

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'HAMED BOUGARA de Boumerdès
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de technologie alimentaire



Mémoire

de fin d'études

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master en
GENIE DES PROCEDES
Option : Sciences et biotransformation du lait

Thème

**Contribution et l'évaluation des caractères physicochimiques
et microbiologiques du fromage à pâte pressée non cuite type
"EDAM" fabriqué à la laiterie fromagerie de Boudouaou
(LFB)**

Réalisé par : M^{elle} OUALI Melynda
M^{me} CHERIEF Amina

Soutenu le : 28 Juin 2016

Devant le jury :

Présidente	M ^{me} YELLES F.	MAA, (UMBB)
Promotrice :	M ^{me} TALANTIKITE S.	MCB, (UMBB)
Examinatrice :	M ^{me} ANNOU S.	MAA, (UMBB)
Examineur :	M ^r ZIDANI S.	MAA, (UMBB)

2015/2016



Remerciements

Avant tout propos, nous remercions « Dieu » le tout puissant de nous avoir donné la force, le courage, la santé et la patience pour mener à bien ce travail.

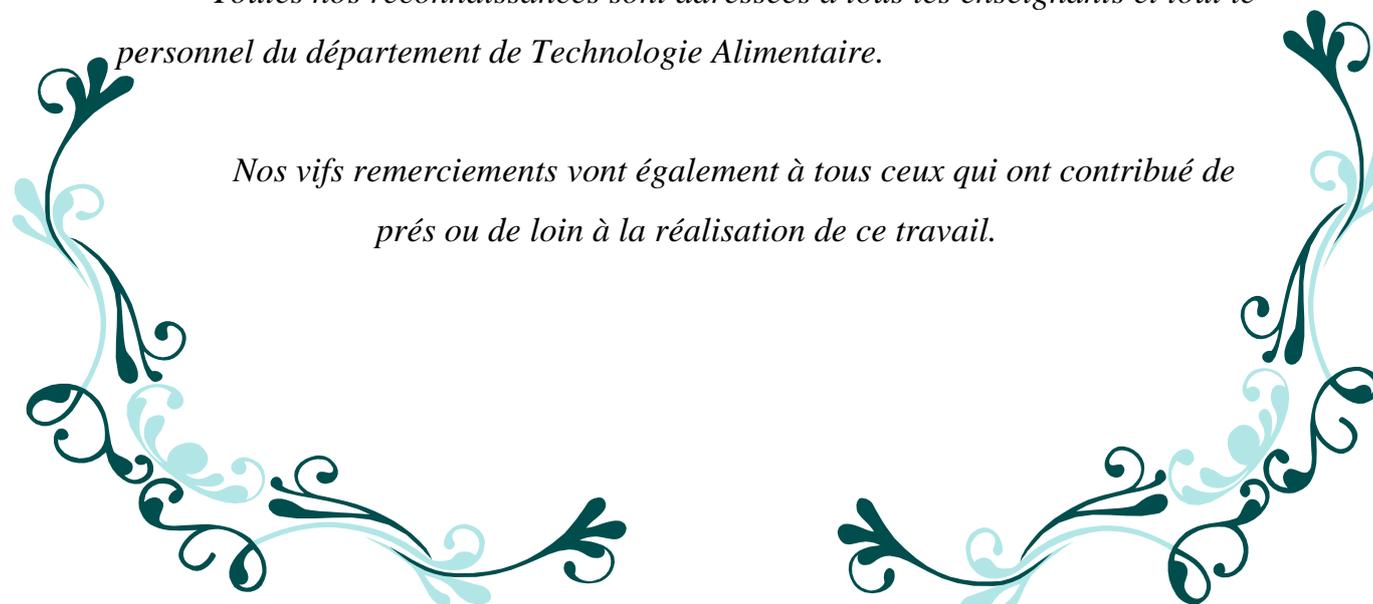
Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et reconnaissance à notre promotrice M^{me} Talantikit S. pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité, ses conseils, ses compétences scientifiques, qui nous ont permis d'élargir nos connaissances.

Nous tenons à remercier :

- M^{me} YELLES F. pour avoir accepté de présider le jury.*
- M^r ZIDANI S. et M^{me} ANNOU S. pour avoir accepté d'honorer par leurs jugements notre travail.*

Nous remercions aussi M^{me} AMALOU H., M^{elle} HALOUANE H., M^{me} CHAHED F et M^{elle} YOUNES A. les ingénieurs de laboratoire de la laiterie fromagerie de BOUDOUAOU LFB de nous avoir orienté et aidé, ainsi que le responsable de production du fromage EDAM M^r ISHAK BOUSHAKI A. et tout le personnel de l'atelier de production.

Toutes nos reconnaissances sont adressées à tous les enseignants et tout le personnel du département de Technologie Alimentaire.



Nos vifs remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicace

Je dédie ce travail

- *A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.*
- *A mon cher frère Nassim et ma très chère sœur Cynthia pour tout le bonheur qu'ils n'ont cessé de m'apporter.*
- *A toute ma famille oncles et tantes.*
- *A ma binôme Amina et sa famille.*
- *A toutes mes amies, camarades du groupe MSBLA 14.*



Melynda



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents qui m'ont éclairé le chemin de la vie par leur grand soutien et leurs encouragements, par leurs dévouements exemplaires et les énormes sacrifices qu'ils m'ont consentis durant mes études et qui ont toujours aimé me voir réussir. Je les remercie pour tout ce qu'ils m'ont fait.

A mon mari Sofiane pour son encouragement et sa patience

A ma jolie fille Sérine

A ma sœur Wahida, son mari Said et sa fille Malek

A ma sœur Khadidja et son fiancé Abdelhak

A mon très chère frère Mohamed Abdelkarim

A ma belle-mère, mon beau père, ma belle-sœur Youcera et mes beaux-frères Sidali, Mnaour , Amine

A toute ma famille et mes amies

A ma binôme OUALI Melynda, pour sa patience et son soutien moral durant toute notre année universitaire et à sa famille

A toute la promotion MSBLA/14



AMINA

Table des matières

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le lait

I.1. Le lait	2
I.1.1. Définition	2
I.1.2. Propriétés physico-chimiques du lait	2
I.1.3. Aspect et composition du lait.....	3
I.1.3.1.L'eau	5
I.1.3.2. La matière grasse	5
I.1.3.3. Matières azotées.....	6
I.1.3.3.1.Les caséines	7
I.1.3.3.1.1.Les caséines α s.....	7
I.1.3.3.1.2.Les caséines β et γ	7
I.1.3.3.1.3.La caséine k.....	8
I.1.3.3.2. Matières azotées non protéiques (ANP)	9
I.1.3.4.Les glucides	9
I.1.3.5.Les minéraux.....	9
I.1.3.6.Les vitamines	10
I.1.4.1.Bactéries saprophytes (ou bactéries banales).....	11
I.1.4.1.1. Les bactéries lactiques	11
I.1.4.1.1.1.Définition et caractéristiques générales	11
I.1.4.1.1.2.Classification des levains lactiques.....	11

Chapitre II : Le fromage

II.1. Historique	14
II.2.Définition du fromage.....	14
II.3.La technologie fromagère	15

II.3.1.La coagulation	15
II.3.1.1.Aptitude du lait à la coagulation	15
II.3.1.2. Les différents types de coagulation	16
II.3.2.L'égouttage	18
II.3.3.L'affinage	19
II.3.3.1.Les agents de l'affinage	20
III. Les enzymes coagulants le lait	21
III.1.Présure et succédanés de présure	21
III.1.1.La présure	21
III.1.2.Les succédanés de présure.....	22
III.1.2.1.Les enzymes d'origine microbienne	22
III.1.2.3.Les enzymes d'origine végétale	23
III.1.2.4.La chymosine produite par génie génétique.....	23
IV. Classification des fromages.....	24
V. Les fromages à pâte pressée non cuite type Edam	25
V.1.Origine et définition	25
V.2.Caractéristiques physico-chimiques	26
V.3.Valeur nutritionnelle de l'Edam	26
V.4.Diagramme de fabrication du fromage Edam	27

Chapitre III : Les défauts de fabrication de l'Edam

III.1.Les accidents rencontrés dans les fromages à pâte pressée non cuite	29
III.1.1.Les défauts liés à la qualité et aux traitements de la matière première	29
III.1.2.Les défauts dus à une mauvaise maîtrise des techniques fromagère.....	30
III.1.2.1.Les défauts liés à la coagulation et à l'égouttage	30
III.1.2.1.1.Défaut de caillage dans les fabrications présure	30
III.1.2.1.2.Défaut d'humidité du caillé.....	31
III.1.2.1.3.Défauts d'acidité finale du caillé.....	31
III.1.2.2.Défauts liés à l'affinage.....	33
III.1.2.2.1.Problèmes d'ouvertures de la pâte.....	33
III.1.2.2.2.Les défauts de saveur et d'arôme	35
III.1.2.2.3.Défaut de texture en fin d'affinage.....	36
III.1.3.Les défauts d'origine microbienne	36

Matériel et méthodes

I.1. Objectif du travail	38
I.2. Présentation de l'unité LFB et son origine géographique.....	38
I.3. Organigramme de l'unité LFB	40
II. Matériel utilisé et méthodes d'analyses	41
II.1. Matériel biologique utilisé pour la fabrication du fromage « Edam »	41
III.1.1. Réception du lait cru	41
III.1.2. Préparation du lait	41
III.1.3. Pasteurisation, refroidissement.....	41
III.1.4. Maturation	42
III.1.5. L'ensemencement.....	42
III.1.6. Emprésurage.....	42
III.1.7. La coagulation	42
III.1.8. Le décaillage (le tranchage)	43
III.1.9. Brassage-dé lactosage	43
III.1.10. Pré-pressage-Moulage	43
III.1.11. Pressage.....	44
III.1.12. Démoulage-Salage.....	44
III.1.13. Affinage.....	44
III.1.14. Conditionnement	44
IV. Essai de fabrication de fromage type "Edam" au niveau de laboratoire de l'unité L.F.B	46
IV.1. Procédé de fabrication.....	46
V. Les analyses physicochimiques.....	50
V.1. Analyses du lait cru et le fromage	51
V.2. Analyses d'eau de process.....	57
V.3. Analyses du Lactosérum I et II.....	61
V.4. Analyse de la saumure.....	62
VI. Analyse biochimique.....	62
VI.1. Recherche des résidus d'antibiotiques	62
VII. Les analyses microbiologiques	63
VII.1. Recherche et dénombrement des germes dans le lait, l'eau et le fromage	63
VII.2. Recherche et dénombrement des différents germes	65
VII.2.1. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT).....	65
VII.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	66

VII.2.3. Recherche et dénombrement des <i>Staphylococcus aureus</i>	67
VII.2.4. Recherche et dénombrement des levures et moisissures	68
VII.2.5. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteur (CSR.....	69

Résultats & discussion

I. Les analyses physico-chimiques	71
I.1. Le lait cru	71
I.2. Lait après pasteurisation	74
I.3. Le lactosérum I et II	76
I.4. L'eau de process	77
I.5. La saumure	78
I.6. Le fromage au cours de la fabrication.....	79
II. Les analyses microbiologiques	83
II.1. du lait cru	83
II.2. Lait pasteurisé.....	84
II.3. Résultats des analyses microbiologiques du lait après ajout des ferments, des deux sérums et du fromage après moulage et saumurage	85
II.4. Fromage après 12 et 21 jours d'affinage	86
II.5. L'eau de process	88
II.6. Les caractéristiques du fromage Edam fabriqué à petite échelle.....	89
II.7. La mise en évidence de quelques défauts et accidents de fabrication du fromage à pâte pressée non cuite type Edam rencontrés à l'unité LFB.....	91

Conclusion & perspectives

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des figures

Figure 1 : Structure de la micelle de caséine	09
Figure 2 : Phase primaire enzymatique	17
Figure 3 : Diagramme de fabrication du fromage à pâte pressé non cuite type « Edam » au niveau de la L.F.B (2016	45
Figure 4 : Photo de la réception du lait cru.....	46
Figure 5 : photo de la pasteurisation	46
Figure 6 : Photo du refroidissement.....	46
Figure 7 : photo de l'ajout du CaCl_2	47
Figure 8 : photo de l'ajout du Rocou	47
Figure 9 : Photo de l'ensemencement.....	47
Figure 10 : photo de l'emprésurage.....	48
Figure 11 : photo du d'écaillage	48
Figure 12 : photo du brassage-dé lactosage.....	48
Figure 13 : photo du pré-pressage	49
Figure 14 : photo du moulage.....	49
Figure 15 : photo du pressage.....	49
Figure 16 : photo du salage.....	49
Figure 17 : photo de l'affinage	49
Figure 18 : photo du paraffinage	50
Figure 19 : photo du conditionnement	50
Figure 20 : photo de détermination de l'acidité titrable du lait.....	52
Figure 21 : photos de détermination du pH de lait et du fromage.....	52
Figure 22 : photo de détermination de la densité du lait	53
Figure 23 : photos de détermination de la matière grasse du lait et du lactosérum	54
Figure 24 : photos de détermination de la matière grasse du fromage.....	55
Figure 25 : photos de détermination de l'extrait sec total dans le lait et le fromage.....	56
Figure 26 : photo de détermination du pH de l'eau	58
Figure 27 : Photo de la détermination du titre alcalimétrique simple (TA	59
Figure 28 : photos de détermination du titre alcalimétrique complet TAC	59

Figure 29 : photos de détermination de la dureté hydrométrique (TH.....	61
Figure 30 : photos du dosage des chlorures (méthode MOHR).....	61
Figure 31 : photo de détermination de résidus d'antibiotique dans le lait cru	63
Figure 32 : Suspension mère et dilutions décimales (Cas de produits liquides	64
Figure 33 : Suspension mère et dilutions décimales (Cas de produits solides.....	65
Figure 34 : Evolution des paramètres physicochimiques du lait avant et après pasteurisation ...	75
Figure 35 : Evolution des paramètres physicochimiques du lactosérum I et II	76
Figure 36 : Evolution du pH au cours de fabrication du fromage.....	80
Figure 37 : Evolution de l'extrait sec total au cours de la fabrication du fromage	81
Figure 38 : Evolution de la MG au cours de la fabrication du fromage.....	81
Figure 38 : Evolution de la MG au cours de la fabrication du fromage.....	81
Figure 39 : Courbe d'évolution du rapport Gras/Sec	82
Figure 40 : Photo du fromage à pâte pressé non cuite type Edam fabriqué à petite échelle (originale, 2016	91
Figure 41 : quelques défauts de fabrication du fromage Edam rencontrés à l'unité LFB.....	92

Liste des tableaux

Tableau I : Les propriétés physico-chimique du lait de vache	03
Tableau II : Structure des squelettes des polyphénols.....	05
Tableau III : La composition lipidique du lait de vache	06
Tableau IV : Classification des protéines	07
Tableau V : Caractéristique des principaux enzymes du lait.....	10
Tableau VI : Classification des levains lactiques	12
Tableau VII : Comparaison entre un caillé lactique et un caillé présure.....	18
Tableau VIII : Classification des fromages en fonction des opérations de fabrication et de leurs caractéristiques	24
Tableau IX : Caractéristiques physico-chimiques du fromage Edam	26
Tableau X : Composition et valeur nutritionnelle du fromage Edam.....	26
Tableau XI : Défauts organoleptiques rencontrés dans quelques fromages à pâte pressée non cuite	37
Tableau XII : Capacité de production par jour au niveau de LFB.....	39
Tableau XIII : analyse physico-chimique de lait cru de chaque collecteur.....	71
Tableau XIV : Résultats des analyses physicochimiques du mélange du lait cru	72
Tableau XV : Résultats des paramètres physicochimiques du lactosérum I et II.....	76
Tableau XVI : Résultats des analyses physicochimiques de l'eau de process	77
Tableau XVII : plage de valeurs du titre hydrométrique (TH) ou dureté de l'eau.....	77
Tableau XVIII : Résultats des analyses physicochimiques de la saumure	78
Tableau XIX : Résultats des analyses physicochimiques du fromage Edam au cours de sa fabrication.....	79
Tableau XX : Résultats des analyses microbiologiques du lait cru	84
Tableau XXI : Résultats des analyses microbiologiques du lait pasteurisé.....	85

Tableau XXII : Résultats des analyses microbiologiques du lait après ajout des ferments, des deux sérums et du fromage après moulage et saumurage	86
Tableau XXIII : Résultats des analyses microbiologiques du fromage après 12 jours d'affinage et le produit fini.....	87
Tableau XXIV : Résultats des analyses microbiologiques de l'eau de process	88
Tableau XXV : Caractéristiques du fromage type Edam fabriqué à petite échelle	90

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de la Normalisation

Abs : Absence

ATB : Antibiotique

Aw : Activité de l'eau

ANP : Azote non protéique

AA : Acide aminé

C.S.R : Clostridium sulfito-réducteur

°D : Degré Dornic

Da : Dalton

EST : Extrait sec dégraissé

EST : Extrait sec total

EDTA : Éthylène Diamine Tétra-Acétique

°F : Degré Français

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

G/S : Rapport gras sur sec

HTST: High- temperature -Short time

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

J-C : Jésus Christ

KDa: Kilodalton

LFB : Laiterie Fromagerie de Boudouaou

LPL : lipoprotéine lipase

MG : Matière grasse

N : Normalité

NPP : Nombre le plus probable

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONALAIT : Office national du lait

ORLAC : Office régional du Lait et Produits laitiers au Centre

SM : Solution mère

SNG : Solide Non Gras

Sté : Société

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH : Titre hydrométrique

UFC : Unité Formant Colonie

U : Unité

WPNI : Indice des protéines soluble

Introduction générale

Introduction générale

Le lait est un aliment de haute qualité nutritive très riche et équilibré, qui permet de couvrir une grande partie des besoins nutritionnels, il constitue l'une des principales sources alimentaires et énergétiques en calcium, protéines, lipides et vitamines rééquilibrant ainsi la ration alimentaire du consommateur (**Luquet, 1990**).

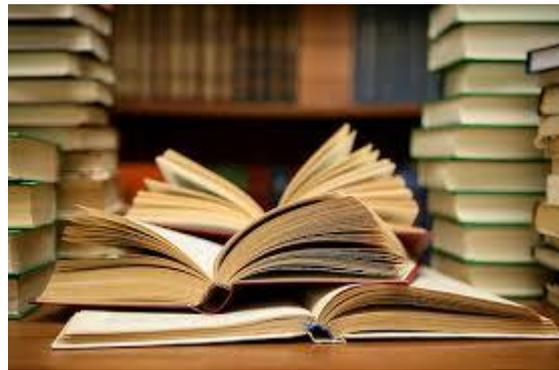
C'est un aliment presque complet mais très périssable. L'homme a fini par découvrir que sa transformation en fromage était un moyen simple pour garder ses composants nutritifs et élargir ses qualités nutritionnelles et organoleptiques.

Des centaines de types de fromages sont produits dans le monde, leurs différents styles, goûts et textures dépendent de l'origine du lait, du pourcentage de matière grasse, de l'espèce des bactéries et des moisissures choisies, du procédé de fabrication ainsi que du temps de maturation. Autant de paramètres qu'il est nécessaire de maîtriser pour arriver à l'obtention de produits répondants aux normes souhaitées.

La maîtrise de la qualité est un souci majeur et permanent dans les industries agroalimentaires. En effet, la mauvaise qualité d'un produit alimentaire peut avoir de plus ou moins grandes conséquences allant de la simple altération du produit, lui faisant perdre ses qualités organoleptiques ou sa valeur commerciale.

Vu la forte demande en produits laitiers, il ya lieu de noter que celle-ci n'est pas toujours satisfaite et satisfaisante. En effet, pour le professionnel, l'apparition des produits mis sur le marché, permet de déceler un certain nombre d'anomalies qui sont dues à des accidents ou à des défauts de fabrication.

Notre étude réalisée à la laiterie fromagerie de BOUDOUAOU repose sur un suivi de la chaine de fabrication, l'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique et consiste aussi à déceler la nature d'éventuels défauts et accidents de fabrication rencontrés dans le fromage à pâte pressée non cuite type " EDAM " et enfin de proposer éventuellement des solutions de manière à en corriger certains, afin de répondre aux exigences du consommateur algérien.



Synthèse

bibliographique

Chapitre I
Généralités sur le lait

I. Généralités sur le lait

Le lait est symbole de fertilité, richesse et abondance. Le lait des animaux a été utilisé dans l'alimentation humaine dès qu'ils ont été domestiqués. Les animaux ont été élevés en premier pour leur viande et leur peau, mais les domestiquer pour leur lait s'est avéré une méthode efficace (**Vilian, 2010**).

I.1. Le lait

I.1.1. Définition

Le lait destiné à l'alimentation humaine a été défini en 1909 par le congrès international de la répression des fraudes comme étant : « le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum » (**Luquet, 1985**).

Il est produit par les glandes mammaires des mammifères femelles, il est destiné à l'alimentation du jeune animal naissant.

Le terme "lait" (sans autre précision) désigne le lait de vache. Le lait provenant d'une autre espèce doit être désigné par une dénomination "lait suivi du nom de l'espèce", par exemple lait de chèvre. C'est une disposition légale.

I.1.2. Propriétés physico-chimiques du lait

Le lait est un liquide complexe, facilement altérable et de composition variable ; ses principales caractéristiques physico-chimiques sont mentionnées dans le **tableau I**.

Tableau I : Les propriétés physico-chimique du lait de vache (Veisseyre, 1975 ; Alais, 1974).

Propriétés	Valeurs
Densité à 15°C	1.032
pH	6.5 à 6.6
Pouvoir calorifique (calorie/litre)	700
Tension superficielle (dyme/cm/15°C)	53
Point de congélation	-0.55°C
Chaleur spécifique	0.93
Indice de réfraction à 20°C	1.35
Acidité en degrés Dornic (1°D= 0.1 g d'acide lactique/litre)	16 à 18

En pratique, le lait a pour fonction d'être non seulement un aliment exclusif des jeunes mais il est présent dans l'alimentation humaine (**Alais, 1984**).

I.1.3. Aspect et composition du lait

Il apparaît comme un liquide opaque blanc mat, plus ou moins jaunâtre selon la teneur en β -carotène de la matière grasse, d'une odeur peu prononcée mais reconnaissable, d'un goût légèrement sucré et d'une viscosité égale à deux fois celle de l'eau.

Schématiquement, on peut considérer le lait comme une émulsion de matière grasse dans une solution aqueuse.

Le lait est une suspension colloïdale dans laquelle les particules en suspension sont responsables de sa consistance, de son opalescence et de sa couleur blanche. Le lait cache sous cette couleur blanche une multitude de molécules.

Selon Fredot, (2006), le lait est constitué de quatre phases : Une émulsion de matière grasses ou phase grasse constituée de globules gras et de vitamines liposolubles (A, D) ;

- 1- Une phase colloïdale qui est une suspension de caséines sous forme de micelle ;
- 2- Une phase aqueuse qui contient les constituants solubles du lait (protéines solubles, lactose, vitamines B et C, sels minéraux, azote non protéique).
- 3- Une phase gazeuse composée d'O₂, d'azote et de CO₂ dissous qui représentent environ 5 % du volume du lait.

Selon Favier (1985), le lait est une source importante de protéine 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'acide gras à courte chaîne, sont plus riches en acides gras saturés qu'en acide gras insaturés. Ils véhiculent par ailleurs des quantités appréciables de cholestérol et de vitamines A ainsi que de faibles quantités de vitamine D et E.

La composition moyenne des principaux constituants de lait est donnée dans le **tableau II**.

Tableau II : Composition moyenne de lait de vache (Mahaut *et al.*, 2003).

Constituants	Composition (g/l)
Eau	870-876
Matière sèche	120-135
Matières azotées	33
➤ Caséines	26
➤ Protéines solubles	5-6
➤ Azote non protéique	1.2-2
Matière grasse	35-45
Extrait sec dégraissé	85-90
Matières salines	8-9.5
Lactose	48-50
Biocatalyseurs	Trace
Pigments, enzymes, Vitamines, microorganismes et gaz	Trace
Gaz carbonique, oxygène et azote	4 % à la sortie de la mamelle

La richesse du lait en ses divers constituants dépend de nombreux facteurs inhérents aux types de mammifères (espèce et race), à son état physiologique (stade de lactation, gestion), à son état sanitaire, à son alimentation et à la conduite du troupeau.

I.1.3.1.L'eau

L'eau représente le constituant le plus important du lait et le composant le plus abondant (902g/l). (Amiot *et al.*, 2002).

I.1.3.2. La matière grasse

La matière grasse du lait forme de fine gouttelettes dispersées dans l'eau, donnant ainsi une émulsion huile dans l'eau. Les globules gras du lait sont invisibles à l'œil nu, avec des dimensions de 3 à 4 μ qui varient selon :

- **L'espèce** : les globules sont plus petits dans le lait de chèvre ;
- **La période de lactation** : le diamètre des globules diminuent vers la fin de la lactation (**Amiot et al., 2002**).

La composition de la matière grasse est mentionnée dans le **tableau III**

Tableau III : La composition lipidique du lait de vache (**Amiot et al., 2002**).

Constituants	Teneur moyenne
Triglycérides	98%
Phospholipides	1%
Fraction insaponifiable	1%

Jeantet et coll., (2008) rapportent que 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.

Le lait de vache est pauvre en acides gras essentiels (acide linoléique C18 :2 et acide linoléique C18 :3) (**Jeantet et Coll., 2008**).

I.1.3.3. Matières azotées

On distingue dans le lait deux groupes de matières azotées : les protéines et les matières azotées non protéiques (ANP).

Le lait de vache contient environ 5.3 g d'azote par Kg dont 95% sous forme de protéines qui se répartissent en deux fractions distinctes :

- Les caséines, protéines coagulables qui précipitent à pH=4.6 : elles sont au nombre de quatre (α S1, α S2, β et k).
- Les protéines solubles à pH 4.6 : appelées aussi protéines sériques. On y trouve des protéines synthétisées au niveau de la cellule mammaire (α -lactalbumine, B-lactoglobuline), des protéines d'origines sanguines (bovine sérumalbumine, β -lactoglobuline) et des produits d'hydrolyse de certaines caséines (protéases-peptones) (**Mahaut et al., 2003**).

