

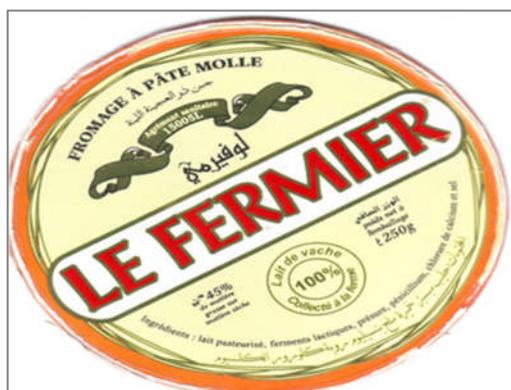
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques
Département Biochimie Microbiologie



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER EN
BIOLOGIE
SPECIALITE : MICROBIOLOGIE APPLIQUEE

Thème

***Suivi des paramètres physico-chimiques
et microbiologiques du camembert***
**«Le Fermier» fabriqué à la laiterie EURL STLD « Société de
transformation du lait et dérivés » Tizi-Ouzou**



Réalisé par :

HIBOUCHE Soumia

Présenté devant le jury :

M^r. SEBBANE H.

Président du Jury

Maître assistant classe (A) UMMTO.

M^r. MEDJKOUN N.

Encadreur

Maître assistant classe (A) UMMTO.

M^r. MOUALEK

Examineur

Maître assistant classe (A) UMMTO.

M^r. TITOUCHE

Examineur

Maître assistant classe (B) UMMTO.

Promotion 2015-2016

Remerciements

Ce travail marque la fin de ma formation en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biologie Spécialité Microbiologie Appliquée. C'est ici l'occasion pour moi de remercier toutes les personnes qui ont participé à sa réalisation.

Je tiens en premier lieu à remercier M. MEDJKOUN N., promoteur du présent travail, pour avoir accepté de m'encadrer, pour sa bienveillance et sa disponibilité, ses conseils et observations qui m'ont été d'une grande utilité.

J'exprime également ma reconnaissance envers M. SEBBANE H. pour m'avoir aidé à réaliser ce travail et avoir fait preuve d'une très grande compréhension et beaucoup d'encouragement ainsi le président du jury M et M^r TITOUCHE pour m'avoir fait l'honneur d'évaluer mon travail.

Mes remerciements s'adressent aussi au personnel de l'unité EURL STLD « Société de transformation du lait et dérivés » Tizi-Ouzou qui a rendu possible mon stage pratique et donc la rédaction du présent travail. Pour leur orientation et accueil sympathique lors des journées passées en stage.

J'adresse tout particulièrement mes remerciements à la Science, qui nourrit nos esprits de connaissances, veille à ce que les générations se relaient et se passent perpétuellement le flambeau, pour que la lumière du savoir ne soit jamais éteinte.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail. Que toutes ces personnes trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.



Dédicaces

Je dédie cet humble travail

A mes parents

A mes grands-parents, oncles et tantes

A mes proches et à toute ma famille

A qui je dois toutes mes réussites. Aucune dédicace ne serait assez éloquente pour exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que je leur porte. Puisse Dieu, le tout puissant, les préserver et les accorder santé, longue vie et bonheur.

A Mr. MEDJKOUN N.

qui n'est pas un professeur ordinaire comme les autres mais un père pour toute notre promotion Microbiologie Appliquée 2014-2015 qu'on estime et aime beaucoup que Dieu le protège et sa famille.

En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et chacun pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie

A mes amis : Ryma, Malek, Lyamine, Lynda, Nassima... et toute la promotion Microbiologie Appliquée 2014- 2015 et tous les gens qui m'aiment

Pour m'avoir soutenue tout au long de mon parcours

Résumé

Ce travail est porté sur la fabrication du camembert «Le Fermier » ainsi que le suivi de ses caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques au cours du processus de fabrication.

Cette étude a été réalisée dans le but d'apprécier la qualité du camembert produit à la laiterie EURL STLD « Société de Transformation du Lait et Dérivés » à Tizi-Ouzou en effectuant des mesures de quelques paramètres physicochimiques et microbiologiques.

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

Mots clés: qualité, camembert, suivi, processus de fabrication, résultats, normes.

Summary

This work is focused on the manufacture of Camembert « Le Fermier » and monitoring of its physico-chemical and microbiological characteristics during the manufacturing process.

This study was made in order to estimate the quality of camembert which is produced at the dairy «EURL STLD » by measuring some of its physico-chemical and microbiological parameters.

The results are compared to regulatory standards allowing us to estimate the quality of camembert « le Fermier ».

keywords: quality, camembert, control, manufacturing process, results, standards.

Liste des tableaux

Tableau I : Composition moyenne du lait entier	4
Tableau II : Composition moyenne en % du lait de vache, femme, brebis et chèvre	5
Tableau III : Classification des protéines	9
Tableau IV : Composition minérale du lait de vache	9
Tableau V : la composition vitaminique moyenne du lait cru	10
Tableau VI : Caractéristiques des principaux enzymes du lait	11
Tableau VII : Caractéristiques physicochimiques du lait	13
Tableau VIII : Teneur moyenne en eau des fromages	18
Tableau IX : Teneurs comparées en oligoéléments du lait et des fromages	21
Tableau X : Composition du camembert pour 100g du produit frais	22
Tableau XI : Caractéristiques des deux modes habituels de coagulation du lait	28
Tableau XII : Principaux groupes microbiens intervenant au cours de l'affinage du camembert	32
Tableau XIII : Paramètres physicochimiques mesurés aux différents points d'échantillonnage	39
Tableau XIV : Germes recherchés aux différents Points d'échantillonnage.....	46
Tableau XV : Résultats des analyses physicochimiques du lait de vache	49
Tableau XVI : Résultats des analyses physicochimiques du produit en cours de fabrication	52
Tableau XVII : Résultats des analyses microbiologiques du lait pasteurisé	52
Tableau XVIII : Résultats des analyses microbiologiques du produit en cours de fabrication	53
Tableau XIX : Résultats des analyses microbiologiques du produit fini	55

Liste des figures

Figure 1 :
Composition de la matière grasse du lait 6

Figure 2 :
Représentation d'une submicelle (A) et d'une micelle (B) 7

Figure 3 :
Evolution des constituants au cours de l'affinage 31

Figure 4 :
Diagramme de fabrication du camembert à la laiterie STLD de Tizi-Ouzou 38

Liste des annexes

Annexe 01 : Matériel de laboratoire utilisé

Annexe 02 : Mode opératoire pour la mesure de l'acidité titrable

Annexe 03 : Préparation des dilutions décimales pour les échantillons du lait

Annexe 04 : Préparation d'une solution mère et des dilutions décimales pour les échantillons solides

Annexe 05 : Mode opératoire pour les analyses microbiologiques

Annexe 06 : Composition des milieux de culture.

Liste des abréviations

A_w : Activité de l'eau

α : Alpha

β : Beta

°C : degré Celsius

°D : Degré dornic

ESD : extrait se dégraissé

EST : Extrait sec total

F MAT : Flore mésophile totale

g : Gramme

h : Heure

H% : Humidité

Ig : Immunoglobuline

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

Kg : Kilogramme

Κ : kappa

L : Litre

MG : Matière grasse

MS : Matière sèche

mg : Milligramme

ml : Millilitre

min : Minute

N : Normalité

% : Pourcentage

pH : Potentiel d'hydrogène

s : Seconde

T° : Température

UFC : Unité formant colonie

SOMMAIRE

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction	1
Chapitre I : Généralités	
I. Le lait	
1. Définition	3
2. Composition du lait	3
2.1. Eau.....	5
2.2. Glucides	5
2.3. Matière grasse	6
2.4. Protéines	7
2.5. Minéraux	9
2.6. Vitamines	10
2.7. Enzymes	10
3. Propriétés physico-chimiques du lait	11
3.1. pH.....	11
3.2. Densité et masse volumique.....	11
3.3. Acidité du lait	12
3.4. Point d'ébullition.....	12
3.5. Point de congélation.....	12
4. Valeur nutritionnelle du lait	13
II. Le fromage	
1. Définition du fromage	14
2. Historique.....	14
3. Etapes de fabrication des fromages.....	15
4. Classification des fromages.....	16
5. Caractéristiques nutritionnelles des fromages.....	18
5.1. La teneur en eau et l'extrait sec complémentaire	18
5.2. Les protéines.....	18
5.3. Les lipides.....	19
5.4. Les glucides	19
5.5. Les minéraux	20
5.6. Les vitamines.....	21

Chapitre II : Le camembert

1. Historique	22
2. Définition	22
3. Composition et valeur nutritionnelle.....	22
4. Fabrication du camembert.....	23
4.1. Matières premières	23
4.1.1. Lait.....	23
4.1.2. La matière grasse laitière anhydre (MGLA)	24
4.1.3. L'eau de reconstitution.....	24
4.2. Les ingrédients	24
4.3. Le processus technologique de la fabrication du camembert	25
4.3.1. Préparation du lait.....	25
4.3.2. Ensemencement et maturation lait	26
4.3.3. La fabrication proprement dite.....	27
4.3.4. Les étapes de finition du caillé.....	29

PARTIE EXPERIMENTALE**Chapitre I : Présentation générale**

1. Présentation de l'unité « STLD »	35
2. Camembert fabriqué à l'unité.....	35
2.1. Processus de fabrication du camembert	36

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Matériel utilisé	39
2. Analyses physicochimiques	39
2.1. Echantillonnage.....	39
2.2. Analyses	39
2.2.1. Analyse du lait cru	39
2.2.1.1. Mesure du pH.....	39
2.2.1.2. Mesure de l'acidité titrable.....	40

2.2.1.3. Mesure de la densité	40
2.2.1.4. Mesure de la teneur en matière grasse	41
2.2.1.5. Mesure de l'extrait sec total et de l'extrait sec dégraissé	41
2.2.1.6. Test de détection des antibiotiques dans le lait	42
2.2.2. Analyse du camembert	43
2.2.2.1. Mesure du pH	43
2.2.2.2. Mesure de la teneur en matière grasse.....	43
2.2.2.3. Mesure de l'Extrait Sec Total et de l'extrait sec dégraissé	44
3. Analyses microbiologiques	45
3.1. Echantillonnage	45
3.2. Préparation des solutions mères	45
3.3. Préparation des dilutions décimales	45
3.4. Analyse des produits	46
3.4.1. Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale	47
3.4.2. Dénombrement des Coliformes totaux et fécaux.....	47
3.4.3. Dénombrement des <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs	47
3.4.4. Recherche de <i>Salmonella</i>	48
3.4.5. Recherche de <i>Staphylococcus aureus</i>	48

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Analyses physicochimiques	49
1.1. Lait de vache cru	49
1.2. Produit en cours de fabrication.....	51
2. Analyses microbiologiques	52
2.1. Lait pasteurisé	52
2.2. Produit en cours de fabrication.....	53
2.3. Produit fini.....	55

Conclusion	57
-------------------------	----

Références bibliographiques

Annexes

Le fromage a toujours été une valeur sûre de l'alimentation humaine. C'est le résultat d'une transformation du lait très ancienne. Source précieuse de protéines, il a été l'un des premiers moyens de conservation du lait, matière première rapidement périssable. Cependant, la coagulation du lait et l'égouttage du caillé qui en résulte n'offrent qu'une stabilité relative et variable selon les fromages qui sont des produits laitiers « vivants » (BOUTONNIER, 2000).

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

La qualité finale du camembert est intimement liée à toutes les matières premières mises en œuvre; elle est largement influencée par les techniques et les conditions de son élaboration.

Le camembert passe par plusieurs étapes de fabrications dont chacune est dépendante de l'étape qui la précède, ses caractéristiques sont déterminées par un grand nombre de facteurs liées à la nature et à l'état du lait, des ingrédients de fabrication et des facteurs technologiques liés particulièrement à la conduite de la fabrication; c'est de leur maîtrise que dépendra la qualité recherchée par le consommateur. Afin de garantir cette qualité, il est indispensable aux entreprises de fabrication d'établir une stratégie de maîtrise de la chaîne de fabrication de son produit.

Ce travail présente l'une des stratégies utilisées ; il a été réalisé en effectuant une étude expérimentale dans l'une des entreprises, il s'agit de la laiterie EURL STLD « société de transformation du lait et dérivés » à Tizi-Ouzou.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la qualité du camembert produit dans cette entreprise par un suivi de ses différents paramètres physicochimiques et microbiologiques tout au long de ses étapes de fabrication.

Pour ce faire, des analyses physicochimiques et microbiologiques ont été réalisées sur le camembert tout au long de sa chaîne de fabrication. On a procédé à la mesure de quelques paramètres physicochimiques et au dénombrement de certains germes, puis les résultats ont

été confrontés à des normes réglementaires préétablies nous permettant l'appréciation de la qualité du produit, qui est le reflet direct du respect ou non des bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication qui ont un impact direct sur la qualité.

I. Le lait

1. Définition

Le lait était défini en 1908 au cours du congrès international de la répression des fraudes à Genève comme étant « 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 doit pas contenir du colostrum» (POUGHEON et GOURSAUD, 2001).

Selon ABOUTAYEB (2009), le lait est un liquide blanc, opaque, de saveur légèrement sucrée, constituant un aliment complet et équilibré, sécrété par les glandes mammaires de la femme et par celles des mammifères femelles pour la nutrition des jeunes.

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

JEANTET *et al.* (2007) rapportent que le lait doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et présenter toutes les garanties sanitaires. Il peut être commercialisé en l'état mais le plus souvent après avoir subi des traitements de standardisation lipidique et d'épuration microbienne pour limiter les risques hygiéniques et assurer une plus longue conservation.

2. La composition du lait

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

Les laits sont les seuls aliments naturels complets qui existent, chacun d'eux étant adapté à la race qu'il permet de développer (MITTAINE, 1980).

Selon FAVIER (1985), le lait est une source importante de protéines de très bonne qualité, riches en acides aminés essentiels, tout particulièrement en lysine qui est par excellence l'acide aminé de la croissance. Ses lipides, caractérisés par rapport aux autres corps gras alimentaires par une forte proportion d'acides gras à chaîne courte, sont beaucoup plus riches en acides gras saturés qu'en acides gras insaturés. Ils véhiculent par ailleurs des quantités appréciables de cholestérol et de vitamine A ainsi que de faibles quantités de

vitamine D et E.

Les principaux constituants du lait par ordre décroissant selon POUGHEON et GOURSAUD (2001) sont:

- L'eau, très majoritaire;
- Les glucides principalement représentés par le lactose;
- Les lipides, essentiellement des triglycérides rassemblés en globules gras;
- Les sels minéraux à l'état ionique et moléculaire;
- Les protéines, caséines rassemblées en micelles, albumines et globulines solubles;
- Les éléments à l'état de trace mais au rôle biologique important, enzymes, vitamines et oligoéléments.

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

- Une émulsion de matières grasses ou phase grasse constituée de globules gras et de vitamines liposolubles (A, D);
- une phase colloïdale qui est une suspension de caséines sous forme de micelle;
- une phase aqueuse qui contient les constituants solubles du lait (protéines solubles, lactose, vitamines B et C, sels minéraux, azote non protéique);
- une phase gazeuse composée d'O₂, d'azote et de CO₂ dissous qui représentent environ 5 % du volume du lait.

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

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

Composants	Teneurs (g/100g)
Eau	89,5
Matières azotés	3,44
Protéines	3,27
Caséine	2,71
Protéines solubles	0,56
Azote non protéique	0,17
Matières grasses	3,5
Lipides neutres	3,4
Lipides complexes	<0,05
Composés liposolubles	<0,05
Glucides	4,8
Lactose	4,7
Gaz dissous	5% du volume du lait
Extrait sec total	12,8g

Le tableau II suivant donne la composition moyenne en % pour différentes espèces animales.

Tableau II: Composition moyenne en % du lait de vache, femme, brebis et chèvre (JENSEN, 1995).

Composants	Vache	Femme	Brebis	Chèvre
Protéines	3,4	1,0	2,9	5,5
Caséines	2,8	0,4	2,5	4,6
lipides	3,7	3,8	4,5	7,4
Lactose	4,6	7,0	4,1	4,8
Minéraux	0,7	0,2	0,8	1,0

2.1. Eau

D'après AMIOT *et al.*, (2002), l'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion. La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire. Ce caractère polaire lui permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum. Puisque les matières grasses possèdent un caractère non polaire (ou hydrophobe), elles ne peuvent se dissoudre et forment une émulsion du type huile dans l'eau. Il en est de même pour les micelles de caséines qui vont former une suspension colloïdale puisqu'elles sont solides.

2.2. Glucides

MATHIEU (1999) évoque que le lait contient des glucides essentiellement représentés par le lactose, son constituant le plus abondant après l'eau. Sa molécule $C_{12}H_{22}O_{11}$, est constituée d'un résidu galactose uni à un résidu glucose. Le lactose est synthétisé dans les cellules des acini à partir du glucose sanguin. Son pouvoir sucrant est six fois plus faible que celui du saccharose (CHEFTEL J.C et CHEFTEL H., 1980).

Le lactose est quasiment le seul glucide du lait de vache et représente 99% des glucides du lait de monogastriques. Sa teneur est très stable entre 48 et 50 g/l dans le lait de vache. Cette teneur présente de faibles variations dans le sens inverse des variations du taux butyreux.

Le lactose est un sucre spécifique du lait ; en effet, il constitue la matière carbonée principale pour le développement des bactéries lactiques. La transformation du lactose en acide lactique entraîne une baisse de pH du lait et la déstabilisation de ses éléments dispersés, force la déminéralisation des micelles de caséines, favorise la synérèse du caillé et inhibe en même temps la croissance de certains microorganismes indésirables (HODEN et COULON, 1991).

2.3. Matière grasse

JEANTET *et al.* (2007) rapportent que la matière grasse est présente dans le lait sous forme de globules gras de diamètre de 0.1 à 10µm et est essentiellement constitué de triglycérides (98%). La matière grasse du lait de vache représente à elle seule la moitié de l'apport énergétique du lait. Elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés. Elle renferme :

- Une très grande variété d'acides gras (150 acides gras différents) ;
- une proportion élevée d'acides gras à chaînes courtes, assimilés plus rapidement que les acides gras à longues chaînes ;
- une teneur élevée en acide oléique (C18 :1) et palmitique (C16 :0) ;
- une teneur moyenne en acide stéarique (C18 :0).

La figure 1 présente un globule gras du lait. La membrane est constituée de phospholipides, de lipoprotéines, de cérébrosides, de protéines, d'acides nucléiques, d'enzymes et d'oligoéléments (métaux) et d'eau (BYLUND, 1995).

