier l annee

**Holt C. 1997.** The milk salts and their interaction with caseins. In *Advanced in Dairy Chemistry:Lactose, Water, Salts and Vitamins (Vol. 3)*. Chapman &Hall: London; 233-256

### I

**Iboudo, A. J., Savadogo, A., Seydi, M. G., & Traore, A. S. (2012).** Place de la matière azotée dans le mécanisme de la coagulation présure du lait. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(6), 6075-6087.

**Ingham, B., A. Smialowska, G. D. Erlangga, L. Matia-Merino, N. M. Kirby, C. Wang, R. G. Haverkamp & A. J. Carr 2016.** « Revisiting the interpretation of casein micelle SAXS data », *Soft Matter* 12.33 : 6937- 6953. doi : 10.1039/c6sm01091a.

### J

**J.B. Coulon, Y. Chilliard, B. Rémond.1991.** Effets du stade physiologique et de la saison sur la composition chimique du lait de vache et ses caractéristiques technologiques (aptitude à la coagulation, lipolyse). *Productions Animales*, 1991, 4 (3), pp.219-228. fahal-00895941f

**Jean christophe viullemardi (2018).**« composition et propriétés physicochimique du lait » (chap. 1) dans *science et technologie du lait* . Canada :presse de l'université laval , p. 1-36.

**Jean Marie Perreau. 2022.***Conduire son troupeau de vaches laitières*, France, Edition France agricole, 2022

**Jean-Jacques, SNAPPE, Anne LEPOUDERE, and Natacha SREDZINSKI .2010 .** "Protéines laitières." (2010).

**Juillard, V., Spinnler, H. E., Desmazeaud, M. J., & Boquien, C. Y. (1987).** Phénomènes de coopération et d'inhibition entre les bactéries lactiques utilisées en industrie laitière. *Le lait*, 67(2), 149-172.

### K

**Kinsella JE, Hwang DH, Dwivedi B (1976).** Enzymes of *Penicillium roqueforti* involved in the biosynthesis of cheese flavor. *CRC Cr Rev Food Sci* 8: 191-228.

**KEEFFE(A. M.), Fox (P. F.) and DALY(C) (1978).** - Proteolysis in Cheddar cheese: role of coagulant and starter bacteria. *J. Dairy Res.*, 45, 465-477.

**Kinsella JE, Hwang DH, Dwivedi B (1976).** Enzymes of *Penicillium roqueforti* involved in the biosynthesis of cheese flavor. *CRC Cr Rev Food Sci* 8: 191-228

### L

**Liu, W.; Pang, H.; Zhang, H.; Cai, Y.2014.**Biodiversity of lactic acid bacteria. In *Lactic Acid Bacteria: Fundamentals and Practice*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2014; ISBN 978-94-017-8840-3.

**Lessard, M. H. (2014).** Le suivi de la croissance et de l'activité spécifique des mycètes pendant l'affinage du Camembert (Doctoral dissertation, Université Laval).

**Lapointe-Vignola, Carole. 2002.** Science et technologie du lait : transformation du lait. Presses internationales Polytechnique.

**Leymarios, F. C. (2010).**qualité nutritionnelle du lait de vache et de ses acides gras. Voies d'amélioration par l'alimentation, thèse pour le doctorat vétérinaire, école nationale vétérinaire d'Alfort ...

**Luquet F M , (1985),**lait et produits laitiers : vache, brebis, chèvre. 3 volumes, Paris, Technique et documentation, Lavoisier

**Le Graet Y, Brule G. 1993.** Les équilibres minéraux du lait: influence du pH et de la force ionique. *Lait*, 73: 51-60.

**Lamontagne, M., Champagne, C., Reitz-Ausseau, J., Moineau, S., Gardner, N., Lamoureux, M., Jean, J., and Fliss, I. (2002).** Microbiologie du lait. Science et technologie du lait. Transformation du lait. Fondation de technologie laitière du Québec Inc. Québec, Canada: Presses Internationales Polytechnique. p, 89-91.