La classification des protéines est illustrée dans le **tableau IV**.

Tableau IV : Classification des protéines (Brunner, (1981) cité par Pougheon, (2001)

Noms	% des protéines	Nombre d'acides aminés
Caséines	75-85	
Caséine α_1	39-46	199
Caséine α_2	8-11	207
Caséine β	25-35	209
Caséine k	8-15	169
Caséine γ	3-7	
Protéines du lactosérum	15-22	
B- Lactoglobuline	7-12	
α -Lactalbumine	2-5	162
Sérum-albumine	0.7-1.3	123
Immunoglobuline (G1, G2, A, M)	1.9-3.3	582
Protéoses-peptone	2-4	-

I.1.3.3.1. Les caséines

Les caséines sont des complexes organiques, constituent la fraction protéique la plus déterminante dans le processus de coagulation du lait. Elles représentent 80% des protéines totales du lait de vache, ce sont des phospho-caséinates de calcium (Veisseyre, 1975). (Mahaut *et al.*, 2003). On distingue plusieurs types de caséines.

I.1.3.3.1.1. Les caséines α

➤ La caséine α_1

C'est la protéine la plus importante en masse, elle renferme 199 AA, 10 à 13 g/l de lait et une masse molaire de 23614 Da. Cette caséine est très sensible au calcium au pH normal du lait (=6,6) : quelle que soit la température et en présence de calcium, on constate une formation de flocons.

➤ **La caséine α_2**

Elle renferme 207 AA, sa masse molaire est de 25230 Da, représente 8 à 11% de la micelle et 10 à 13% phosphates. Par sa richesse en phosphate, elle est très sensible au calcium, et comme pour α_1 , la caséine α_2 , semble ne pas être en surface de la micelle.

I.1.3.3.1.2. Les caséines β et γ

➤ **La caséine β**

Représentant 25 à 35% de la micelle, avec ses 209 AA et ses 5 groupements phosphates, elle possède beaucoup d'analogie avec la caséine α_1 . Elle est sensible au calcium à température ambiante mais après déphosphorylation, la molécule perd cette sensibilité et devient capable d'empêcher la précipitation de la caséine α_1 par le calcium.

➤ **La caséine γ**

Il s'agit des fragments C-terminaux résultant de la protéolyse de la caséine β par la plasmine.

I.1.3.3.1.3. La caséine κ

Il s'agit d'une protéine de 169 AA, sa masse molaire est de 19023 Da. La caséine κ présente des caractères spécifiques indiqués ci-dessous :

- Soluble à 20°C et pH 7 - Contient environ 5% de glucides, donc hydrophile (**Ribadeau-Dumas et Grappin, 1989 ; Alais, 1974**) ;

-Elle détient le rôle clé dans la coagulation du lait par la présure par la séparation de 2 parties, la partie N-terminale (1-105) légèrement cationique et très hydrophobe, et la partie correspondant au glycomacropeptide (106-169) très hydrophile, donnant un caractère très amphiphile à la protéine (**Cayot et Lorient 1998, Creamer et al., 1998**).

-Elle présente une très grande sensibilité à l'action de la chymosine au niveau de la liaison phe-met (105-106) (**Mahaut et al., 2003 ; Vierling, 2003**).

Les caséines s'associent pour donner des agrégats sphériques reproductibles d'un diamètre de 30 à 300 nm, et d'un poids moléculaire élevé, appelés **micelles (Linden et Lorient, 1994)**. Les mécanismes de formation sont décrits par plusieurs auteurs, entres autres **Schmidt, (1980)**. Ainsi selon Schmidt, la micelle (**figure 1**) serait formée de sous unités (**submicelles**) d'un diamètre de 15 à 30.10⁻⁹ m et d'un poids moléculaire de 250000 g.mol⁻¹. La structure des sous unités n'est pas uniforme, elles auraient un cœur hydrophobe formé par les parties apolaires des caséines, les parties polaires hydrophiles, notamment les résidus phosphosériques seraient localisées à la périphérie. L'agrégation entre les submicelles est

favorisée par la présence de sites phosphoryls qui ont une affinité pour le calcium (**Mahaut et al., 2003**).

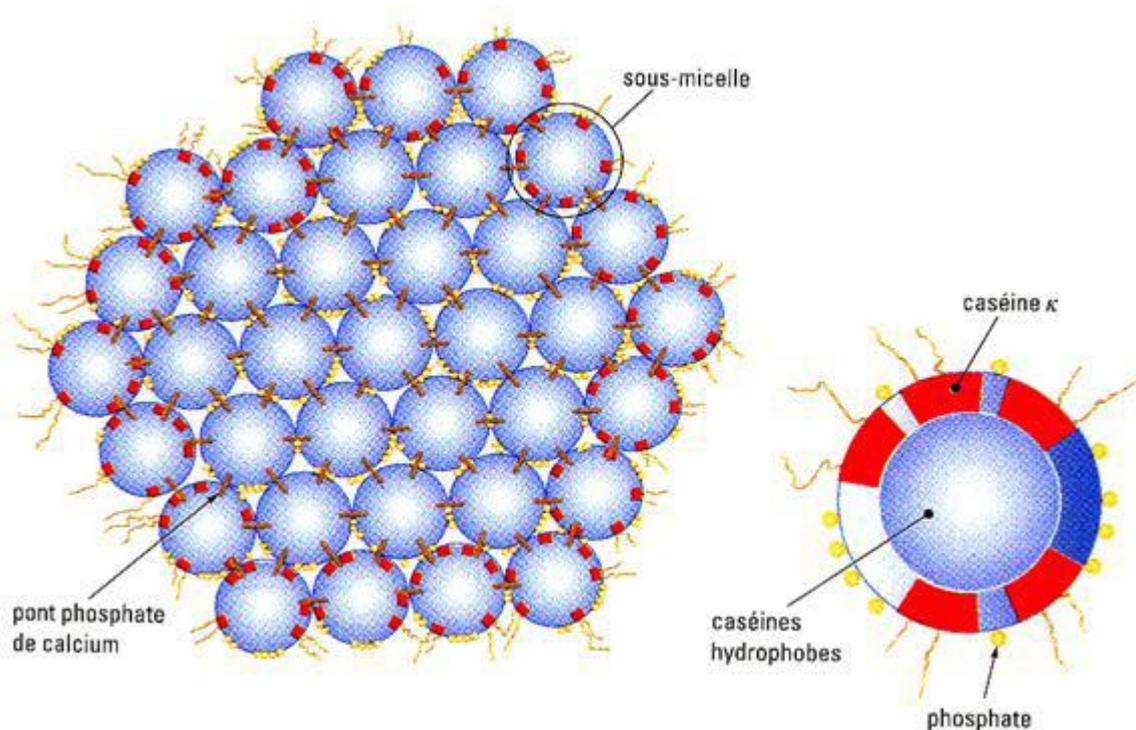


Figure 1 : Structure de la micelle de caséine (**Amiot et al., 2002**)

I.1.3.3.2. Matières azotées non protéiques (ANP)

L'azote non protéique varie de 3.1 à 7% de l'azote total comprend toutes les molécules possédant l'azote sauf les protéines. Parmi les composants de cette fraction azotée : l'urée, la créatinine, l'ammoniaque, les acides aminés libres, les nucléotides, les vitamines et les hormones (**Thapon, 2005**).

I.1.3.4. Les glucides

Le constituant principal de la matière sèche du lait est le lactose qui présente une moyenne de 50g/l (**Linden et Lorient, 1994**). Il est appelé aussi « sucre de lait », il est synthétisé par la glande mammaire à partir du glucose sanguin (**Boudier et Luquet, 1981**). Le lactose est un disaccharide constitué d'une unité galactose et d'une unité glucose, le β -D-galactopyranosyl (1-4) D-glucopyranose, α ou β (**Jeantet et al., 2007**).

I.1.3.5. Les minéraux

Le lait est la principale source alimentaire de calcium (Ca), phosphore (P), potassium (k), magnésium (Mg) et de chlore (Cl), pour lesquels ils couvrent plus de la moitié des

besoins journaliers de l'homme. Ce produit apporte également des oligoéléments mais à l'état de traces : le zinc (Zn), l'iode (I), le fer (Fe), et le sodium (Na) (Mahaut *et al.*, 2000).

I.1.3.6. Les 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 n'est pas capable de les synthétiser.

On distingue d'une part les vitamines hydrosolubles (vitamine du groupe B et vitamine C) en quantité constante, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K) (Jeantet et Coll., 2008).

I.1.3.7. Les enzymes

Tableau V : Caractéristique des principaux enzymes du lait (Vignola, 2002).

Enzymes	Classe d'enzyme	Acidité maximale		
		pH	T (°C)	Substrats
Hydrolases	Estérases :			
	-Lipase	8.5	37	-Triglycérides
	-Phosphatase alcaline	9.4-10	37	-Esters phosphorique
	-Phosphatase acide	4.0-5.2	37	-Esters phosphorique
	Protéase :			
-Lysozyme	7.5	37	-Parois cellulaires Microbiennes	
-Plasmine	8	37	-Caséines	
Déshydrogénases	-Sulfhydrique oxydase	7	37	-Protéine, peptides
	-Xanthine oxydases	8.3	37	-Bases puriques
Oxygénases	-Lactopyroxydases	6.8	20	Composés réducteurs +H ₂ O ₂
	-Catalases	7	20	H ₂ O ₂

I.1.4. La microflore du lait

On distingue deux catégories des microflores du lait ; les bactéries saprophytes et les bactéries pathogènes (Razafirmamonjy, 2003).

I.1.4.1. Bactéries saprophytes (ou bactéries banales)

Elles peuvent avoir un intérêt technologique, hygiénique ou être indifférentes ; ce sont :

I.1.4.1.1. Les bactéries lactiques

I.1.4.1.1.1. Définition et caractéristiques générales

Les bactéries lactiques jouent un rôle essentiel dans la production des fromages.

La production d'acide lactique au cours de leur développement, en abaissant le pH du lait, modifie les conditions physicochimiques de la matière première et contribue ainsi, avec les enzymes de coagulation, à donner une texture bien particulière à chaque type de fromage.

Les bactéries lactiques sont les premières espèces microbiennes à se développer dans le lait et le caillé, et en modifiant les caractéristiques du milieu, elles préparent les conditions de développement des autres espèces responsables de l'affinage (levures, moisissures, ferments du rouge, etc.). Elles participent de plus directement à l'affinage en produisant du gaz carbonique et divers composés d'arôme ou des précurseurs. Il est donc indispensable, pour obtenir un produit de caractère constant, de maîtriser le développement des bactéries lactiques et d'assurer une acidification régulière en dépit de la variation importante de la composition du lait au cours de l'année.

Ce sont des bactéries à Gram +, immobiles, ne forment pas de spores, catalase et nitrates négatives, elles sont anaérobies facultatives ou microaérophiles.

Beaucoup de caractéristiques technologiques des levains lactiques sont situées sur les plasmides et deviennent de ce fait instables par leurs pertes. Ces caractères sont les suivantes :

- métabolisme du lactose ;
- caractères protéolytiques ;
- résistance phagique ;
- métabolisme du citrate ;
- Production de bactériocine et immunité à l'égard des bactériocine ;
- résistance aux antibiotiques.

I.1.4.1.1.2. Classification des levains lactiques

Tableau VI: Classification des levains lactiques (Eck et al., 1997)

Type des levains	Caractéristiques
Les levains mixtes à variétés multiples	<ul style="list-style-type: none"> - Traditionnellement les plus anciennes formes de levains formées des espèces suivantes : <i>Lactococcus lactis</i> <i>Lactococcus cremoris</i> + <i>Lactococcus lactis</i> biovar diacetylactis <i>Leuconostoc cremoris</i> - Mélange acidifiant et aromatisant ayant de nombreuses souches de résistances phagique différentes. - Origine : Europe du Nord. - Utilisation très large dans de nombreuses technologies surtout en pâtes molles et dans les produits traditionnels - Avantages : Résistance phagique assez bonne mais activité variable dans les laits industriels. Acidification modérée avec post-acidification réduite. - Inconvénients : Tendance au déséquilibre entre les espèces et les souches au cours des repiquages car leur culture se fait en mélange.
Levains à souches multiples définies	<ul style="list-style-type: none"> - Mélange de deux à six souches pures de résistance phagique différente. - Permet de moduler les activités acidifiantes. - Mélange pouvant être déséquilibré si la croissance en fermenteur se fait en mélange. - Type de levains de plus en plus utilisé ; il permet de : Diminuer le risque phagique Travailler avec un mélange connu et caractérisé - Une rotation de ces mélanges de levains est souvent pratiquée pour des raisons de limitation du risque phagique.
Souche simple purifiée	<ul style="list-style-type: none"> - Technologie la plus récente. - Utilisée avec certaines espèces comme <i>Streptococcus thermophiles</i> sur technologies pâtes pressées cuites et pâtes molles. - Pratiquement inutilisée avec des mésophiles. - Emploi en développement surtout avec des souches ayant des résistances phagiques « améliorées ». - Une rotation de souches ayant des parentés phagique différentes peut être pratiquée.

- **Bactéries coliformes**

Presque toujours présents dans le lait cru, elles ont une grande importance en laiterie. Du point de vue technologique, certaines assurent la fermentation du lactose, produisant, outre

des acides, des gaz (hydrogène et gaz carbonique) qui font gonfler les fromages. De plus, elles élaborent diverses substances conférant aux produits des goûts et des odeurs très désagréables.

1.1.4.2. Bactéries pathogènes

Le lait cru et ses dérivés laitiers et parfois même ceux qui ont subi un traitement d'assainissement, peuvent contenir des germes pathogènes pour l'homme. En effet, l'animal, l'environnement et l'homme peuvent être à l'origine de cette contamination, de plus, différentes espèces bactériennes sont capables de pénétrer dans la mamelle par le canal du trayon et sont excrétées avec le lait.

Chapitre II
Le fromage

II.1. Historique

Non seulement le lait se consomme à l'état nature, il peut également subir différentes biotransformations qui contribuent à élargir considérablement ses qualités sensorielles. L'un des dérivés de ces transformations est le fromage, de l'ancien français « fromage » (du latin *formaticus*, c'est à dire fait dans une forme).

La première occurrence de l'utilisation d'un fromage comme aliment est inconnue. Les technologues tiennent la preuve que l'homme connaît depuis longtemps le phénomène de coagulation du lait depuis la découverte, sur les rives du lac Neuchâtel, de moules à cailler datant de 5000 ans av. J.-C. Cependant l'origine exacte de la transformation du lait en fromage est incertaine. On s'entend pour dire que le fromage serait originaire du Sud-ouest asiatique et daterait d'environ 8000 ans. Les Romains auraient stimulé le développement de nouvelles variétés durant leur invasion de l'Europe entre 60 av. J.-C. et 300 apr. J.-C. Leur influence s'est reflétée dans l'étymologie : en effet, le mot latin *caseus*, signifiant fromage, est la racine qui donnera le mot caséine en français, nom qui désigne les protéines coagulables du lait (St. Gelais et Tirard-Collet, 2002).

II.2. Définition du fromage

Les fromages sont des formes de conservation et de report ancestral de la matière utile de lait (protéines, matières grasses ainsi qu'une partie de calcium et du phosphore), dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'homme dans presque toutes les régions du globe.

La définition « fromage » est réservée aux produits fermentés ou non, obtenus à partir des matières d'origine exclusivement laitière (lait, lait partiellement ou totalement écrémé, babeurre) utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la phase aqueuse (Jeantet et al., 2007).

Selon le codex alimentarius publié par la F.A.O/ O.M.S (2000), le fromage 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, et qui est obtenu :

- a) Par coagulation complète ou partielle des matières premières suivantes : lait et/ou produits obtenus à partir du lait, grâce à l'action de présure ou d'autres agents

coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation ;

- b) Par l'emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation du lait et/ou des produits provenant du lait, de façon à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques similaires à celles du produit défini.

II.3. La technologie fromagère

La transformation du lait en fromage comporte pour la plus grande partie des fromages trois étapes principales : la coagulation, l'égouttage et l'affinage (**St-Gelais et al., 2002**).

II.3.1. La coagulation

La coagulation est l'une des étapes la plus déterminante dans le processus de fabrication du fromage, elle consiste en changement irréversible du lait de l'état liquide à l'état semi-solide appelé "gel" ou "coagulum" (**Mahaut et al., 2000**). Les caractéristiques physico-chimiques de ce gel vont conditionner l'aptitude à l'égouttage ainsi que les caractéristiques finales du fromage (**Hsieh et Pan, 2012**). Les mécanismes de la formation du coagulum diffèrent totalement suivant que ces modifications sont induites par acidification ou par action d'enzymes coagulantes (**Lefebvre-Cases et al., 1998**).

II.3.1.1. Aptitude du lait à la coagulation

L'aptitude du lait à la coagulation est sa capacité à donner après action de la présure, un coagulum à caractère rhéologique précis, sans perte lors de l'égouttage. En effet, certains laits coagulent lentement, forment des gels mous qui tendent à se fragmenter, donnant des caillés humides dont l'affinage est difficile à maîtriser (**Lenoir et Schneid, 1997**).

Les moyens de contrôle sont généralement :

- Le temps de prise qui correspond au temps séparant l'addition d'enzymes coagulantes et le début de la floculation.
- Le temps de coagulation correspond au temps écoulé entre l'addition d'enzymes coagulantes et le tranchage du coagulum. Il est en général égal à 2 fois le temps de prise pour les pâtes pressées et 3 fois le temps de prise pour les pâtes molles.
- Le temps de raffermissement ou durcissement décrit l'inverse de la vitesse de réorganisation du gel, c'est le temps de prise du temps de coagulation.

La coagulation du lait varie en fonction de la matière première utilisée : lait frais ou recombinaé. La structure du coagulum du lait frais est plus ou moins fragile selon les facteurs de coagulation (enzyme, température, acidité) et le rapprochement qui peut se produire entre les particules de paracaséine par suite d'exsudation du sérum.

Pour les fabrications au lait recombinaé à extrait sec plus élevé, on a une plus grande cohésion.

Pour cela il faut :

- Apporter du phosphate monocalcique à une dose de 8 g/kg de poudre de lait (nécessaire pour la fabrication des fromages à pâtes molle et à pâte pressée demi-dure).
- Une température de coagulation adéquate :
 - 38°C en procédé continu à partir du lait recombinaé concentré, emprésuré à froid.
 - 45°C à 50°C en procédé continu à partir du lait recombinaé concentré, emprésuré à froid.

II.3.1.2. Les différents types de coagulation

A/ La coagulation acide (lactique) ou par abaissement du pH

La coagulation par voie acide consiste à précipiter les caséines à leur point isoélectrique ($pH_i=4.6$) par acidification biologique à l'aide de ferments lactiques qui transforment le lactose en acide lactique ou par acidification chimique (injection du CO_2) ou encore par ajout de protéines sériques à pH acide (**Dalgleish et Corredig, 2012**).

Les ions H^+ libérés par l'acidification neutralisent progressivement les charges électro-négatives portées par les caséines ainsi qu'une déminéralisation progressive des micelles, la répulsion électrostatique diminue au fur et à mesure de l'enrichissement du milieu en ions H^+ , puis disparaît. A la température ambiante, les micelles commencent à s'agréger à $pH=5.2$. Lorsque le pH isoélectrique de la caséine est atteint (4.6), il ya floculation totale (**FAO, 1995**).

B/ La coagulation par voie enzymatique

La coagulation par voie enzymatique consiste à transformer le lait de l'état liquide à l'état de gel par addition d'enzymes protéolytiques, le plus souvent d'origine animale (**Mahaut, 1999**).

Ce type de coagulation se fait par la présure et se déroule en trois phases :

- Phase primaire ou enzymatique;
- Phase secondaire ou d'agrégation des micelles déstabilisées ;
- Phase tertiaire ou phase de réticulation (**Mahaut et al., 2003**).

B1/ La phase primaire

La phase primaire déclenche la coagulation par hydrolyse spécifique de la caséine k au niveau de la liaison phénylalanine (105) et méthionine (106) (**voir figure 2**). Selon **khalid et al., (1992)**, il résulte de cette coupure deux segments inégaux possédant des caractéristiques différentes.

- ✓ La para caséine : segment de 1 à 105, basique, hydrophobe et liée aux caséines α s et β siège de la coagulation proprement dite (formation du coagulum).
- ✓ La caséine macropeptide (appelée aussi glycopeptide) : segment de 106 à 169, acide, hydrophile et libre qui passe dans le lactosérum.

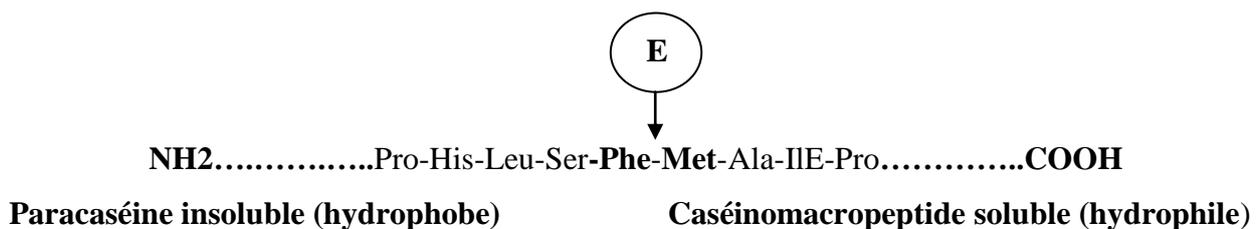


Figure 2 : Phase primaire enzymatique

B2/ La phase secondaire

La réaction secondaire de la coagulation est purement chimique et nécessite la présence d'ions calcium et phosphate qui interviennent dans la formation du gel par polymérisation des paracaséines.

Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer le mécanisme de la formation du gel, suite à un phénomène de polymérisation par condensation de deux molécules de paracaséine kappa. Les ions calcium initient la polymérisation en formant des ponts salins, alors que les ions phosphate conduisent à la fermeture du cycle de la polymérisation avec l'apparition d'une valence libre. Celle-ci est capable de s'accrocher à nouveau à un autre cycle similaire et permettre ainsi la condensation à la formation d'un réseau protéique plus au moins lâche qui confère au coagulum son caractère gel (**Green et al., 1987**).

Selon **Mahaut et al., (2003)**, la réaction secondaire ne commence que lorsque le taux d'hydrolyse de la caséine kappa atteint 80 à 90%.

B3 / La phase tertiaire

La réaction tertiaire consiste en une protéolyse générale, elle n'intervient pas directement dans le phénomène de coagulation proprement dit. C'est une réaction lente et non spécifique car elle concerne toutes les caséines. Elle débute lentement avec la réaction primaire et se poursuit durant l'affinage (**Alais et Blanc, 1975**).

Durant le phénomène de coagulation, les trois réactions démarrent en même temps mais, à chaque étape une réaction prédominante par rapport aux deux autres.

C/ La coagulation mixte

Elle résulte de l'action conjuguée de la présure et de l'acidification. Cependant la formation du coagulum se fait généralement sous l'action dominante de la présure. C'est ensuite, progressivement qu'il acquiert des caractères lactiques. Cette méthode est utilisée pour l'obtention de fromages frais (petit-suisse – demi sels etc) et de fromages à pâte molle (camembert, brie) (**Cheftel et Cheftel., 1980**).

Le coagulum obtenu, présente des caractères intermédiaires entre ceux des gels lactiques et de la présure (**Tableau VII**).

Tableau VII : Comparaison entre un caillé lactique et un caillé présure (**Amiot et al., 2002**).

Paramètres	Type de caillé	
	Lactique	Présure
Egouttage	Faible	Elevé
Teneur en eau	Elevé	Faible
Pouvoir tampon	Faible	Elevé
Teneur résiduelle en lactose	Elevé	Faible
Structure des caséines	Etat dissocié	Etat micellaire
pH	Faible < 4.6	Elevé > 5.00
Type de texture	Plastique, fragile	Elastique, solide
Durée de conservation	Faible (quelques semaines)	Elevé (plusieurs mois)

II.3.2.L'égouttage

C'est une étape dans beaucoup de procédés de fabrications fromagères qui permet dans la majorité des cas d'accélérer la synérèse (contraction du caillé formé et expulsion spontanée du lactosérum), puis de séparer le lactosérum du caillé. Lors de cette étape, la plus

grande partie des éléments solubles sont éliminés dans le lactosérum. Le caillé a donc une composition variable selon la technique d'égouttage utilisée et la quantité de lactosérum éliminée (Carole et Vignola, 2002).

II.3.3.L'affinage

L'affinage correspond à une phase de digestion enzymatique du caillé au cours de laquelle le substrat issu de la coagulation et de l'égouttage du lait se transforme sous l'action d'enzymes présentes à l'origine dans le caillé (plasmine, lipase...) ou ajoutées au lait (enzymes coagulantes, levains), ou produite au cours de l'affinage par synthèse microbienne. Ces transformations confèrent à la pâte fromagère des caractères nouveaux en modifiant son aspect, sa consistance et sa composition, et en développant sa saveur, son arôme et sa texture (Mahaut *et al.*, 2003).

Il faut signaler que l'affinage n'existe pas dans le cas des fromages frais consommés après égouttage.

Les trois étapes citées sont généralement précédées d'une phase préalable de la préparation du lait qui implique différentes applications :

- **Standardisation du lait en matière grasse et en matière protéique**

L'ajustement de la teneur en matière grasse se fait soit par apport de lait écrémé dans du lait entier. La standardisation en matière protéique se fait par ajout au lait de la poudre du lait, de caséines ou de caséinates, ou encore par ultrafiltration. La teneur en protéine du lait de fromagerie est le plus souvent comprise entre 33 et 40 g/litre au maximum.

- **Préparation du lait pour la fabrication du fromage**

Il se fait très généralement à l'aide d'un traitement thermique : la pasteurisation. Le choix d'une combinaison temps/température en fromagerie se pose dans les termes suivants : ou bien le chauffage est suffisant pour assurer la destruction de tous les microorganismes pathogènes, mais le lait subit des modifications gênantes pour certaines fabrications ; ou bien le chauffage est modéré et ne modifie pas les aptitudes fromagères du lait, mais la sécurité hygiénique risque d'être insuffisante.