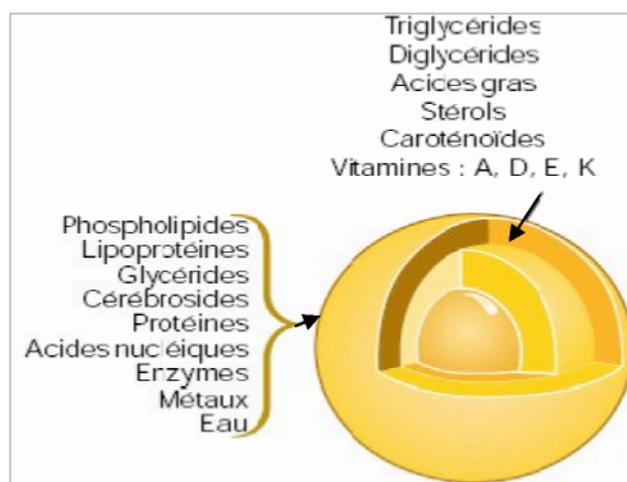


Figure 1: Composition de la matière grasse du lait (BYLUND, 1995).

Les phospholipides représentent moins de 1% de la matière grasse, sont plutôt riches en acides gras insaturés. Le lait de vache est pauvre en acides gras essentiels (acide linoléique C18 :2 et acide linoléique (C18 :3) par rapport au lait de femme (1.6% contre 8.5% en moyenne) (JEANTET *et al.*, 2007).

2.4. Protéines

Selon JEANTET *et al.* (2007), le lait de vache contient 3,2 à 3,5% de protéines réparties en deux fractions distinctes:

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

La classification des protéines est illustrée dans le tableau III.

2.4.1. Caséines

JEAN et DIJON (1993) rapportent que la caséine est un polypeptide complexe, résultat de la polycondensation de différents aminoacides, dont les principaux sont la leucine, la proline, l'acide glutamique et la sérine. Le caséinate de calcium, de masse molaire qui peut atteindre 56000 g mol^{-1} , forme une dispersion colloïdale dans le lait. Les micelles protéiques ont un diamètre de l'ordre de $0,1 \mu\text{m}$ dans le lait de vache.

La caséine native a la composition suivante: protéine 9%, calcium 3%, phosphore 2,2%, acide citrique 0,5% et magnésium 0,1% (ADRIAN *et al.*, 2004) (figure 2).

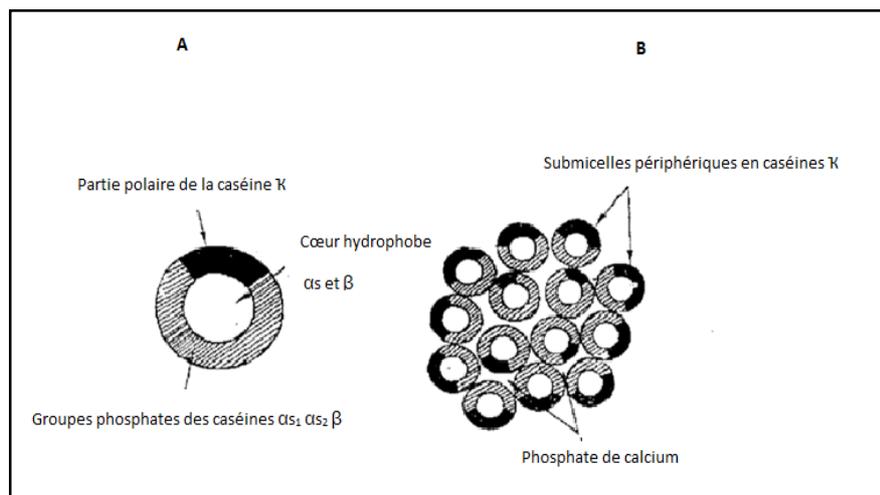


Figure 2 : Représentation d'une submicelle (A) et d'une micelle (B) (SCHMIDT, 1982).

2.4.2. Protéines du lactosérum

Les protéines du lactosérum représentent 15 à 28% des protéines du lait de vache et 17% des matières azotées (DEBRY, 2001).

THAPON (2005) définit les protéines du lactosérum comme étant des protéines d'excellente valeur nutritionnelle, riches en acides aminés soufrés, en lysine et tryptophane. Elles ont de remarquables propriétés fonctionnelles mais sont sensibles à la dénaturation thermique.

➤ La β -lactoglobuline

La β -lactoglobuline est la plus importante des protéines du sérum puisqu'elle en représente environ 55%. Son point isoélectrique est de 5,1 ; c'est une protéine de 162 acides aminés comportant 7 variantes génétiques (A, B, C, D, E, F, G). Lors du chauffage la fixation d'une molécule de caséine K et d'une β -lactoglobuline se fait également par un pont disulfure (DEBRY, 2001).

➤ L' α -lactalbumine

L' α -lactalbumine est une métalloprotéine qui représente environ 22% des protéines du sérum constitué de 123 acides aminés comportant trois variantes génétiques (A, B, C). Elle possède un atome de calcium par mole du type globulaire (structure tertiaire quasi sphérique). (VIGNOLA, 2002).

➤ L'albumine sérique

Représente environ 7% des protéines du sérum. Elle est constituée de 582 résidus d'acides aminés. Elle présente un seul variant génétique A identique au sérum albumine sanguine (VIGNOLA, 2002).

➤ Les immunoglobulines

Ce sont des glycoprotéines spécifiques de haut poids moléculaire responsable de l'immunité.

Nous pouvons distinguer trois grandes classes d'immunoglobulines: IgA, IgG, IgM. Elles sont très abondantes dans le colostrum. Les immunoglobulines sont les protéines du lactosérum les plus sensibles à la dénaturation thermique (THAPON, 2005).

➤ Protéose-peptones

Elles forment la fraction protéique soluble après chauffage du lait acidifié à pH 4,6 vers 95°C pendant 20 à 30 minutes. C'est un groupe hétérogène issu de la protéolyse par la plasmine de la caséine β (DEBRY, 2001).

Tableau III: Classification des protéines (BRUNNER, 1981)

NOMS	% des protéines	Nombre d'AA
CASEINES	75-85	
Caséine α S1	39-46	199
Caséine α S2	8-11	207
Caséine	25-35	209
Caséine k	8-15	169
Caséine g	3-7	
PROTEINES DU LACTOSERUM	15-22	
-Lactoglobuline	7-12	162
-Lactalbumine	2-5	123
Sérum-albumine	0,7-1,3	582
Immunoglobulines (G1, G2, A, M)	1,9-3,3	-
Protéoses-peptones	2-4	-

2.5. Minéraux

Selon GAUCHERON(2004), le lait contient des quantités importantes de différents minéraux. Les principaux minéraux sont le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium pour les cations et phosphate, le chlorure et le citrate pour les anions (Tableau IV).

Tableau IV: Composition minérale du lait de vache (JEANTET *et al.*, 2007).

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

2.6. Vitamines

Selon VIGNOLA (2002), les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires.

L'organisme humain n'est pas capable de les synthétiser. Nous trouvons d'une part les vitamines hydrosolubles (vitamine du groupe B et vitamine C) en quantité constantes, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K) présenté dans le tableau V (JEANTET *et al.*, 2007).

Tableau V: la composition vitaminique moyenne du lait cru (AMIOT *et al.*, 2002)

Vitamines	Teneur moyenne
Vitamines liposolubles	
Vitamine A (+carotènes)	40pg/100ml
Vitamine D	2,4pg/100ml
Vitamine E	100 pg/100ml
Vitamine K	5pg/100ml
Vitamines hydrosolubles	
Vitamine C (acide ascorbique)	2mg/100ml
Vitamine B1 (thiamine)	45pg/100ml
Vitamine B2 (riboflavine)	175 pg/100ml
Vitamine B6 (pyridoxine)	50pg/100ml
Vitamine B12(cyanocobalamine)	0,45 pg/100ml
Niacine et niacinamide	90pg/100ml
Acide pantothénique	350 pg/1 00ml
Acide folique	5,5 pg/1 00ml
Vitamine H (biotine)	3 ,5pg/1 00ml

2.7. Enzymes

POUGHEON (2001) définit les enzymes comme des substances organiques de nature protidique, produites par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Environ 60 enzymes principales ont été répertoriées dans le lait dont 20 sont des constituants natifs. Une grande partie se retrouve dans la membrane des globules gras mais le lait contient de nombreuses cellules (leucocytes, bactéries) qui élaborent

des enzymes : la distinction entre éléments natifs et éléments extérieurs n'est donc pas facile (Tableau VI).

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

Groupe d'enzyme	Classes d'enzymes	pH	Température (°C)	Substrats
Hydrolases	Estérases			
	Lipases	8,5	37	Triglycérides
	Phosphatase alcaline	9-10	37	Esters phosphoriques
	Phosphatase acide	4,0-5,2	37	Esters phosphoriques
	Protéases			
	Lysozyme	7,5	37	Parois cellulaire microbienne
	Plasmine	8	37	Caséines
Déshydrogéné oxydases	Sulfhydrile oxydase	7	37	Protéines, peptides
	Xanthine oxydase	8,3	37	Bases puriques
Oxygénases	Lactoperoxydase	6,8	20	Composés réducteurs+H ₂ O ₂
	Catalase	7	20	H ₂ O ₂

3. Propriétés physico-chimiques du lait

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

3.1. pH

Le pH du lait normal est de l'ordre de 6,7, cela est due en grande partie aux groupements basiques ionisables et acides dissociables des protéines, groupements esters phosphoriques de caséines et acides phosphoriques et lactiques. Les valeurs du pH représentent l'état de fraîcheur du lait, plus particulièrement en ce qui concerne sa stabilité, du fait que c'est le pH qui influence la solubilité des protéines (AMIOT *et al.*, 2002).

3.2. Densité et masse volumique

La densité du lait est également liée à sa richesse en matières sèche. Un lait pauvre en matière sèche aura une densité faible; il faut cependant nuancer cette remarque, car le lait contient de la matière grasse de densité inférieure à 1 (0,93 à 20°C). Il en résulte qu'un lait enrichi en matière grasse a une densité qui diminue et qu'à l'opposé, un lait écrémé a une densité élevée. L'appréciation précise de cette propriété se fait par la détermination de la masse volumique (AFNOR, 1986).

En pratique la masse volumique de l'eau est de 1g/ml à 4°C et de 0,99823g/ml à 20°C. La densité du lait à 15°C varie de 1,028 à 1,035 pour une moyenne de 1,032. Chacun des constituants agit sur la densité du lait. Etant donné que la matière grasse est le seul constituant qui possède une densité inférieure à 1, plus un lait ou un produit laitier contient un pourcentage élevé en matière grasse, plus sa densité sera basse (VIGNOLA, 2002).

3.3. Acidité du lait

Selon JEAN et DIJON(1993), l'acidité du lait résulte de l'acidité naturelle, due à la caséine, aux groupes phosphate, au dioxyde de carbone et aux acides organiques et de l'acidité développée, due à l'acide lactique formé dans la fermentation lactique.

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

Un lait cru au ramassage doit avoir une acidité $A \leq 21$ °D. Un lait dont l'acidité $A \geq 27$ °D coagule au chauffage ; un lait dont l'acidité est ≥ 70 °D coagule à froid.

3.4. Point d'ébullition

AMIOT *et al.*, (2002) ont défini le point d'ébullition comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée. Ainsi comme pour le point de congélation, le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés. Il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100,5°C.

3.5. Point de congélation

NEVILLE et JENSEN (1995) ont pu montrer que le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau pure puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Cette propriété physique est mesurée pour déterminer s'il y a addition d'eau au lait.

Sa valeur moyenne se situe entre - 0,54 et - 0,55°C, celle-ci est également la température de congélation du sérum sanguin. Nous constatons de légères fluctuations dues

aux saisons, à la race de la vache, à la région de production. Par exemple nous avons signalé des variations normales de $-0,530$ à $-0,575^{\circ}\text{C}$. Le mouillage élève le point de congélation vers 0°C , puisque le nombre de molécules, autres que celles d'eau, et d'ions par litre diminue. D'une manière générale tous les traitements du lait ou les modifications de sa composition qui font varier leurs quantités entraînent un changement du point de congélation (MATHIEU, 1999).

Les caractéristiques physico-chimiques du lait sont illustrées dans le tableau VII suivant:

Tableau VII : Caractéristiques physicochimiques du lait (FAO, 1998).

Constante	Densité à 20°C	pH à 20°C	Acidité titrable ($^{\circ}\text{D}$)	Point de congélation ($^{\circ}\text{C}$)	Point d'ébullition ($^{\circ}\text{C}$)
Valeur	1,031	6,6	16	-0,53	100,5

4. Valeur nutritionnelle du lait

En regard de son contenu en énergie métabolisable, le lait présente une forte concentration en nutriments ; il est considéré donc comme un aliment de forte densité nutritionnelle. Le lait n'est cependant pas un aliment parfait car il ne contient pas à l'état naturel de fibres et que son contenu en certains nutriments, dont le fer et la vitamine D, demeurent relativement faibles.

Le lait et les produits laitiers constituent un des quatre grands groupes reconnus d'une alimentation saine. Ces recommandations reposent surtout sur le fait que le lait et les produits laitiers constituent une bonne et même une excellente source de certains nutriments qui se retrouvent en concentration élevée dans ces aliments. Ce sont donc ces nutriments qui ont une signification particulière pour la santé, autant en ce qui concerne la croissance normale des enfants que le maintien en santé et la prévention des maladies à tout âge de la vie.

Par ailleurs, les concentrations ou l'intégrité de ces mêmes nutriments peut subir des modifications à la suite des différents traitements industriels appliqués au lait (AMIOT *et al.*, 2002).

II. Le fromage

1. Définition du fromage

Le terme "fromage" dérive de l'ancien français "formage" par métathèse. Le terme "formage" est issu du latin *formaticum* qui signifie : "ce qui est fait dans une forme" (REY, 1994).

Les fromages constituent une forme ancestrale de conservation des protéines, de la matière grasse, ainsi que d'une partie du calcium et du phosphore du lait, dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'Homme dans presque toutes les régions du globe (MAHAUT *et al.*, 2000).

Le fromage, défini par le Codex Alimentarius, est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi-dure, dure ou extra-dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum/caséines ne dépasse pas celui du lait. On obtient le fromage par coagulation complète ou partielle du lait grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation.

On peut aussi faire appel à des techniques de fabrication entraînant la coagulation du lait, de façon à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques similaires à celles de la définition précédente (ANONYME 1, 2000).

2. Historique

Le fromage naquit le jour où l'homme, ayant domestiqué des mammifères, essaya de conserver ce précieux aliment initial qu'est le lait. Il s'aperçut bientôt que le lait qu'il entreposait se coagulait rapidement, que ce caillé était un aliment agréable et digeste et qu'une fois séparé de son sérum, il devenait une masse compacte qui pouvait sécher, donc se conserver et se transporter.

Qu'il soit de lait de chamelle, de bufflonne, de zébu, de bisonne, de mouflon ou de chèvre, le fromage existait déjà dans les temps les plus anciens, sous les climats les plus divers et nulle civilisation, nul peuple, nul pays, ne peut en revendiquer l'invention et la paternité (FONTENEAU, 1997).

Au néolithique (10 000 ans av. J.C), on garde et transporte le lait dans des estomacs de chèvre et on constate qu'il durcit. Mille ans plus tard (9000 av. J.C), le lait caillé est affiné, égoutté (invention des faisselles), salé pour augmenter la durée de conservation. Les traces de cette activité sont retrouvées à Neufchâtel (Suisse).

Les Grecs fabriquent des fromages de chèvre et de brebis (la feta) et utilisent le fromage en pâtisserie comme matière grasse (le tyros).

Les Romains améliorent la qualité des caillés, utilisent le pressoir pour accélérer l'égouttage et commercialisent les produits en méditerranée. La coagulation est obtenue en faisant tromper des estomacs de ruminants non sevrés dans le lait.

Plus tard, Charlemagne découvre et apprécie le roquefort. Il contribue à sa notoriété.

Durant le Moyen Age, les monastères gèrent les troupeaux et ont le monopole de la fabrication des fromages de commerce.

Le fromage est un produit vulnérable, il faudra attendre Pasteur et la pasteurisation du lait pour le conserver sur de longues durées et le commercialiser sur de longues distances (ROUDAUT et LEFRANCQ, 2005).

3. Etapes de fabrication des fromages

La transformation du lait en fromage comporte, pour la plus grande partie des fromages, trois étapes principales : la coagulation, l'égouttage et l'affinage (RAMET, 1993).

3.1. Coagulation

La coagulation du lait correspond à une déstabilisation de l'état micellaire originel de la caséine du lait. Dans la pratique, cette déstabilisation est réalisée de deux manières :

- par voie enzymatique à l'aide d'enzymes coagulantes, en particulier la présure ;
- par voie fermentaire à l'aide de bactéries productrices d'acide lactique se trouvant naturellement dans le lait et/ou apportées sous forme de ferments.

Les mécanismes d'action de ces deux agents coagulants au niveau de la micelle sont très différents. Bien qu'ils conduisent tous deux à la formation d'un coagulum (gel ou caillé), les propriétés rhéologiques de ce dernier restent caractéristiques du mode de coagulation.

Dans les techniques fromagères classiques, les deux modes de coagulation ne sont jamais utilisées séparément, seule varie l'importance relative de leurs actions coagulantes respectives (RAMET, 1993).

3.2. Egouttage

L'état de gel est physiquement instable. La phase dispersante se sépare spontanément du coagulum sous forme de lactosérum. Cette séparation s'accompagne d'une ségrégation des différents composants originels du lait : la plus grande partie de l'eau, du lactose, une petite

fraction de la matière grasse et des protéines sont éliminées par le sérum. La plus grande partie des protéines et de la matière grasse est retenue dans le coagulum dont l'extrait sec croît progressivement à mesure de l'élimination de sérum (RAMET, 1993).

3.3. Affinage

A la fin de l'égouttage, le coagulum se trouve sous forme d'une masse semi-solide dont le volume, la forme, la composition chimique sont déterminés. La plupart des fromages subissent alors une maturation qui va modifier leur aspect, leur composition, leur consistance, leur valeur nutritive, leur saveur et leur arôme.

L'affinage correspond à la digestion enzymatique du substrat préparé par la coagulation et l'égouttage. Le support essentiel est constitué par les caséines qui sont hydrolysées en éléments plus simples : polypeptides, peptides, acides aminés, ammoniac. La matière grasse est dégradée d'une manière plus limitée, sauf dans le cas particulier des pâtes molles persillées. Acides gras, glycérol, aldéhydes et cétones sont libérés de manière spécifique pour chaque type de fromage.

Protéolyse et lipolyse se font par l'intermédiaire d'enzymes dont l'origine est variée : enzymes naturelles du lait, enzymes coagulantes, enzymes produites par divers micro-organismes (moisissures, bactéries, levures) se développant dans et/ou sur le fromage. Cette dernière catégorie d'enzymes intervient d'une manière dominante.

Les mécanismes de la maturation sont très complexes, peu connus et très particuliers d'un type de fromage à l'autre. Dans la pratique, la mise en œuvre, le contrôle des facteurs de maturation (température, hygrométrie, composition de l'atmosphère) permettent de maîtriser ces processus aux équilibres subtils et d'obtenir un produit fini conforme aux normes légales et organoleptiques requises (RAMET, 1993).

4. Classification des fromages

Selon FONTENEAU (1997), il n'est pas facile de grouper par grandes familles des produits aussi divers que les fromages. On peut néanmoins isoler cinq grandes catégories.