**Lévesque, P. (2007).** "La traite des vaches laitières," Educagri Editions.

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

**Lenoir, J. (1983).** The surface microora and their actions during cheese ripening. *International Dairy Federation., Bull. FIL-IDF 171* :319.

**Lenoir, J. (1984).**The surface flora and its role in the ripening of cheese. *Bulletin of the International Dairy Federation 171*, 3-20

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

**Leclercq-Perlat, M.N. (2011).** Cheese | Camembert, brie, and related varieties, dans *Encyclopedia of dairy sciences (Second edition)*, J.W. Fuquay (ed.), Academic Press, San Diego, pages 773-782.

**Le Graet, Y., Lepienne, A., Brule, G., & Ducruet, P. (1983).** Migration du calcium et des phosphates inorganiques dans les fromages à pâte molle de type Camembert au cours de l'affinage. *Le Lait*, 63(629-630), 317-332.

**Leveau, J. Y. Bouix, M. Y., (1993).**Les levures dans la microbiologie industrielle. *Microbiologie industrielle. APRIA*, Paris, France, 1-93.

**Lucey, J.A., Johnson, M.E., Horne, D.S., 2003.** Invited review: perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *Journal of Dairy Science* 86, 2725–2743

## M

**Marchin, S., J.-L. Putaux, F. Pignon & J. Léonil 2007.**« Effects of the Environmental Factors on the Casein Micelle Structure Studied by Cryo Transmission Electron Microscopy and Small-Angle x-Ray Scattering/Ultrasmall-Angle x-Ray Scattering », *The Journal of Chemical Physics* 126.4 : 045101. doi : 10.1063/1.2409933.

**Mahaut M, Jeantet R, Brule G. 2000.** Initiation à la Technologie Fromagère. *TEC & DOC Lavoisier* : Paris ; 194 p.

- Mahaut Michel, Romain Jeantet, 200.** Gérard brulé. Initiation à la technologie fromagère, Lavoisier tec et doc, 2000.459-120-24-24-46
- Mathieu H. 1985.** Facteurs de variation de la composition du lait. In Lait et Produits Laitiers. 1. Les Laits de la Mamelle à la Laiterie. TEC & DOC Lavoisier: Paris; 119-17
- Martin B., Coulon J.B., (1995).** Facteurs de production du lait et caractéristiques des fromages. 1. Influence des facteurs de production sur l'aptitude à la coagulation des laits de troupeaux Lait (1995) 75, 61-80.
- Matallah, S., Bouchelaghem, S., & Matallah, F. (2015).** Variations de la composition chimique du lait de vache Holstein dans le nord-est de l'Algérie. *Livestock Research for Rural Development*, 27(1), 2015
- McSweeney, P. L. H. & Sousa, M. J. (2000).** Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: a review. *Lait* 80, 293-324
- Molimard P, Spinnler HE (1996).** Review: compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses: origins and properties. *J Dairy Sci* 79: 169-184
- Marilley, L., and Casey, M. G. (2004).** Flavours of cheese products: metabolic pathways, analytical tools and identification of producing strains. *Int. J. Food Microbiol.* 90, 139–159. doi: 10.1016/S0168-1605(03)00304-0
- Merlet, A. (1995).** Influence des paramètres d'ambiance sur l'a-nage des fromages
- Mounier J, Rea MC, O'Connor PM, Fitzgerald GF, Cogan TM (2007).** Growth characteristics of *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Microbacterium*, and *Staphylococcus* spp. isolated from surface-ripened cheese. *Appl Environ Microbiol* 73: 7732-7739.
- Molimard, P. et H.E. Spinnler (1996).** Review: compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses: origins and properties, *Journal of dairy science*, 79(2):169-184.
- Monnet, V., Vassal, L., Le Bars, D., Colette, R. O. U. X., & Gripon, J. C. (1986).** Relation entre le pH, la composition chimique et la texture des fromages de type Camembert. *Le lait*, 66(4), 341-351.
- Molimard P, Spinnler HE (1996).** Review: compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses: origins and properties. *J Dairy Sci* 79: 169-184

**MOSBAH S., MEKKAOUI S., DAHIA M., BOUAL Z. et BOUDJENAH-HAROUN S. (2019).** Variation des paramètres physico-chimiques et biochimiques au cours de la préparation du Raib à partir du lait de chamelle. *Revue des Bio Ressources*. Vol 9, N° 2, 66 – 77.