- **Rééquilibrage en calcium**

Pour redonner au lait pasteurisé (comme au lait refroidi) un comportement normal au cours de la coagulation et de l'égouttage, il suffit généralement de lui ajouter du chlorure de calcium anhydre à une dose maximale de 0.2 g/litre (FAO, 1995).

- **Standardisation biologique**

La standardisation biologique par traitement thermique, ou microfiltration, suivie de l'addition d'une flore contrôlée permet de s'affranchir de la flore originale des laits réfrigérée présentant une flore indésirable (psychrotrophes, germes pathogènes) et de favoriser la production de facteurs de croissance pour une acidification biologique régulière (Mahaut et al., 2003).

II.3.3.1. Les agents de l'affinage

Les enzymes, agents de l'affinage, ont trois origines : les enzymes naturelles du lait, les enzymes coagulantes, les enzymes des micro-organismes qui peuplent les pâtes.

Le rôle et l'importance relative de ces divers agents sont assez bien connus. Des progrès substantiels ont en effet été réalisés au cours des dernières années grâce à la mise en œuvre de la technique du caillé aseptique, à la meilleure connaissance des propriétés et du mode d'action des enzymes purifiées et à la mise au point de techniques d'analyse performantes permettant l'identification des produits formés ou des substrats dégradés.

A/ Les enzymes naturelles du lait

Le lait contient à l'état natif un très grand nombre d'enzymes, deux sont plus particulièrement importants à considérer, **la lipase et la plasmine.**

➤ **La plasmine**

De nombreuses études ont démontré la présence d'une activité protéolytique native dans le lait. Elle est due pour l'essentiel à une protéase alcaline : la plasmine (E.C.3.4.21.7), une enzyme présente dans le sérum sanguin. L'action de l'enzyme au cours de l'affinage est appréciable et elle a été mise en évidence, notamment dans les pâtes pressées à affinage lent. Cette enzyme pourrait contribuer à l'apparition de défauts d'amertume et de lainure.

➤ **La lipoprotéine lipase**

La principale lipase du lait est une lipoprotéine lipase (LPL) (E.C.3.1.1.34), elle est sécrétée par les cellules mammaires en grande quantité ; elle permet le prélèvement des lipides sanguins pour la synthèse d'une partie des triglycérides du lait.

➤ Les autres enzymes du lait

Les possibilités d'action des autres enzymes n'ont guère été étudiées. Certaines pourraient cependant jouer un rôle non négligeable. Ainsi, les phosphatases pourraient intervenir par déphosphorylation des caséines ou des phosphopeptides et les rendre ainsi plus facilement hydrolysables par les enzymes protéolytiques.

- **La phosphatase acide**, de pH optimal voisin de 4.6- 4.8, est très thermorésistante et elle possède une activité importante sur les caséines, mais elle est présente dans le lait à faible concentration et seule une partie fraction, associée à la membrane du globule gras, doit se trouver dans le fromage.

- **La phosphatase alcaline**, en grande partie localisée dans la membrane du globule gras, présente un pH optimal d'action sur les caséines de 6.8. Son activité au cours de l'affinage serait donc à préciser mais sa faible thermorésistance rend celle-ci peu probable dans les fromages de lait pasteurisé ou thermisé.

- La protéase acide, de pH optimum d'action voisin de 4 et présentant une stabilité thermique assez élevée, est sans doute en mesure d'agir sur les caséines au cours de l'affinage, notamment sur la caséine α_1 (**Kaminogawa et al., 1972 ; Humbert et al., 1979**).

B/ Les enzymes coagulantes : tels la présure, les autres enzymes coagulantes.

III. Les enzymes coagulants le lait

Les enzymes coagulantes, sont des endopeptidases appartenant au groupe des carboxylprotéases. Ces enzymes ont une double activité, l'une très spécifique sur la caséine k, l'autre de protéolyse générale, portant sur toute les protéines et susceptible de se manifester au cours de l'affinage des fromages (**Claverie et Hernandez, 2007**).

III.1. Présure et succédanés de présure

III.1.1. La présure

La présure (mélange de chymosine et de pepsine) est une enzyme extraite de la caillette à partir de quatrième estomac des jeunes veaux non sevrés, elle est la plus anciennement utilisée en industrie fromagère (**Claverie et Hernandez, 2007**). Elle présente un rapport : masse de chymosine active/ masse de pepsine active supérieur à 1.38.

- **La chymosine**

Chez les mammifères, la chymosine (80%) est sécrétée principalement dans le fœtus et l'estomac des nouveaux nés, et son taux diminue graduellement pendant la période postnatale

jusqu'à ce qu'elle devienne absente chez l'adulte (**Foltmann, 1992**). Elle est sécrétée sous forme de prochymosine inactive (365 acides aminés et 40.8 KDa). L'activation de la proenzyme en chymosine (323 acides aminés, 35.6 KDa) se fait spontanément dans la caillotte au pH inférieurs à 5.0 par hydrolyse de l'extrémité N-terminale du signal peptide (**Foltmann, 1992**). C'est une holoprotéine active à une température de 42°C, affaiblie entre 20 et 35°C et inhibée à 65°C (**Claverie et Hernandez, 2007**).

- **La pepsine**

C'est un extrait liquide provenant de la caillotte de bovins adultes sous forme de pepsinogène inactif, activé par acidification, présentant un rapport chymosine/ pepsine inférieur à 0.154 (**Luquet, 1990**). Son action protéolytique est moins spécifique que celle de la chymosine et les conditions d'actions sont différentes.

III.1.2. Les succédanés de présure

Un très grand nombre d'enzymes protéolytiques d'origine animale, végétale et microbienne ont la propriété de coaguler le lait.

III.1.2.1. Les enzymes d'origine microbienne

Généralement, ce sont des enzymes de certaines moisissures notamment *Endothia parasitica*, *Mucor pusillus*, *Mucor miehi* ou de bactéries *E.coli*, *Bacillus subtilis* (**Mahaut et al., 2000 ; Belhamiche, 2000**).

Vu leurs diversités biochimiques et leur susceptibilité à la manipulation génétique, ils sont devenus une source principale d'enzyme à l'échelle mondiale.

III.1.2.2. Les enzymes d'origine animale

Comme l'appareil digestif des ruminants est la source principale, on se retrouve alors face à un nombre élevé de succédanés de présure extraits de chèvres de brebis, de chevreaux et d'agneaux. Il a été marqué dans la fabrication des fromages traditionnels.

De plus, la pepsine porcine a un optimum d'activité à pH acide (**Eck, 1990**), comme la pepsine bovine (**Verle, 1979**).

La présure d'origine avicole a été utilisée dans la fabrication de fromage de type Cheddar et Emmenthal. Ainsi, elle a été utilisée dans la fabrication des fromages locaux en Israël (**Eck, 1990**).

D'autres coagulases peuvent être citées telles que le phoque, morue et même le thon, ce qui nous confirme que les succédanés animaux restent les plus utilisés.

III.1.2.3. Les enzymes d'origine végétale

Connu sous le nom de présure de remplacement. Vu le coût extrêmement élevé des protéases animales, microbiennes, il a fallu penser à une présure moins chère mais aussi ayant un pouvoir coagulant similaire tels :

- La fiscine extraite à partir de figuier (*Ficus carica L*) ;
- La bromelaine d'ananas ;
- La cardosine d'artichaut (*Cynara cardunculus*) ;
- Chardon d'Espagne (*Scolymus.L*) ;
- La ricine du ricin (*Ricinus communis L*) (Garg et Johri, 1994) a donné des résultats moyennement bons vu leur activité protéolytique qui est toujours à l'origine des défauts de flaveur et de texture (Morsli, 1997).
- Des études récentes ont montrées qu'avec les coagulases du cardon on pouvait obtenir des fromages de bonne qualité à partir du lait de brebis qu'avec du lait de vache (Chen ; Agboola ; Zhao, 2003).
- La présure extraite à partir des feuilles de la grassette vulgaire (*Penyculia vulgaris*), c'est une petite herbe vivace des tourbières et des régions montagneuses, qui est très utilisée dans les alpes Italiennes ;
- Autres plantes présurantes très répandue en France, le gaillet jaune ou gaillet vrai (*Gallium vevum*), dit « caille lait jaune » ;
- L'ivraie (l'olium) ;
- La luzerne (*Medicago sativa*) ;
- La garance (*Rubia tinctorum*) ; qui ont montré beaucoup de similitudes avec la présure animale, mais peuvent agir à des températures relativement plus élevés 40-90°C.

De façon générale, les préparations végétales sont moins utilisées en industrie fromagère en raison de leur faible rendement fromager, s'ajoute à cela les conditions climatiques et leur action sur la production de ces protéases (Garg et Johri, 1994), ainsi que les défauts de goût d'amertume et de fermeté de caillé.

III.1.2.4. La chymosine produite par génie génétique

Plus récemment, les techniques du génie génétique ont permis de cloner le gène de la prochymosine et d'obtenir de la chymosine recombinante produite par voie microbiologique. Actuellement, plusieurs préparations commerciales produites respectivement par *Escherichia coli* (Sté Pfizer), *Kluyveromyces lactis* (Sté Gist-Brocades), *Aspergillus niger* variété

Awamori (Stés Genencor/ Chr. Hansen) sont disponibles sur le marché (**Fed, 1990**). La composition de ces préparations diffère de celle de la présure par l'absence de la pepsine.

Les propriétés enzymatiques de la chymosine recombinante sont identiques à celles de la chymosine d'origine animale.

Sur le plan technologique, les essais nombreux et variés de fabrications de fromages réalisés dans le monde indiquent qu'aucune différence majeure ne peut être détectée entre les produits obtenus avec les chymosine génétiques et la présure traditionnelle en ce qui concerne les modalités de la coagulations, de l'égouttage et de l'affinage, et les caractéristiques organoleptiques. En 1994, les chymosines recombinantes ne sont pas autorisées en France mais sont utilisées aux Etats-Unis et dans quelques pays européens et en Algérie.

IV. Classification des fromages

La classification des fromages peut être basée sur le mode de fabrication, la nature de la pâte ou autre facteurs.

En fonction des opérations de fabrication, on distingue quatre classes de fromages (**Tableau VIII**).

Tableau VIII : Classification des fromages en fonction des opérations de fabrication et de leurs caractéristiques (**Guiraud, 1998**).

Pâte	Caractéristiques	Technologie de fromage	Exemple
Fromage frais à pâte fraîche	Humidité : très élevée (> 60%). Texture : friable, crémeuse sans cohésion. Absence d'affinage. Conservation au frais, de courte durée.	Fromage à égouttage obtenu par centrifugation ou filtration, à fermentation essentiellement lactique.	Petit suisse
Fromage à pâte molle	A croute lavée	Fromage obtenu par action de la présure, avec affinage après la fermentation lactique avec une pâte ni cuite, ni pressée. Egouttage lent par découpage et	Munster Livarot, pont l'évêque.
	A croute moisie		Camembert, brie, carré de l'est.

	Persillées (à moisissure interne)		éventuellement un brassage.	Roque fort et autre «bleu ».
Fromage à pâte pressée	Non cuite	Pâte ferme non cuite	Fromage obtenu de la présure, avec affinage après la fermentation lactique et obtenus par égouttage avec découpage du caillé, brassage et pression.	Cantal
		A croute lavée		Saint-paulin Reblochon
		A croute moisie		Saint-nectaire Tomme savoie
		Croute artificielle		Edam
	Cuite	Avec ouverture		Emmental Comté
		Sans ouverture		Beau fort
		Très dure		Cheddar

V. Les fromages à pâte pressée non cuite type Edam

V.1.Origine et définition

Le fromage Edam tire son nom de la ville « Edam »située au nord d'Amsterdam en Hollande où il a été fabriqué pour la première fois (**Anonyme 1, 1994**).

L'Edam est un fromage sphérique légèrement aplati aux parties inférieures et supérieures, à pâte pressée demi- dure ou dure, fait avec du lait écrémé ou demi écrémé (30 à 40 % de matière grasse), et affiné avec des bactéries appropriées (**Cheftel J.C. et Cheftel H., 1977**).

D'après Walstra et al (1987), le lait généralement destiné à la fabrication de l'Edam est un mélange de lait écrémé de la veille et du lait frais de la matinée. Il se consomme après 4 à 6 semaines d'affinage jusqu'à plus d'un an. Il porte les qualificatifs de " tendre" ou " jeune" lorsqu'il a un minimum de six semaines d'affinage ; " demi- étuvé " ou " demi- vieux" lorsqu'il atteint l'âge de six mois et " étuvé " ou " vieux" lorsque son âge atteint et dépasse 12 mois (**Luquet, 1990 ; Serre, 2002**). C'est un fromage doux, peu salé avec un goût de noisette et une odeur légère comparé à d'autres fromages.

L'Edam est une boule de 1.7 Kg environ, elle est enveloppée dans une pellicule épaisse de paraffine rouge.

V.2.Caractéristiques physico-chimiques

Tableau IX : Caractéristiques physico-chimiques du fromage Edam (Luquet, 1985).

Caractères	Normes
Extrait Sec Total (EST)	51±1%
Matière Grasse (MG)	20±1%
Gras/ Sec	45±1%
pH	5.3-5.5
Na Cl	1.5-2%
Humidité	50±2%

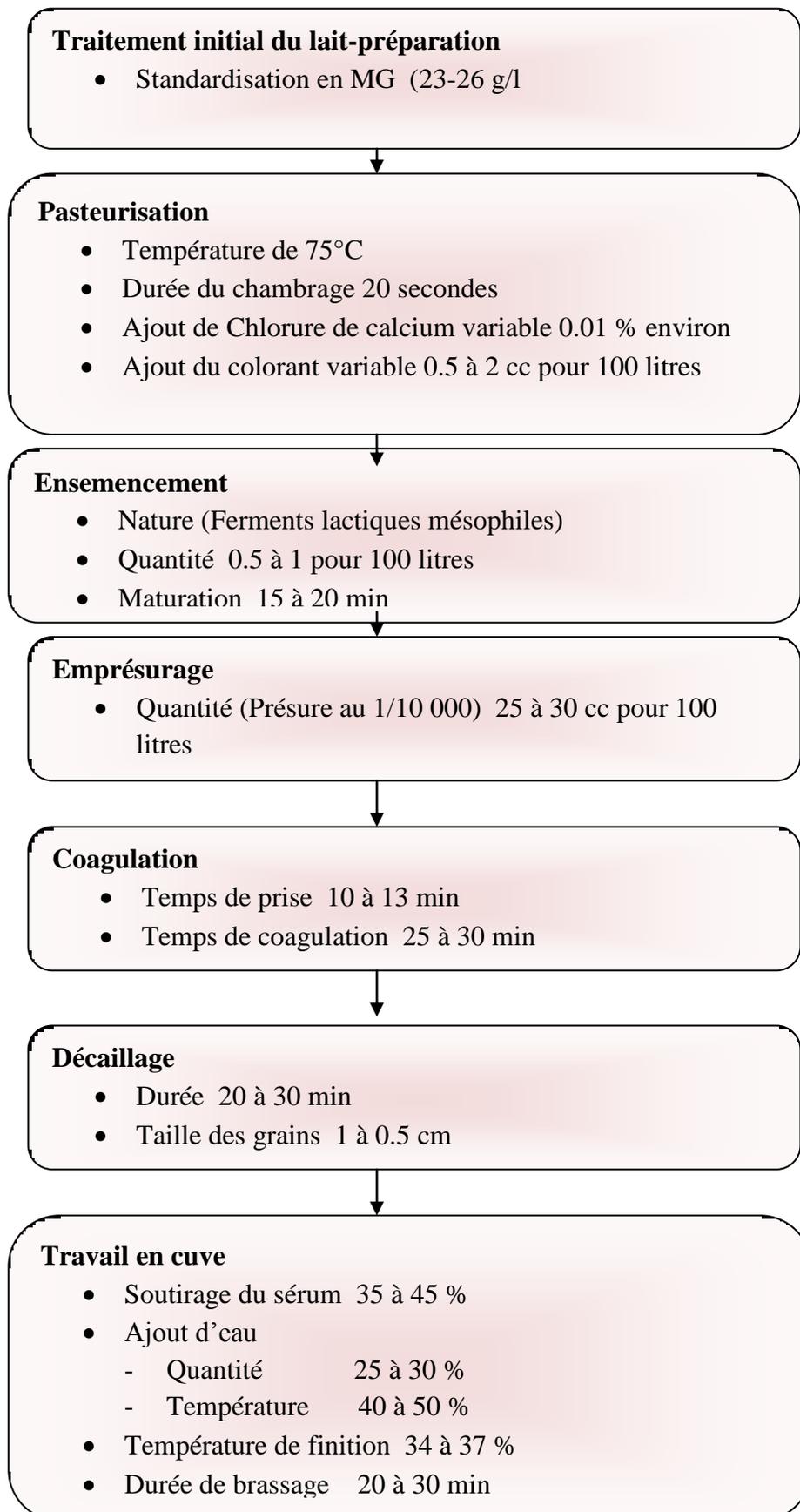
V.3.Valeur nutritionnelle de l'Edam

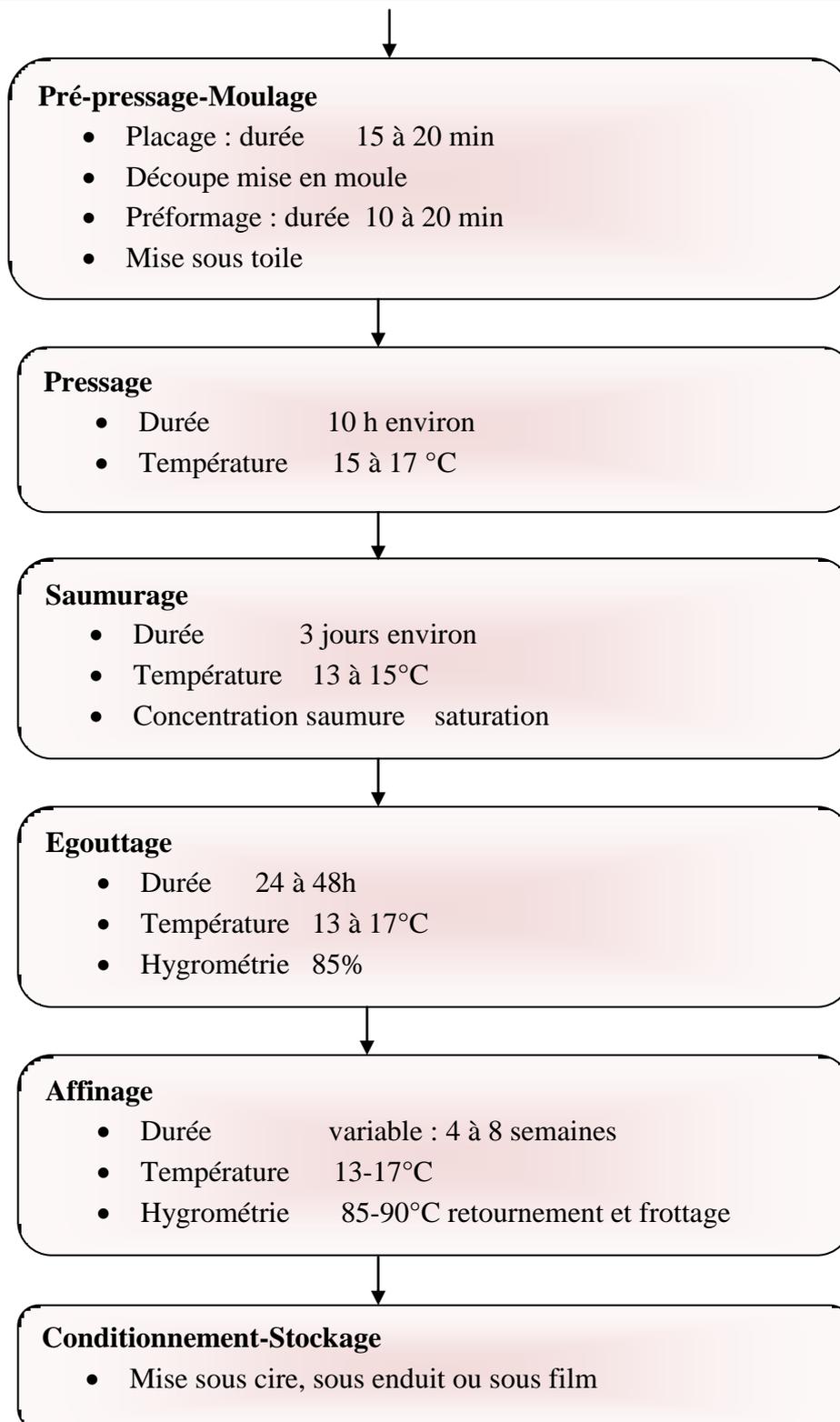
La qualité nutritionnelle de l'edam provient de sa teneur élevée en protéines de hautes valeurs biologiques, où les acides aminés essentiels sont bien équilibrés. De plus, sa richesse en éléments minéraux et vitamines (**Tableau X**) lui confère toutes les particularités d'un fromage de haute valeur alimentaire. Ce produit dérivé est classé parmi les fromages gras, du fait de sa teneur élevé en matière grasse (45%). Dans cette matière lipidique, les acides gras volatils (C₂ à C₈) lui confèrent une odeur et une saveur particulière (Mc Sweeney et Sousa, 2000).

Tableau X : Composition et valeur nutritionnelle du fromage Edam (Luquet, 1985)

Composition	Valeur nutritionnelle
Protéines	24-27%
Matière grasse	24-45%
Calcium	750-855 mg/100g
Sodium	900 mg/100g
Phosphore	500mg/100g
Valeur énergétiques	390-400 Kcal /100 g de fromage

V.4. Diagramme de fabrication du fromage Edam (Luquet, 1990).





Chapitre III

*Les défauts de fabrication de
l'Edam*

III.1. Les accidents rencontrés dans les fromages à pâte pressée non cuite

Du fait même de ses caractères propres, la complexité des technologies et la diversité des fabrications, la fromagerie connaît plus que toute autre activité laitière des risques d'accidents qui vont se traduire par des défauts. Ces défauts relèvent de plusieurs facteurs et interviennent à différentes étapes de fabrication.

Selon leurs causes, ces défauts peuvent être classés comme suit :

- Des défauts liés à la qualité et à la préparation de la matière première ;
- Des défauts liés à coagulation et à l'égouttage ;
- Des défauts liés à l'affinage ;
- Défauts de saveur et d'arôme.

III.1.1. Les défauts liés à la qualité et aux traitements de la matière première

Une des premières causes de défauts du fromage se trouve dans la composition initiale du lait.

La quantité de caséine qui forme le gel augmente la fermeté du gel et l'élasticité de la pâte fromagère. En conséquence, un lait pauvre en caséine sera plus long à coaguler. Il donnera un fromage avec moins de corps.

La matière grasse entrappée dans le réseau caséique nuit à la formation et à la contraction du gel. En excès, la matière grasse nuit à l'égouttage et à la fermeté du fromage.

Un lait pauvre en matière grasse donne un fromage avec une texture trop élastique. Par ailleurs, un lait ayant développé des saveurs rances ou oxydées à la suite de la dégradation des matières grasses durant l'entreposage les transmet au fromage.

La présence d'antibiotiques et de résidus de produits de lavage et d'assainissement dans le lait a des effets plus draconiens. Ces polluants peuvent, dans certains cas, arrêter complètement l'activité fermentaire.

L'entreposage du lait non pasteurisé à basse température entraîne des défauts de coagulation et d'égouttage du caillé et peut engendrer des défauts de saveurs dans le produit fini. Premièrement, en solubilisant le calcium micellaire et une partie de la β -caséine, l'entreposage ralentit la coagulation et conduit à des caillés moins fermes et diminue les rendements. A l'échelle microbiologique, les bactéries psychotrophes sont favorisées par les basses températures, elles libèrent dans les laits de fromageries des enzymes thermorésistants qui pourront en trop grand nombre, entraîner des défauts de saveurs, par exemple la rancidité due à la lipase microbienne.

On peut y remédier par :

- l'utilisation d'un lait frais, gage d'une bonne qualité fromagère ;
- L'utilisation rapide du lait dans la fromagerie (puisque le temps de latence des bactéries psychotrophes se situe entre 48 et 72 heures d'entreposage pour des températures comprises entre 3 et 6°C).

La pasteurisation affecte également la fabrication fromagère par son effet sur la qualité chimique et microbiologique du lait. Elle provoque une précipitation partielle du calcium qui nuit à la coagulation. Cependant, cette situation est facile à corriger par l'ajout de chlorure de calcium (0.035g/l) au lait. L'effet du chauffage le plus marquant se fait sentir sur les protéines du sérum ; sensible à la chaleur, elles se dénaturent, deviennent fortement absorbantes puis se fixent sur les caséines. L'égouttage devient alors plus difficile et les fromages obtenus, plus humides. Ce défaut devient notable dès que le barème de pasteurisation dépasse 75°C pendant 16 secondes.

Sur le plan microbiologique, la pasteurisation diminue la flore initiale du lait, ce qui réduit avantageusement le nombre de bactéries psychotrophes et augmentent la salubrité des produits en détruisant les bactéries pathogènes. Mais elle diminue du même coup la diversité de la flore. Le pool enzymatique des laits pasteurisé, plus limité, conduit à des fromages à saveurs moins typées et plus neutres. L'avantage des laits crus vient, en partie, de l'appauvrissement enzymatique des laits pasteurisés (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002**).

III.1.2. Les défauts dus à une mauvaise maîtrise des techniques fromagère

La maîtrise des différentes techniques fromagères est importante dans la fabrication d'un bon fromage.

III.1.2.1. Les défauts liés à la coagulation et à l'égouttage

III.1.2.1.1. Défaut de caillage dans les fabrications présure

a. Caillage lent

Dans les fabrications de type présure, tous les facteurs qui affectent l'activité de la présure sont à prendre en compte et influencent la rapidité de la coagulation : la température et le PH d'emprésurage, la composition du lait et son traitement préalable.