4.1. Les fromages à pâte fraîche

Ils ne sont pas affinés et doivent être consommés peu de temps après leur fabrication. Les fromages à pâte fraîche peuvent contenir jusqu'à 70% d'humidité. On trouve dans cette première grande catégorie : les fromages blancs, petits-suisses, double-crème, demi-sel, etc.

4.2. Les fromages à pâte pressée non cuite

Ils présentent une consistance ferme, ne contiennent que 45% d'humidité et se conservent plus longtemps que les fromages à pâte molle. Ce sont les cantal, tomme, saint-paulin, etc.

4.3. Les fromages à pâte pressée cuite

Ils subissent un affinage prolongé, contiennent environ 40% d'humidité, restent fermes et sont souvent de très grande dimension : ce sont les gruyère, emmental, comté, beaufort, etc.

4.4. Les fromages fondus

Ils sont obtenus à partir des fromages à pâte ferme et doivent renfermer au minimum 40% de matières grasses. Ce sont les "crèmes", crème de gruyère, de chester, etc.

4.5. Les fromages à pâte molle

Ce sont tous les fromages fermentés qui ne sont ni pressés, ni cuits. Ils restent généralement souples et leur taux d'humidité est d'environ 50%. Dans ce grand groupe, on trouve les "pâtes molles" comme le camembert, le munster et le brie ; les "pâtes persillées" comme les bleus et le roquefort et aussi les "fromages de chèvre".

Selon CAUTY et PERREAU (2009), les pâtes molles sont des fromagesensemencées en surface avec une moisissure. On distingue :

- Les fromages à pâte molle à croûte "fleurie" : croûte avec un aspect duveteux blanc (camembert, brie, etc.) ;
- Les fromages à pâte molle à croûte "lavée" : la croûte subit, au cours de l'affinage, des lavages et des brossages à l'origine d'un goût plus marqué (munster, époisses, etc.).

Ces mêmes auteurs définissent également les pâtes persillées comme des fromages dont le caillé est percé pour êtreensemencé, le champignon va alors se développer à l'intérieur du fromage (bleue d'Auvergne, bleue de Bresse, etc.).

Les fromages de chèvre, tout comme ceux de brebis sont des produits souvent locaux et artisanaux c'est pourquoi, on les classe un peu à part. On trouve essentiellement dans cette famille des pâtes molles à croûte fleurie et des pâtes fraîches. Les pâtes pressées non cuites et les pâtes persillées sont plus rares (FREDOT, 2009).

5. Caractéristiques nutritionnelles des fromages

L'intérêt alimentaire des fromages présente de nombreux points communs avec celui du lait (sources de calcium, de protéines animales, etc.). Toutefois, leur fabrication s'accompagne de modifications de composition et de valeur nutritionnelle (FREDOT, 2009).

5.1. La teneur en eau et l'extrait sec complémentaire

L'extrait sec ou la matière sèche est le complément à 100 de la teneur en eau. Il est fonction de la teneur en matières grasses du lait, de la crème ajoutée et de l'importance de l'égouttage car l'élimination du lactosérum entraîne une forte augmentation de la teneur en matière sèche. Ce taux varie ainsi de 20% pour les fromages frais et peut aller jusqu'à 65% pour les pâtes dures (voir tableau VIII).

L'humidité finale est liée à différents facteurs :

- le degré d'égouttage du caillé ;
- la teneur en matières grasses du lait utilisé (la teneur en eau du lait écrémé>lait demi-écrémé>lait entier) ;
- la durée et les conditions d'affinage (FREDOT, 2009).

Tableau VIII: Teneur moyenne en eau des fromages (FREDOT, 2009).

Type de fromage	Teneur moyenne en eau	Matière sèche
Fromages frais	≥80%	≤20%
Fromages à pâte molle	50%	50%
Fromages fondus	50%	50%
Fromages à pâte demi-dure	45%	55%
Fromages persillés	40 %	60%
Fromages à pâte dure	35%	65%

5.2. Les protéines

Selon leur mode de fabrication, les fromages contiennent de 10 à 30% de protéines. Ce sont les aliments les plus riches en protéines, en particulier les fromages à pâte pressée dont la teneur en protéines (30%) dépasse celle de la viande (20%). Ces protéines proviennent de la caséine modifiée dont, au cours de l'affinage, une partie importante (entre 20 et 30% selon les fromages) se trouve dégradée et solubilisée en oligopeptides et acides aminés sous l'influence

d'une série d'enzymes, différentes selon la microflore, ce qui confère au produit final sa texture et sa saveur. Du fait de cette protéolyse, les protéines du fromage sont aisément digestibles.

Outre sa teneur élevée en protéines, la haute valeur biologique du fromage lui est conférée par sa composition en acides aminés très intéressante sur le plan nutritionnel (DILLON et BERTHIER, 1997).

5.3. Les lipides

Le taux de matière grasse pour 100 g de matière sèche des fromages issus de lait entiers se situe autour de 50%. De la crème doit être ajoutée pour parvenir à des taux supérieurs. Des fromages de grande consommation, notamment parmi les fromages fondus et les pâtes fraîches présentent des taux de matière grasse/matière sèche qui atteignent 65 à 75% (FAVIER, 1986).

Les lipides conditionnent l'onctuosité de la pâte du fromage. Au cours de la maturation se produit, sous l'influence de lipases microbiennes, une lipolyse limitée avec formation d'acides gras libres qui va de 0,25% de la matière grasse dans le camembert frais à 6,4% dans le camembert très affiné. Certains de ces acides gras sont volatils et interviennent dans la formation de l'arôme. Les lipides du lait (triglycérides, phosphoglycérides, sphingosides) se trouvent dans le fromage sous forme émulsionnée, ce qui les rend plus digestibles (DILLON et BERTHIER, 1997).

5.4. Les glucides

Les fromages affinés ne contiennent en général pas de glucides; la petite quantité de lactose restant dans le caillé en fin d'égouttage est transformée en acide lactique au cours de l'affinage. Cependant, dans les fromages frais, peu égouttés et peu fermentés, on trouve des quantités appréciables de lactose, d'acides lactique et citrique. Il en est de même dans les fromages fondus additionnés de lactose et d'acide citrique au cours de la fabrication (ANONYME 2, 1995).

Selon FREDOT (2009), la teneur moyenne en glucides est ainsi de :

- 3,5% dans les fromages frais non sucrés ;
- 20% environ dans les fromages frais sucrés ou aux fruits ;
- négligeable dans les fromages affinés : ils peuvent donc être consommés dans les régimes appauvris en lactose.

5.5. Les minéraux

Les fromages, comme tous les produits laitiers, bénéficient dans l'opinion d'une bonne connotation nutritionnelle pour le calcium. Leur contribution importante à l'apport d'autres éléments minéraux est moins connue. Ainsi, les fromages sont aussi une source intéressante de potassium, de zinc, d'iode et de sélénium. En revanche, ils sont pauvres en fer et en magnésium et participent à la consommation excédentaire de sodium et de phosphore (GUÈGUEN, 1997).

5.5.1. Calcium et phosphore

Les fromages constituent d'excellentes sources de calcium. Toutefois, le taux de calcium varie en fonction de la teneur en eau et du mode de fabrication (DILLON et BERTHIER, 1997).

GUÈGUEN (1997) estime ainsi que les teneurs en calcium varient de moins de 100 mg par 100 g pour les fromages frais à plus de 1200 mg par 100 g pour certains fromages à pâte pressée cuite (emmental, parmesan).

Selon FREDOT(2009), les fromages les plus riches en calcium sont ceux à pâte dure puis demi-dure. Les fromages à pâte molle ont des taux plus faibles mais en général supérieurs à ceux du lait de par le phénomène de concentration liée à la perte en eau.

Le rapport calcium/phosphore de 1,4 dans le lait reste à peu près équivalent dans la plupart des fromages, sauf dans les fromages à caillage lactique et à égouttage lent où il est de 1,2, le phosphore restant lié aux matières organiques. De plus, dans les fromages fondus, dans lesquels des polyphosphates ont été ajoutés, il avoisine la valeur de 0,5. Il en est de même pour les fromages de chèvre et les fromages frais.

5.5.2. Sodium et potassium

Les teneurs extrêmement variables en sodium des fromages (200 à 1000 mg/100 g) résultent évidemment du taux de salage. Des teneurs supérieures à 1500 mg/100 g ont même été trouvées dans des fromages persillés. En effet, le lait (et donc les fromages frais non salés) sont relativement pauvres en sodium. Une partie du sodium des fromages fondus provient des sels de fonte, notamment du polyphosphate de sodium. Dans le cas de certains fromages affinés, le sel est surtout concentré dans la croûte qui, enlevée, ne contribue pas à l'excédent de sodium consommé. Les teneurs en potassium sont beaucoup moins variables, de 100 à 200 mg / 100 g, comme dans le lait. Cependant, les fromages de chèvre se distinguent par des teneurs plus élevées en K, pouvant atteindre 200 mg/100 g (GUÈGUEN, 1997).

5.5.3. Magnésium

Par rapport aux apports conseillés (350 à 400 mg/jour), les fromages sont relativement pauvres en magnésium : 10 à 50 mg/100 g (GUÈGUEN, 1997).

5.5.4. Oligoéléments

Le lait possède une teneur faible en oligoéléments et même s'ils se concentrent avec la matière sèche dans les fromages, ils restent en quantité peu intéressante. Seul le zinc est considéré en tant que source (FREDOT, 2009) (voir tableau IX).

Tableau IX : Teneurs comparées en oligoéléments du lait et des fromages (mg pour 100g) (VIERLING, 2008).

	Fer	Cuivre	Zinc	Sélénium
Lait	0,05	0,01	0,38	0,0033
fromages	0,2 à 1	0,08 à 0,5	0,5 à 4,5	0,006

5.6. Les vitamines

La teneur en vitamines liposolubles, essentiellement vitamines A et D, accessoirement vitamine E, est directement fonction de la richesse du produit en lipides laquelle peut varier de 0% dans certains fromages frais à 70% dans les produits enrichis en crème. Quant à la teneur en vitamines hydrosolubles, celle-ci varie considérablement selon les fromages. En effet, elle est le résultat de deux facteurs opposés : la perte qui survient au cours de l'égouttage et l'enrichissement qui survient en cours de l'affinage. C'est ainsi que les vitamines du groupe B sont en grande partie éliminées avec le lactosérum au cours de l'égouttage (25% seulement étant retenu dans le caillé) et que la vitamine C est entièrement éliminée.

En compensation, les microflore microbienne et fongique synthétisent plusieurs vitamines du groupe B : on constate un enrichissement en riboflavine (B2), acide pantothénique (B5), pyridoxine (B6) et acide folique(B9) dans le fromage fini, parfois aussi en thiamine (B1) et cobalamine (B12). Dans certains cas, au contraire, on note la diminution de la teneur en certaines vitamines : par exemple, l'acide folique est consommé par les bactéries lors de la maturation des fromages fermentés. Pour toutes ces raisons, une teneur moyenne des fromages en vitamines B n'a guère de signification (DILLON et BERTHIER, 1997).

1. Historique

C'est le plus célèbre des fromages originaires de Normandie. En raison de sa vogue immense auprès des consommateurs, il est fabriqué aujourd'hui dans la plupart des régions laitières françaises. Sa réputation a franchi les frontières et de nombreuses usines étrangères le fabriquent.

A ce produit reste attaché le nom de Marie Harel qui exploitait à la fin du 18^{ème} siècle une ferme, près de Vimoutiers, dans la petite commune de Camembert (Orne). Pour les uns, Marie Harel est la créatrice du camembert, pour les autres, elle n'a fait que contribuer seulement à son développement local, le fromage existant déjà vers 1700, date à laquelle il est cité dans le «dictionnaire» de Thomas Corneille. Le mérite de Marie Harel fut de fabriquer un fromage type Brie dans un moule à Livarot. C'est le fromage qui est devenu le camembert (VEISSEYRE, 1975).

2. Définition

Selon VEISSEYRE (1975), le camembert est défini comme étant un fromage à pâte molle, à caillé non divisé, d'un diamètre de 10 à 11 cm et d'une épaisseur de 3 cm. Il renferme au moins 40 % de matière grasse et 110 g de matière sèche.

C'est un fromage affiné à moisissures superficielles. Il est obtenu par action de la présure ; il subit un affinage après la fermentation lactique mais dont la pâte n'est, ni cuite, ni pressée ; l'égouttage est lent, réalisé par un simple découpage et éventuellement un brassage ; l'humidité moyenne de ce fromage est de 50 à 55% (GUIRAUD, 2003).

3. Composition et valeur nutritionnelle

Le tableau X, donne la composition du camembert pour 100g du produit frais.

Tableau X: Composition du camembert pour 100g du produit frais (ADRIAN *et al.*, 2003).

Eau (g)	Kcal	KJ	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Ca (mg)	Fe (mg)
50	290	1215	21,4	22,6	0,3	265	0,7

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

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

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

Concernant le lactose, il faut noter que les fromages affinés sont pratiquement dépourvus de glucides car la faible quantité de lactose, restant dans le caillé après égouttage, est transformée en acide lactique au cours de l'affinage.

Pour les autres nutriments, le *Camembert* constitue un apport important en calcium. (200 à 700 mg/ 100g), en phosphore, en sodium et en vitamines (notamment du groupe B), (ECK, 1990).

Notons enfin que la dénomination petit *Camembert* est réservée à un fromage de diamètre réduit (80-85 mm de diamètre) dont l'extrait sec ne doit pas être inférieur à 60g et que la dénomination *Véritable Camembert* de Normandie est protégée par un label de qualité définissant notamment une aire de production.

4. Fabrication du camembert

4.1. Matières premières

4.1.1. Lait

Le lait est la matière première destinée à la fabrication fromagère. Une connaissance approfondie de sa composition, de sa structure et de ses propriétés physico-chimiques est indispensable. Cela aide à la compréhension des transformations du lait et des produits obtenus lors des différents traitements industriels (GAUCHERON, 2004).

Différents laits peuvent être utilisés dans la fabrication du camembert, on distingue:

a. Lait cru

Le lait cru est un lait frais riche en éléments essentiels (Matières azotées, matières grasses, sucres et minéraux). De plus ce lait doit être d'une haute qualité bactériologique (GUIRAUD et GALZY, 1980).

b. Lait recombinaé

Selon le CODEX alimentarius (1996), le lait recombinaé est un mélangé de lait en poudre écrémé et de l'eau auquel est ajouté de la matière grasse laitière anhydre (MGLA) ou de l'huile du beurre pour obtenir un produit ayant la composition d'un lait frais.

c. Lait en poudre

Les poudres de lait sont des produits résultants de l'élimination partielle de l'eau du lait. Elles sont réparties en trois groupes: la poudre de lait entier, la poudre de lait partiellement écrémée et la poudre de lait écrémée (VIGNOLA, 2002).

4.1.2. La matière grasse laitière anhydre (MGLA)

La MGLA doit contenir au minimum 99,8% de matière grasse. Elle est obtenue à partir de la crème ou du beurre par élimination de l'eau et des matières sèches non grasse par décantation ou par centrifugation (LUQUET, 1990 ; MAHAUT *et al.*, 2000).

4.1.3. L'eau de reconstitution

Selon LUQUEL (1990), l'eau de reconstitution représente une grande proportion dans la composition du lait. Elle doit être:

- De bonne qualité bactériologique;
- débarrassée des sels de chaux et de magnésium afin d'éviter l'entartrage des appareils et des conduites;
- d'une pureté chimique satisfaisante et dépourvue de pesticides et de métaux.

4.2. Les ingrédients

a. La présure

La présure est la substance permettant de faire cailler le lait. C'est une enzyme d'origine animale, nommée aussi « chymosine », elle est obtenue à partir du suc gastrique de la quatrième poche de l'estomac des jeunes veaux abattus non sevrés (Eck, 1987).

b. Les levains lactiques

Les levains lactiques sont des cultures pures en proportion définies de différentes bactéries lactiques. En se multipliant dans le lait et dans les fromages, ces levains assurent la transformation du lactose en acide lactique et contribuent aux caractères organoleptiques des

fromages. Dans le cas du camembert, les levains lactiques sont constitués de *Lactobacillus casei* et *Lactobacillus plantarum*. (Eck, 1987).

c. Les levains fongiques

Les champignons jouent un rôle important dans les technologies de transformation des produits alimentaires. Parmi ces champignons :

- *Penicillium camemberti* :

Cette moisissure a une activité protéolytique et lipolytique déterminant les caractères organoleptiques des fromages à l'étape de l'affinage. Elle est souvent désignée par les fromagers sous le nom de « *Penicillium candidum* ».

- *Geotricum candidum* :

C'est la moisissure responsable du revêtement blanchâtre du camembert. Elle contribue à la formation de la saveur et de l'arôme du camembert (BOURGEOIS et LARPENT, 1989).

d. Les sels

L'addition du chlorure de calcium et du phosphate mono-calcique à raison de 0,2g/L a pour but de favoriser l'équilibre salin et d'améliorer la coagulation. Ainsi l'enrichissement de la pâte en chlorure de sodium (NaCl) à raison de 1,7 à 2,5% apporte le goût caractéristique du fromage et agit sur l'activité de l'eau superficielle (MAHAUT *et al.*, 2000).

4.3. Le processus technologique de la fabrication du camembert

Le processus de transformation du lait en fromage affiné type camembert est d'une grande complexité et leur maîtrise est d'une importance primordiale dans la détermination de la qualité finale de ce produit

La fabrication proprement dite de ce fromage commence après la préparation du lait, il comporte toujours deux phases successives : la coagulation et l'égouttage ensuite viennent les étapes de finition du caillé à avoir : le salage et l'affinage (BERTRAND, 1988).

Selon MAHAUT *et al.* (2000), la fabrication de fromage comprend quatre grandes étapes : standardisation, coagulation (enzymatique et/ou lactique), égouttage, affinage.

4.3.1. Préparation du lait

Cette étape consiste à donner au lait la composition correspondant à celle du fromage et à créer les conditions bactériologiques nécessaires à la coagulation du lait (BERTRAND, 1988). Elle comprend:

4.3.1.1. Standardisation

La standardisation consiste à régler la composition du lait de mélange a fin d'obtenir une teneur minimale en ES (Extrait Sec) et en MG (Matière Grasse) dans le fromage commercialisé. Elle est réalisée par le mélange du lait entier à du lait écrémé ou de la crème à du lait écrémé dans des proportions calculées.

Actuellement, certaines techniques (ultrafiltration ou la microfiltration sur membrane) permettent de standardiser le lait en protéine (THAPON, 2005).

4.3.1.2. Homogénéisation

L'homogénéisation est un traitement physique, qui consiste à faire éclater sous une forte pression les globules de matières grasses en très fines particules. La matière grasse se trouve ainsi répartie d'une façon homogène dans tout le volume (Eck, 1997).

4.3.1.3. Pasteurisation

La pasteurisation est un chauffage suffisant pour détruire avec certitude tous les germes pathogènes. La température de la pasteurisation la plus fréquente est comprise entre 65 à 75°C et parfois 80°C pendant 15 à 20 secondes (VEISSEYRE, 1975).