### O

**Olivier Larché , 2016.** Analogues de fromage et produits fromagers sans lait frais Réglementation et intérêts. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, F6313v1.

### P

**Papamanoli, E., Tzanetakis, N., Litopoulou-Tzanetaki, E. & Kotzekidou, P. 2003.** Characterization of lactic acid bacteria isolated from a Greek dry-fermented sausage in respect of their technological and probiotic properties. *Meat science*, 65, 859-867

**Perreau, J.-M. (2014).** "Conduire son troupeau de vaches laitières," Éd. France Agricole

**Picque D, Leclercq-Perlat M-N, Guillemain H, Cattenoz T, Corrieu G, et al. (2011)** Impact of packaging on the quality of Saint-Nectaire cheese. *Int Dairy J* 21: 987- 993

**Pignon, F., G. Belina, T. Narayanan, X. Paubel, A. Magnin & G. Gésan-Guizieu 2004** « Structure and Rheological Behavior of Casein Micelle Suspensions during Ultrafiltration Process », *The Journal of Chemical Physics* 121.16 : 8138. doi : 10.1063/1.1800931.

**Pilet M.F., Magras C., Federighi M., 2005.** Bactéries lactiques. In : *bactériologie alimentaire* (Federighi M.). 2e Ed., Economica. Paris. 219-240.

**Pritchard, S. R., Phillips, M., & Kailasapathy, K. (2010).** Identification of bioactive peptides in commercial Cheddar cheese. *Food Research International*, 43, 1545-1548. doi:10.1016/j.foodres.2010.03.007

### R

**Raiffaud, C., Dudez, P., and François, M. (2017).** "Transformer les produits laitiers frais à la ferme: 3ème édition mise à jour," Educagri éditions.

**Ribadeau-Dumas, B. (1984).** Maîtrise de l'affinage des fromages de type Camembert. *Le Lait*, 64(643-644), 448-468.

**Ratray, 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, 891-909.

**RUEGGM., BLANCB., 1976.** Effect of pH on water vapor sorption by caseins. *J. Dairy Sci.*, 59, 1019-1024

**Ruiz- Sala, P., M. T. G. Hierro, I. Martínez- Castro & G. Santa- María 1996** « Triglyceride Composition of Ewe, Cow, and Goat Milk Fat », *Journal of the American Oil Chemists' Society* 73.3 : 283-293. doi : 10.1007/BF02523421.

### S

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

**Schmidt DG. 1980.** Colloidal aspects of casein. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 34: 42-64

**Sert, D., Akin, N., and Aktumsek, A. (2014).** Lipolysis in Tulum cheese produced from raw and pasteurized goats' milk during ripening. *Small Rumin. Res.* 121, 351–360. doi: 10.1016/j.smallrumres.2014.06.006

**Shipe, W. F., R. Bassette, D. D. Deane, W. L. Dunkley, E. G. Hammond, W. J. Harper, D. H. Kleyn, M. E. Morgan, J. H. Nelson & R. A. Scanlan 1978** « Off Flavors of Milk: Nomenclature, Standards, and Bibliography1 », *Journal of Dairy Science* 61.7 : 855-869. doi : 10.3168/jds.S0022-0302(78)83662-5.

**Singleton P.,2002 .**Bactériologie ,Dunod ,Paris ,pp :381-394.

**Spinnler HE, Gripon JC (2004).**Surface mould-ripened cheeses. In: Fox PF, McSweeney PL, Cogan TM, Guinee TP, editors. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*: Academic Press. pp. 157-174.