Pour ce qui est de la présure, le type de la présure utilisé, sa force, sa richesse en chymosine, sa concentration et les conditions de son entreposage sont autant de sources de variations (St-Gelais et Tirard- Collet, 2002).

III.1.2.1.2.Défauts d'humidité du caillé

L'humidité du caillé est un paramètre essentiel puisqu'il influence en premier lieu sur son aptitude à bien s'affiner (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002).

a. Caillé trop humide

Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine des cas où l'humidité dépasse la norme de composition. Voici la liste des facteurs à l'origine d'un caillé trop humide :

- Une pasteurisation trop haute ;
- Un caillé coupé trop gros ;
- Un caillé présure coupé trop ferme ;
- Un brassage insuffisant ou tardif ;
- Un pressage insuffisant ;
- Une acidification trop faible qui nuit à la perméabilité ;

Un salage à un pH trop élevé qui bloque l'acidification (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002).

b. Caillé trop sec

Les facteurs qui mènent à la production d'un caillé trop sec sont les mêmes que ceux qui donnent un fromage trop humide, mais les causes sont inversées (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002).

III.1.2.1.3.Défauts d'acidité finale du caillé

L'acidité finale joue un rôle primordial dans l'aptitude du caillé à contrôler le développement des microorganismes et à orienter l'ensemble des réactions enzymatiques durant l'affinage. Par ailleurs, la texture est directement liée au pH final du caillé (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002).

a. Caillé peu acide

L'acidité dépend essentiellement de l'activité des ferments. Une acidité faible peut provenir :

- D'un dosage insuffisant des ferments ;
- D'un temps de maturation insuffisant ou à une température inadéquate ;
- D'un mauvais choix des souches pour le type de fabrication ;
- De la présence d'inhibiteurs dans le lait ;
- D'une mauvaise préparation des ferments ;
- D'un mauvais entreposage des ferments ;
- D'une température tout au long de la fabrication trop éloignée des optimums des ferments ;
- D'un égouttage trop acide ;
- D'un délactosage trop poussé ;
- D'un refroidissement trop rapide, surtout avec des souches thermophiles.

De façon évidente, un caillé qui manque d'acidité sera plus élastique et plus humide (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002**).

b. Caillé trop acide

Une sur acidification entraîne :

- Une déminéralisation excessive de la pâte qui se traduit pratiquement par un produit moins souple et moins élastique ;
- Un égouttage du caillé plus prononcé ;
- Un développement plus lent des microorganismes de surface lors de l'affinage surtout dans le cas de bactéries ;
- Des défauts de saveurs (acide, amer...).

Voici quelques règles générales à appliquer pour effectuer un bon contrôle de l'acidité :

- Si on utilise des ferments liquides, s'assurer qu'ils sont à leur optimum de croissance au moment de l'ajout ;
- Les ferments contenant des lactobacilles donnent des caillés acides comparant à ceux contenant que des lactocoques ;
- Les ferments thermophiles arrêtent d'acidifier dès que la température baisse au dessous de 15°C et sont par conséquent plus faciles à contrôler ;

III.1.2.2. Défauts liés à l'affinage

III.1.2.2.1. Problèmes d'ouvertures de la pâte

La présence d'ouvertures atypiques provient d'une contamination par des microorganismes producteurs de gaz. Les ouvertures peuvent provenir :

- D'une température d'affinage trop élevée ;
- La qualité de lait de réception ;
- Du lait dont les *Clostridium* ne sont pas détruits par la pasteurisation ;
- D'une très faible quantité d'antibiotiques (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002).

a. Gonflements précoces

Ils se produisent rapidement (dans les 24-48 heures) après le début de la fabrication et peuvent atteindre tous les types de fromages. Ils se traduisent par l'apparition de trous généralement en nombre important et souvent petits, au sein de la pâte (fromage dit « mille trous »). Ce phénomène peut rester discret et n'être découvert qu'à la coupe, mais aussi parfois donner naissance à des gonflements importants.

Ces accidents sont presque toujours dus à la multiplication, dans les fromages, de microorganismes fermentant le lactose en donnant des gaz : levures, divers bactéries lactiques hétéro fermentaires, et le plus souvent, les bactéries coliformes venant du lait.

Ces bactéries coliformes ont la propriété de fermenter le lactose avec production d'acide, de gaz carbonique (CO₂) et surtout d'hydrogène (H₂) qui a une très faible solubilité dans le fromage, ce qui favorise le gonflement.

Les gonflements précoces dus à des levures, ne sont pas très fréquents et ils sont moins graves, car il n'existe que très peu d'espèces fermentant le lactose, ce sont essentiellement des *Kluyveromyces* et leurs formes imparfaites ; elles sont répandues dans la nature en dehors des laiteries et ne produisent que du CO₂.

Enfin, des bactéries lactiques hétéro fermentaires sont également capables de produire ce type de défaut à partir du lactose, surtout dans les pâtes pressées et les pâtes cuites.

Les espèces en cause sont le plus souvent *Lactobacillus brevis* capable de pousser à 15°C mais non à 45°C, *L. fermentum* poussant au contraire à 45°C mais non à 15°C, et *Leuconostoc mesenterodes* sub-sp. *desctranicum* et *mesenteroides*.

Pratiquement pour que ces gonflements précoces se produisent, et surtout soient graves, il faut que le nombre de microorganismes responsables soit relativement important au moment de la fabrication (au moins de l'ordre de 10⁵-10⁶/ml), ou/et surtout que l'acidification (donc aussi la consommation du lactose) soit insuffisante, ou trop lente : levain

peu actif, présence d'antibiotiques, contamination par des phages....Le plus souvent ils se font donc que traduire des anomalies ou des erreurs de fabrication et de traitement du lait.

Ils peuvent donc être évités simplement par l'emploi correct de levains adaptés et de laits de bonne qualité bactériologique, le tout dans des conditions adéquates de fabrication. De plus, la plupart des microorganismes en cause peuvent être éliminés efficacement par une pasteurisation HTST minimum, ou même seulement par une thermisation (ou la simple cuisson du caillé à 54-56 °C).

Mais il faut également citer les gonflements dus à la production de CO₂ à partir du citrate par des bactéries lactiques faisant partie des levains, *Lactococcus lactis* sub-sp. *Lactis biovar. Diacetylactis* ou *Leuconostoc mesenteroides* sub-sp. *Cremoris* (Bergere et Lenoir, 1997).

b. Gonflements tardifs (gonflement butyrique)

C'est un des plus graves accidents qui apparaît entre 10 jours à 2 mois (Mahaut et al., 2003). Il se produit surtout dans les fromages à pâte pressée cuite, et dans beaucoup de fromage à pâte pressée, spécialement ceux de type Edam et surtout Gouda (Bergere et Lenoir, 1997).

On observe l'apparition d'ouverture durant l'affinage sous forme de nombreux trous de taille d'une tête d'épingle apparaissant en grappes (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002).

Le défaut est du aux *Clostridium* (bactéries anaérobies sporulées) du groupe butyrique, presque toujours c'est la seule espèce *C. tyrobutyricum* qui est en cause. Leurs produits de fermentation sont uniquement les acides acétiques et surtout butyriques, ainsi que le gaz carbonique et l'hydrogène en grande quantité. Ce sont ces gaz, notamment le dernier, qui provoque le gonflement des fromages et peuvent les déformer voire même les faire éclater, alors que l'acide butyrique leur communique un goût et une odeur désagréables.

Le défaut d'ouverture peut déjà se manifester à partir de nombre relativement bas, 200 à 1000 spores/l et parfois même moins. Lorsque les nombres atteignent 10⁴-10⁵ spores/l, les fromages deviennent énormément gonflés, éclatent et présentent un fort goût d'acide butyrique très désagréable. La contamination du lait est en général inférieure au seuil de 200 spores/l, sauf en cas d'alimentation du bétail laitier avec des fourrages ensilés. En effet, *C.tyrobutyricum*, d'origine tellurique, peut se multiplier au sein des ensilages, et lorsque la qualité de ces derniers est mauvaise, la contamination du lait peut atteindre jusqu'à 100.000 spores/l (Bergere et Lenoir, 1997).

c. Ouvertures mécaniques

Ces trous dans la pâte se reconnaissent à leur forme irrégulière et non sphérique. Ils ne résultent pas de la formation de gaz par des microorganismes, mais de retournements

insuffisants dans le cas des pâtes molles ou, dans le cas des pâtes semi-fermes et fermes, d'un manque de pression lors du pré-pressage ou de pressage (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002**).

III.1.2.2.2. Les défauts de saveur et d'arôme

a. L'amertume

L'amertume est un défaut relativement fréquent dans divers types de fromages, notamment les pâtes pressées, les pâtes molles et les bleus (**Bergere et Lenoir, 1997**). Elle résulte d'une teneur trop élevée en peptides hydrophobes. La production de peptides amers résulte de l'action de 3 catégories d'enzymes : la présure, la protéase de paroi des bactéries lactiques et les protéases exo cellulaires des moisissures (**Spinnler et al., 1997**).

b. Goût de rance

L'apparition d'une saveur rance est liée à la présence de lipases ; elle est favorisée par :

- Une utilisation des laits de fin de lactation ;
- Une agitation excessive du lait ;
- Un temps prolongé de conservation du lait cru ;
- Un mauvais équilibre des ferments (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002**).

Il est dû à une lipolyse excessive qui se traduit par la présence d'une dose anormalement élevée d'acides gras libres. Ce sont particulièrement les acides gras à chaîne courte et moyenne (C4 à C12) qui sont porteurs des saveurs les plus marquées, car leur seuil de perception est beaucoup plus faible que celui des acides gras à longue chaîne (**Bergere et Lenoir, 1997**).

c. Saveurs fruitées et atypiques

Des défauts de saveurs fruitées ou atypiques apparaissent lorsque se développent, durant l'affinage, des bactéries non désirables. Leur présence est attribuable, entre autre :

- A une humidité élevée ;
- A une faible teneur en sel ;
- A une mauvaise hygiène des salles d'affinage ;
- A un lait de mauvaise qualité sur le plan microbiologique ;
- A une température d'affinage trop haute (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002**).

III.1.2.2.3. Défaut de texture en fin d'affinage

a. Texture farineuse ou sèche (pâte sèche)

On parle de fromage « plâtreux » lorsque le cœur du fromage reste blanchâtre, ferme et acide. Ce phénomène est attribué à un égouttage très prononcé. L'activité de l'eau ne permet pas aux bactéries à activité protéolytiques de se développer, alors que la zone sous croûte

pourra évoluer sous l'action d'une flore de surface. Ce défaut est fréquent quand les ferments lactiques qui provoquent une acidification rapide, entraînant une synérèse très accentuée (**Mahaut et al., 2003**).

b. Pâte coulante

C'est le phénomène inverse. Dans ce cas, l'égouttage est insuffisant dû à une acidification du lait très lente. Ceci peut résulter :

- D'une température de la salle d'égouttage trop basse ;
- D'une présence de résidus d'antibiotiques ou de résidus chimiques ;
- D'une présence d'une forte proportion d'agglutinines (lait de mammites) ;
- D'une insuffisance de levain lactique liée à une attaque phagique.

L'activité de la pâte est élevée et favorise les activités microbiennes et enzymatiques, provoquant une protéolyse excessive de la pâte qui devient coulante, plus ou moins affaissée et présente des goûts d'amertume (**Mahaut et al., 2003**).

c. Pâte sablonneuse

La formation de cristaux solides est reliée à une cristallisation des produits de la digestion des protéines, particulièrement de la proline. On remarque cette texture pour un affinage trop avancé surtout dans le cas des pâtes fermes (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002**).

III.1.3. Les défauts d'origine microbienne

Un fromage à pâte pressée non cuite, doit présenter normalement une pâte compacte, avec de rares ouvertures. Les défauts de gonflement sont très rencontrés dans les fromages à pâte pressée non cuite. Le gonflement est dit : " gonflement précoce", "gonflement sous-pressé" ou " mille trous". **Selon Choisy et al., (1987)**, cet accident caractérisé par la présence de très nombreux trous est dû à la multiplication dans le fromage, des micro-organismes gazogènes : levures, bactéries hétérofermentaires et, le plus souvent, bactéries coliformes (**Eck., 1987**).

Le mille-trous est favorisée par une acidification trop lente et la pâte prend ainsi, un goût finité et s'affine mal.

Le fromage doit être placé en atmosphère sèche pour assurer l'élimination de gaz à travers la croûte perméable. L'emploi de levains lactiques et un lavage de grains pas trop poussé doivent permettre une prolifération lactique suffisante pour inhiber le développement des germes du gonflement précoce.

Selon Veisseyre (1979), une croûte moisie est l'indice d'un manque de soins en cave, les lavages ont été trop réduits ou pratiqués irrégulièrement.

Le développement des moisissures est favorisé par un taux d'humidité élevé du caillé, et provoque une désacidification partielle de la périphérie du fromage.

Bourgeois et Larpent (1989), ont proposé le tableau suivant, qui présentent les différents défauts organoleptiques d'origine microbienne.

Tableau XI : Défauts organoleptiques rencontrés dans quelques fromages à pâte pressée non cuite (**Bourgeois et Larpent (1989)**).

Description du défaut	Fromage	Composés responsables	Origine
- Amertume	Tous types	Peptides amers	Bactéries lactiques et Entérobactéries
- Fruité	Cheddar	Ester éthyliques	<u>St. lactis</u>
- Malté	Cheddar	3-méthyl-butanol	<u>St. Lactis</u> et <u>Str diacetylactis</u>
- Urine de chat	Gouda- Cheddar	L-mercapto-2-méthyl Pentane-4-one	Contaminations diverses
- Rance	Divers	Acides gras libres	Lipases

Partie expérimentale



Matériel et Méthodes



I.1. Objectif du travail

La partie expérimentale est effectuée à la laiterie fromagerie de Boudouaou (LFB).

Notre travail a consisté sur la mise en évidence de quelques défauts et accidents de fabrication rencontrés dans le fromage à pâte pressée non cuite type " Edam "fabriqué au sein de cette unité.

Nous avons suivi les étapes citées ci-dessous :

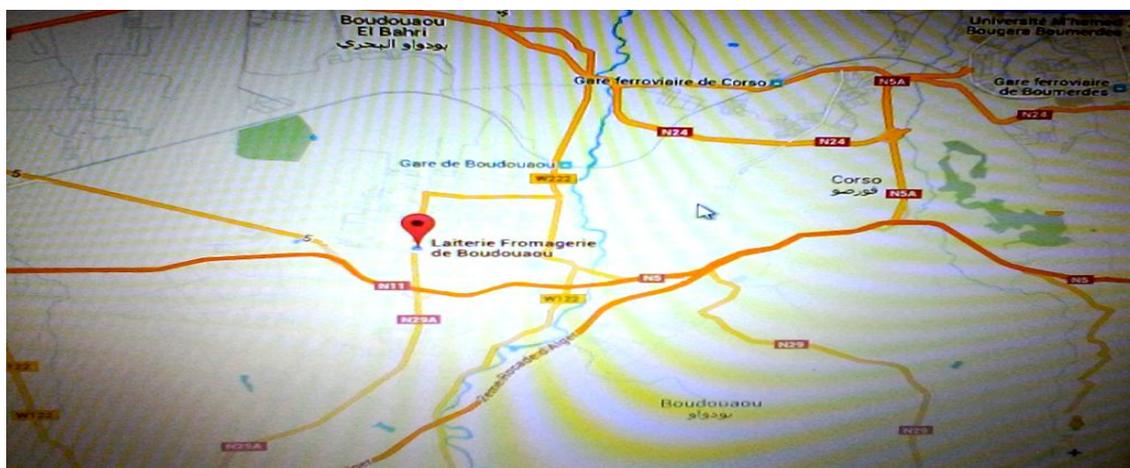
- L'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique de la matière première et du produit fini ;
- Suivi du process de fabrication du fromage ;
- Déceler un certain nombre d'anomalies qui sont dues à des accidents ou à des défauts de fabrication et enfin essayer de proposer des solutions de façon à en corriger certains.

I.2. Présentation de l'unité LFB et son origine géographique

La laiterie fromagerie de Boudouaou (LFB) se situe à l'entrée de la ville de Boudouaou dans la wilaya de Boumerdès, s'étale sur une surface totale de 7 hectares, l'activité principale de la LFB est la production



et la commercialisation des laits et des produits laitiers. Elle a été créée en 1969 par un groupe privé sous l'appellation : fromagerie de la Mitidja, elle fut nationalisée en 1972 et léguée aux biens de l'office national du lait (ONALAIT), elle appartenait à l'office régional du lait et produits laitiers du centre (ORLAC).



L'unité comprend un effectif de 445 personnes occupantes trois directions principales :

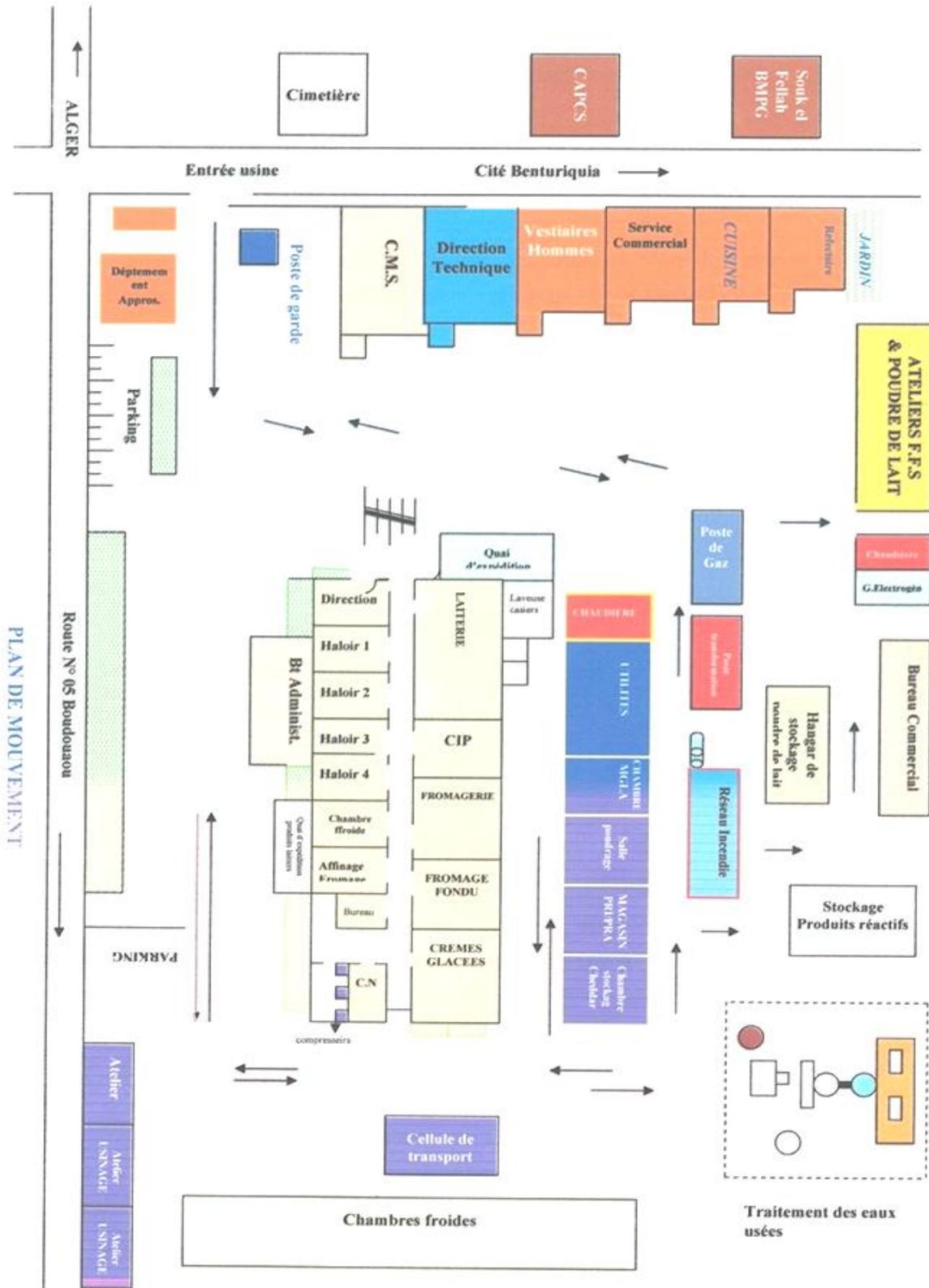
- Direction de l'administration et des finances ;
- Direction commerciale ;
- Direction technique.
- **Gamme de production**
 - **Le lait de consommation :**
 - Lait pasteurisé ;
 - Lait partiellement écrémé ;
 - Lait entier ;
 - L'ben pasteurisé.
 - **Produits laitiers :**
 - Fromage fondu pasteurisé ;
 - Fromage fondu en portion (boîtes de 8 et 16 portions) ;
 - Fromage fondu en barre ;
 - Fromage fondu stérilisé ;
 - Fromage Edam ;
 - Beurre ;
 - Crème fraîche.
 - **Poudre de lait conditionnée :**
 - Sachet de 19 g.

La capacité de LFB pour la fabrication des différents produits laitiers est mentionnée dans le tableau XII.

Tableau XII: Capacité de production par jour au niveau de LFB

Gamme de produit	Capacité de production
Lait pasteurisé	280.000 l/j
L'ben pasteurisé	20.000 l/j
Fromage fondu en portion et en barre	6 tonnes /j
Fromage type Edam en boule	2.8 tonnes/j
Boîtes de conserve de 200 grammes	5 tonnes/j

I.3. Organigramme de l'unité LFB



II. Matériel utilisé et méthodes d'analyses

Nous avons suivi les mêmes méthodes d'analyses physico-chimiques et microbiologiques quotidiennes effectuées au laboratoire de la laiterie fromagerie de Boudouaou (L.F.B). Ces méthodes sont adoptées aux normes **AFNOR 1986**.

II.1. Matériel biologique utilisé pour la fabrication du fromage « Edam »

- Le lait cru ;
- La présure ;
- Les ferments lactiques (bactéries mésophiles et thermophiles lyophilisées) ;
- Chlorure de calcium CaCl_2 ;
- Le colorant « Rocou ».

III. Méthodes

III.1. Description du procédé de fabrication du fromage « Edam »

Un schéma général de la fabrication du fromage à pâte pressée non cuite type Edam adapté à l'unité de Boudouaou est présenté par la **figure 3**.

III.1.1. Réception du lait cru

Le lait cru destiné à la fabrication de l'Edam au niveau de la L.F.B, provient des fermes environnantes. Ce lait doit être recueilli proprement et suivant les exigences de laboratoire de physico-chimie de l'unité (pH : entre 6.40 et 6.78, EST : 78% et 86%, densité : entre 1028 et 1036, MG : entre 30 et 44 g/l, acidité : entre 16 et 18°D).

III.1.2. Préparation du lait

Pour la fabrication du fromage Edam, on utilise actuellement à la L.F.B le lait cru comme matière première.

- Les laits des différentes récoltes sont mélangés dans des tanks de 8000 Litres.

III.1.3. Pasteurisation, refroidissement

Il s'agit d'une pasteurisation en continue qui s'effectue en circuit fermé et à l'abri de l'air, elle se fait entre 82°C et 85°C pendant 15 secondes. Le lait pasteurisé est refroidi à une température comprise entre 6°C et 8°C.

III.1.4. Maturation

Le lait subissant une pasteurisation et un refroidissement est stocké dans des tanks pendant une nuit à une température de 9°C, afin de l'améliorer en tant que milieu de culture pour les bactéries lactiques et de l'amener à son pH d'emprésurage (6.4-6.5). La maturation contribue à reconstituer les équilibres physico-chimiques du lait ayant pu être perturbés par les traitements thermiques ultérieurs (réfrigération principalement).

III.1.5. L'ensemencement

Au moment de l'ensemencement le lait doit avoir une acidité comprise entre 14°D - 20°D et une température de travail en cuve inférieur ou égale à 30°C. L'addition de ferment mésophile *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* (200U) et du CaCl₂ (1L pour 8000L de lait) se fait au moment du remplissage de la cuve, 20 à 30 minutes avant l'emprésurage, on ajoute le ferment thermophile *Streptococcus thermophilus* (50U). Après l'ajout de ce ferment, 250 ml du colorant Rocou sont incorporés.

Après acidification les conditions d'emprésurage sont :

- Acidité 18°D ; T° 38°C ; pH 6.4-6.5.

III.1.6. Emprésurage

On utilise pour l'emprésurage de la présure lyophilisée. L'emprésurage se fait en général 20-30 minutes après l'ensemencement. La dose utilisée est de 200 g pour 8000 litres de lait. La présure doit être diluée d'abord dans 5 litres d'eau tiède. Par ailleurs, il est nécessaire de prendre certaines précautions lors de l'emprésurage :

- La présure doit être répartie aussi régulièrement que possible en laissant marcher les brassoires pendant 5 minutes maximum pour une bonne répartition de la présure ;
- Les mouvements du lait doivent être arrêtés immédiatement afin d'éviter l'obtention d'un caillé feuilleté, se traduisant plus tard lors du décaillage, par la formation des grains irréguliers.

III.1.7. La coagulation

Le temps de coagulation est lié directement à la dose de présure appliquée et le temps de prise (temps correspondant à l'apparition de petits grumeaux, ou temps au cours duquel le lait perd sa fluidité et gagne sa viscosité) est entre 5 à 10 minutes. La coagulation aboutit après 30 à 40 minutes à une température de 38°C. La coagulation est trois fois le temps de prise.

III.1.8. Le décaillage (le tranchage)

Le décaillage consiste à découper le caillé en grains de petites tailles par le biais d'un outil appelé « tranche caillé ». Cette opération s'effectue à la vitesse la plus faible possible pour limiter les pertes. Cette opération dure 15 minutes et elle se fait en deux temps séparés par 5 minutes de repos. La taille des grains recherchés est semblable à celui d'un grain de maïs. Les principaux objectifs du tranchage sont :

- Augmenter l'extrait sec ;
- Favoriser l'évacuation du sérum.