Le but de ces traitements thermiques du lait utilisables en fromagerie est d'assurer l'assainissement du lait par destruction de la flore pathogène transmise par le fromage et de limiter les risques d'accidents de fabrication par destruction des germes Indésirables (HERMIER et CERF 2006). Cependant, l'efficacité de ces traitements est toujours un compromis entre l'effet souhaité d'élimination des micro-organismes et l'effet redouté sur les constituants du lait, donc sur la qualité du produit fini en particulier sa valeur nutritive (ECK, 1990).

4.3.2. Ensemencement et maturation

Le lait estensemencé par les levains lactiques à raison de 1,5 à 2% dans le but d'élever l'acidité de ce dernier, ensuite le phosphate mono-calcique et le calcium sont ajoutés afin de faciliter l'égouttage et de rétablir le temps de prise et de coagulation (LENOIR *et al.*, 1983).

4.3.3. La fabrication proprement dite

4.3.3.1. Emprésurage

Après maturation, le lait est additionné de la présure qui est une enzyme coagulante. Son activité protéolytique modifiera la texture du lait (Eck, 1990).

4.3.3.2. Coagulation

La coagulation du lait, qui se traduit par la formation d'un gel, résulte des modifications physico-chimiques intervenant au niveau des micelles de caséine. Les mécanismes proposés dans la formation du coagulum diffèrent totalement suivant que ces modifications sont induites par acidification et /ou action d'enzymes coagulantes (Eck, 2006).

➤ Coagulation acide

La coagulation acide (provoquée par l'acide lactique d'origine bactérienne), l'abaissement de pH entraîne une diminution des charges négatives des micelles et donc une diminution de la couche d'hydratation et des répulsions électrostatiques, ainsi qu'une solubilisation du calcium et du phosphore minéral, entraînant une déstructuration des micelles de caséine avec réorganisation protéique, pour former un gel cassant très friable et peu élastique (MIETTON, 1995).

➤ Coagulation enzymatique

La coagulation enzymatique provoquée par la présure en hydrolysant la caséine k au niveau de la liaison (Phe105- Met106), induit une déstabilisation des micelles de caséines qui vont peu à peu flocculer pour former un gel ferme, compact et ayant une bonne cohésion (VEISSEYRE, 1975).

Dans le cas du camembert, la coagulation est dite mixte puisqu'elle résulte à la fois d'une acidification par les bactéries lactiques et de l'action d'enzymes coagulantes telles que la présure. En effet, les concentrations en enzyme coagulante sont moyennes (18 à 22ml/100l du lait), et l'activité acidifiante modérée (pH à l' emprésurage 6,30 à 6,40), taux de bactéries lactiques inoculées (5.10^6 UFC/ml) ; la température du milieu (32 à 35°C) est favorable à la fois à l'action de l'enzyme coagulante et à la croissance des bactéries lactiques (RAMET, 2006) (Voir tableau XI).

Tableau XI: Caractéristiques des deux modes habituels de coagulation du lait (DESMAZEAUD, 1992).

	Coagulation par	
	Action des enzymes	Acidification spontanée
Processus biochimique	Action enzymatique (lactose non dégradé)	Fermentation lactique aux dépens du lactose
Modification de la caséine	Transformation en paracaséine, séparation d'une partie non protéique	Pas de modification chimique de la protéine elle-même
pH	6,8	Vers 4.6
Composition du coagulum	Phosphore paracaséinate de calcium	Caséine (démminéralisée)
Nature du coagulum	Gel élastique imperméable	Gel friable sans cohésion
Synérèse (réaction naturelle du gel et expulsion du sérum)	rapide	lente

4.3.3.3. Moulage

Le moulage est la répartition du caillé dans des moules perforés, en métal ou en matière plastique, dont la forme et les dimensions varie avec les types de fromages. La mise en moule se fait manuellement ou automatiquement (VEISSEYRE, 1975).

4.3.3.4. Egouttage

Cette phase consiste en l'élimination plus au moins grande de lactosérum (MAHAUT *et al.*, 2000).

L'égouttage est accéléré par une série de retournement que les fromages subissent pendant qu'ils sont encore dans les moules (VEISSEYRE, 1975).

Selon MAHAUT *et al.* (2000), lors d'un égouttage insuffisant dû à une acidification du lait trop lente, on obtient une pâte coulante. Par contre, un égouttage trop poussé à cause d'un travail mécanique intense provoque la formation d'un fromage trop ouvert.

4.3.3.5. Démoulage

Les caillés sont fait sortir de leurs moules soit manuellement par retournement, ou automatiquement (VEISSEYRE, 1975).

4.3.4. Les étapes de finition du caillé

4.3.4.1. Salage

C'est une opération d'enrichissement de la pâte en chlorure de sodium (NaCl) à des doses de 1 à 2% (Eck, 1990).

Le salage complète l'égouttage du fromage en favorisant le drainage du lactosérum. Il apporte ainsi le goût caractéristique du fromage et il agit sur l'activité de l'eau qui influence sur le développement des micro-organismes (Eck, 2006).

4.3.4.2. Ressuyage

Le ressuyage est une opération qui consiste à un séchage en surface, il est réalisé à une température de 11 à 13°C et à une humidité de 90 à 95%.

Le ressuyage est effectué en même temps qu'une pulvérisation du *Penicillium candidum* (Eck, 1990).

4.3.4.3. Affinage

Le processus d'affinage correspond à une phase de digestion enzymatique du caillé. Lors de la coagulation et de l'égouttage, le substrat préparé est constitué essentiellement de caséine, de matière grasse et d'une fraction des composants du lait. Ces constituants seront transformés sous l'action enzymatique au cours de l'affinage d'où l'apparition de matières sapides et odorantes (Eck, 1987) qui ont pour effet de modifier très profondément la composition chimique ainsi que les caractéristiques physiques et organoleptiques du produit (aspect, consistance, saveur et odeur) (RAMET, 2006).

Selon MCSWEENEY et SOUSA (2000), plusieurs types de dégradation s'effectuent simultanément ou successivement dans la pâte fromagère :

- La fermentation du lactose;
- la lipolyse;
- la protéolyse. Voir la figure3 et tableau XII.

➤ Glycolyse

Amorcée lors de la coagulation et de l'égouttage, la glycolyse se prolonge une à deux semaines jusqu'à disparition quasi-complète du lactose (VEISSEYRE, 1975).

Les voies de la métabolisation du lactose sont différentes selon les microorganismes responsables :

- Les bactéries lactiques homofermentaires produisent 90 à 95% d'acide lactique et de petites quantités de produits secondaires (éthanol, acide acétique, acétaldéhyde, etc.) ;
- les bactéries lactiques hétérofermentaires donnent environ 50% d'acide lactique et 50% d'acide acétique, d'éthanol et de CO₂ ;
- les bactéries coliformes produisent de l'acide lactique, de l'acide acétique, de l'acide formique, du CO₂ et de l'hydrogène ;
- les levures produisent de l'éthanol, gaz carbonique, et de petites quantités d'acide acétaldéhyde et d'acides (MAHAUT *et al.*, 2000).

➤ Lipolyse

Il s'agit de l'hydrolyse des triglycérides en glycérides partielles et acides gras libres par des enzymes : les lipases (ECK, 1990).

Les acides gras libres, plus particulièrement les acides gras à chaînes courtes de C₆ à C₁₂, peuvent être eux-mêmes dégradés et transformés en méthylcétones, phényléthanol, méthanethiol, γ ou σ -lactone, qui sont des constituants caractéristiques de la saveur et de l'arôme des fromages (MAHAUT *et al.*, 2000).

➤ Protéolyse

La dégradation des protéines, notamment de la caséine, aboutit à une foule de produits (peptides, acides aminés, amines, ammoniac, aldéhydes, cétones...) dont la plupart sont fortement sapides (TRIMOLIER *et al.*, 1984).

L'hydrolyse des caséines est le phénomène biochimique majeur de l'affinage car elle se traduit par une solubilisation qui est à l'origine d'un certain assouplissement de la pâte. Cette solubilisation est variable selon le type de fromage ; dans le camembert, on relève en fin d'affinage une teneur en composés azotés solubles de 35%.

De plus, la dégradation des protéines participe activement au développement de la texture, de la saveur et de l'arôme de la pâte au cours de l'affinage. Les peptides et les acides aminés libres contribuent à la formation du goût (CHOISY *et al.*, 2006).

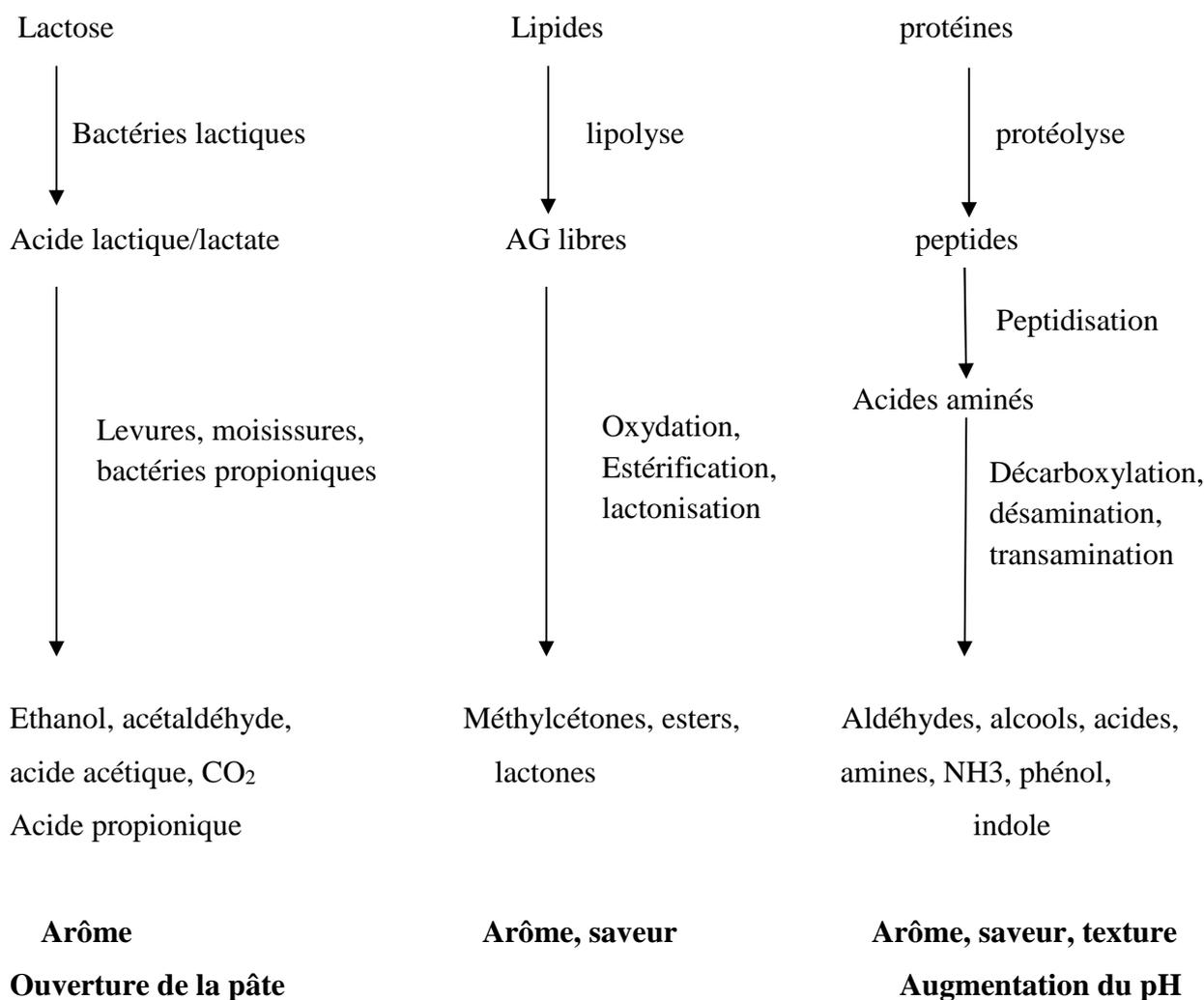


Figure 3 : Evolution des constituants au cours de l'affinage (JEANTET *et al.*, 2007).

Tableau XII : Principaux groupes microbiens intervenant au cours de l'affinage du camembert (LENOIR *et al.*, 1983).

Groupes microbiens	origines	fonctions
<p>Bactéries</p> <p>-Streptocoques lactiques <i>Streptococcus lactis</i> <i>Streptococcus cremoris</i> <i>Streptococcus lactis</i> Sbsp <i>diacetylactis</i></p> <p>Leuconostoc</p> <p>Lactobacilles <i>Lactobacillus plantarum</i> <i>Lactobacillus casei</i></p> <p>Microcoques</p> <p>Bactéries corynéformes <i>Corynebacterium</i> <i>Brévibacterium (B. linens)</i> Microbactérium Arthrobacter</p>	<p>Levain lactique</p> <p>Lait, éventuellement levain</p> <p>Lait</p> <p>Lait, saumure, sel</p> <p>Lait, éventuellement levain</p>	<p>Acidification</p> <p>Production de composants d'arôme</p> <p>Production de composants d'arôme</p> <p>Protéolyse, dégradation des acides aminés.</p> <p>Protéolyse, dégradation des acides aminés</p>
<p>Levures <i>Kluyveromyces</i> <i>Debaryomyces</i> <i>Saccharomyces</i></p>	<p>Lait, atmosphère des locaux, matériel de fromagerie, éventuellement levain</p>	<p>Production de composants d'arôme</p>
<p>Moisissures <i>Penicillium Camemberti</i></p> <p><i>Geotrichum candidum</i></p>	<p>Levain fongique</p> <p>Lait, atmosphère des locaux, matériel de fromagerie, éventuellement levain</p>	<p>Désacidification, protéolyse, lipolyse, production des composants d'arôme.</p> <p>Protéolyse, lipolyse, Production de composants d'arôme.</p>

Une non maîtrise des facteurs clés de l'affinage contribue à l'apparition des défauts suivants :

➤ **Défauts d'aspect et de croûtage**

○ **Poils de chat**

Ce problème est lié à une moisissure contaminante, *Mucor*. La surface blanche du fromage est envahie par des petites taches noires responsable d'une odeur de moisi. Il se manifeste si le fromage est trop humide ou peu salé, s'il y a une condensation en surface des fromages provenant de l'humidité excessive de la cave et si le développement du *Penicillium* est trop lent.

○ **Peau de crapaud**

Il provient du développement excessif de *Geotricum Candidum*, la croûte devient visqueuse et coulante et se décolle légèrement de reste de la meule. Cet hyper développement apparaît lors d'un salage insuffisant ou si la température est trop élevée en fin d'égouttage, ou lors d'une hygiène défectueuse.

○ **Tâches bleuâtres**

Ce défaut est caractérisé par l'apparition en surface des taches blanchâtres ou verdâtres provoquées par *Penicillium roqueforti* suite à un défaut d'acidification.

➤ **Défauts de saveur et d'arôme**

○ **Amertume**

Ce défauts de saveur provient de deux causes principales, une dose de présure ou de chlorure de calcium excessive, ou un mauvais équilibre des ferments d'affinage par des conditions anormales dans la caillebotte ou dans le hâloir, ce débalancement conduit à la formation de peptides amers.

○ **Goût de rance**

La saveur de rance est liée à la présence de lipases ; elle est favorisée par une utilisation des laits de fin de lactation, par un mauvais équilibre des ferments, par une agitation excessive ou un temps prolongé de conservation du lait.

○ **Saveur sucrée**

Elle est due à une teneur excessive d'acétaldéhyde ou d'esters produits par certaines souches de bactéries lactiques (MAHAUT *et al.*, 2000).

4.3.4.4. L'Emballage et le Conditionnement

En général, l'emballage doit être imperméable et protéger le produit contre : les chocs mécaniques, la déshydratation, la contamination par des microorganismes surtout les pathogènes, la perte des arômes et la pénétration de l'oxygène qui cause le phénomène d'oxydation ainsi que de la lumière qui l'accélère (TAMIME, 2011).

Le conditionnement du camembert en vue de sa vente bien évidemment, doit assurer sa protection contre les agents extérieurs, durant ce délai qui a pour origine le conditionnement. Le meilleur conditionnement consiste à l'emballer dans du papier cellulosique et le placer dans des boîtes en carton (Eck et GILLIS, 1997)

1. Présentation de l'unité « STLD »

La laiterie EURL STLD « société de transformation du lait et dérivés », a été créée le 16 Avril 2004, c'est une entreprise à caractère privée sise à la rue des frères BEGGAZ, Nouvelle ville, Tizi-Ouzou. L'unité comporte un effectif de 74 employés compétents, ambitieux et qualifiés et bien formés aux pratiques indispensables dans une industrie agro-alimentaire.

La laiterie a pour fonction de produire une large gamme de produits à partir du lait cru collecté par les éleveurs locaux, environ 35000 litres sont transformés par jour. Les produits fabriqués sont :

- Lait de vache pasteurisé conditionné ;
- Lait de vache fermenté et pasteurisé « L'ben » ;
- Camembert au lait de vache « le fermier » ;
- Camembert au lait de chèvre « le chèvre fermier » ;
- Fromage à pâte pressée « le fermier ».

➤ **Les compartiments de l'unité**

- Service administratif ;
- service commercial ;
- salle de réception des collectes de lait ;
- laboratoire d'analyses microbiologiques et physicochimiques ;
- salle de pasteurisation ;
- atelier de production ;
- atelier de conditionnement ;
- atelier d'emballage ;
- magasin de stockage ;
- salle de nettoyage et de désinfection du matériel de production ;
- cantine.

2. Camembert fabriqué à l'unité

L'unité de production STLD fabrique le fromage type camembert à partir de lait de vache cru collecté localement et transporté dans des citernes isothermes jusqu'à l'unité, les étapes de transformation du lait en camembert sont résumées comme suit (Sachant que mon travail à l'unité était pendant le mois d'Avril) :

2.1. Processus de fabrication du camembert

- **Préchauffage**

Le lait collecté subit un préchauffage à une température de 35°C avant de subir la pasteurisation et cela pour éviter le choc thermique aux protéines du lait.

- **Pasteurisation**

Le lait ainsi chauffé passe dans un pasteurisateur réglé au barème de 78°C pendant 20 secondes.

- **Refroidissement**

On ramène la température du lait à 38°C qui est indispensable à l'étape suivante « la maturation ».

- **Maturation**

Dans cette étape le lait atteint une acidité de 23-24°D (environ pH = 6,3) à 38°C par l'ensemencement avec des levains lactiques (un mélange de bactéries thermophiles et mésophiles), ainsi pour rétablir l'équilibre salin du lait on ajoute le chlorure de calcium CaCl₂ à raison de 10%.

- **Emprésurage du lait et coagulation**

Pour les productions fromagères à partir du lait frais, la quantité de présure à utiliser est de 2 à 3 %.

- **Décaillage et le brassage**

Après coagulation, le caillé est découpé en petit cubes grâce à des grilles « tranche caillé », ce qui va libérer le lactosérum puis des brassages successifs sont effectués pour faciliter la remontée du sérum lequel sera soutiré.