**Sousa, M.J. (2003).** Cheeses | Surface mold-ripened cheese varieties, dans *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (Second edition), B. Caballero (ed.), Academic Press, Oxford, pages 1122-1129.

**SNAPPE, J. J., LEPOUDERE, A., & SREDZINSKI, N. (2010).** Protéines lactières.

**Siboukeur A. et Siboukeur O., 2012.** Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du lait de chamelle collecté localement en comparaison avec le lait bovin. *Annales des Sciences et Technologie*, 4, p. 102-107.

**Sicard, M. (2010).** Méthodes, concepts et outils des systèmes complexes pour maîtriser les procédés alimentaires. Application à l'affinage de camemberts (Doctoral dissertation, AgroParisTech).

### T

**Theolier, J., Hammami, R., Fliss, I., & Jean, J. (2014).** Antibacterial and antifungal activity of water-soluble extracts from Mozzarella, Gouda, wiss, and Cheddar commercial cheeses produced in Canada. *Dairy Science and Technology*, 94, 427-438. doi:10.1007/s13594-014-0170-9

### V

**Van den Tempel T, Nielsen MS (2000)** Effects of atmospheric conditions, NaCl and pH on growth and interactions between moulds and yeasts related to blue cheese production. *Int J Food Microbiol* 57: 193-199.

**Vassal, L., & Gripon, J. C. (1984).** L'amertume des fromages à pâte molle de type camembert: rôle de la présure et de *Penicillium caseicolum*, moyens de la contrôler. *Le lait*, 64(643-644), 397-417.

**Vedamuthu E.R.,1994.** The dairy *Leuconostoc*: use in dairy products, *J. Dairy Sci.* 77 (1994) 2725–2737

**Veisseyre R., (1975).** Technologie du lait .constituants, récolte traitement et transformation du lait. Edition. Maison rustique. Paris. pp: 112-133

**Veisseyre R, (1975).** Technologie du lait-Constitution, récolte, traitement et transformation du lait. La maison rustique. Paris pp.2-328.

**Vignola CL. 2002.** Science et Technologie du Lait. Transformation du Lait. Fondation et Technologie Laitière du Québec. Presses Internationales Polytechnique: Québec; 600 p

**Visser S, Van Rooyen PJ, Slangen CJ. 1980.** Peptide substrates for chymosin (rennin). Isolation and substrate behaviour of two tryptic fragments of bovine  $\kappa$ -casein. *European Journal of Biochemistry*, 108: 415-421.

**VISSER (F. M. W.) (1977).** - Contribution of enzymes from rennet, starter bacteria and milk to proteolysis and flavour development in Gouda cheese. 3. Protein breakdown: analysis of the soluble nitrogen and amino acid nitrogen fractions. *Neth. Milk Dairy J.*, 31, 210-239.

### W

**Walstra, P., J. T. M. Wouters & T. J. Geurts 2005.** *Dairy Science and Technology*, CRC Press. doi : 10.1201/9781420028010.

**Walstra, P. et Jenness, R. (1984).** Dans *Dairy Chemistry and Physics*, John Wiley & Sons, New York, USA

### Z

**Zheng, X., Shi, X., & Wang, B. (2021).** A review on the general cheese processing technology, flavor biochemical pathways and the influence of yeasts in cheese. *Frontiers in Microbiology*, 12, 703284.

# **Annexes**

**Annexes**

Évolution des paramètres physico-chimiques du fromage au cours de l'affinage

<b>Paramètre\périodes</b>	<b>1er jour</b>	<b>5ème jour</b>	<b>8ème jour</b>	<b>28ème jour</b>
Ph	5,16	5,09	5,09	5,71
MG (g)	21 g	24 g	24 g	27 g
EST	48,31	48,63	48,72	51,47
H %	51,69 %	51,37%	51,28 %	48,53 %
ESD	27,31	24,63	24,72	24,47