III.1.9. Brassage-dé lactosage

Le premier brassage dure environ 15-20 minutes selon la qualité du lait, il consiste à agiter les grains de caillé obtenus après découpage et à accentuer leur assèchement. On procède alors à la première évacuation du sérum I qui surnage dans la cuve. La quantité soutirée représente la moitié du volume total du lait mis en œuvre, ce premier sérum doit avoir une acidité comprise entre 10 et 12°D, le pH du mélange caillé-sérum est entre 6.4-6.5. On procédera par la suite au dé lactosage avec de l'eau chaude (40°C). Le dé lactosage a pour but :

- Limiter la déminéralisation ;
- Stopper l'acidification par élimination du lactose restant à la surface ou dans les grains ;
- Obtenir un caillé souple.

Le deuxième brassage est effectué après le lavage (le volume d'eau de lavage est égal au volume du lactosérum I évacué). Dans ce cas, le sérum II évacué doit être clair avec une acidité comprise entre 4 et 6 °D puis sera envoyé sur le « bactebel ».

Le brassage dure 20-30 minutes. La température du mélange caillé-sérum est de 30-38°C. L'élévation de la température permet un égouttage plus important du grain de caillé, diminue la viscosité du lactosérum et renforce les liaisons hydrophobes à l'intérieur du grain qui se contracte et expulse la phase aqueuse à l'extérieur du grain.

III.1.10. Pré-pressage-Moulage

Le caillé où subsiste encore une petite quantité de sérum, est évacué vers le bac de pré-pressage « bactebel ». Dès que la distribution est terminée, on procède ensuite au pressage du gâteau en plaçant des plaques en métal très lourdes percées de trous pour bien agglomérer et souder les grains entre eux ; une pression d'environ 2 bars est appliquée sur les plaques de

pré-pressage. Au bout de 15 à 20 minutes, les plaques sont enlevées, le gâteau ainsi obtenu est coupé de façon uniforme à l'aide des couteaux placés verticalement en pains de dimensions appropriées. Les pains sont ensuite retirés et placés dans des moules contenant des toiles en tissu.

III.1.11.Pressage

Les fromages ainsi moulés sont placés sous presse durant 6 heures minimum. La pression exercée est de l'ordre de 4.6 à 6 bars. Des retournements au cours de l'égouttage sont nécessaires pour drainer le lactosérum et régulariser la forme des fromages. Le premier retournement s'effectue après 30 minutes. Le pressage consiste à augmenter l'extrait sec et à acidifier le fromage. En effet, une fabrication d'Edam est considérée comme réussie, si le sérum évacué par le pressage est limpide et son acidité est de l'ordre de 25-30°D avec un pH compris entre 5.4-5.5.

III.1.12.Démoulage-Salage

Après démoulage, le fromage subit un salage par immersion pendant 16 heures. La saumure doit avoir une concentration de 22.3 % en chlorure de sodium, un pH entre 6.5-7.1 et une température de 9°C, cette dernière ne doit pas dépasser 20°C.

Le but du salage :

- Compléter l'égouttage et contribue à la formation de la croûte ;
- Il règle l'activité de l'eau (A_w) du fromage, freine le développement des micro-organismes et les activités enzymatiques au cours de l'affinage.
- Donner la saveur caractéristique du fromage.

III.1.13.Affinage

L'affinage est réalisé dans des hâloirs sur des planches en bois à température de 10 à 12°C, avec une humidité relative de 85-95%. Les fromages subissent un affinage de 21 jours au minimum pouvant aller jusqu'à un mois. En fin de l'affinage, les fromages sont grattés avec des brosses imbibées d'eau.

III.1.14.Conditionnement

Les boules de l'Edam sont grattées avec des brosses imbibées d'eau puis sont enrobées dans de la paraffine rouge fondue portée à 110-115°C. Les fromages sont emballés sous vide dans du papier cellophane avec étiquetage et sont conservés à 6°C, en attendant leur commercialisation.

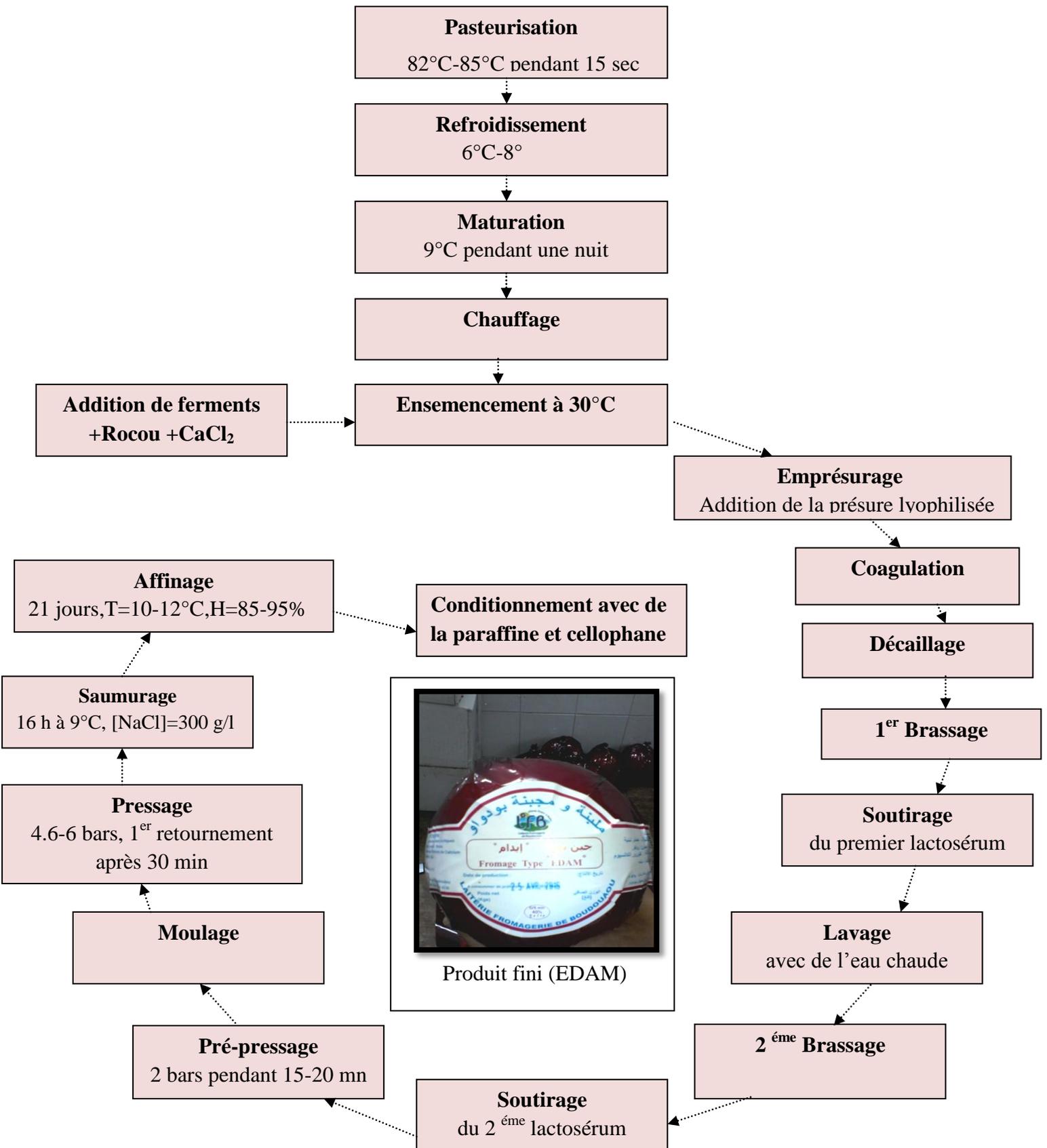


Figure 3 : Diagramme de fabrication du fromage à pâte pressée non cuite type « Edam » au niveau de la L.F.B (2016).

IV. Essai de fabrication de fromage type "Edam" au niveau de laboratoire de l'unité L.F.B

IV.1.Procédé de fabrication

Réception du lait cru

Le prélèvement est fait à l'aide d'une sonde métallique stérilisé par flambage, au niveau de l'usine L.F.B, à condition que l'acidité du mélange de lait collecté soit entre 16 et 18°D et le pH soit compris entre 6.40-6.75.



Figure 4 : Photo de la réception du lait cru

Pasteurisation



Figure 5 : photo de la pasteurisation

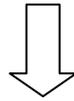
On met le lait dans une marmite et on le chauffe sur une flamme bleue à une température de 90°C pendant 20 secondes. Cette opération a pour but de détruire la flore microbienne et d'inhiber l'activité des germes thermorésistants

Refroidissement

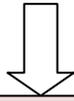
On refroidi le lait jusqu'à atteindre la température 38°C



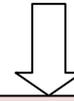
Figure 6 : Photo du refroidissement



Ajout des ingrédients chimiques comme auxiliaires
Technologiques tels que :



Ajout du chlorure de calcium (CaCl_2)
1.25 ml pour 10L qui favorise la
formation du gel



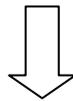
Ajout du colorant « **Rocou** »
qui donne la couleur à la pâte



Figure 7 : photo de l'ajout du CaCl_2



Figure 8 : photo de l'ajout du Rocou

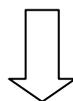


Ensemencement

On met les ferments lactiques 200 U de
Lactococcus lactis et 50 U de
Streptococcus thermophilus dans le but
d'enrichir le milieu de culture des bactéries
lactiques et d'amener le lait à son pH
optimum d'emprésurage et 50 U ferments
thermophiles)



Figure 9 : Photo de l'ensemencement



Emprésurage

On met la présure à raison de 0.25g pour 10L de lait à pH : 6.4-6.5, acidité titrable du lait 18°D et la température est de 38°C. Le temps de coagulation du lait est de 20-30 minutes.



Figure 10 : photo de l'emprésurage



Décaillage

Une fois le lait a pris la forme d'un coagulum bien ferme, le caillé est découpé en petits cubes à l'aide d'un couteau jusqu'à obtenir la taille d'un grain de maïs.



Figure 11 : photo du d'écaillage

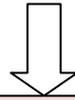


Brassage-Dé lactosage

A la fin du découpage, le caillé est laissé au repos avant d'entamer le premier brassage puis l'agitation des morceaux de caillé de façon continue pendant quelques minutes, l'évacuation du premier lactosérum est effectuée, son acidité est de 10-12°D. Cette opération vise à faciliter la séparation grain de caillé/ sérum. Dès que l'opération du dé lactosage est terminée, un deuxième brassage est réalisé a fin d'abaisser l'acidité du caillé. On ajoute de l'eau chaude (40°C) dont le volume utilisé représente 1/2 du lactosérum soutiré. Après, on procède à l'évacuation du sérum II qui doit avoir une acidité entre 4-6°C



Figure 12 : photo du brassage-dé lactosage



Pré-pressage-Moulage-Pressage

Le caillé est mis dans des moules avec des trous et des toiles, on presse afin d'adhérer les grains entre eux. Le caillé va prendre la forme caractéristique du fromage. Le pressage s'effectue sur à l'aide d'une presse hydraulique qui exerce sur les moules une pression de 4.6-6 bars environ dans le but d'éliminer le sérum intragranulaire.



Figure 13 : photo du pré-pressage



Figure 14 : photo du moulage



Figure 15 : photo du pressage



Salage



Figure 16 : photo du salage

Le salage consiste à enrichir la pâte en sel, diminution de l'activité de l'eau, complète l'évacuation du lactosérum et facilite la formation de la croûte du fromage. On immerge le fromage dans une solution saline environ 33% pendant 4 heures.



Affinage

L'affinage consiste à la maturation du fromage par voie biologique sous l'action des enzymes. Il se fait dans des chambres froides à une température de 8-10°C et à une humidité de 95%. La durée d'affinage est de 21 jours.



Figure 17: photo de l'affinage



Paraffinage

Les boules de l'Edam sont grattées avec des brosses imbibées d'eau froide, puis sont enrobées dans de la paraffine rouge fondue portée à 110-115°C. Les fromages sont emballés sous vide dans du papier cellophane avec étiquetage et sont conservés à 6°C, en attendant leur commercialisation.



Figure 18 : photo du paraffinage



Conditionnement du produit fini



Figure 19: photo du conditionnement

V. Les analyses physicochimiques

Des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur le lait cru (mélanges de différents laits), du lait après pasteurisation, du lactosérum I et II, des analyses sur l'eau de process, sur le fromage après pressage, après saumurage, après 12 jours d'affinage et enfin sur le produit fini (21 jours d'affinage).

Ces analyses sont adoptées aux normes **AFNOR 1986** et portent sur la détermination du

- pH ;
- L'acidité titrable ;
- La teneur en matière grasse (MG) ;

- La teneur en extrait sec total (EST)
- La teneur en extrait sec dégraissé (ESD)
- La densité ;
- L'antibiotique
- Le titre alcalimétrique (TA);
- Le titre alcalimétrique complet (TAC) ;
- Dureté hydrométrique ;
- Dosage des chlorures ;
- Taux de NaCl.

V.1. Analyses du lait cru et le fromage

- **Détermination de l'acidité titrable**

L'acidité titrable est le résultat obtenu par l'application de la méthode décrite en dessous. Elle est exprimée conventionnellement en gramme d'acide lactique par litre de lait ou en degré dornic (D°).

Principe

L'acidité est obtenue par le dosage titrimétrique de l'acide lactique à l'aide de l'hydroxyde de sodium (NaOH à 0.11%) et en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré.



Mode opératoire

Dans un bécher, introduire 10 ml de produit à analyser, 2 à 3 gouttes de l'indicateur coloré : phénolphtaléine, titrer par la solution d'hydroxyde de sodium à N/9, jusqu'à l'apparition d'un virage rose pâle perceptible (**figure 20**).



Figure 20: photo de détermination de l'acidité titrable du lait

Expression des résultats

L'acidité A est exprimée en degré Dornic (°D), sachant que : 1°D=0.1 g d'acide lactique ; elle se fait par la lecture directe du volume de NaOH (X) utilisé lors du titrage.

$$A = X * 10^{\circ} D$$

- **Mesure du pH**

Principe

Le pH est déterminé par immersion de l'électrode du PH mètre dans l'échantillon

Mode opératoire

- Etalonnage de pH mètre avec une solution tampon ;
- Verser dans un bécher une quantité d'échantillon à analyser (lait, lactosérum I et II, eau) ;
- Introduire l'électrode dans le bécher.

Remarque : Pour le fromage Edam, il suffit d'introduire l'électrode dans la boule **figure 21**

Expression des résultats

La valeur du PH est lue directement sur l'écran du pH-mètre.



Figure 21 : photos de détermination du pH de lait et du fromage

- **Détermination de la densité**

Principe

La densité est déterminée à l'aide d'un thermo lactodensimètre. Elle est définie comme étant le rapport entre la masse d'un volume déterminé du lait et la masse d'un même volume d'eau. Ce rapport doit se faire à température et à pression constante.

Mode opératoire

Verser le lait dans une éprouvette de 250 ml jusqu'aux rebords, en évitant la formation de la mousse, puis introduire le thermo lactodensimètre, après l'équilibre de celle-ci lire la densité et la température **figure 22**

Expression des résultats

La densité est exprimée par la formule suivante

$$D = D_0 \pm [(20 - T) \cdot 0.2]$$

$$\text{Si } T > 20^\circ\text{C} \longrightarrow D = D_0 + 0.2 (T - 20)$$

$$\text{Si } T < 20^\circ\text{C} \longrightarrow D = D_0 - 0.2 (T - 20)$$

Avec : D_0 : Densité lue sur le lactodensimètre.

T : Température lue sur le lactodensimètre.



Figure 22 : photo de détermination de la densité du lait

- **Détermination de la teneur en matière grasse**

Principe

La teneur en matière grasse est déterminée par la méthode acidobutyrométrique (dite de **Gerber** en cas de lait et de lactosérum et de **Van-Gulik** en cas du fromage). Elle est basée

sur la dissolution des composantes du lait et du lactosérum et les protéines de fromage par l'acide sulfurique sous l'influence de la force centrifuge et grâce à l'adjonction d'un ml d'alcool iso-amylque, la matière grasse se sépare sous forme d'une couche claire transparente.

Mode opératoire

➤ Cas du lait

Dans un butyromètre de Gerber, introduire 10ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) de densité ($d=1.820$). On verse 11 ml du lactosérum ou du lait, puis on ajoute 1 ml d'alcool iso-amylque de densité ($d=0.813$).

Le butyromètre est maintenu dans une position verticale et secoué horizontalement afin d'éviter une attaque trop brutale du lait par l'acide. Placer le butyromètre dans la centrifugeuse à une vitesse de 1100 tr/min pendant 5 min **figure 23**.



Figure 23 : photos de détermination de la matière grasse du lait et du lactosérum

➤ Cas du fromage Edam

- Poser dans un godet de butyromètre environ 3 g de fromage ;
- Ajouter de l'acide sulfurique de densité ($d=1.520$) jusqu'à l'émergence totale du fromage Edam ;
- Mettre le butyromètre dans le bain-marie à $70^{\circ}C$ en gitant toutes les 5 à 10 minutes jusqu'à la dissolution totale du fromage ;
- Ajouter l'acide sulfurique jusqu'à atteindre 35% de l'échelle après l'addition de 1 ml d'alcool iso-amylque.
- On ferme bien le bouchon et on place le butyromètre dans la centrifugeuse pendant 5 minutes **figure 24**.

Expression des résultats

La valeur de la teneur en matière grasse est lue directement sur l'échelle de butyromètre.



Figure 24: photos de détermination de la matière grasse du fromage.

- **Détermination de l'extrait sec total**

Principe

Cette méthode consiste à faire évaporer l'eau d'une prise d'essai, afin de déterminer la quantité de la matière sèche restante après la dessiccation totale.

Mode opératoire

- Mettre 25 ml du lait (ou sérum) dans le dessiccateur à 85°C ;
- Mettre 1.2g à 1.5g du fromage Edam dans le dessiccateur à 95°C **figure 25**

Expression des résultats

La valeur de l'EST est lue directement sur le dessiccateur, ou nous pouvons la calculer à partir de cette relation

$$\text{EST} = (d - 1000) \times 2.666 + (1.2 \times \text{MG}) + 2$$

EST : l'extrait sec total

d : la densité

MG : matière grasse



Figure 25 : photos de détermination de l'extrait sec total dans le lait et le fromage

- **Détermination de l'extrait sec dégraissé (ESD)**

Il est déterminé selon la relation suivante

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

ESD : extrait sec dégraissé ;

EST : extrait sec total ;

MG : matière grasse.

- **Détermination du gras/ sec**

Le but de ce calcul est de vérifier la conformité de la teneur en matière grasse dans la matière sèche aux dispositions réglementaire.

La teneur en MG est exprimée en gramme pour 100 g de matière sèche et donnée par la formule suivante :

$$\text{G/S} = (\text{MG} / \text{EST}) \cdot 100$$

- **Détermination du taux de NaCl**

Principe

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

Mode opératoire

Dans un bécher introduire :

- 2 g de fromage broyé et débarrassé de sa croûte ;
- 25 ml d'AgNO₃ (0.1N) ;
- 25 ml de HNO₃ ;
- Chauffer le contenu jusqu'à la coloration jaune citron ;
- Ajouter 15 ml de KMNO₄ 75% jusqu'à l'obtention d'un liquide clair ;
- Ajouter 5 ml d'alun de fer à 38 % et 100 ml d'eau distillée ;
- Titrer avec le thiocyanate d'ammonium jusqu'à l'apparition de couleur rouge brique.

Expression des résultats

La teneur en chlorure est exprimée selon la formule suivante

$$\text{NaCl} = [(25 - V) \cdot 0.585] / P$$

25 : volume en ml d'AGNO₃

V : volume en ml de thiocyanate d'ammonium (0.1 N)

P : prise d'essai (g)

0.585 : obtenu à partir de la masse moléculaire de NaCl multiplié par la normalité du nitrate d'argent et celle de thiocyanate d'ammonium.

V.2. Analyses d'eau de process

L'unité L.F.B est alimentée par l'eau de son propre fourrage.

L'eau s'écoule dans des conduites et alimente une bêche à eau qui sert comme réservoir de stockage.

L'eau utilisée dans le processus de fabrication doit satisfaire certains critères physicochimiques et microbiologiques. Pour cela, l'eau subit respectivement une désinfection, une filtration et en fin un adoucissement.

❖ La désinfection chimique

La désinfection est un traitement permettant l'élimination des microorganismes. Pour la destruction de ces microorganismes, la LFB utilise la chloration comme moyen de lutte contre ces germes.

❖ La filtration

La filtration est une technique de séparation, elle sépare particulièrement la phase liquide de la phase solide à travers un filtre poreux.

La LFB utilise un filtre à sable de forme cylindrique d'une hauteur de 2m environ. L'eau s'écoule de haut en bas sous pression, passe par un filtre à sable. Une fois l'eau est filtrée, elle est véhiculée vers l'adoucisseur.

❖ L'adoucissement

C'est un procédé de traitement destiné à éliminer la dureté de l'eau (due à la présence des sels alcalino-terreux : carbonates, sulfates et chlorure de calcium et de magnésium). L'adoucissement est effectué par passage de l'eau à travers un échangeur d'ions (permutation des ions calcium avec les ions sodium), régénéré par le chlorure de sodium. L'eau adoucie est destinée pour la chaudière à production de la vapeur.

• Mesure du pH

On a suivi la même méthode que celle utilisé pour le lait **figure 26**.



Figure 26 : photo de détermination du pH de l'eau

• Détermination des titres alcalimétriques TA et TAC

Principe

Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalins libre et en carbonates alcalins caustiques.

Le titre alcalimétrique complet (TAC), correspond à la teneur de l'eau en alcalin libre, carbonates et bicarbonates.

➤ Titre alcalimétrique simple (TA)

Mode opératoire

100 ml d'eau à analyser sont introduits dans un bécher et 3 à 4 gouttes de phénolphtaléine à 1% sont ajoutées.

En absence de la coloration rose, l'alcalinité et le titre TA sont égaux à 0°F : l'eau est naturelle.

En présence de la coloration rose ($TA > 0^\circ F$), l'eau est alcaline, il faut titrer avec l'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.1 N jusqu'à la décoloration complète de la solution **figure 27**.

Expression des résultats

TA est exprimé en degré français (°F) et donné par la formule suivante

$$TA = V_{1.5} \text{ mé}$$

V_1 : volume de solution H_2SO_4 titré en ml.

mé : milliéquivalent.



Figure 27 : Photo de la détermination du titre alcalimétrique simple (TA)

➤ Titre alcalimétrique complet TAC

100 ml d'eau à analyser sont introduits dans un bécher, aux quels on ajoute 2 gouttes de méthylorange, on a titré avec de l'acide sulfurique (H_2SO_4), jusqu'au virage au jaune-orangé **figure 28**.



Figure 28 : photos de détermination du titre alcalimétrique complet TAC

Expression des résultats

TAC est exprimé en degré français et donné par la formule suivante

$$\text{TAC} = (V_2 - 0.1) \times 5 \text{ mé}$$

V_2 : Volume de H_2SO_4 titré en ml.

- **Détermination de la dureté hydrométrique (TH)**

La dureté de l'eau est proportionnelle au nombre total d'atome de calcium et de magnésium qu'elle renferme.

Principe

Le sel dissodique de l'EDTA est un agent chélateur. Il se combine en solution aqueuse avec les ions Ca^{++} pour former des composés solubles très dissociés en milieu tamponné à $\text{PH}=10$. L'indicateur coloré Noir Eriochrome T (NET) donne une coloration rouge en se combinant avec les ions Mg^{++} . La fin de la réaction du titrage est indiquée par le virage au bleu.

Mode opératoire

50 ml d'eau à analyser sont introduits dans un bécher, 2 ml de la solution tampon et 2 à 4 gouttes de Noir Eriochrome T (NET) sont ajoutées.

Titrer avec EDTA à 0.01 N jusqu'au virage au bleu **figure 29**.

Expression des résultats

TH est exprimé en degré français et donné par la formule suivante

$$\text{TH} = \frac{4n}{10} \quad [\text{mé}]$$

n: le volume de la solution EDTA 0.01 M titré

NB : 1mé = 5°Français



Figure 29 : photos de détermination de la dureté hydrométrique (TH)

- **Dosage des chlorures (méthode MOHR)**

50 ml d'eau à analyser sont introduites dans un bécher, 2.5 ml de $K_2Cr_2O_7$ (biochromate de potassium) sont ajoutées.

Titrer avec $AgNO_3$ jusqu'à avoir un précipité rouge brique de Chromate d'Argent (Ag_2CrO_4) **figure 30.**



Figure 30 : photos du dosage des chlorures (méthode MOHR)

Expression des résultats

La teneur en chlorure est exprimée en mg/l selon la formule suivante

$$Cl = Y \times 35.5 \quad [mg/l]$$

$$Y = (Chute \ de \ burette \times 2) - 1$$

V.3. Analyses du Lactosérum I et II

- **Mesure du pH**

C'est la même méthode utilisée dans le cas du lait.

- **Détermination de l'acidité titrable**

C'est la même méthode utilisée dans le cas du lait.

V.4. Analyse de la saumure

- **Mesure du pH**

Principe

Même procédé que le lait.

La mesure de pH de la saumure est basée sur la lecture directe de la valeur de pH-mètre.

Mode opératoire

L'opération consiste à introduire l'électrode dans la saumure.

VI. Analyse biochimique

VI.1. Recherche des résidus d'antibiotiques

La présence de résidus d'antibiotiques dans le lait, par suite de traitement de mammites par exemple, peut parfois constituer un danger pour le consommateur, mais aussi sur le plan industriel car ils peuvent perturber les processus de fermentation et maturation des produits laitiers de large consommation tels que : le yaourt, le fromage et autres laits. Il est donc important de les détecter.

Principe

Le DELVOTEST SP-NT se présente sous forme d'ampoules contenant un milieu gélosé ensemencé *Bacillus stearothermophilus* et enrichi en éléments nutritifs de croissance, ce microorganisme est sensible aux antibiotiques de la famille des β -lactamine.