- **Moulage et égouttage**

Le caillé brassé est mis dans des moules laissant échapper le sérum, qui seront acheminés ensuite dans des chambres à égouttage de température qui varie entre 25-27°C où on procède à deux retournements après 45minutes et 2 heures de temps et dans le cas où le caillé est humide un troisième retournement permet d'avoir une meilleure exsudation du lactosérum.

- **Salage et ressuyage**

Après démoulage, le salage est effectué à une température de 12°C en utilisant des saumures ayant une concentration en sel (Ca Cl_2) entre 150 à 170 g/l pendant 35 à 40 minutes.

Après le salage, les fromages sont envoyés dans une salle de ressuyage pour une durée de 24 heures à une température de 12°C en effectuant un retournement.

- **Affinage**

Après le ressuyage, les fromages sont introduits dans des hâloirs à une température de 12°C pendant une durée de 10 à 12 jours, durant cette période les fromages sont pulvérisés de *Penicillium camemberti*, en effectuant des retournements tous les deux jours.

Ces principales étapes de fabrication du camembert « Le Fermier » sont représentées dans la figure 4 ci-dessous.

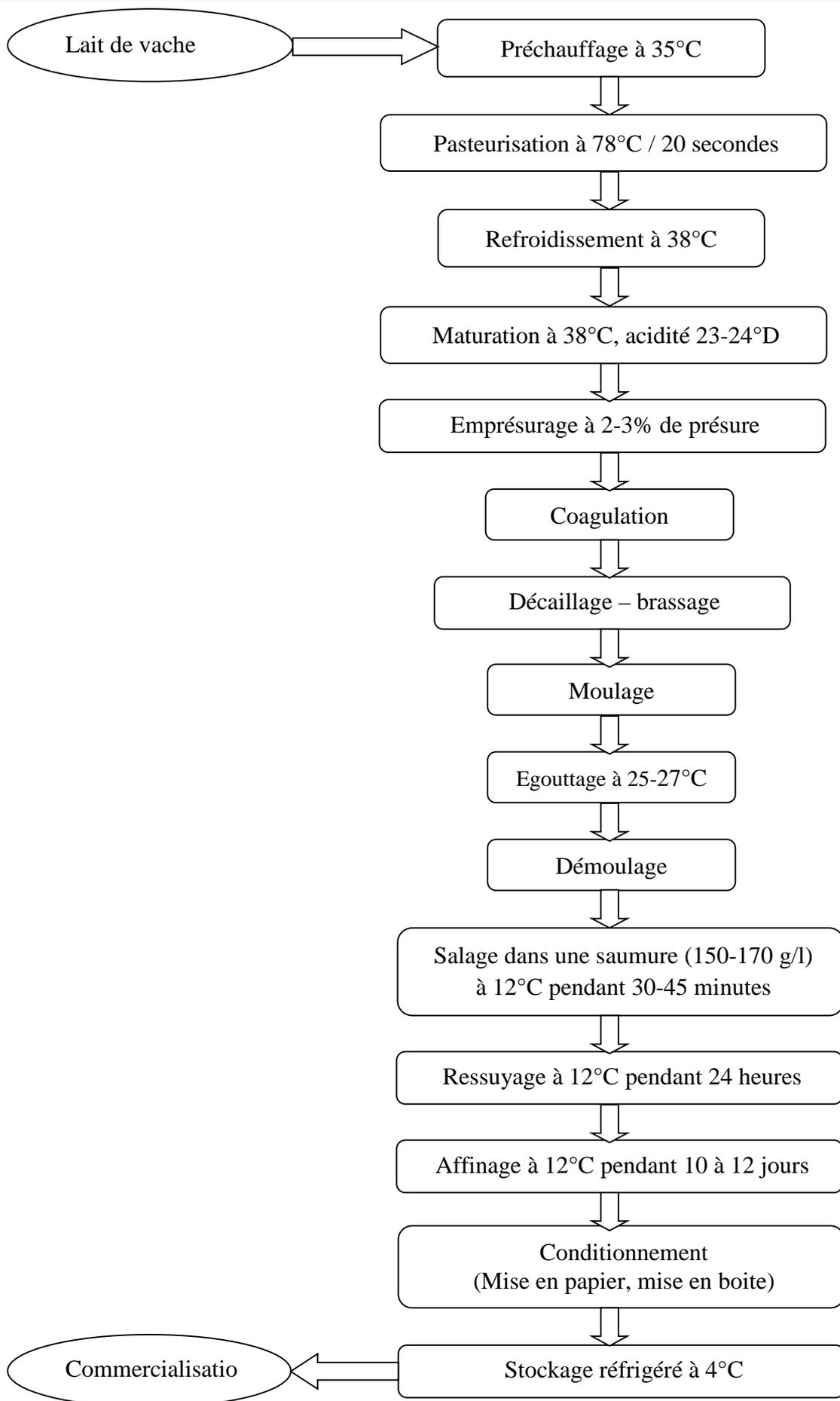


Figure 4 : Diagramme de fabrication du camembert à la laiterie STLD de Tizi-Ouzou.

1. Matériel utilisé

L'ensemble des appareils, verrerie, réactifs, milieux de culture et autre matériel utilisé lors de la manipulation est décrit dans l'annexe 1.

2. Analyses physicochimiques

2.1. Echantillonnage

Pour les analyses physicochimiques, l'échantillonnage a été réalisé sur la matière première « le lait de vache cru » ainsi que sur le camembert en cinq (5) fois représentant cinq productions distinctes.

- Les échantillons du lait cru sont prélevés à sa réception au niveau de l'unité ;
- les échantillons du produit en cours de fabrication sont prélevés après salage (juste avant le 1^{er} jour d'affinage) et après affinage (produit fini).

2.2. Analyses

Tableau XIII: Paramètres physicochimiques mesurés aux différents points d'échantillonnage.

Points d'échantillonnage	Paramètres physicochimiques mesurés
Matière première « Lait de vache cru »	pH, acidité titrable, densité, teneur en matière grasse, extrait sec total, extrait sec dégraissé, humidité, test de détection des antibiotiques.
Produit en cours de fabrication (après salage) Produit fini	pH, teneur en matière grasse, extrait sec total, extrait sec dégraissé, humidité.

2.2.1. Analyse du lait cru

2.2.1.1. Mesure du pH

Le pH par définition est une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une solution.

- **Méthode**

- On étalonne le pH-mètre à l'aide de deux solutions tampons (acide et basique) puis on plonge l'électrode du pH-mètre dans le lait à analyser et on lit la valeur du pH ;
- à chaque détermination du pH, on retire l'électrode, on la rince avec l'eau distillée et on la sèche.

2.2.1.2. Mesure de l'acidité titrable

- **Principe**

Il s'agit d'un titrage acido-basique. L'acide lactique est neutralisé par une solution d'hydroxyde de sodium NaOH (à 0.111N) en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré.

- **Méthode**

On introduit dans un bécher 10 ml du lait cru auxquels on ajoute 2 à 3 gouttes de l'indicateur coloré puis on titre avec la solution NaOH (à 0.111N) jusqu'à l'apparition d'une coloration rose.

- **Expression des résultats**

On lit le volume de NaOH en ml sur la burette. Le résultat est exprimé en (°D) par la formule suivante :

$$AT = V \cdot 10$$

Avec :

AT: Acidité titrable (°D) « 1°D représente 0.1 g d'acide lactique dans un litre de lait » ;

V: Volume en ml lu sur la burette (annexe 2).

2.2.1.3. Mesure de la densité

- **Méthode**

On verse le lait dans l'éprouvette de 250ml, tenue inclinée afin d'éviter la formation des mousses ou de bulles d'air puis on plonge le lactodensimètre verticalement dans l'éprouvette, après sa stabilisation on lit la valeur de densité sur l'échelle à la surface de lait.

- **Expression des résultats**

- Le lactodensimètre donne une valeur exacte à la température de 15°C ;
- si la température du lait est inférieure ou supérieure à 15°C, il est nécessaire d'effectuer une correction. On ajoute 0,2 par degré au-dessus de 15°C et on retranche 0,2 par degré au-dessous de 15°C.

$$T^{\circ} = 15^{\circ}\text{C} : D = V$$

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

$$T^{\circ} > 15^{\circ}\text{C} : D = V + (X.0,2)$$

Avec :

D : Densité ;

V : Valeur lue sur le lactodensimètre ;

X : Nombre du degré de température (°C) au-dessus ou au-dessous de 15°C.

2.2.1.4. Mesure de la teneur en matière grasse

- **Principe**

La teneur en matière grasse du lait est déterminée par la méthode de GERBER (acido-butyrométrie).

Après dissolution des protéines par addition d'acide sulfurique (H₂SO₄), la séparation de la matière grasse du lait par centrifugation dans un butyromètre est favorisée par l'addition d'une quantité d'alcool iso amylique.

- **Méthode**

On introduit 10 ml d'acide sulfurique (0,1% et à D= 1,83) dans le butyromètre à lait puis on ajoute 11 ml du lait et 1 ml d'alcool iso amylique et on ferme avec un bouchon. Ensuite, on agite soigneusement jusqu'à dissolution des protéines par action de l'acide sulfurique.

Afin d'obtenir une bonne homogénéisation, on met le butyromètre dans un bain marie pendant 5 minutes puis on le centrifuge pendant 5 minutes.

- **Expression des résultats**

$$\text{TMG \%} = \text{A} - \text{B}$$

Avec : **TMG** : Teneur en matière grasse (%).

A : la valeur correspondant au niveau inférieur de la colonne grasse.

B : la valeur correspondant au niveau supérieur de la colonne grasse.

2.2.1.5. Mesure de l'extrait sec total (EST) et de l'extrait sec dégraissé (ESD)

- **Principe**

L'extrait sec total est le taux de la matière sèche restant après dessiccation complète. Il est déterminé à l'aide d'un dessiccateur à infrarouge. La dessiccation permet l'évaporation totale de l'eau contenue dans l'échantillon. L'extrait sec dégraissé est l'extrait sec total dépourvu de la matière grasse.

- **Méthode**

À l'intérieur d'un dessiccateur infrarouge, on place une capsule préalablement séchée et tarée, contenant 2 à 5g de l'échantillon à analyser. La température de dessiccation varie selon l'humidité de l'échantillon, elle peut aller de 165°C pour le lait, caillé, lactosérum, à 105°C pour la poudre du lait.

À l'unité STLD, en plus des méthodes citées ci-dessus, on utilise aussi un appareil « Auto-Scan » qui mesure et donne toutes les valeurs des paramètres physico-chimiques du lait y compris l'extrait sec total, l'humidité et l'extrait sec dégraissé.

- **Expression des résultats**

On lit directement la valeur affichée en pourcentage sur l'écran du dessiccateur. La valeur de l'EST est exprimée en (g/l) pour le liquide et en pourcentage pour les solides (fromage).

- Calcul de l'extrait sec dégraissé : **ESD= EST- MG.**
- Calcul de l'humidité : **H%= 100-EST.**

2.2.1.6. Test de détection des antibiotiques dans le lait

C'est un test rapide de détection des Beta-lactames et Tétracyclines dans le lait. Il est utilisé à la réception du lait de vache cru à l'unité pour vérifier son aptitude à la transformation fromagère en décelant la présence des antibiotiques.

- **Méthode**

On met 0,2 ml de lait dans un petit flacon contenant un disque de marque « Beta Star Combo », puis on l'incube à 47,5°C (3 min pour Beta / 2 min pour le Combo). Ensuite, on plonge une tigette dans le petit flacon et on incube à 47,5°C (2 min pour le Beta / 3 min pour le Combo). Enfin, on fait la lecture en 5 minutes (annexe 8).

- **Lecture des résultats**

Le test se fait en deux étapes :

- Une première incubation où les antibiotiques présents se lient au récepteur ;
- une deuxième incubation où le lait migre sur un support immuno-chromatographique « la tigette » présentant deux (2) bandes (3 pour le Combo) :

- ✓ Une bande retient les récepteurs qui n'ont pas de Béta-lactames (Négatif) ;
- ✓ une autre bande sert de référence ;
- ✓ une bande supplémentaire pour le Combo qui retient les récepteurs qui n'ont pas de Tétracyclines (Négatif).

2.2.2. Analyse du camembert

2.2.2.1. Mesure du pH

Le pH est déterminé par une méthode électrométrique, à l'aide d'un pH-mètre. Cet appareil mesure la différence du potentiel entre deux électrodes ; la sonde du pH-mètre étalonnée au préalable est introduite directement dans l'échantillon à analyser à une température d'environ 20°C et la valeur du pH est lue sur l'écran de l'appareil.

2.2.2.2. Mesure de la teneur en matière grasse

- **Principe**

La méthode utilisée pour la détermination de la teneur en matière grasse du camembert est la méthode de GERBER (acido-butyrométrique) qui est une technique basée sur la dissolution des protéines par addition d'acide sulfurique et séparation de la matière grasse par centrifugation en présence d'alcool iso amylique.

- **Méthode**

On dépose 3 g de l'échantillon dans un butyromètre à fromage auquel on ajoute de l'acide sulfurique à 1,54 de densité jusqu'à ce que l'échantillon soit immergé, puis on place le butyromètre dans un bain marie à 67°C/5 min, pour favoriser la dissolution complète des protéines. Par la suite on additionne 1 ml d'alcool iso amylique et on remplit d'acide sulfurique jusqu'au trait repère de l'échelle du butyromètre, puis on homogénéise et on centrifuge pendant 3 à 5 minutes (3000 tr/min).

- **Expression des résultats**

$$\text{TMG\%}=\text{A}-\text{B}$$

TMG : Teneur en matière grasse (%).

A : Valeur lue sur le butyromètre à la limite inférieure de la couche de matière grasse formée.

B : Valeur lue sur le butyromètre à la limite supérieure de la couche de matière grasse formée.

2.2.2.3. Mesure de l'extrait sec total (EST) et de l'extrait sec dégraissé (ESD)

- **Principe**

Il consiste à faire évaporer l'eau d'une prise d'essai afin de déterminer par la pesée la quantité de matière sèche restante après dessiccation totale de la prise d'essai.

- **Méthode**

On dépose 3 g du produit sur une feuille aluminium préalablement tarée sur une balance (il est important de bien étaler le produit sur la feuille) puis on note la valeur de la masse du produit affichée sur la balance (m_1). Ensuite, on met l'échantillon dans un dessiccateur pendant 2 minutes puis on le retire du dessiccateur et on le pèse à nouveau (m_2).

- **Expression des résultats**

L'extrait sec total est obtenu par la formule suivante :

$$\text{EST \%} = (m_2 / m_1) \cdot 100$$

Avec :

m_1 : masse du produit avant dessiccation ;

m_2 : masse du produit après dessiccation.

- **Calcul de l'extrait sec dégraissé**

L'extrait sec dégraissé est calculé directement à partir de l'extrait sec total en appliquant la formule suivante :

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

ESD : Extrait sec dégraissé.

EST : Extrait sec total.

MG : Teneur en matière grasse.

- **Calcul de l'humidité**

Le taux d'humidité est calculé directement à partir de l'extrait sec total en appliquant la formule suivante :

$$\text{H}^\circ = 100 - \text{EST}$$

H° : Humidité (%) ;

EST : Extrait sec total (%).

3. Analyses microbiologiques

3.1. Echantillonnage

Les prélèvements pour les analyses microbiologiques doivent être effectués en prenant toutes les précautions d'asepsie, notamment en ce qui concerne l'ouverture et la fermeture des sachets "Stomacher" dans lesquels les échantillons sont recueillis, qui doit se faire en zone stérile assurée par l'utilisation d'une flamme. Tous les instruments utilisés pour le prélèvement doivent être propres et stériles pour éviter la contamination des échantillons.

Les points d'échantillonnage sont :

- Le lait (après l'étape de pasteurisation) ;
- le produit en cours de fabrication est analysé après moulage et salage ;
- le produit fini.

3.2. Préparation des solutions mères

Le lait étant un produit liquide, il constitue d'emblée une solution mère (SM) qui correspond à la dilution 10^0 , c'est-à-dire 1.

Les autres produits à analyser en cours de fabrication (moulage, salage et produit fini) étant des produits solides, il est nécessaire de procéder à leur homogénéisation à l'aide d'une technique appropriée : introduire aseptiquement 25 grammes du produit à analyser dans un sachet stérile de type « Stomacher » contenant au préalable 225 ml du diluant Tryptone Sel Eau (TSE) et homogénéiser. Cette suspension constitue alors la solution mère qui correspond donc à la dilution 1/10 ou 10^{-1} .

3.3. Préparation des dilutions décimales

3.3.1. Cas du lait pasteurisé

- On introduit aseptiquement à l'aide d'une pipette Pasteur stérile, 1 ml de la SM, dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml du même diluant TSE. Cette dilution est alors au 1/10 ou 10^{-1} ;
- par la suite, on introduit 1ml de la dilution 10^{-1} dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml du même diluant. Cette dilution est alors au 1/100 ou 10^{-2} ;
- ensuite, on introduit aseptiquement à l'aide d'une pipette Pasteur stérile, 1 ml de la dilution 10^{-2} dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml du même diluant. Cette dilution est alors au 1/1000 ou 10^{-3} (voir annexe 3).

3.3.2. Cas du produit en cours de fabrication

- On introduit aseptiquement à l'aide d'une pipette Pasteur stérile 1ml de la SM, dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml de TSE. Cette dilution est alors au 1/100 ou 10^{-2} ;
- par la suite, on introduit 1ml de la dilution dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml du même diluant. Cette dilution est alors au 1/1000 ou 10^{-3} ;
- ensuite, on introduit aseptiquement à l'aide d'une pipette Pasteur stérile, 1 ml de la dilution 10^{-3} dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml du même diluant. Cette dilution est alors au 1/10000 ou 10^{-4} (voir annexe 4).

➤ Remarque

Au moment de la réalisation des dilutions décimales, il est impératif de changer de pipettes entre chaque dilution et d'homogénéiser avant chaque prélèvement.

3.4. Analyse des produits

Tableau XIV : Germes recherchés aux différents Points d'échantillonnage.

Points d'échantillonnage	Germes recherchés
Lait pasteurisé	<ul style="list-style-type: none"> - Flore mésophile aérobie totale - Coliformes totaux et fécaux - <i>Salmonella sp</i> - <i>Staphylococcus aureus</i>
Produit en cours de fabrication (moulage, salage et affinage)	<ul style="list-style-type: none"> - Coliformes totaux et fécaux
Produit fini	<ul style="list-style-type: none"> - Coliformes totaux et fécaux - <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs - <i>Salmonella sp</i> - <i>Staphylococcus aureus</i>

3.4.1. Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FMAT)

- On introduit dans une boîte de Pétri 1 ml de la solution mère et des dilutions décimales puis on coule le milieu PCA fondu au préalable au bain marie à ébullition et maintenu à 45-46°C ;
- on place les boîtes de Pétri retournées dans l'étuve à 30°C pendant 72 heures ;
- par la suite, on compte à l'œil nu toutes les colonies qui se sont développées quelle que soit leur taille et on retient pour comptage, les boîtes de Pétri contenant un nombre de colonies compris entre 15 et 300 ;
- on multiplie toujours le nombre trouvé par l'inverse de sa dilution ;
- ensuite, on fait la moyenne arithmétique des colonies entre les différentes dilutions.

3.4.2. Dénombrement des Coliformes totaux et fécaux

- A partir de la solution mère et des dilutions décimales réalisées, on porte aseptiquement 2 fois 1 ml dans deux boîtes de Pétri vides préparées à cet usage et numérotées ;
- ensuite, on complète chaque boîte avec environ 20 ml de gélose VRBL fondue puis refroidie à 45°C ;
- on fait des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de bien se mélanger à la gélose utilisée.
- par la suite, on incube une série de boîtes à 30°C, pendant 24 à 48 h qui servira à la recherche de Coliformes totaux, l'autre série sera incubée à 44°C pendant 24 à 48 h et servira à la recherche de Coliformes fécaux ;
- que ce soit à 30 ou à 44°C, on fait les premières lectures au bout de 24 h ;
- enfin, on dénombre les colonies par la même méthode précédente.

3.4.3. Dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs

- A partir de la solution mère et des dilutions décimales réalisées, on porte aseptiquement 1 ml dans 5 tubes à vis ;
- on met les 5 tubes dans un bain marie à 80°C/10 minutes puis on les refroidit avec l'eau du robinet ;
- par la suite, on coule dessus environ 15 ml du milieu de culture VF ;
- on homogénéise les tubes et on laisse solidifier pour incuber à 37°C/72h ;
- enfin, la présence de *Clostridium* sulfito-réducteurs est confirmée par l'apparition de grosses colonies noires qui correspondent au développement des spores en anaérobiose. On exprime le résultat par le nombre de spores/25 ml de produit.

3.4.4. Recherche de *Salmonella*

On Pèse aseptiquement 25 g de l'échantillon pour essai dans un sachet « stomacher » à l'aide d'une balance de précision et on ajoute 225 ml du milieu de pré-enrichissement (TSE). Après homogénéisation, on incube à 37°C/16 à 20h.

Après incubation, on transfère 1 ml de la solution pré-enrichie dans un tube à essai et on coule dessus 10 ml de bouillon au sélénite de sodium (SFB) puis on incube à 37°C/24h.

3.4.5. Recherche de *Staphylococcus aureus*

La recherche de *Staphylococcus aureus* est réalisée par la méthode d'enrichissement au milieu de Giollitiet Cantonii (GC).

- A partir de la solution mère et des dilutions décimales, on porte aseptiquement 1 ml par dilution dans un tube à vis stérile. Par la suite, on ajoute environ 15 ml du milieu d'enrichissement ;
- on mélange bien le milieu et l'inoculum ;
- ensuite, on incube à 37°C pendant 24 à 48 heures ;
- enfin, seront présumés positifs, les tubes ayant virés au noir (voir annexe 5).

Les résultats des analyses physicochimiques et microbiologiques de cinq échantillons (E1, E2, E3, E4 et E5) correspondant à 5 cycles de production, sont représentés dans les tableaux ci-dessous.

1. Analyses physicochimiques

1.1. Lait de vache cru

Les résultats des analyses physicochimiques inhérents au lait de vache cru sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau XV : Résultats des analyses physicochimiques du lait de vache cru.

Paramètres	Moyenne	Norme(*)
pH	6,1 ± 0,1	6,6 - 6,8
Acidité (°D)	18 ± 1,73	16 - 18
Densité	1027 ± 0,6	1032 - 1036
EST (g/l)	110,8 ± 1,22	120 - 125
ESD (g/l)	78,46 ± 1,80	87,5 - 89,9
MG (%)	32,5 ± 0,7	34 - 36
Test antibiotiques	Abs	Abs (**)

(*) : Normes AFNOR (1986).

(**) : JORA (1998).

✓ pH

Les résultats du pH obtenu pour le lait de vache cru sont conformes aux normes, ce qui nous renseigne sur le respect des bonnes conditions de la traite, stockage et transport du lait jusqu'à l'unité.

Selon SIOUSARRAN (2003), la détermination du pH donne une première idée sur le stade de l'évolution du produit et sur la présence de germes qu'on peut éventuellement y trouver.

✓ Acidité titrable :

Les valeurs obtenues pour la mesure de l'acidité du lait sont des valeurs répondant à la limite d'acceptation définie par l'AFNOR et qui est 18°D, ceci indique que le lait est frais et n'a pas subi une fermentation lactique.

Toute augmentation de l'acidité traduit une mauvaise conservation ou un mauvais transport du lait. La rupture de la chaîne de froid induit le développement de la flore lactique.

L'acidité élevée d'un lait est attribuée à sa richesse en constituants à caractères acides tel que l'acide lactique et anions phosphates, l'élévation de l'acidité s'accompagne d'un abaissement du pH du lait (VIGNOLA, 2002).

Par ailleurs, ESSALHI (2002) rapporte que le mouillage du lait provoque une diminution de son acidité qui se situe normalement entre 15 et 18°D pour un lait frais.

✓ **Densité du lait**

La valeur moyenne de la densité mesurée (1027) est inférieure aux normes AFNOR (1032 - 1036). Cependant, ce résultat concorde avec celui trouvé par BOUBEZARI (2010) et proche aux valeurs publiées dans l'arrêté interministériel N°069 de 1993 du journal officiel Algérien (1030-1034).

Selon ALAIS (1984), la densité du lait est un paramètre qui varie selon l'espèce. Elle varie aussi selon la proportion d'éléments dissous ou en suspension et elle est inversement proportionnelle au taux de matière grasse.

Ce paramètre est très recherché en industrie car il permet la détection des fraudes, le mouillage abaisse la teneur du lait en ses divers constituants, entraînant ainsi des modifications de ses constantes physiques.

La valeur supérieure de la densité est due à l'élévation du taux d'extrait sec du lait qui conduit à l'augmentation de la masse du même volume de lait (MATHIEU, 1998).

✓ **Extrait sec total**

L'extrait sec total mesuré du lait cru est inférieur aux normes recommandées par l'AFNOR, ce qui peut être dû à l'alimentation de la vache comme il est expliqué ci-dessous.

D'après VEISSEYRE (1975), ce sont les matières azotées du lait qui forment avec la matière grasse la presque totalité de la matière sèche du fromage. Donc les variations du taux de la matière sèche (EST) du lait est influencé par les fluctuations de ces deux constituants.

En effet, selon MARTIN et COULON (1995), l'ingestion de quantités importantes de fourrages d'aliments concentrés par les vaches laitières entraîne une augmentation de la production du lait et aussi une augmentation du taux de MG et des protéines ce qui induit un accroissement de taux d'EST du lait de vache.

✓ **Extrait sec dégraissé**

La valeur de la moyenne (78,46 g/l) de l'ESD obtenue est conforme aux normes de l'AFNOR (87,5 - 89,9 g/l).

Selon VEISSEYRE (1975), l'extrait sec dégraissé exprime la teneur du lait en éléments secs débarrassés de la matière grasse. Elle est beaucoup plus constante que la matière sèche totale, et toujours voisine de 90g/l de lait.

✓ **Matière grasse**

La valeur moyenne trouvée est inférieure aux normes AFNOR, ce ci peut être dû à l'alimentation de la vache.

En effet, la matière grasse, critère relativement variable d'un jour à l'autre, car il est fortement lié à la traite. Cependant, il est parmi les solides du lait, l'élément qui est le plus fortement et le plus rapidement modifiable par l'alimentation (HODEN et COULON, 1991).

Par ailleurs, MEKROUD (2010) a confirmé la variation du taux butyreux (TB) selon la période de lactation et la saison de la traite du lait.

De plus, selon POUGHEON et GOURSAUD (2001), cette diminution peut aussi être attribuée au stade de lactation, où le taux butyreux diminue en début de lactation pour atteindre un minimum au bout d'environ 6 semaines.

1.2. Produit en cours de fabrication

La variation des caractères physicochimiques participent à la modification des caractères intrinsèques du produit fini d'où la nécessité d'un suivi de ces paramètres en cours de fabrication du produit.

Les résultats des analyses physicochimiques du produit en cours de fabrication sont résumés dans le tableau XVI, ci-après.

Tableau XVI : Résultats des analyses physicochimiques du produit en cours de fabrication.

Paramètres	Moyenne		
	Salage	Affinage	Produit fini
pH	5,3 ± 0,2	5,6 ± 0,1	5,7 ± 0,1
Acidité (°D)	9,90 ± 0,72	8,64 ± 1,24	6,84 ± 0,69
EST (g/l)	42,76 ± 0,25	43,53 ± 0,52	46,39 ± 0,34
ESD (g/l)	19,76 ± 0,92	21,53 ± 0,77	22,72 ± 0,75
MG (%)	23 ± 1	22 ± 1	23,66 ± 0,57

En se développant, les bactéries lactiques forment de l'acide lactique par fermentation des traces de lactose (VIGNOLA, 2002). Cependant, on remarque que le pH et l'acidité évoluent inversement, plus le pH augmente l'acidité diminue. De plus, cette évolution continue au fil du temps.

La diminution de l'acidité peut être due à la formation du *Penicillium* car selon LENOIR (1963) ces moisissures consomment l'acide lactique et désacidifient la pâte.

On remarque aussi que les teneurs en EST et MG augmentent au cours de l'affinage, ces résultats s'expliquent par le fait que les constituants de la matière sèche essentiellement la MG et les protéines se concentrent au cours de l'affinage (RIAHI, 2006).

2. Analyses microbiologiques

2.1. Lait pasteurisé

Le tableau XVII, ci-dessous, résume les résultats des analyses microbiologiques exprimés en UFC/ml du lait pasteurisé.

Tableau XVII : Résultats des analyses microbiologiques du lait pasteurisé.

Paramètres	Moyenne	Norme (*) (UFC/ml)
FMAT	4,3 .10 ³	3. 10 ⁴
Coliformes totaux	Abs	1
Coliformes fécaux	Abs	Abs
Salmonella Sp	Abs	Abs
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs

(*) : JORA (1998).

Abs : Absence

UFC/ml : Unité Formant Colonie par millilitre.

Les résultats exprimés dans le tableau XVII sont conformes aux normes JORA (1998) et témoignent d'une bonne conduite de la pasteurisation (78°C /20s) que le lait de vache cru a subi avant sa transformation en camembert.

En effet, Selon LECLERC *et al.* (1997), ce traitement permet de détruire tous les germes pathogènes, la majorité des germes saprophytes tout en préservant au maximum les propriétés organoleptiques et nutritionnelles des aliments.

Il est considéré comme un traitement d'assainissement et de conservation à court terme sous régime de froid (GUIRAUD, 2003).

Ainsi plusieurs des germes recherchés dans le lait pasteurisé ont été détruits suite à l'application de la pasteurisation ; citant :

- Les *Salmonella* comme la plupart des bactéries à Gram négatif, présentent une sensibilité certaine à la chaleur (GLEDEL, 1988). Les salmonelles sont capables de se multiplier à des températures comprises entre 6°C et 46°C (HUMBERT, 2005) et sont détruites à 60°C/3 minutes et 18 secondes.
- *Staphylococcus aureus*, sa température de destruction est de 60°C/1 à 10 minutes (CERF *et al.*, 1996). C'est un germe thermosensible et sensible à l'acidité du milieu (pH optimum 6-7) (DE BUYSER, 1996).

2.2. Produit en cours de fabrication

Les résultats des analyses microbiologiques effectués en cours de fabrication du camembert sont résumés dans le tableau XVIII, ci-après.

Tableau XVIII : Résultats des analyses microbiologiques exprimés en UFC/ml, du produit en cours de fabrication.

Paramètres	Moyenne		
	Moulage	Salage	Affinage
Coliformes totaux	Abs	Abs	Abs
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs

Abs : Absence.

UFC/ml : Unité Formant Colonie par millilitre.

Dans notre étude, on s'est intéressé à un suivi des coliformes totaux et fécaux en cours de fabrication du camembert dont l'objectif est l'évaluation des conditions d'hygiène à l'unité qui a une influence directe sur la qualité du produit fini. Ce suivi nous renseigne aussi sur le degré de contamination et son origine.

En effet d'après CUQ (2007), la recherche des coliformes permet de mettre en évidence l'insuffisance du processus ou de mauvaises conditions de fabrication. Leur présence dans un aliment signifie que la contamination provient des manipulateurs ou des équipements et instruments de travail. Pareille contamination est non sans conséquences sur la qualité du produit fini. Ainsi, selon ST-GELAIS et TIRARD-COLLET (2002), les coliformes peuvent fermenter le lactose, dans certaines conditions, pour produire des composés alcooliques ainsi que des gaz, notamment le CO₂ dans la pâte fromagère pouvant conférer certaines saveurs désagréables au produit.

Les résultats de tableau XVIII montrent que le circuit n'est pas contaminé, ceci nous informe sur :

- L'efficacité du traitement thermique appliqué sur le lait cru et qui est la pasteurisation ainsi le bon déroulement des étapes de fabrication.

En effet, les opérations technologiques modifient directement, de façon quantitative et qualitative la flore des aliments. Elles font varier les paramètres physicochimiques du milieu : la composition, la température, l'activité de l'eau, le pH, etc. qui ont une incidence directe sur la croissance des germes contenus dans les produits.

Dans certains cas, le résultat de la mise en œuvre des opérations technologiques comme l'application d'un traitement thermique, induit une diminution de la flore totale (MESCLE et ZUCCA, 1996).

- L'effet antagoniste exercé par les bactéries lactique du ferment dans les tanks de maturation. Cette flore secrète des substances inhibitrices telles que les bactériocines et les antibiotiques (ECK et GILLIS, 1997).

- Une bonne hygiène et respect des bonnes pratiques lors des opérations de nettoyage des équipements de production. Le personnel chargé du nettoyage des machines utilise des désinfectants, à savoir de la soude à 2% et d'autres détergents ce qui explique l'absence totale de germes constatée.

Le risque de contamination à partir des surfaces en contact avec les produits est très élevé. Il s'agit notamment des machines, cuves, plans de travail, outils, etc. (MESCLE et ZUCCA, 1996).

En effet, les cellules microbiennes s'attachent assez bien aux parois en bois, en verre ou aux surfaces métalliques. Le contact d'un produit alimentaire avec des surfaces mal nettoyées (plan de travail, machines, petit outillage) augmente généralement sa charge microbienne (VIERLING et LEYRAL, 2007).

2.3. Produit fini

Le tableau XIX, ci-dessous, résume les résultats des analyses microbiologiques du produit fini.

Tableau XIX : Résultats des analyses microbiologiques exprimés en UFC/ml du produit fini.

	E1	E2	E3	E4	E5	Moyenne	Normes (*)
Coliformes totaux	0	0	80	60	40	60	100/g
Coliformes fécaux	0	0	0	0	0	0	10/g
CSR	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1
<i>Salmonella</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs/25g
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

(*) : Normes JORA (1998).

CSR : *Clostridium sulfito-réducteurs*.

Les résultats d'analyses du camembert « le Fermier » révèlent une qualité satisfaisante du produit, répondant aux normes établies dans le JORA (1998).

On note une absence de germes pathogènes qui pourrait être dû au fait que le produit fini après conditionnement est hermétiquement emballé et n'est plus en contact avec le milieu extérieur d'où l'absence totale de germes.

GUIRAUD et GALZY (1980) affirment que les fromages, de par leur acidité, les traitements subis (salage et cuisson) sont très peu favorables au développement et à la survie des germes pathogènes, très sensibles.

Par ailleurs, la charge de coliformes totaux trouvée dans le camembert peut être causée par le personnel lors du conditionnement qui se fait manuellement.

En effet selon QUITTET et NELIS (1999), l'Homme est le principal vecteur de contamination, car il est naturellement porteur de germes sur les mains, les cheveux, le nez et la bouche.

BOURGEOIS *et al.* (1996) précisent qu'il est évident qu'une mauvaise hygiène corporelle du personnel manipulateur conduirait aux contaminations du produit.

De plus, selon GRAPPIN et BRANGER (2006), la diminution de la charge des coliformes totaux et fécaux dans le produit fini est due essentiellement au salage qui diminue l'activité de l'eau (A_w) et l'activité de la plupart des microorganismes.

En effet, l'abaissement de l'activité de l'eau (A_w) augmente la durée de la phase de latence des microorganismes et diminue sélectivement leur vitesse de croissance. Une concentration en sel situé entre 0 à 5% abaisse l' (A_w) des coliformes de 0.992 à 0.975 ce qui diminue environ 75% de leur charge dans le produit fini.

Au delà de 5%, on aura inhibition totale de ces germes (CHOISY *et al.*, 2006).

La fabrication du camembert est un processus très technique et complexe. Un bon savoir-faire, une connaissance approfondie de tous les facteurs qui interviennent au cours de la fabrication et une bonne maîtrise des paramètres technologiques, revêtent une importance primordiale pour la mise au point d'une technologie adéquate de fabrication. Cette connaissance est absolument indispensable quand on désire produire un camembert qui répond aux exigences du consommateur qui aujourd'hui n'a plus une attitude passive vis-à-vis des aliments mais il est toujours à la recherche de la qualité.

Durant la période de mon stage pratique à la Laiterie EURL STLD « Société de Transformation du Lait et Dérivés » de Tizi-Ouzou, nous avons pu suivre les différentes étapes de fabrication du camembert et réaliser certaines analyses physicochimiques et microbiologiques afin d'évaluer la qualité de ce produit.

Les résultats physicochimiques que nous avons obtenus ont révélé une conformité des paramètres mesurés aux normes, que ce soit pour la matière première « le lait de vache cru » ou le produit fini. Ceci est le signe du respect des bonnes pratiques de fabrication et de la bonne maîtrise des procédés de fabrication de ce produit.

Concernant les résultats des analyses microbiologiques sur le produit tout au long de sa transformation, ils ont dévoilé un manque d'hygiène, notamment la contamination du produit fini par les coliformes. Ces résultats confirment l'influence des conditions de fabrication sur la qualité du produit durant le conditionnement.

Après avoir examiné ces résultats, nous sommes arrivées à la conclusion que le produit fini (le camembert) répond aux exigences des normes réglementaires ; cela dit, il reste tout de même des efforts à faire concernant la formation du personnel à l'hygiène. En effet, avec un niveau approprié de formation aux bonnes pratiques d'hygiène et bonnes pratiques de fabrication (qui représentent les bases de tout système de salubrité alimentaire) et une approche d'équipe qui permet aux employés de connaître leur rôle dans l'entreprise, les erreurs seront incontestablement minimisées.

Une fois les bonnes pratiques de fabrication et les bonnes pratiques d'hygiène mises en œuvre, l'entreprise pourra évoluer vers une politique de maîtrise totale des dangers en instaurant un programme d'analyse des risques et de maîtrise des points critiques : le HACCP

(Hazard Analysis and Critical Control Point), est une approche systématique qui permet d'identifier, d'évaluer et de contrôler les dangers afin de garantir un produit sain pour le consommateur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADRIAN J., POTUS J., et FRANGE R. (2003). La Science Alimentaire de A à Z, Lavoisier, 3^{ème} édition. P549.

ADRIAN J., POTUS J. et FRANGNE R., (2004). La science alimentaire de A à Z ,2^{ème} édition, Tec et Doc, Lavoisier. P 79 (477 pages).

AFNOR (1986). Recueil de Normes Française.