Lors de la première étape d'incubation, les antibiotiques β -lactamines ou les tétracyclines présentés se lient au récepteur et pendant la seconde étape, le lait migre sur le support immuno-chromatographique qui comporte trois bandes de capture. La première bande retient tous les récepteurs qui sont liés à l'antibiotiques β -lactamines pendant la première étape, faisant apparaître une coloration rose intense qui se traduit à la présence de l'antibiotique β -lactamine. La deuxième bande est une bande de référence. La troisième bande retient tous les récepteurs qui sont liés aux antibiotiques tétracyclines pendant la première étape, faisant apparaître une coloration rose intense qui se traduit à la présence des antibiotiques.

Mode opératoire

- Sortir un flacon du coffret, enlever sa capsule et s'assurer que toute la lyophilisation se trouve au fond du flacon;
- Prélever 0.2 ml de lait à tester ;

- Distribuer les 0.2 ml de lait dans le flacon de récepteur ;
- Reboucher le flacon et agiter doucement en tournant le flacon afin de dissoudre toute la lyophilisation ;
- Mettre le flacon dans un des puits de l'incubateur stabilisé à la température de 47.5°C ;
- Au bout de 3 min, introduire la bandelette dans le flacon. Laisser en incubation à 47.5°C ;
- 2 minutes après l'incubation de la bandelette dans le flacon, la retirer et lire immédiatement **figure 31**.

Lecture

- Aucune bande rose intense n'apparaît, le test est non valide.
- La première bande a une intensité supérieure à celle de la bande de référence, l'échantillon est classé négatif.
- La première bande a une intensité équivalente ou inférieure à celle de la bande de référence, l'échantillon contient des antibiotiques à une faible concentration, il est classé positif.
- La première bande est absente, l'échantillon contient des antibiotiques à une forte concentration, il est classé positif.



Figure 31: photo de détermination de résidus d'antibiotique dans le lait cru.

VII. Les analyses microbiologiques

L'appréciation de la qualité microbiologique du lait et des produits laitiers constitue un outil essentiel pour l'évaluation de l'application des règles de bonnes pratiques, au respect de règles d'hygiène générale aussi bien à la ferme qu'à l'usine. Cela afin d'établir la conformité aux normes (**Lamontagne et al., 2002**).

VII.1. Recherche et dénombrement des germes dans le lait, l'eau et le fromage

La technique de recherche des germes est la même pour tout les produits sauf pour l'eau, la recherche des coliformes présente des points de différence.

- Préparation des dilutions

a) Cas des produits liquides

1ml de la solution mère (échantillon à analyser), est prélevé et introduit dans un tube contenant 9 ml d'eau physiologique stérile. Ceci nous donne la dilution 10^{-1} , à partir de cette dernière et après agitation, 1 ml est prélevé et introduit dans un autre tube contenant 9 ml d'eau physiologique pour l'obtention de la dilution 10^{-2} (**figure 32**).

b) Cas des produits solides (fromage Edam)

A l'aide d'une sonde métallique et couteau à lame pointue, préalablement stérilisé, on prélève en profondeur de la boule choisie au hasard 10 à 15 g de fromage Edam qu'on introduit dans un flacon stérile avec un volume d'eau physiologique selon la masse de fromage, par exemple on met 13 g de fromage avec 117 ml d'eau physiologique. Le tout est déposé sur l'agitateur pour permettre son homogénéisation. Après une bonne agitation on obtient la solution mère de dilution 1/10 (10^{-1}) à partir de laquelle on prépare les autres dilutions **figure 33**.

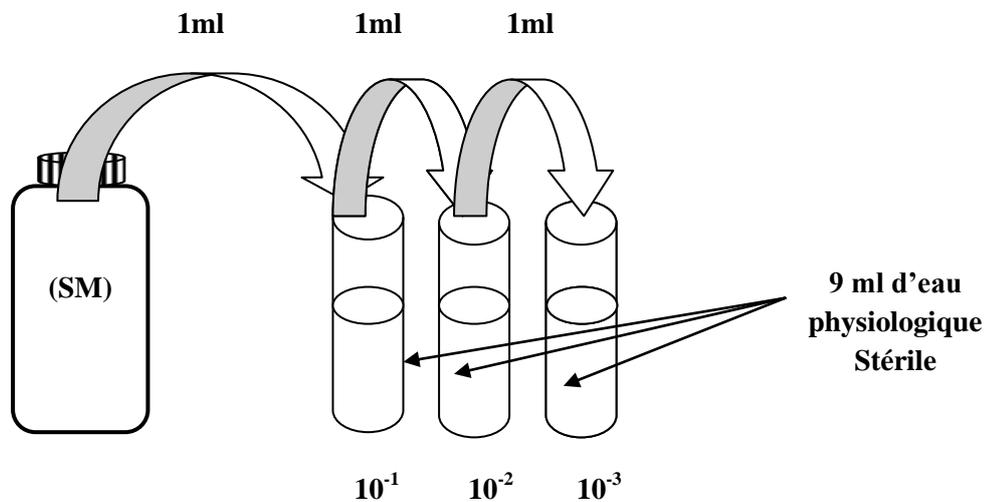


Figure 32: Suspension mère et dilutions décimales (Cas de produits liquides)

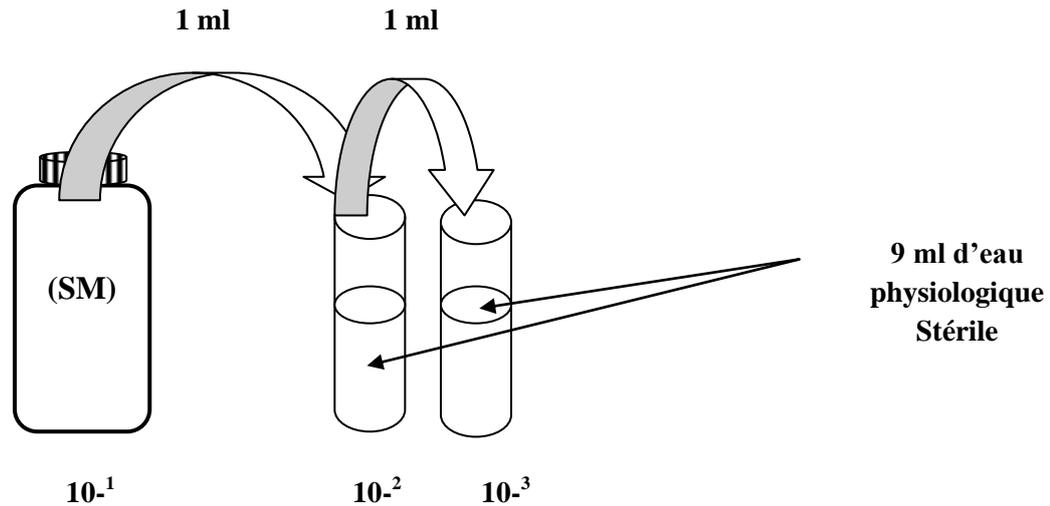


Figure 33 : Suspension mère et dilutions décimales (Cas de produits solides)

VII.2. Recherche et dénombrement des différents germes

La série des analyses bactériologiques effectuée comprend la recherche, le dénombrement des différents germes. Pour cela, il existe des milieux de culture spécifiques permettant leur recherche et leur isolement.

Nous avons effectué successivement la recherche et le dénombrement des différentes flores suivantes :

VII.2.1. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT)

Les germes aérobies mésophiles totaux sont des microorganismes qui prolifèrent à l'air libre avec une croissance optimale située entre 25 et 45°C. Cette flore est un indicateur de la qualité générale du produit à analyser. Elle est dénombrée sur milieu PCA (Plate Count Agar).

Technique

Ensemencement

La méthode de référence préconise l'ensemencement en masse.

- A partir de la solution mère et les dilutions décimales allant de 10^{-1} à 10^{-3} porter aseptiquement 1ml dans des boîtes de pétri vide préparée à cet usage et les numéroter ;
- Couler ensuite la gélose PCA liquéfiée en masse, puis faire des mouvements circulaires en forme de 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose utilisée ;

- Après solidification de la gélose, les boîtes de Pétri sont incubées à 30°C pendant durée de 72 heures ;
- Faire la lecture chaque 24 heures.

Lecture

Les colonies de la FMAT se présentent sous forme lenticulaire et de taille différente.

VII.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

➤ **Dans le lait et le fromage Edam**

Ce sont des entérobactéries, non sporulés, aérobies, ou anaérobies facultatifs, caractérisées par leur capacité de fermenter le lactose avec production de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37°C. Leur recherche est effectuée sur des milieux riches en lactose avec les sels biliaires comme agent sélectif.

Ces bactéries sont sensibles à la chaleur, elles sont un bon témoin de l'efficacité des traitements thermiques et/ou d'une recontamination, De plus elles sont en elles-mêmes un facteur d'une mauvaise conservation ou d'accidents de fabrication (**Guiraud, 1998**). Ils sont dénombrés sur le milieu désoxycholate.

Technique

Ensemencement

La méthode de référence préconise l'ensemencement en masse.

- A partir de la solution mère et les dilutions décimales, porter aseptiquement 1ml dans des boîtes de pétri vide préparée à cet usage et les numéroter ;
- Couler ensuite la gélose désoxycholate liquéfiée, puis faire des mouvements circulaires en forme de 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose utilisée ;
- Après solidification de la gélose, les boîtes de Pétri sont incubées pendant une 24 heures à 48 heure à 37°C pour les coliformes totaux et à 44 °C pour les coliformes fécaux.
- Faire la lecture chaque 24 heures.

Lecture

Les colonies apparaissent en masse sous forme de petites colonies de couleur rouge cerise de 0.5mm de diamètre.

➤ **Dans l'eau**

• **Test présomptif**

50 ml d'eau sontensemencé dans un flacon contenant 50 ml de bouillon BCPL D/C.

Dans un deuxième temps 5 tubes de milieu BCPL D/C sont inoculés avec 10 ml d'eau et cinq autres tubes de milieu BCPL S/C sont inoculés avec 1 ml d'eau. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

Lecture

Les tubes présentant un virage (fermentation du lactose) avec dégagement de gaz ($\geq 1/10$ de la hauteur de la cloche) sont considérés comme positifs. Le nombre des coliformes totaux par 100 ml est calculé par la méthode nombre probable de prélèvement (NPP).

• **Test confirmatif**

Ce test consiste à repérer et à numéroter les tubes positifs sur milieu BCPL qui feront l'objet d'un repiquage (2 à 3 gouttes) sur milieu Schubert. L'incubation se fait à 44°C pendant 24 heures.

Lecture

Ne seront considérés positifs que les tubes qui présentent à la fois ; un dégagement de gaz ($\geq 1/10$ de la hauteur de la cloche) et formation d'un anneau rouge cerise à la surface après adjonction de quelques gouttes du réactif de Kovacs. Le nombre des coliformes fécaux par 100 ml est calculé par la méthode du nombre le plus probable (NPP) (**voir annexe 3**).

Ex : Le nombre caractéristique 132 correspond sur cette table à 14 coliformes/100ml.

Le nombre caractéristique 111 correspond sur cette table à 5 coliformes/100ml.

NB : Le nombre des coliformes fécaux est toujours inférieur au nombre des coliformes totaux.

VII.2.3. Recherche et dénombrement des *Staphylococcus aureus*

Le genre Staphylocoque appartient à la famille des Micrococaceae. Ce sont des bactéries à Gram positif, sous forme de coque en amas (grappes de raisin), catalase(+) (**Federighi et al., 1998**). Ces bactéries sont aptes à élaborer des entérotoxines très actives provoquant ainsi des toxi-infections alimentaires (**Petransxiene et Lapied, 1981**). Notons que l'absence de ces germes dans de nombreux produits laitiers est souvent prescrite dans les tableaux de normes.

Principe

Selon la disponibilité des milieux de culture, trois techniques différentes sont recommandées pour la recherche de *Staphylococcus aureus* à savoir :

*Méthodes d'enrichissement sur milieu Giolitti Cantonii ;

*Méthodes Baird Parker ;

*Méthode sur gélose Chapman.

Technique

Ensemencement

- Porter aseptiquement à l'aide d'une pipette stérile 0.1ml de la solution mère dans des boîtes de pétri contenant le milieu Baird Parker (BP) préparée à cet usage et additionnées d'un jaune d'œuf et du tellurite de potassium.
- Etaler à l'aide d'un râtelier.
- Les boîtes sont incubées à 37°C pendant 48 heures.

Lecture

Les colonies suspectes de *Staphylococcus* pathogènes apparaissent sur le milieu de couleur noire, brillante, entourées d'une bordure blanche mince entourées d'un halo clair. Pour confirmer la présence de *Staphylococcus aureus* quelques tests biochimiques caractéristiques de l'espèce sont effectués. Les résultats sont exprimés en nombre de germe par « ml » ou « g » de produit.

VII.2.4. Recherche et dénombrement des levures et moisissures

Étant donné leur grande capacité d'adaptation à de nombreux substrats, les levures sont très largement répandues dans l'environnement et se retrouvent de façon normale dans le lait. Ce sont des champignons chez lesquels la forme unicellulaire est prédominante. La forme la plus fréquente est ovale ou sphérique.

Tout comme les levures, les moisissures peuvent être véhiculées par l'environnement et se retrouver dans le lait et dans le fromage. Ce sont des micro-organismes filamenteux qui sont disséminés par l'émission de spores. Les levures et les moisissures sont susceptibles d'altérer la qualité marchande du produit d'où l'importance de leur recherche (**Leclerc et Mossel, 1988**).

Principe

Il repose sur l'emploi d'un milieu de culture solide rendu sélectif par acidification et/ou avec l'addition d'un antibiotique (Oxytétracycline pour l'OGA) et (chloramphénicol pour Sabouraud) qui inhibe le développement de la flore bactérienne.

Mode opératoire

A partir de la dilution décimale 10^{-1} , porter aseptiquement 0.1 ml dans une boîte de pétri contenant de la gélose Sabouraud au chloramphénicol. Etaler les gouttes à l'aide d'un râteau stérile, puis incuber à 25°C pendant 5 jours. Dans le souci de ne pas se trouver face à des boîtes envahies soit par les levures soit par les moisissures, on doit effectuer des dénombrements tout les jours.

Lecture

Les colonies des levures ressemblent à celle des bactéries, elles sont brillantes rondes et bombées, de couleurs différentes alors que celles des moisissures ont un aspect velouté et sont plus grande de couleur blanche ou pigmentées. Par ailleurs, étant donné qu'on a travaillé avec la dilution 10^{-1} , il faut multiplier le nombre de colonies trouvées par l'inverse de la dilution correspondante. Les résultats sont exprimés en nombre de germes par « ml » ou « g » de produit.

VII.2.5. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteur (CSR)

Il s'agit de bactérie « tellurique » communément rencontrées dans le sol, les eaux des égouts et l'intestin. Elles peuvent contaminer et dégrader les produits alimentaires dans des conditions d'anaérobie (conserves). Ce sont des bactéries appartenant à la famille des Bacillaceae de forme bacillaire à Gram $^{+}$, sporulées, anaérobies strictes, mobiles par ciliature péritriche ou immobile. Ce sont des bactéries catalase $^{-}$, réduisant le nitrate en nitrite, fermentant le lactose avec production de gaz.

Principe

Le milieu utilisé est la gélose viande-foie (VF), additionnée de sulfite de sodium à 5% et d'alun de fer à 5%, l'action des germes sulfito-réducteur (Clostridium) conduit à la réduction de sulfite de sodium en présence d'alun de fer en sulfure, donnant des colonies noires. Ces microorganismes étant anaérobies strictes. Pour créer l'anaérobiose nécessaire à leur croissance l'ensemencement doit se faire en gélose profonde.

Mode opératoire

Introduire 10ml de la suspension mère dans 2 tubes vides et stériles (5 ml dans chaque tube). Ces deux tubes sont portés au bain-marie à 80°C pendant 10 minutes, puis refroidis à l'eau du robinet pour éliminer les formes végétatives et de ne laisser que les spores. Faire couler aseptiquement la gélose viande-foie (VF) fondue et refroidie à 45°C, puis ajouter 1 ml de sulfite de sodium et quelques gouttes d'alun de fer et recouvrir avec l'huile de paraffine. Les tubes sont incubés à 37°C pendant 72°C.

Lecture

Les colonies de Clostridium sulfito-réducteur apparaissent de couleur noire, le résultat s'exprime par le nombre de spore par « ml » ou « g » de produit.

Remarque

Le dénombrement de ces différentes microflores se fait sur la boîte contenant des colonies dont le nombre est compris entre 30 et 300. Il est calculé par l'utilisation de la formule suivante

$$X=N.1/D.1/V$$

Avec :

X= nombre de germes par ml ou g de produit

N= nombre de colonies

V= volume de l'inoculum

D= facteur de dilution ou la dilution considérée

Résultats & Discussion

Notre travail a consisté en premier lieu à fabriquer à petite échelle un fromage à pâte pressée non cuite type "Edam" à partir de 5 litres, puis parallèlement nous avons suivi la technologie de fabrication de ce fromage à l'échelle industrielle, par la suite nous avons effectué des analyses physico-chimiques et microbiologiques du lait cru (mélange de différents laits), lait après pasteurisation, du lactosérum I et II, des analyses sur l'eau de process, sur le fromage après pressage, après saumurage, après 12 jours d'affinage et enfin sur le produit fini (21 jours d'affinage). Ces analyses ont été réalisés au niveau du laboratoire physico-chimie et microbiologie de la L.F.B.

I. Les analyses physico-chimiques

Selon Cheftel (1977), les matières premières doivent faire l'objet d'une surveillance attentive, qui permet de refuser celles qui ne seraient pas dans un état satisfaisant.

I.1. Le lait cru

Sur le plan physico-chimique, la composition du lait peut connaître des variations sensibles ou présenter certaines insuffisances qui se répercutent sur son comportement fromager, par exemple, son aptitude à la coagulation.

Le lait de différents éleveurs sera mélangé et stocké dans une seule cuve.

Les résultats des analyses physico-chimiques de lait cru de chaque collecteur sont représentés dans le tableau XIII

Tableau XIII : analyse physico-chimique de lait cru de chaque collecteur

Collecteurs	pH	Acidité	Densité (°D)	MG(g/l)	EST(g/l)	ESD(g/l)	T°C
Eleveur 1	6,57	17	1030	36	120,48	84,48	19
Eleveur 2	6,6	15	1030	31	111,82	82,82	19
Eleveur 3	6,58	15	1030	31	114,48	83,48	20
Eleveur 4	6,49	15	1030	28	109,81	81,81	20
Eleveur 5	6,60	15	1029	34	118,08	84,08	20
Eleveur 6	6,44	18	1031	34	123,41	89,41	20
Eleveur 7	6,56	17	1028	34	115,42	87,42	20
Eleveur 8	6,62	16	1028	30	110,62	80,62	20
Eleveur 9	6,65	16	1030	32	118,16	86,16	20
Moyenne	6.56	16	1029,5	32,22	115,80	81,1	19,77

Les résultats des analyses physicochimiques du mélange sont représentés dans le **tableau XIV**

Tableau XIV: Résultats des analyses physicochimiques du mélange du lait cru

Paramètres à analyser	pH	Densité	Acidité titrable (D°)	MG (g/l)	EST (g/l)	ESD (g/l)	Antibiotiques
Le lait cru de différents éleveurs	6.56	1029.5	16	32.22	115.80	83.58	Abs
Lait après pasteurisation	6.55	1027.2	17	31	116.21	84.21	-
Normes LFB lait cru	6.5-6.6	1030-1033	15-18	34	110-130	86-90	Abs
Normes AFNOR (1986) lait cru	6.5-6.6	1030-1033	16-18	34-40	120-130	86-90	Abs
Normes AFNOR (1986) lait après pasteurisation	6.4-6.6	1038-1042	19-21	36±1	146±1	Min 110	-

- **pH et acidité**

Le pH est un paramètre physicochimique très important dans l'industrie laitière, il détermine l'acceptation ou non du lait au niveau de l'unité. Un pH acide nous renseigne sur le non respect de la chaîne du froid à la ferme ou durant le transport du lait à l'usine.

L'acidité est le deuxième paramètre physicochimique important à contrôler après le pH, elle nous renseigne sur la fraîcheur du lait.

L'acidité naturelle du lait est attribuable à la présence de caséines, de substances minérales et de traces d'acides organiques (**Amiot et al., 2002**).

Les résultats obtenus montrent que le lait avant pasteurisation présente un pH et une acidité conformes aux normes **AFNOR (1986)** dont le pH se situe entre 6.5-6.6 et l'acidité entre 16-18 °D.

- **La matière grasse**

Selon les normes **AFNOR (1986)**, la teneur en matière grasse pour le lait cru est fixée entre 34 et 40 g/l. Les résultats obtenus révèlent des teneurs inférieures à la norme avec une valeur de 32.22 g/l). Cela pourrait être expliqué par :

- La nature de l'alimentation des vaches : selon la **FAO (1972)**, les vaches nourries avec des rations fortement énergétiques mais pauvres en foin, la teneur en matière grasse dans leur lait diminue.
- Le lait est plus riche en matière grasse quand le climat est froid (**Mahaut et al., 2003**)
- Stade de lactation : la teneur en matière grasse laitière diminue pendant les premières semaines qui suivent le vêlage (**Mathieu, 1998**).

- **La densité**

Pour une même espèce, la densité n'est pas constante. Elle dépend de la richesse du lait en éléments dissous et en suspension ainsi que de la teneur en matière grasse. D'après les résultats, on constate que la densité du lait utilisé pour la fabrication du fromage est égale à 1029.5, elle est légèrement inférieure aux normes **AFNOR 1986** (1030-1033). Cette valeur est proportionnelle à la teneur en matière sèche. La densité dépend de la teneur en matière sèche, en matière grasse, de l'augmentation de la température et des disponibilités alimentaires.

Selon **Amiot et al., (2002)**, un produit laitier contenant un pourcentage élevé en matière grasse, sa densité sera basse, inversement plus la teneur en solides non gras (SNG) est élevée, plus sa densité sera élevée.

- **L'extrait sec total**

Le mélange des laits crus utilisés à une teneur moyenne de 115.80 g/l, cette valeur est légèrement inférieure aux normes (120-130 g/l).

La teneur moyenne en matière sèche dans le lait dépend de l'alimentation de l'animal, la saison de la traite et l'état de santé de l'animal. Les variabilités sont liées au climat, au stade de lactation, à la disponibilité alimentaire, à l'apport hydrique et aux conditions de la traite.

- **Les antibiotiques**

En ce qui concerne les antibiotiques, les résultats de leur détection montrent l'absence des substances antibactériennes dans le lait cru. Ceci confirme la bonne santé des vaches des différentes fermes qui fournissent le lait à l'unité I.F.B.

Weber (1992) ; Bergere et Lenoir (1997) indiquent que la présence de résidus d'antibiotiques utilisés pour traiter les mammites est l'une des causes fréquentes de perturbations de la fermentation lactique. Cette présence se traduit par le ralentissement, voire l'absence de l'acidification qui provoque des défauts de coagulation, d'égouttage, d'aromatisation, d'affinage,.....et qui auront pour conséquence l'obtention d'une pâte restant trop humide ; les activités microbiennes et enzymatiques risquent alors d'être excessives et une protéolyse trop marquée pourra se traduire par une pâte coulante plus au moins affaissée et par l'apparition de goûts anormaux, notamment d'amertume. Un développement de flore indésirable est également à craindre. L'un des risques majeurs en cas de retard d'acidification est la prolifération anormale de bactéries coliformes qui peut intervenir très tôt, au cours même de l'égouttage, avec les défauts de textures et de saveurs.

La consommation de lait contenant des antibiotiques est un danger potentiel pour la santé, entraîne une diminution de l'immunité naturelle, ainsi l'apparition de bactéries mutantes résistantes engendrant des échecs thérapeutiques.

Les antibiotiques ne sont pas détruits par la pasteurisation. Pour cela **Weber (1992)** propose diverses solutions pour remédier aux défauts provoqués par ceux-ci : souches lactiques résistantes, l'inactivation de la pénicilline par la pénicillinase.

I.2.Lait après pasteurisation

- **pH et acidité**

Les résultats obtenus montrent que le traitement thermique n'a pas influencé sur le pH et l'acidité du lait subissant une pasteurisation.

- **La matière grasse**

Après pasteurisation la matière grasse est de 31 g/l, elle est inférieure aux normes dont la valeur est de 36 g/l. En l'a comparant au lait cru, on constate une légère diminution qui est directement liée au chauffage. D'après **Renner (1986)**, la pasteurisation peut influencer sur la membrane du globule gras, conduisant à la libération de la matière grasse la rendant accessible aux lipases.

- **La densité**

Après pasteurisation du lait, la densité diminue ce qui est dû à l'effet du chauffage sur les constituants thermolabiles du lait notamment les vitamines, les protéines du lactosérum et même certaines enzymes.

- **EST et ESD**

Les résultats de l'extrait sec total et de l'extrait sec dégraissé du lait cru sont 115.80 g/l et 83.58 g/l respectivement et ceux enregistrés par le lait après pasteurisation sont de 116.21 g/l et 84.21 g/l respectivement, ces résultats sont légèrement inférieurs aux normes établies par **AFNOR 1986** : 120-130 g/l (EST) , 86-90 g/l (ESD) et 146 ±1 (EST) et min 110 g/l (ESD) pour le lait après pasteurisation, ce qui peut être expliqué par la diminution du taux de matière grasse.

Il est à signaler que l'évolution de ces paramètres va dans le même sens que les résultats enregistrés par les études antérieures menées par **Dafal et Guiri (2010)**.