ALAIS C. (1984). Science du Lait. Principes des Technologies Laitières, 4eme Ed ; Paris.

AMIOT J., FOURNER S., LEBEUF Y., PAQUIN P., SIMPSON R et TURGEON H., (2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait In : **VIGNOLA C.L (2002)** .Science et technologie du lait – Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, ISBN P : 1-69 (600 pages).

ANONYME 1. (2000). Codex Alimentarius : Lait et Produits Laitiers. 2^{ème} Ed.

ANONYME 2. (1995). Le Lait et les Produits Laitiers dans la Nutrition Humaine. FAO, Rome.

BERTRAND F. (1988). Le fromage grand œuvre des microbes. Revue générale du froid, 78. P: 5 19-527.

BOUBEZARI M.T. (2010). Contribution à L'étude des Caractéristiques Physicochimiques et Mycologiques du Lait chez quelques Races Bovines, Ovines et Caprines dans Quelques Elevages de la Région de Jijel. Mémoire de Magistère. Université de Mentouri Constantine., Algérie.

BOURGEOIS C. et LARPENT M. (1989). Microbiologie Alimentaire. Tome 2 .P :31, 34.

BOURGEOIS C.M., MESCLE J.F. et ZUCCA J. (1996). Microbiologie Alimentaire : Aspect Microbiologique de la Sécurité et de la Qualité des Aliments. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.

BOUTONNIER J.L. (2000). Fabrication du Fromage Fondu ; in : "Techniques de l'ingénieur, traité agroalimentaire", F 6310.

BRUNNER J., (1981). Cow milk proteins: twenty five years of progress. J dairy Sci, 1981,64: 1038-1054. In **BUCHIN S., MARTIN B., DUPONT D., BORNARD A., ACHILLEOS C., 1999.** Influence of the composition of Alpine high land pasture on the chemical, rheological and sensory properties of. J. Dairy Res., 66, 579-588.

BYLUND G., (1995). Dairy Processing Handbook-Tetra pack Processing Systems AB S-221 86, Lund, Sweden: 18-23-381.

CAUTY I. et PERREAU J.M. (2009). Conduite du Troupeau Bovin Laitier. Éditions France Agricole, 2^{ème} Éd.

CERF O., DOUSSET X. et BROSSARD J. (1996). Pasteurisation et Stérilisation Thermique ; in : « Microbiologie Alimentaire : Aspect Microbiologique de la Sécurité et de la Qualité Alimentaires ». Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.

CHEFTEL J.C et CHEFTEL H. (1980). Lait et produits laitiers. In : introduction à la biochimie et à la technologie des aliments, Volume1. Edition Tec et Doc, Lavoisier, Paris.

CHOISY C., DESMAZEAUD M., GUEGUEN J., LENOIR J-L., SCHMIDT C. et TOURNEUR (2006). Les phénomènes microbiens. In : « fromage ». 3^{ème} édition, Tec et Doc, Lavoisier, Paris.

CODEX Alimentarius. (1996) : Programme mixte FAO/ OMS sur les normes alimentaire et l'agriculture Organisation Mondiale de la santé. 2eme édition.

CUQ J.L. (2007). Microbiologie Alimentaire : Contrôle Microbiologique des Aliments. Sciences et Techniques, Université Montpellier 2.

DEBRY G., (2001) Lait, nutrition et santé, Tec et Doc, Paris : 21 (566 pages).

DE BUYSER M.L., (1996). Les Staphylocoques ; in : « Microbiologie Alimentaire : Aspect Microbiologique de la Sécurité et de la Qualité des Aliments ». Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.

DESMAZEAUD M.J. (1992). les bactéries lactiques, recherches et applications industrielles en agroalimentaire. Colloque APRIA du 12-13 Septembre 1992. CAEN.

DILLON J.C. et BERTHIER A.M. (2006). Caractéristiques Nutritionnelles des Fromages ; in : "Le Fromage". Technique et Documentation, 3^{ème} Ed., Lavoisier, Paris.

ECK A. (1987). Le fromage. Technique documentation. 2^{ème} Ed .Lavoisier. Paris. P: 13, 17, 137,138. 529.

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

ECK A. et GILLIS J.C. (1997). Le fromage. 3eme Edition, Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.

ECK et GILLIS J.C. (2006) : Le fromage, Lavoisier, 3eme édition, Paris. P.874.

ESSALHI M., (2002). « Relations entre les systèmes de productions bovines et les caractéristiques du lait ». mémoire 3eme cycle, IAV Hassan II, Maroc.

FAVIER J.C. (1986). Eléments de Composition des Fromages ; in : "Laits et Produits Laitiers Vache. Brebis. Chèvre", Qualité Energie et Tables de Composition. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.

FONTENEAU S. (1997). Comment Faire les Fromages : Frais, Fermentés, Affinés... . Rustica Editions.

FREDOT E., (2006). Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Tec et Doc, Lavoisier: 25 (397 pages).

- FREDOT E. (2009).** Connaissance des Aliments : Bases Alimentaires et Nutritionnelles de la Diététique. Technique et Documentation, 2^{ème} Ed, Lavoisier, Paris.
- GAUCHERON F., (2004).** Minéraux et produits laitiers, Tec et Doc, Lavoisier. P: 494-783. (922 pages).
- GLEDEL J. (1988).**, Les Salmonelles ; in : « Microbiologie Alimentaire : Aspect Microbiologique de la Sécurité et de la Qualité Alimentaires ». Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.
- GRAPPIN R et BRANGER A, (2006).** Contrôle microbiologique et chimique de produit fini. In : « fromage ». technique et documentation 3^{ème} Edition, Paris.
- GUÈGUEN L. (2006).** La Valeur Minérale des Fromages ; in : " Le Fromage". Technique et Documentation, 3^{ème} Ed., Lavoisier, Paris.
- GUIRAUD J.P. et GALZY P. (1980) :** Les analyses microbiologiques dans les industries agroalimentaires. Edition de l'usine nouvelle. Paris. P.236.
- GUIRAUD J.P., (2003).** Microbiologie Alimentaire. Dunod, Paris.
- HERMIER J. CERF O., (2006).** La préparation du lait. In: « fromage ». 3eme édition, Tec et Doc, Lavoisier, Paris.
- HODEN A. et COULON J.B. (1991).** Maîtrise de la Composition du lait : Influence des Facteurs Nutritionnels sur la Quantité et les Taux de Matières Grasses et Protéiques. INRA Production Animale, 4, 361-367.
- HUMBERT F.,(2005).** Les Salmonelles ; in : « Bactériologie Alimentaire : Compendium d'hygiène des aliments ». Economica, 2^{ème} Ed.
- JEAN C. et DIJON C. (1993).** Au fil du Lait, ISBN 2-86621-172-3.
- JEANTET R. CROGUEENEC T. SCHUCK P. BRULE G. (2007).** Science des Aliments Biochimie. Microbiologie. Procédés. Produits. Volume 2, Technologie des Produits Alimentaires. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.
- JENSEN R. (1995).** Handbook of Milk Composition-General Description of Milks, Academic Press, Inc:3 (919 pages).
- JORA (1998).** Journal Officiel de la République Algérienne n°35 du 27 mai 1998.
- LECLERC H. ; BUTTIAUX R. ; GUILLAUM J. et WATTR P. (1997).** Microbiologie Appliquée. Douin Editeur, Paris.
- LENOIR J. (1963).** La Flore Microbienne du Camembert et son évolution au cours de la Maturation. Laboratoire de Technologie. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Grignon.
- LENOIR J. ; LAMBERT G. et SCHMIDT J.L. (1983):** L'élaboration d'un Fromage Exemple Camembert pour la Science. Pp .93.

- LUQUET FM. (1990)** : Lait et produits laitiers, vache, brebis, chèvre. Transformation et technologie. Edition technique et documentation. Lavoisier (2eme édition. Tome 2). P. 26-633.
- MAHAUT M., JEANTET R. et BRULÉ G. (2000)**. Initiation à la Technologie Fromagère. Technique & Documentation, Lavoisier, Paris.
- MAHAUT M., JEANTET R., SCHAK P. et BRUL G. (2000)**. Les produits laitiers. Ed. Tec et Doc, Lavoisier. Paris. P: 26-180.
- MARTIN B. et COULON J.B. (1995)**. Influence des Facteurs de Production sur l'Aptitude à la Coagulation des Laites de Trappeaux ; in « Facteurs de Production du lait et Caractéristiques des Fromages ». Lait, 75, 61-80.
- MATHIEU J. (1998)**. Initiation A la Physicochimie du Lait. Guides Technologiques des IAA. Tech & Doc, Lavoisier, Paris.
- MATHIEU J., (1999)**. Initiation à la physicochimie du lait, Tec et Doc, Lavoisier, Paris: 3-190 (220 pages).
- MCSWEENEY P.L.H et SOUSA J.M. (2000)**. Biochemical Pathways for the Production of Flavour Compound in Cheese During Ripening: Review Milk n° 80. P : 293 à 324.
- MEKROUD H. (2010)**. Effet de la température sur la Production Laitière dans la Région de Sétif. Mémoire de Magistère. Université FERHAT ABBAS-SETIF. Algérie.
- MESCLE J.F. et ZUCCA J. (1996)**. Les Facteurs du Développement ; in : "Microbiologie Alimentaire, Tome 1 : Aspects Microbiologiques de la Sécurité et de la Qualité des Aliments. Technique et Documentation, 2^{ème} Ed., Lavoisier, Paris.
- MIETTON B. (1995)**. Incidence de la composition des fromages au démoulage et des paramètres d'environnement sur l'activité des agents de l'affinage. Revue des ENIL, 189, 19-27.
- NEELAKANTEN J., SHAHANI K.M., ARNOLD R.G. (1971)**. Lipases and flavor development in some Italian cheese varieties. Food Production Développement, 5,52- 58.
- NEVILLE M. C et JENSEN R. G. (1995)**. The physical properties of human and bovine milks In **JENSEN R.**, Handbook of milk composition-General description of milks, Academic Press, Inc: 82 (919 pages).
- POUGHEON S., (2001)**. Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière, Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse, France.P: 31-34(102 pages).
- POUGEON et GAURSAUD. (2001)**. Lait Nutrition et Santé. Techniques et Documentation, Lavoisier, Paris.
- QUITTET et NELIS. (1999)**. HACCP pour PME et Artisans : Secteur Produits Laitiers, Tome 1. Les Presses Agronomiques de Gembloux.

- RAMET J.P. (2006).** L'Egouttage du Coagulum ; in : "Le Fromage". Technique et Documentation, 3^{ème} Ed., Lavoisier, Paris.
- RAMET J. P. (2006).** Technologie Comparée des Différents Types des Caillés. In : Fromage. 3^{ème} édition. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.
- REY A. (1994).** Dictionnaire Historique de la Langue Française. Dictionnaires Le Robert, nouvelle Ed., Paris.
- RIAH M.H. (2006).** Modélisation des Phénomènes Microbiologiques, Biochimiques et Physicochimiques intervenant lors de l’Affinage d’un Fromage de Type Pâte Molle Croûte Lave. Thèse de Doctorat Institut National Agronomique. Ecole Doctorale ABIES. Paris-Grignon.
- ROUDAUT H. et LEFRANCQ É. (2005).** Alimentation Théorique. Doin Editeurs, Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Aquitaine.
- SCHMIDT J.L. (1982).** Activité protéolytique des levures isolées du fromage de Camembert. Actes du 11^{ème} Congrès Mondial de Laiterie, Volume 1 (2), Moscou.
- SIOUSARRAN V. (2003).** « Hygiène du lait cru en zones urbaines et périurbaines de Niamey, Niger ». DEA Rapport de stage, U. Montpellier II. CIRAD-EMVT, oct.
- ST-GELAIS D. et TIRARD-COLLET P., (2002).** Fromage ; in : « Science et Technologie du Lait ». Ecole Polytechnique de Montréal.
- TAMIME A.Y. (2011).** Processed Cheese and Analogues. Wiley-Blackwell Ltd.
- THAPON J.L. (2005).** Science et technologie du lait, Agrocampus-Rennes, France: P: 14-51. (77 pages).
- TRIMOLIER J. SERVELLE Y. JACQUOT R. et DUPIN H., (1984).** Manuel d’Alimentation Humaine, Tome 2, les Aliments, Tec et Doc, 9^{ème} Edition, Lavoisier, Paris.
- VEISSEYRE R. (1975).** Technologie du lait 3^{ème} édition, Maison rustique, Paris.
- VIERLING E. (2008).** Aliments et Boissons : Filières et Produits. Doin Editeurs, Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Aquitaine, 3^{ème} Ed.
- VIERLING E. (2008).** Aliments et Boissons : Technologies et Aspects Réglementaires. Doin Editeurs, Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Aquitaine, 3^{ème} Ed.
- VIERLING E. et LEYRAL G. (2007).** Microbiologie et Toxicologie des Aliments : Hygiène et Sécurité Alimentaires. Doin Éditeurs, Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Aquitaine, 4^{ème} Éd.
- VIGNOLA C.L., (2002).** Science et Technologie du Lait : Transformation du Lait. École Polytechnique de Montréal, Canada. ISBN: 29-34 (600 pages).

Webographie

ABOUTAYEB R. (2009). Technologie du Lait et Dérivés Laitiers. <http://www.azaquar.com>.

FAVIER J. C. (1985). Composition du Lait de Vache-Laits de Consommation. <http://www.horizon.documentation.fr>

FRANWORTH E. et MAINVILLE I., (2010). Les produits laitiers fermentés et leur potentiel thérapeutique, Centre de recherche et de développement sur les aliments, Saint-Hyacinthe. <http://www.dos.transf.edwa.pdf>

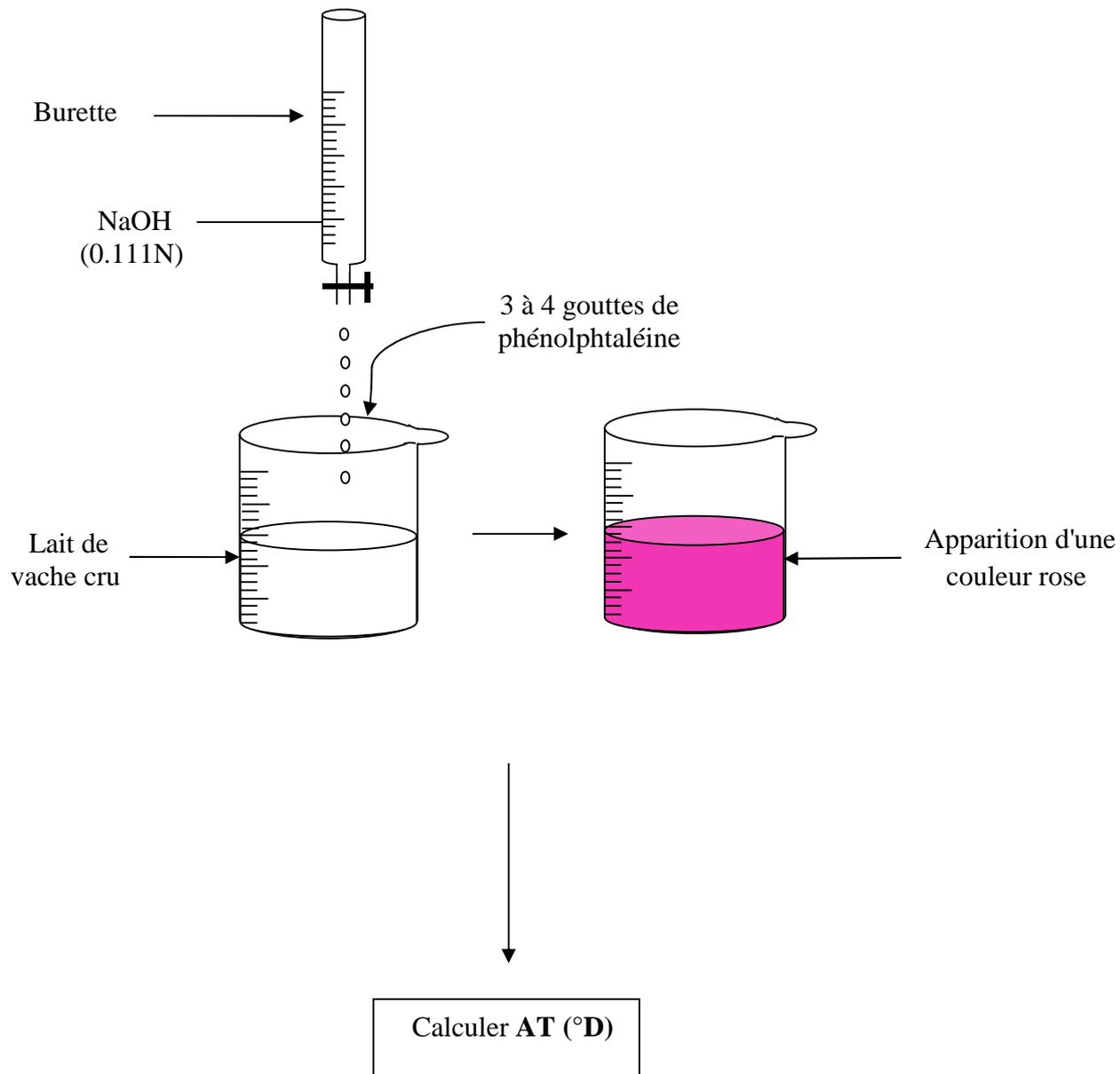
MITTAINE J., (1980). Les Laits autres que le Lait de Vache. <http://whqlibdoc.who.int/monograph/who mono>.