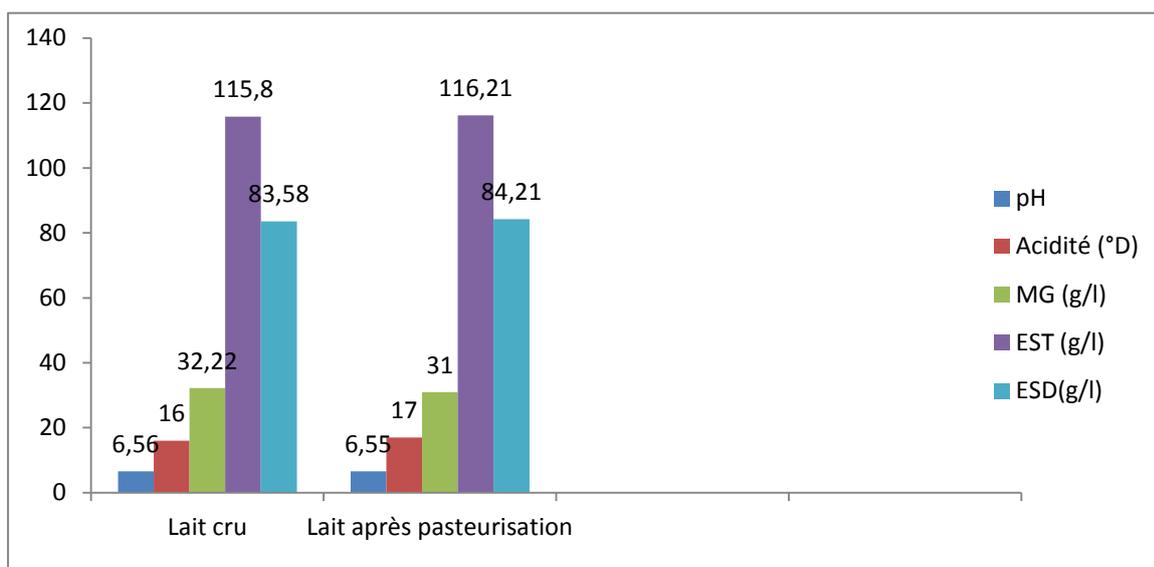


Figure 34: Evolution des paramètres physicochimiques du lait avant et après pasteurisation

D'après la **figure 34** qui résume l'évolution du pH, acidité, Densité, EST et ESD du lait avant et après pasteurisation, nous concluons que le traitement thermique (pasteurisation) subissant au lait n'a pas influencé sur ces paramètres.

I.3.Le lactosérum I et II

Les résultats du lactosérum I et II sont illustrés dans le **tableau XV et la figure 35**.

Tableau XV : Résultats des paramètres physicochimiques du lactosérum I et II

Paramètres à analyser	pH	Acidité	MG (g/l)
Lactosérum I	6.55	10	4
Normes LFB	6.5-6.6	10-12	2-8
Lactosérum II	6.48	6	2
Normes LFB	6.8-6.9	6-8	0-2

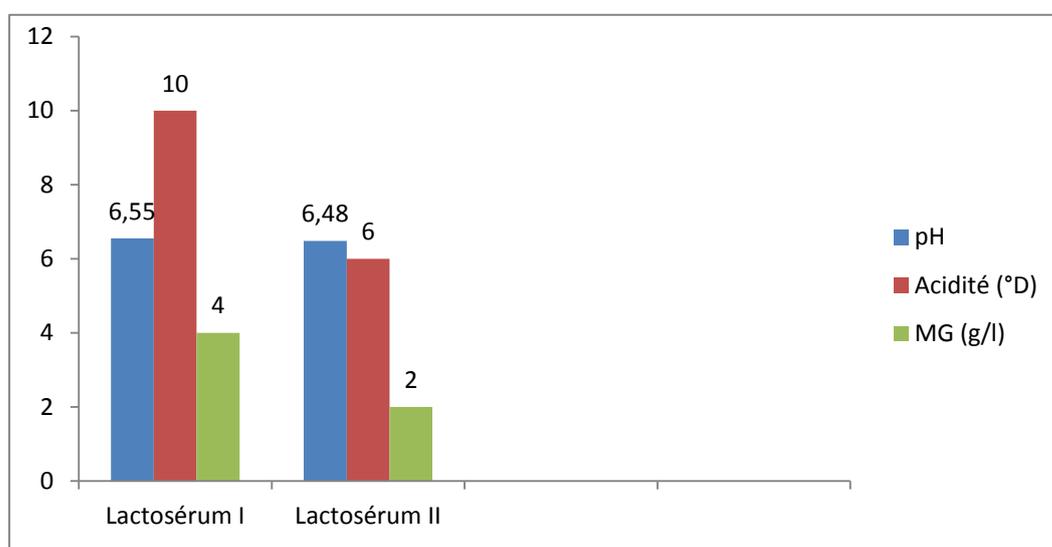


Figure 35 : Evolution des paramètres physicochimiques du lactosérum I et II

Ces résultats révèlent que le lactosérum I et II présentent une acidité et un taux de matière grasse conformes aux normes établies par la LFB. Mais nous avons noté un pH légèrement faible par rapport aux normes et cela peut être expliqué par le deuxième brassage.

I.4.L'eau de process

D'après **Cheftel et al., (1977)**, l'eau destinée à être mélangé avec des produits alimentaires doit présenter de bonnes caractéristiques physicochimiques et bactériologique. Il en est de même pour l'eau utilisée pour le lavage des appareils, récipients et ustensiles divers. Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de process sont représentés dans le **tableau XVI**

Tableau XVI : Résultats des analyses physicochimiques de l'eau de process

Paramètres à analyser	pH	TA (°F)	TAC (°F)	TH (°F)	Chlorure (mg/l)
L'eau de process	6.73	0	49.66	58.63	223.03
Normes AFNOR 1986	6.5-8.5	0	Max 50	Max 60	Max 200mg/l

Du point de vue physicochimique, une eau est dite dure lorsqu'elle est fortement chargée en ions calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}), et douce lorsqu'elle contient peu de ces ions.

Le tableau XVII t donne la qualification de l'eau selon le titre hydrométrique.

Tableau XVII : plage de valeurs du titre hydrométrique (TH) ou dureté de l'eau

Dureté en °F	Qualification de l'eau
0 à 5°F	Eau très douce
6 à 10°F	Eau douce
11 à 15 °F	Eau moyennement dure
16 à 22°F	Eau dure
23 à 40°F	Eau très dure
41 à 60°F	Eau impropre à la consommation

En comparant ces valeurs avec nos résultats, nous pouvons conclure que l'eau de L.F.B ne répond pas aux critères exigés, avec une dureté de l'eau de 58.63 (°F), il est à noter que cette eau provient du robinet dont son origine est l'eau de forage.

Cheftel et al., (1977), montre que la transformation des bicarbonates en carbonates a l'inconvénient de former des dépôts de tartre, souvent sous forme de plaques. Ces dépôts rendent les surfaces plus rugueuses ce qui facilite l'accrochage des souillures, ce qui crée des difficultés pour le nettoyage et favorise la prolifération des microorganismes.

Par ailleurs le taux de chlorures est de (223.03 mg/l) dépasse la norme (maximum 200 mg/l, ceci pourrait être dû aux méthodes de désinfection (chloration) appliquées au cours du traitement des eaux.

I.5. La saumure

Les analyses des résultats de la saumure sont représentées par le tableau XVIII

Tableau XVIII : Résultats des analyses physicochimiques de la saumure

Paramètres à analyser	pH	Acidité	Densité	NaCl (%)
La saumure	6.82	12	20.33	20.37
Normes AFNOR 1986	6.5-7	2-10	Min 21	Min 22.3

Min : minimum

- **pH , acidité et densité**

Les résultats obtenus montrent que le pH et densité de la saumure sont conformes aux normes établies par **AFNOR (1986)**.

Cependant, on note une légère augmentation de l'acidité, ce qui pourrait être expliqué par une utilisation quotidienne de la saumure qui s'enrichit progressivement en diverses substances provenant essentiellement du fromage (protéines solubles, lactose, acide lactique, particules de caséines....). Cette acidité peut constituer un bon indice de la charge en impuretés de la saumure (**Hardy, 2006**).

- **Taux de NaCl**

On constate une diminution de la teneur en NaCl (20.37%) qui doit avoir au moins une valeur de 22.3 % selon la norme **AFNOR (1986)**.

Cette diminution pourrait être expliqué par :

- La dilution de la saumure suite à une utilisation répétée ;
- Manque de contrôle et de réajustement en NaCl.

I.6. Le fromage au cours de la fabrication

Les résultats physicochimiques du fromage Edam au cours de sa fabrication sont représentés dans le tableau XIX

Tableau XIX: Résultats des analyses physicochimiques du fromage Edam au cours de sa fabrication

Paramètres	pH	MG (%)	EST(%)	G/S(%)	NaCl (%)
Etapes de fabrication					
Fromage en bactebel	6	27.6	48.16	57.30	-
Fromage pressé	5.53	26.66	49.23	54.15	-
Fromage saumuré	5.18	25.66	49.86	51.46	-
Fromage après 12 jours d'affinage	5.20	25	55.71	44.87	-
Fromage après 21 jours d'affinage	5.40	24	63.90	37.55	1.1
Normes AFNOR 1986					
Fromage en bactebel	-	-	-	-	-
Fromage pressé	5.4-5.5	20-22	50	-	-
Fromage saumuré	5.3-5.4	20-22	50	-	-
Fromage après 12 jours d'affinage	-	-	-	-	-
Fromage après 21 jours d'affinage	5.2-5.5	20-22	50	-	1.5-2

- **pH**

D'après **Mescle et Zucca (1988)**, le pH influe sur les réactions chimiques et biochimiques et par conséquent sur les microorganismes.

La figure 36 montre l'évolution du pH au cours de la fabrication du fromage.

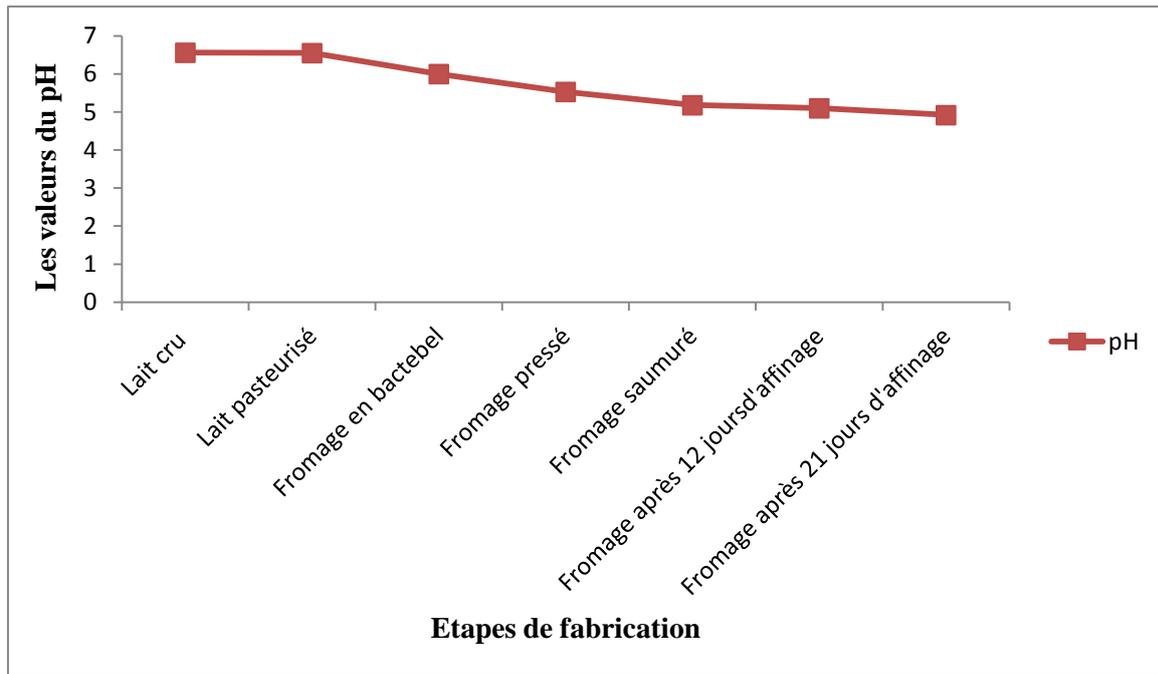


Figure 36 : Evolution du pH au cours de la fabrication du fromage

D'après la figure, nous remarquons une diminution du pH et selon **Weber (1992)**, cette diminution est due aux bactéries lactiques qui acidifient le lait puis le caillé, ce qui déminéralise celui-ci et facilite son égouttage.

Selon **Choisy et al., (1987)**, la coagulation du lait par action de la présure est favorisée par un abaissement du pH. Au cours de l'égouttage, une partie de l'agent coagulant est évacuée avec le lactosérum, l'autre partie reste prisonnière dans le caillé et participe à l'affinage de ce dernier. Plus le pH est bas, plus la quantité de présure retenue est importante.

L'allure de la courbe d'évolution du pH met bien en évidence l'augmentation du pH au cours de l'affinage, selon **Weber, (1992)**, le cinquième ou le sixième jour de l'affinage, la surface se couvre progressivement de moisissures consommant ainsi l'acide lactique qui permet ainsi la désacidification de la pâte.

Selon **Ramet, (2006)** dans le cas des fromages à pâte pressée non cuite, la désacidification est réalisée par le calcium résiduel resté dans la pâte à la suite d'une faible déminéralisation au cours de la coagulation et d'égouttage.

- **Matière grasse et extrait sec total**

Les figures 37 et 38 montrent l'évolution d'extrait sec total et de la matière grasse au cours de la fabrication

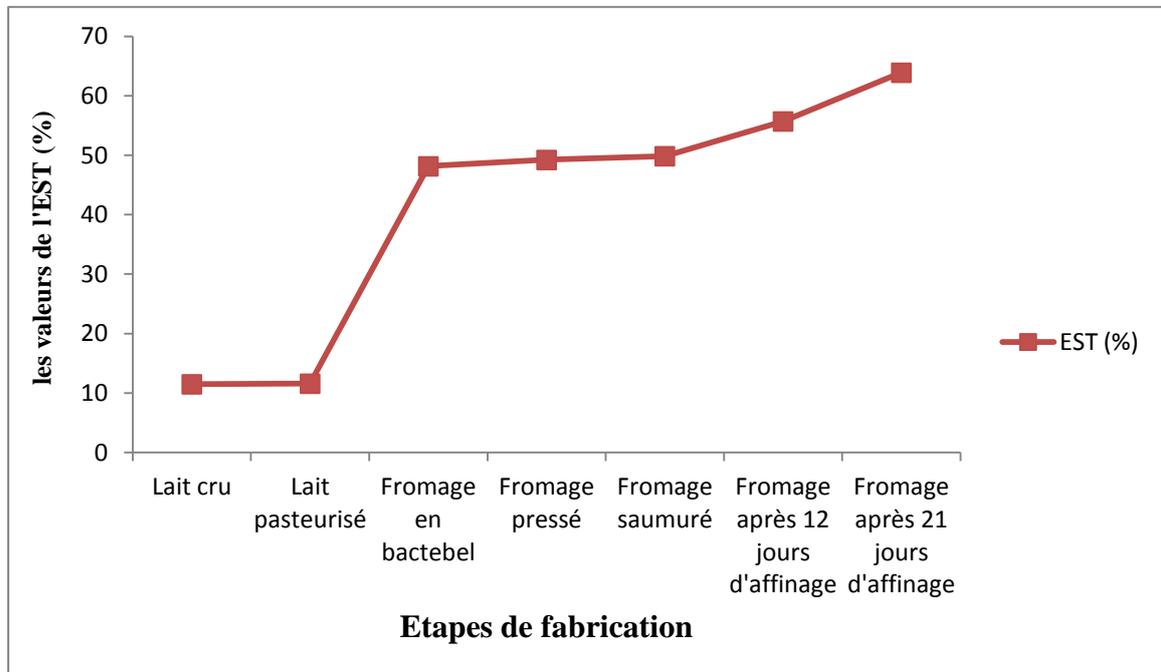


Figure 37 : Evolution de l'extrait sec total au cours de la fabrication du fromage

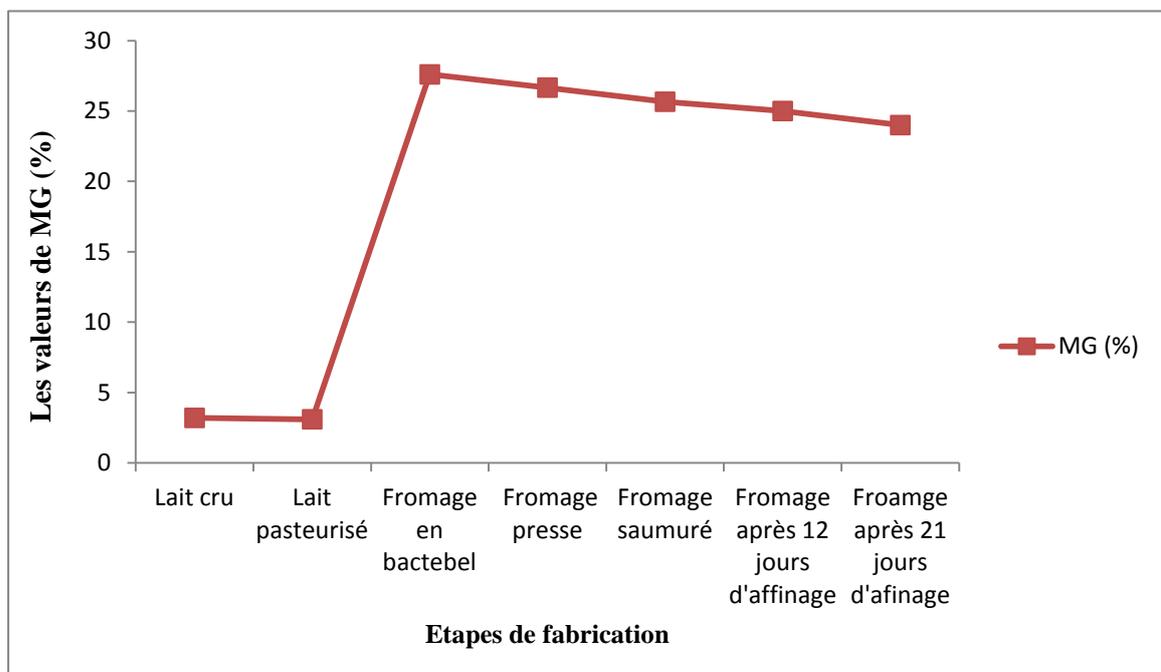


Figure 38: Evolution de la MG au cours de la fabrication du fromage

La figure 37 montre une augmentation de l'EST et la figure 38 montre une augmentation puis une légère diminution. Ces résultats peuvent être expliqués par l'effet de l'égouttage.

Selon Hardy (2006), le salage complète l'égouttage du fromage en favorisant le drainage de la phase libre de la pâte ce qui explique la légère augmentation de l'EST après saumurage qui atteint 49.86.

On remarque une augmentation de l'EST dans le fromage après 12 et 21 jours d'affinage, dépassant même les normes, ceci peut être du soit au dépassement de la durée de pressage soit dépassement la durée de l'affinage.

Maubois (1987) a montré que dans la fromagerie classique, la concentration différentielle des protéines et de la matière grasse du lait de fabrication résulte de l'égouttage du gel obtenu par action de la présure. Le lactosérum est expulsé progressivement du gel, ainsi le caillé s'appauvrit en eau.

La diminution du taux de matière grasse au cours de l'affinage illustrée par la figure 36 est due probablement aux réactions de la lipolyse que subit la matière grasse du fromage.

- L'évolution du rapport gras/sec

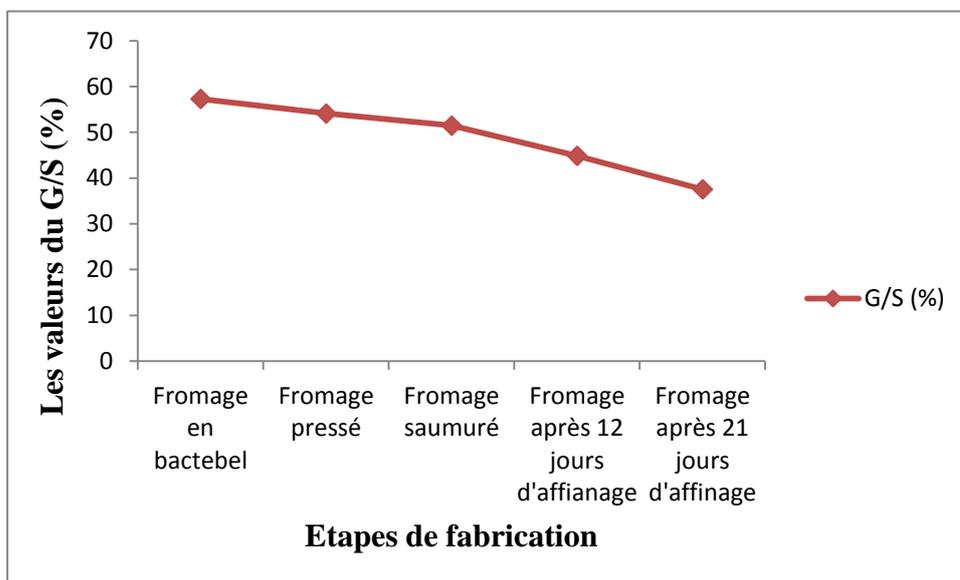


Figure 39 : Courbe d'évolution du rapport Gras/Sec

La figure 39 met bien en évidence la diminution du rapport gras/ sec au cours :

- Du pressage et du saumurage, ce qui est expliqué par la teneur en matière sèche suite à l'évacuation d'eau ;

- De l'affinage suite au phénomène de lipolyse donc diminution de la matière grasse.

- **Le taux de NaCl dans le produit fini**

Selon **Hardy (2006)**, le salage est le principal ingrédient de dépression de l'Aw, il complète l'égouttage et il agit sur la phase d'affinage.

Les résultats obtenus montrent que la teneur en NaCl dans le produit fini est de 1.1 %, légèrement inférieure aux normes **AFNOR (1986)** qui est de 1.5-2 % ce qui pourrait être expliqué par :

- La non saturation de la saumure en NaCl ;
- L'insuffisance du temps de saumurage.

II. Les analyses microbiologiques

Les normes utilisées dans notre étude dans le but d'apprécier la qualité microbiologique du lait cru, du fromage au cours de fabrication ainsi que le produit fini sont celles d'**AFNOR (1986)**.

Ce sont presque toujours des microorganismes qui sont la cause de l'altération du lait et des produits laitiers. Ils sont également la principale cause des défauts du fromage. Pour cela, des analyses microbiologiques portant sur des germes ou des groupes de germes bien déterminés.

Notre étude microbiologique est basée sur les analyses de la matière première, l'eau de process et le produit fini.

II.1. du lait cru

Le lait est un milieu favorable à la multiplication de la plus part des germes. L'analyse microbiologique a une importance particulière puisqu'elle nous renseigne sur le processus et les conditions de fabrication.

Les résultats des analyses microbiologiques du lait cru sont représentés dans le tableau XX.

Tableau XX : Résultats des analyses microbiologiques du lait cru

Les types de bactéries	Nombres de bactéries	
	Germes/ml	AFNOR 1986
Coliformes totaux	4.4.10 ²	Max 10 ³
Coliformes fécaux	0	Max 10 ³
Staphylocoques	0	Abs
Clostridium sulfito reducteurs	Abs	Max 50
Flore mésophile totale	3 .10 ³	Max 10 ⁵
Levures	7.7.10 ²	-
Moisissures	1.6. 10 ²	-

Les résultats obtenus pour le lait cru, montre une absence totale de germes pathogènes (Staphylocoques). La flore mésophile totale et les coliformes totaux sont présents avec des valeurs de 3.10³germes/ml et 4.4.10² germes/ml inférieur aux normes (max 10⁵) et (max 10³). Absence totale de Clostridium et de coliformes fécaux. Les valeurs des levures et moisissures sont de 7.7.10² et de 1.6.10² germes/ml respectivement. Selon **Bourgeois et al., (1990)**, La présence de levures, de moisissures pourrait être expliqué par :

- L'air atmosphérique fortement pollué
- L'air pénétrant par l'ouverture du tank

II.2.Lait pasteurisé

Les résultats des analyses microbiologiques du lait après pasteurisation sont mentionnés dans le tableau XXI

Tableau XXI : Résultats des analyses microbiologiques du lait pasteurisé

Les types de bactéries	Nombres de bactéries	
	Germes/ml	AFNOR 1986
Coliformes totaux	0	Max 1
Coliformes fécaux	0	Max 1
Staphylocoques	0	Abs
Clostridium sulfite reducteurs	Abs	ND
Flore mésophile totale	$2.2.10^2$	Max 3.10^4
Levures	4	-
Moisissures	0	-

ND : non déterminé

Les résultats obtenus montrent que la pasteurisation du lait cru a détruit considérablement les germes, sauf pour la flore mésophile totale et les levures qui passent de 3.10^3 à $2.2.10^2$ germes/ml et de $7.7.10^2$ à 4 germes/ml respectivement, mais ces résultats restent conformes aux normes **AFNOR (1986)**.

Ceci nous mène à dire que le traitement thermique pratiqué à l'unité LFB est satisfaisant (82-85°C) pendant 15 secondes de point de vue destruction des germes pathogènes et d'altération diverses.

Selon la **FAO (1995)**, lorsqu'on soumet une population microbienne à l'action d'une température donnée pendant un temps déterminé, une certaine proportion de cette population est détruite.

Dans le même sens la **FAO (1995)** ajoute que l'efficacité du traitement thermique est fonction du nombre initial de germes contenus dans le lait, d'où l'importance des conditions hygiéniques de collecte du lait, de son refroidissement et de son traitement rapide.

II.3. Résultats des analyses microbiologiques du lait après ajout des ferments, des deux sérums et du fromage après moulage et saumurage

Les résultats des analyses microbiologiques du lait après ajout des ferments, des deux sérums et du fromage après moulage et saumurage sont résumés dans le tableau XXII

Tableau XXII : Résultats des analyses microbiologiques du lait après ajout des ferments, des deux sérums et du fromage après moulage et saumurage

Les types de bactéries	Nombre de bactéries germes/ml				
	Lait après ajout des ferments	Sérum 1	Sérum 2	Fromage après moulage	Fromage après saumurage
Coliformes totaux	0	0	0	0	0
Coliformes fécaux	0	0	0	0	0
Staphylocoques	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Clostridium sulfito reducteurs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Levures	0	0	0	0	0
Moisissures	0	0	0	0	0
Normes AFNOR 1986	-	-	-	-	-

D'après les résultats du tableau nous constatons absence totale de germes pathogènes dans le lait après ajout des ferments, absence dans le sérum I et dans le sérum II, après moulage et après saumurage.