Annexe 1
Matériel de laboratoire utilisé

Appareillage	Verrerie
-Etuve de stérilisation du matériel NÜVE FN500 -Etuves d'incubation MEMMERT (30°C, 37°C et 44°C) -Four à micro-ondes CONTINENTAL - Bain marie (100°C) FUNKE GERBER -Réfrigérateurs ENIEM (4°C) -Balance de précision NAHITA 5022 (200 g/ 0,01 g) -Centrifugeuse FUNKE GERBER - pH mètre HANNA	-Bécher à 50 ml -Fioles jaugées à 100 ml -Pipettes graduées (1 ml et 10 ml) -Pipettes Pasteur -Tubes à vis -Butyromètre pour fromage -Butyromètre pour poudre de lait -Burettes -Flacons stériles
Autres matériel	Produits et réactifs
-Bec bunsen ; -Boîtes de Pétri ; -Sachets Stomacher ; -Ecouillons stériles ; -Portoirs à tube ; -Spatule, cuillères.	-Diluant Tryptone-Sel-Eau (TSE) ; -Téllurite de potassium ; -Sulfite de sodium ; -Alun de fer ; -Acide sulfurique; -Hydroxyde de sodium (NaOH) -Solution de Phénolphtaléine à 0,5 % ; -Alcool iso-amylque ; -Alcool chirurgical 90 % - Hypochlorite de sodium (Eau de Javel)

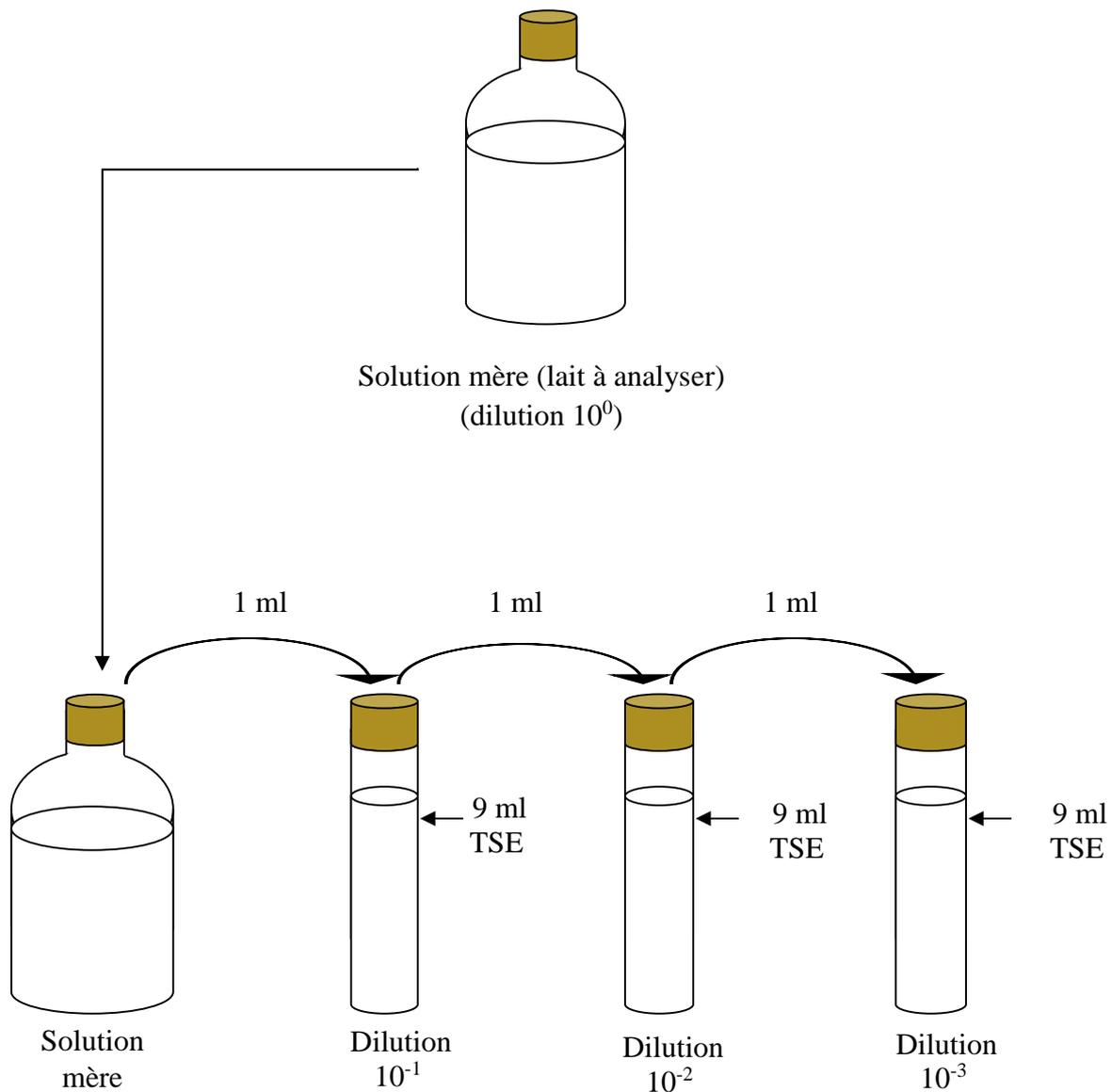
Annexe 2

Mode opératoire pour la mesure de l'acidité titrable



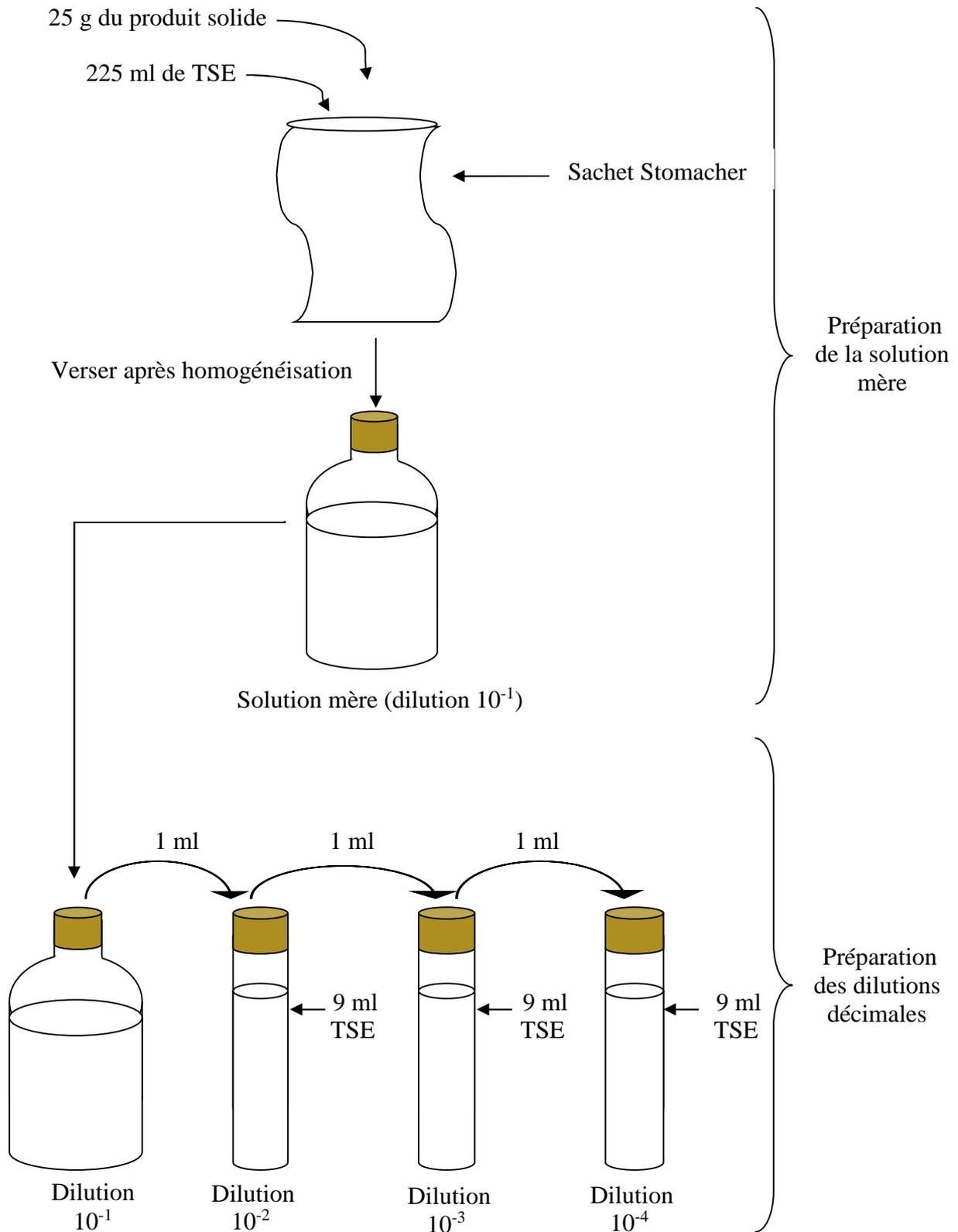
Annexe 3

Préparation des dilutions décimales pour les échantillons du lait



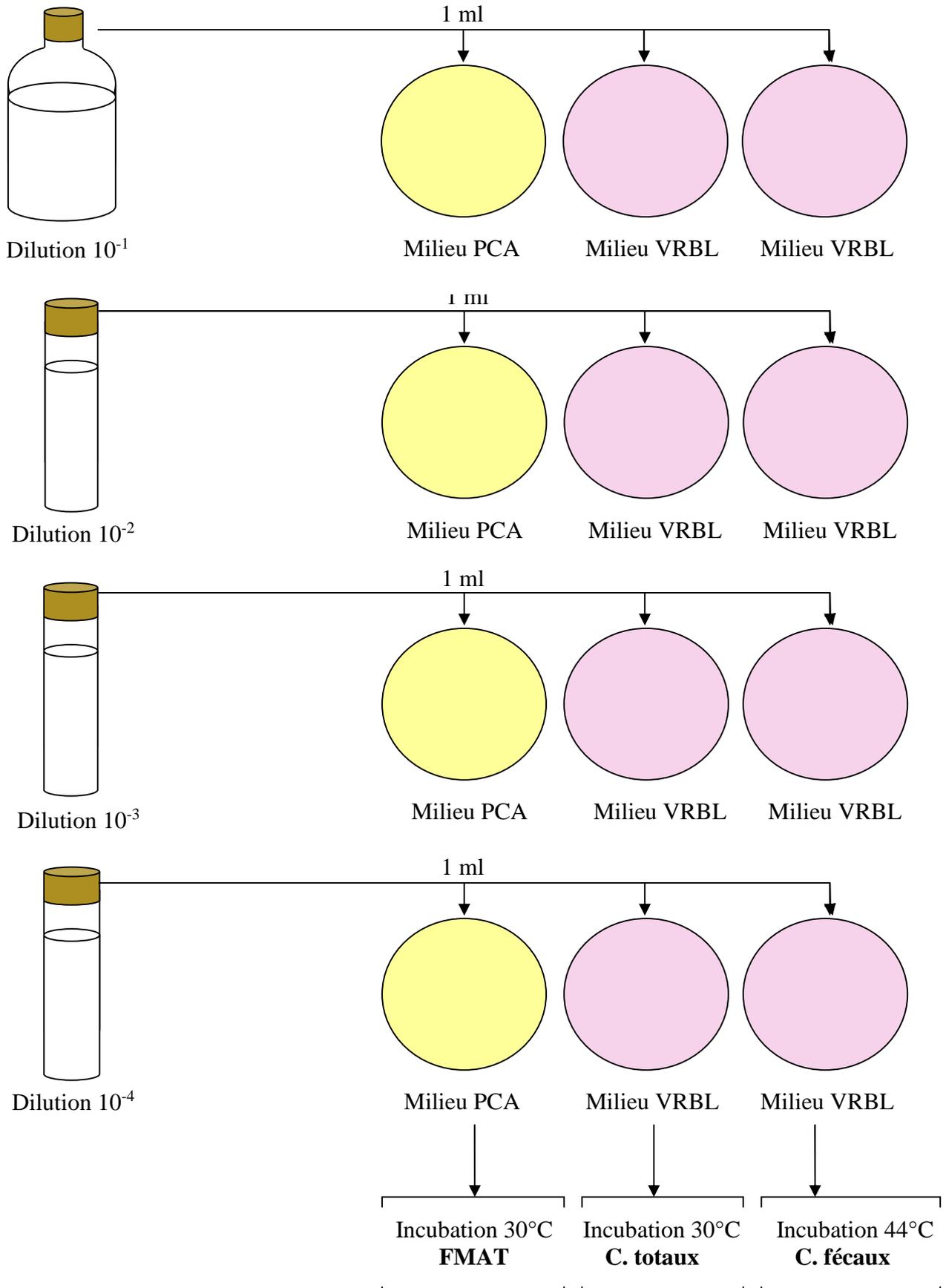
Annexe 4

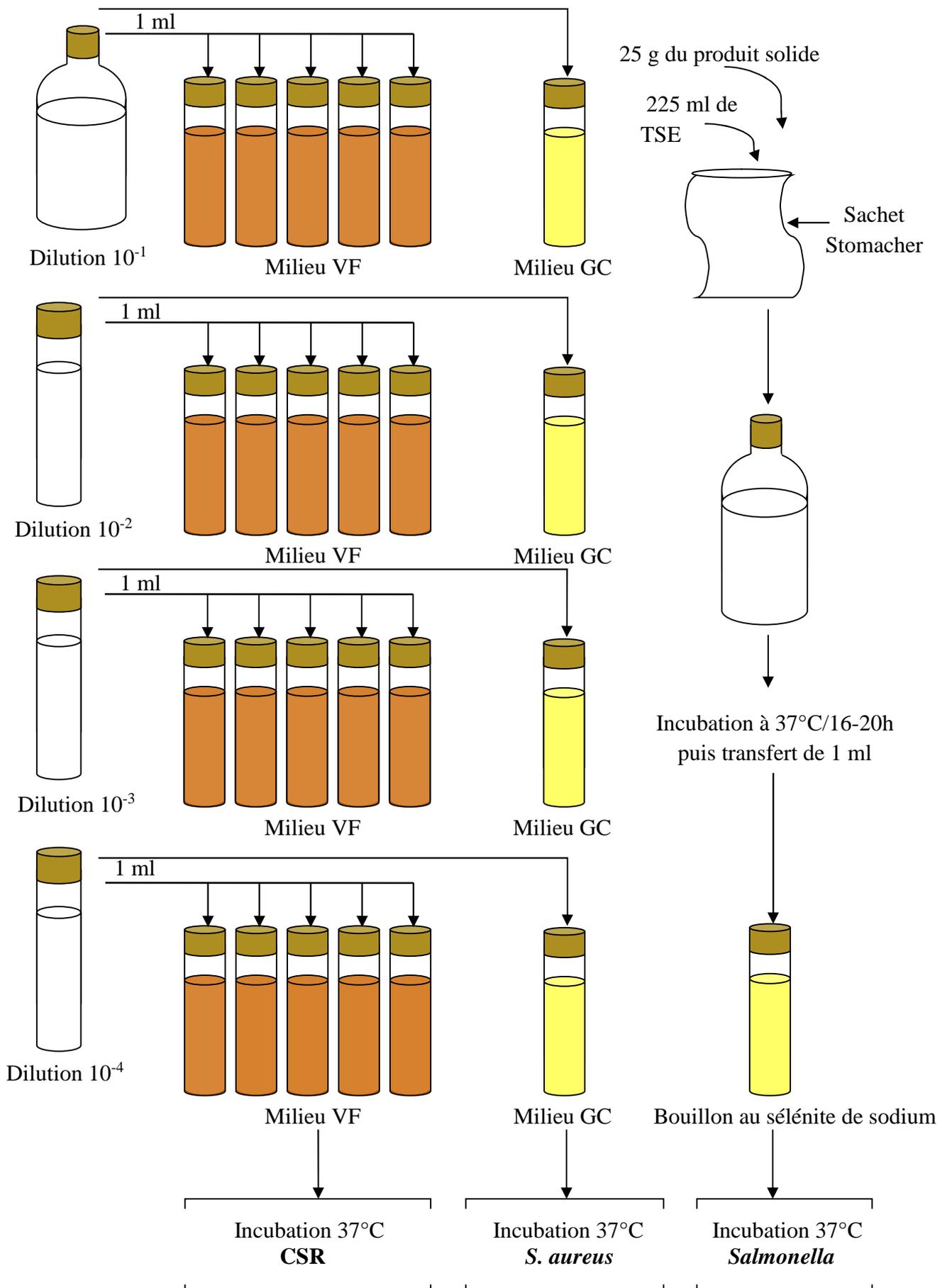
Préparation d'une solution mère et des dilutions décimales pour les échantillons solides



Annexe 5

Mode opératoire pour les analyses microbiologiques





Annexe 6

Composition des milieux de culture

• **Plat Count Agar (PCA)**

Extrait de levure	2,5 g
Peptone	5 g
Glucose.....	1 g
Agar.....	15 g
Eau distillée.....	10 ³ ml

pH = 7

• **Gélose Glucosée à l'Oxytétracycline (OGA)**

Extrait de levure	5 g
Glucose.....	20 g
Gélose.....	16 g
Eau distillée.....	10 ³ ml

pH = 6,8

• **Gélose au cristal violet, au rouge neutre et à la bile (VRBL)**

Extrait de levures.....	3 g
Peptone pancréatique de caséine	7 g
Désoxycholate de sodium.....	1,44 g
Lactose	10 g
NaCl	5 g
Rouge neutre	30 mg
Cristal violet	2 mg
Gélose.....	11 g
Eau distillée.....	10 ³ ml

pH = 7,4

• **Viande-Foie sulfité (VF)**

Base Viande-Foie.....	30 g
Glucose	2 g
Amidon	2 g
Gélose	11 g
Eau distillée.....	10 ³ ml

pH = 7,2

• **Tryptone Sel Eau (TSE)**

Tryptone.....	1 g
NaCl.....	8,5 g
Eau distillée.....	10 ³ ml

pH = 7

• **Milieu de Giolitti et Cantoni**

Tryptone.....	10 g
Extrait de viande.....	5 g
Extrait de levure.....	5 g
Chlorure de lithium.....	5 g
Mannitol.....	20 g
Chlorure de sodium	5 g
Glycine.....	1,2 g
Pyruvate de sodium.....	3 g
Eau distillée	1000 ml

pH = 6,9

• **SFB (bouillon au sélénite de sodium)**

Peptone.....	5g
Lactose	4g
Phosphate disodique	10g
Sélénite acide de sodium.....	4g

pH= 7

Annexe 7

Étapes de fabrication du camembert



Le lait à la réception



Étape de coagulation



Opération du découpage



Opération de brassage

Les moules utilisés à l'unité



Opération du moulage



Opération des retournements



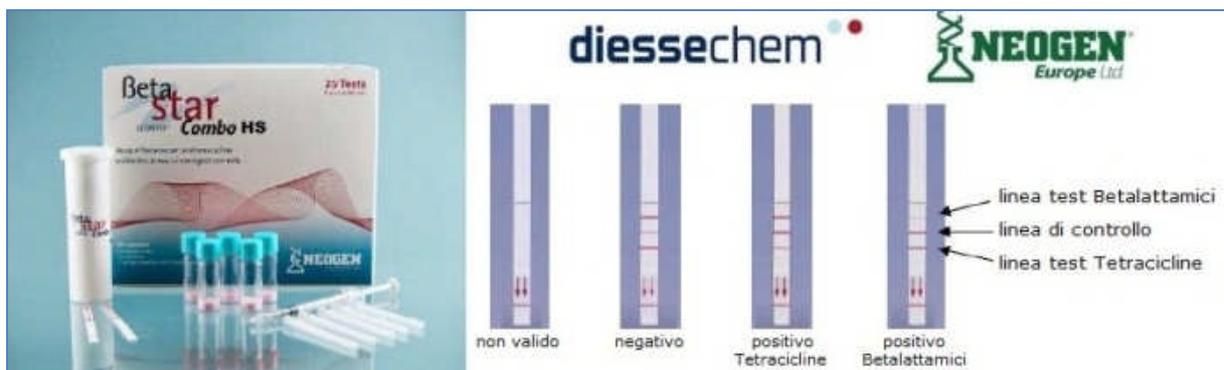
Opération du salage



L'étape d'Affinage

Annexe 8

Test de détection des antibiotiques dans le lait « Beta Star Combo »





Introduction





PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE





CHAPITRE I

Généralités





CHAPITRE II

*Le
camembert*





PARTIE
EXPÉRIMENTALE





CHAPITRE I

Présentation générale





CHAPITRE II

Matériel et méthodes





CHAPITRE III

Résultats et discussion





Conclusion





Références bibliographiques





Annexes