II.4. Fromage après 12 et 21 jours d'affinage

L'analyse microbiologique du produit fini est d'une importance capitale puisqu'elle nous renseigne sur l'hygiène de la fabrication et sur le respect de certains paramètres.

Il est donc important de maîtriser ces derniers qui agissent sur la contamination du produit fini. Elle est peut-être due soit à la qualité des matières premières d'une part soit à l'apport des microorganismes au cours de la chaîne de fabrication d'autre part.

Une contamination microbienne pendant la fabrication peut être originaire de divers éléments tels que : les locaux, le matériel, le personnel et l'air ambiant.

Le tableau XXIII récapitule les résultats des analyses microbiologiques du fromage après 12 jours d'affinage et du produit fini (21 jours d'affinage).

Tableau XXIII : Résultats des analyses microbiologiques du fromage après 12 jours d'affinage et le produit fini

Les types de bactéries	Nombres de bactéries germes/ml		Normes O.M.S (1997)	Normes J.O.R.A (1998)
	Fromage après 12 jours d'affinage	Fromage après 21 jours d'affinage		
Coliformes totaux	6.10 ²	2.8.10 ²	Abs	Abs
Coliformes fécaux	0	0	Abs	Abs
Staphylocoques	Abs	Abs	Abs	Abs
Clostridium sulfito réducteurs	Abs	Abs	Abs	Abs
Levures	5.3.10 ²	5.8.10 ²	Abs	Abs
Moisissures	2.8.10 ²	3.2.10 ²	Abs	Abs

L'estimation de la qualité hygiénique des fromages se fait en comparant les résultats obtenus au cours de notre étude avec les normes établies par J.O.R.A et O.M.S. Nos résultats révèlent l'absence totale des coliformes fécaux, Absence de germes pathogènes (staphylocoques), des CSR. Nous avons constaté la présence d'un nombre faible de coliformes totaux qui est de 6.10² germes/ml. Ces derniers peuvent provoquer des accidents de croûtage ainsi que l'apparition de petits trous dus à la formation de gaz carbonique mais surtout à celle d'hydrogène qui a une très faible solubilité dans le fromage.

Généralement les germes pathogènes proviennent d'un lait récolté dans de mauvaises conditions hygiéniques et d'une pasteurisation mal conduite. Dans notre cas le lait ne présente pas une source de contamination car les résultats des analyses microbiologiques montrent qu'il est conforme aux normes, ce qui explique que le fromage est contaminé au cours de la fabrication soit par un matériel infecté (les toiles, les moules, les récipients...), soit par le personnel ou par la saumure.

- **Levures et moisissures**

Selon **Choisy et al., 1987** les levures et les moisissures sont dotées d'activités biochimiques variées qui leur permettant de s'exprimer au cours de l'affinage du fromage et de contribuer aux modifications de la texture et au développement de la saveur. Aussi leur développement est à l'origine d'une augmentation de pH par désacidification ainsi l'assouplissement de la pâte.

Les moisissures par leur potentiel de production d'enzymes protéolytiques confèrent un important pouvoir d'aromatisation des fromages.

D'après les résultats obtenus, nous constatons un taux considérable des levures et des moisissures dans le produit après 12 et 21 jours d'affinage ce qui ne correspond pas aux normes **J.O.R.A (1998)** et **O.M.S (1997)** qui exigent leur absence.

Cela peut être dû à plusieurs facteurs favorisant leur prolifération

- Manque des soins durant l'affinage, tels que les retournements des boules de fromages ;
- Utilisation des planches en bois infectées comme support d'affinage ;
- Manque d'hygiène dans les locaux de fabrication.

Selon **Gueguen et Schmidt (1992)** et **Choisy et al., (1997)**, le salage entraîne une diminution des levures et moisissures, ce qui n'est pas le cas dans notre étude , cela peut être justifié par la saumure qui n'est pas assez saturée en sel.

II.5.L'eau de process

Les analyses microbiologiques de l'eau sont portées dans le tableau XXIV

Les types de bactéries	Nombres de bactéries	
	Germes/ml	AFNOR 1986
Flore mésophile totale	0	à 37°C abs
		à 22°C
Coliformes totaux	0	< 10
Coliformes fécaux	Abs	Abs
Clostridium sulfite reducteurs	0	<=5
Salmonelles	NE	Abs

Tableau XXIV : Résultats des analyses microbiologiques de l'eau de process

NE : Non effectué

Du point de vue microbiologique, selon **Petransxiene et Lapiéd (1981)**, une eau est dite potable quand elle n'est pas susceptible de porter atteinte à la santé des consommateurs et ajoutent **Cheftel et al., (1977)** qu'elle doit être exempte d'organismes parasites ou pathogènes et si la qualité de l'eau n'est pas bonne il se produit inévitablement la contamination du matériel et éventuellement du produit.

D'après les résultats du tableau, nous constatons l'absence de la flore mésophile totale, les coliformes fécaux et totaux, les staphylocoques et absence des CSR.

Nous pouvons conclure que l'eau utilisée est conforme aux normes **AFNOR (1986)** du point de vue microbiologique.

II.6. Les caractéristiques du fromage Edam fabriqué à petite échelle

Après 21 jours d'affinage, notre fromage a été soumis à une série d'observation qui ont portées sur les critères suivants : épaisseur de la croûte, homogénéité, élasticité et couleur de la pâte, odeur et goût (salinité, acidité et amertume), les résultats présentés dans le **tableau XXV**

Tableau XXV : Caractéristiques du fromage type Edam fabriqué à petite échelle

Fromages Caractères	Description de fromage "Edam"	Normes de l'Edam (Luquet, 1985)
Forme	Sphérique aplatie aux pôles	Sphérique légèrement aplatie aux parties supérieures et inférieures
Croute	épaisse	Très mince
Homogénéité de la pâte	Peu homogène, Présence de trous	Ferme
Elasticité	souple	Souple
Couleur	Jaune	Jaune paille
Salinité	Peu salé	Bon
Acidité	Bon	Bon
Amertume	Pas amer	Pas amer
Odeur	légère	Intense

D'après le tableau, le fromage Edam fabriqué à petite échelle se caractérise par une croute épaisse comparativement à la norme de l'Edam qui présente une croute très mince. Cette différence peut s'expliquer par la durée de saumurage car la durée de contact entre le caillé et le sel conditionne l'épaisseur de la croute ainsi que la durée et l'intensité de l'affinage qui limitent son degré d'accroissement (**Voisin, 2010**).

L'observation montre que la pâte du fromage obtenu est peu homogène et contient quelques trous de petits diamètres. Ces trous peuvent être le résultat soit d'une acidification insuffisante au cours de la coagulation soit d'un mauvais pressage.

Notre fromage se caractérise par une souplesse. Il est à signaler que la composition en acides gras pourrait influencer sur la texture des fromages. Les acides gras insaturés seraient à l'origine d'une texture plus souple des fromages (**Voisin, 2010**).

Notre fromage se caractérise aussi par une couleur jaune qui est la couleur caractéristique du fromage type Edam. Cette variation de couleur est due aux doses de colorant utilisé (le rocou),

et nous tenons à préciser que l'affinage aussi peut influencer sur la couleur du fromage en le rendant plus clair.

Notre fromage présente une bonne acidité et il ne présente pas d'amertume ce qui correspond aux caractéristiques du fromage type Edam. Par contre il est peu salé et exhale une légère odeur.

Selon **Voisin (2010)**, un lait riche en acides gras volatiles comme l'acide butyrique ou l'acide caproïque, participent à l'arôme des fromages. Une partie des acides gras libres peut également être dégradés par les microorganismes pour donner des composés responsables d'odeurs dans les fromages.

Quelques photos présentant le fromage à pâte pressée non cuite type Edam fabriqué à petite échelle à l'unité de LFB.

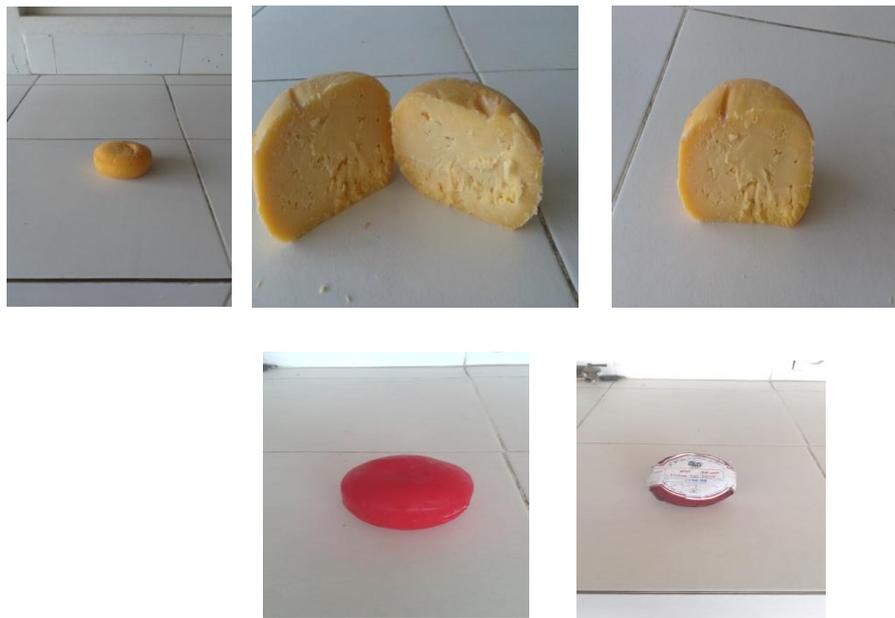


Figure 40 : Photo du fromage à pâte pressé non cuite type Edam fabriqué à petite échelle (originale, 2016)

II.7.La mise en évidence de quelques défauts et accidents de fabrication du fromage à pâte pressée non cuite type Edam rencontrés à l'unité LFB

Après avoir suivi rigoureusement la technologie de fabrication du fromage type Edam à l'échelle industrielle et après avoir effectué des analyses physico-chimiques,

microbiologiques et même biochimiques de la matière première au produit fini et cela au niveau du laboratoire physico-chimie et microbiologie de la L.F.B, nous constatons qu' aucun accident à été rencontré durant l'affinage et dans le produit fini à part le défaut des milles trous. Cependant nous avons rencontrés sur plusieurs productions divers accidents et défauts qui sont illustrés dans **la figure 41**



Défaut de forme et d'aspect

Défauts d'affinage



Défaut de milles trous

Figure 41 : quelques défauts de fabrication du fromage Edam rencontrés à l'unité LFB

Conclusion & perspectives

Conclusion générale

Le stage que nous avons effectué à la laiterie fromagerie de Boudouaou nous a permis de suivre de près le processus de fabrication industrielle du fromage à pâte pressée non cuite type " Edam" et d'apprécier la démarche du personnel pour l'évaluation de la qualité physicochimique et microbiologique de ce produit.

Dans ce cadre, nous avons pu identifier les différents facteurs susceptibles d'influencer sur la qualité finale du fromage fabriqué. Ces facteurs sont essentiellement liés à la qualité de la matière première de même aux procédés technologiques et les conditions d'élaboration du produit.

D'après les résultats des analyses physicochimiques, nous notons que les résultats obtenus pour le pH, l'acidité du lait cru et du lait pasteurisé sont conformes aux normes, tandis que les teneurs obtenues pour la matière grasse sont inférieures aux normes.

D'autre part l'eau de process utilisée présente une conformité aux normes par rapport aux pH, le titre alcalimétrique et du titre alcalimétrique complet, tandis que le titre hydrométrique et le taux du chlorure sont supérieurs aux normes, ceci est dû à la dureté naturelle de l'eau et à la forte chloration appliquée.

Pour ce qui est de la saumure, les résultats obtenus présentent une conformité aux normes pour le pH et l'acidité, cependant on note une faible teneur en NaCl.

Concernant le produit fini, les résultats montrent une teneur élevée en matière grasse et en extrait sec total et qui sont légèrement supérieurs aux normes.

De point de vue microbiologique les résultats révèlent :

- Une forte charge de la flore mésophile totale et des coliformes totaux pour le lait cru ;
- Une très bonne qualité microbiologique de l'eau qui témoigne de l'efficacité des traitements effectués ;
- Une satisfaction du traitement thermique appliqué au lait cru présenté par une diminution de la charge microbienne dans le lait pasteurisé ;
- Une qualité satisfaisante du produit fini.

Une qualité non satisfaisante du fromage Edam peut se présenter par apparition de défauts liés à l'aspect, à la texture et au gout.

Conclusion générale

Dans le but d'éliminer ou atténuer ces défauts en cas de leurs apparitions, nous suggérons :

- Un contrôle rigoureux de la qualité microbiologique du lait cru avant son utilisation et autres matières premières;
- Procéder à une standardisation en matière grasse ;
- Equiper les locaux par un système de filtration d'air efficace notamment dans les hâloirs ;
- Maitriser les techniques de fabrication ;
- La formation et la sensibilisation permanente du personnel dans le but de respecter les règles d'hygiène ;
- L'installation d'un matériel de contrôle d'humidité dans les caves d'affinage ;
- Une réalisation permanente des soins de croûtes et des retournements des boules durant l'affinage ;
- Respecter le temps nécessaire du pressage ;
- Le nettoyage et la désinfection du matériel et les locaux de fabrication.

Références bibliographiques

A

Alais C. (1974). Sciences du lait. Principes des techniques laitières. 3^e ed ; pp. 162-164 ; 618-619.

Alais C. (1984). Principes des techniques laitières, science du lait Ed. SEPAIC, 4^e éd., 68.

Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R. & Turgeon H. (2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique du lait –Transformation du lait, Ecole polytechnique de Montréal, ISBN : 3-25-29 (600 pages).

Alais C., Blanc B.(1975). Milk proteins: Biochemical and biological aspects.WLD.Nutr.Diet.Vol 20: p 66-71.

Anonyme 01, (1994). Le caillé du curieux «Spécial fromage de Hollande». Le crémier fromager, pp 39.

AFNOR. (1986). Lait et produit laitiers, méthodes d'analyses, recueil des normes françaises.

B

Brunner J. (1981). Cow milk proteins: twenty five years of progress. J dairy Sci, 1981,64: 1038-1054. In Peugeot S., Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse, France : 31(102 pages).

Boudier J.F., Luquet F. M. (1981). Dictionnaire Laitier 2^{ed} ; PP 11, 75, Tec & Doc, Lavoisier Paris).

Belhamiche N. (2000). Extraction et caractérisation d'une protéase coagulante de *Mucor pusillus*. Th. Ing, INA, El harrach, 37p.

Bergere J.L., Lenoir J. (1997). Les accidents de fromagerie et les défauts des fromages in : le fromage. Ed : 3. Paris, Techniques et Documentation- Lavoisier, P.509-541.

Bourgeois C.M., Larpent J.P. (1989). Microbiologie alimentaire. Tome 2 : Les fermentations alimentaires. Ed. Lavoisier, p 420.

Bourgeois C-M., Mescle J-C. et Zucca J. (1990). Microbiologie alimentaire. Vol 1. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire. Ed. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.

C

Cayot P.H. & Lorient D. (1998). Structures et technofonctions des protéines du lait. ARILAIT Recherches. Tec et Doc Lavoisier.

Creamer L.K., Plowman J.E., Liddel M.J., Smith M.H. and Hill J.P. (1998) Micelle stability: κ -casein Structure and function. J Dairy Sci 81: 3004-3012.

Cheftel J.C et Cheftel H. (1980). Introduction à la technologie des aliments. Tome 2. Ed. Lavoisier, Tech et Doc. Paris. p54-60.

Carole L. et Vignola. (2002). Science et technologie du lait : transformation du lait .Ed. Presse internationale polytechnique, Quebec.

Claverie-Martin F., Hernandez M.C. (2007). Aspartic proteases used in cheese making in POLAINA J. et MACCABE A.P., industrial enzymes, pp:207-219.

Cheftel J.C., Cheftel H. (1977). Introduction à la biochimie et à la technologie alimentaire, Tec & Doc. Lavoisier, Paris.

Choisy C., Desmazeaud M., Gripen J.C., Lambere G., Lenoir J. & Tourneur C. (1987). Les phénomènes microbiologiques et enzymatiques et la biochimie de l'affinage in : Le fromage. Ed : 2.Paris, Techniques et documentation- Lavoisier, p.62-99.

D

Dalgleish D.G. & Corredig M. (2012). The structure of the casein micelle of milk and its changes during processing. Annu. Rev. Food Sci. Technol. ; 3 :449-467.

Dafal F. et Guiri N. (2010). Suivi de la qualité physicochimique et microbiologique du lait recombinaé pasteurisé au niveau de la laiterie fromagerie de Boudouaou. Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie. Tizi-Ouzou.

E

Eck A., Jean-Claude G. (1997). Le fromage, 3^{ème} édition, Lavoisier, Tec et Doc. Paris. P166-171.

Foltman B. (1992). Chymosin: a short review on foetal and neonatal gastric proteases. Scand.J.Clin.Lab.Invest. 210, 65-79.

Eck A. (1991). Le fromage. Ed Technique et documentation, Lavoisier, 539p.

F

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

Favier J.C. (1985). Composition du lait de vache-laits de consommation.

FAO/OMS. (2000). Codex Alimentarius : Lait et produits laitiers, 2^{ème} édition-Rome : FAO ; OMS-136 p.

FAO (1995). Le lait et les produits laitiers dans l'alimentation humaine N°28. Rome, 271 P.

Fed. (1990). Lait. Production of chymosin by microorganisms and its use for cheese-making, Bull.251, 3-14.

Federighi M., Sutra L. & Jouve J.L. (1998). Manuel de bactériologie alimentaire. Polytechnica, Paris.

FAO. (1972). FAO-OMS: Comité mixte FAO/OMS d'expert d'hygiène du lait, études agricoles de la FAO N° 83. Rome-I et rapports techniques OMS, N° 453. Genève.

G

Green L.M. (1977). Review of the progress of dairy science: Milk coagulation. J.dairy.Research.vol:44.p159-168.

Garg S.K., Johri B.N. (1994). Rennet: current trends and future research. Food rev, int, vol n°10, pp. 313-355.

Guiraud J.P. (1998). Microbiologie alimentaire- Technique de laboratoire. Londres, Lavoisier New York, 704 p.

Guiraud J.P. (1998). La microbiologie alimentaire. Ed. DUNOD. Paris, p 652.

Gueguen M. (1997). Le produit dénommé fromage : la valeur minérale des fromages. Par ECK A. et GILLIS J-C. Ed.3, Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, p.725-735.

H

Humbert G., Alais C. (1979). Dairy Res., 46, 559-571.

Hsieh J.F., Pan P.H. (2012). Proteomic profiling of the coagulation of milk proteins induced by chymosin; J.Agric. Food Chem.60; 2039-2045.

Hardy J. (2006). L'activité de l'eau et le salage des fromages. In « le fromage ». Par ECK A. et Gillis G-C. Ed.3. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.

J

Jeantet R., Croquennec T., Mahaut M., Schuck P. & Brule G. (2008). Les produits laitiers, 2^{ème} édition, Tec et Doc, Lavoisier : 1-3-13-1417 (185 pages).

Jeantet R., Croquennec T., Schuck P. & Brule G. (2007). Science des aliments.

Jeantet R., Thomas C. & Pierre B. (2007). Science Des Aliments : Biochimie, Microbiologie, Procédés, Produits. 2 : 12, 15 Tec & Doc Lavoisier. Londres-Paris-New York.

K

Kaminogawa S. Yamauchi K. (1972). Agr. Biol.Chem., 38, 2351,2356.

Khalid M., Sharmet R.J., Brown J. & McMahon D. (1992). Proteolytic activity of some milk-clotting enzymes on k-caseine. J. Dairy.Sci.vol:75.p1373-1378.

Khalid M., Sharmmet R.J., Brown J. & McMahon D. (1992). Proteolytic activity of some milk-clotting enzymes on K-caseine.J.Dairy.Sci.Vol: 75.p1373-1378.

L

Luquet F.M. (1985). Lait et produits laitiers, vache, brebis, chèvre. Tomes I et II. Ed. Tech et Doc. Lavoisier.

Linden G., Lorient D. (1994). Biochimie agro-alimentaire : valorisation alimentaire de la production agricole. Ed.Masson.Paris.Milan.Barcelon. p 141-163.

Lenoir J., Schneid N. (1997). L'aptitude du lait à la coagulation par la présure in Le Fromage A. Eck 2^{ème} édition Tech. et Doc.

Lefebvre-Cases E., Gastaldi E., Vidal V., Marchesseau S., Lagaude A., Cuq J.L.& Tarodo de la fuente B.(1998). Identification of interaction among casein gels using dissociating chemical agents.J.Dairy Sci.; 81:932-938.

Luquet F.M. (1990). Lait et produits laitiers, transformation et technologie Ed. Technique et Documentation Lavoisier. Tome 2,633p.

Luquet F.M. (1990). Laits et produits laitiers. Vache. Brebis. Chèvre. Technique et Documentation.Lavoisier. p 183.

Lamontagne M. Champagne C-P., Reitz-Ausseau J., Moineau S., Gardner N., Lamoureux M., Jean J.& Fliss I. (2002). Microbiologie du lait. In « science et technologie du lait : transformation du lait ». Ed. Presse internationale polytechnique, p.75-146.

Leclerc H., Mossel D.A.A. (1988). Microbiologie. Le tube digestif, l'eau et les aliments. Ed., Doin, Paris.

M

Mahaut M., Jeantet R. & Brulé G. (2003). Initiation à la Technologie Fromagère, Tec et Doc Lavoisier. France.

Mahaut M., Jeantet R., Schak P. et Brule G. (2000). Les produits industriels laitiers. Ed. : Technique et Documentation, Lavoisier. Paris. p 26, 40, 180.

Mahaut M. (1999). Technologie fromagère. Partie 1-Rennes-Octobre 1999.

Morsli A. (1997). Recherche sur les activités protéasique des extraits de *Cynara scolymus*, du latex de *Ficus carica* et du pro venticule de *Gallus gallus* en vue de leur utilisation. Technologie fromagère. Th.mag, INA, El harrach, 181 p.

Mac Sweeney P.L.H., Sousa M.J. (2000). Biochemical pathways for the production of flavor compounds in cheeses during ripening: A review. Lait, pp 80,293,324.

Mathieu J. (1998).Initiation à la physicochimie du lait. Ed. Technique et Documentation, Lavoisier, paris.

Meribai A. (2006). Analyses physicochimiques et microbiologiques au cours de l'élaboration d'un fromage à pâte pressée type Edam en vue de mettre en évidence les défauts de fabrication. Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie INA.

Mescle J.F. et Zucca J. (1988). Comportement des micro-organismes en milieu alimentaire in : microbiologie alimentaire : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire. Paris, Techniques et Documentation-Lavoisier, p.17-31.

Maubois J-L. (1987). Le lait de fromagerie : la préparation du lait : modification de la teneur en protéines du lait de fabrication in : le fromage. Ed : 2. Paris, Technique et Documentation-Lavoisier, p 156-164.

P

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 : 34 (102 pages).

Petransxiene D., Lapiéd L. (1981). Qualité bactériologique du lait et des produits laitiers : analyses et tests. Ed.2. Paris, Lavoisier, 219 p.

R

Ribadeau-Dumas B. Grappin. (1989)

Les protéines *in* Le lait matière première de l'industrie laitière. CEPIL INRA.

S

Shmidt D.G. & Payen T.A.J.(1980). Micellar aspects of casein. In surface colloid science. Ed.E.Matijevic.9.wiley.New York.

St Gelais D., Tirard-Collet P. (2002). Fromage In : Science et technologie du lait-Transformation du lait, presses internationales- polytechnique, Canada.

Serre M. (2002). L'Edam- Les saveurs du monde, Mascom, Paris, 2002.

Spinnler H.E., Guichard E., Gripon J.C.1997. La flaveur des fromages in: le fromage. Ed. : 3 : Microbiologie alimentaire : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire. Paris, technique et Documentation- Lavoisier, P.493-505.

T

THAPON J.L. (2005). Science et technologie du lait, Agro campus-Rennes, France: 14 (77 pages).

V

Vilian A.C., (2010). Qu'est ce que le lait ? Ed Elsevier. P 125-126.

Veisseyre , (1975). Techniques laitières. Récolte, traitement et transformation du lait, pays tempérés, pays chauds. 3 ème Ed. La maison rustique.Paris. 696 p.

Vierling (2003).Aliments et boissons. Filières et produits. Doin éditeurs. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.

Vignola C. (2002). Science et technologie du lait : Transformation du lait. Ed. Presse Internationale polytechnique. Ecole polytechnique de Montréal. pp 3-284.

Verle W. (1979). Areview, update and projection of the future coagulant supply. Marsc Mall Italian and specially cheese seminars, pp.1-40.

Veisseyre, (1979). Technologie du lait. 3 ème edition, La maison rustique, Paris, 713 p.

Voisin A. (2010).Influence du type de l'alimentation sur texture et la flaveur du fromage. Mem. Doc. Vet. Ecole nationale vétérinaire (Toulouse), 97 p.

W

Walstra P., Noomen A., Geurts T.J. (1987). Dutch-type varieties. In: Cheese, Edition London.

Weber. (1992). Les germes responsables d'altération: les germes utiles susceptibles d'être à l'origine d'altération, in : les groupes microbiens d'intérêt laitier. Paris, CEPIL, p.371-394.

Annexes

Annexe I

❖ Matériel et produits chimiques utilisés pour les analyses microbiologiques

I. Matériel

I.1.Appareillages

- Bain- marie
- Etuve réglée à différentes températures (30°C, 37°C ,44°C)
- Bec bunsen
- Balance
- Compteur de colonies

I.2.Verreries

- Tubes à essai stériles
- Boîtes de pétri
- Pipettes graduées et pipettes pasteur stériles
- Portoirs.

I.3.Milieus de culture

- Gélose Viande Foie (VF)
- Gélose standard avec glucose (PCA: Plate Count Agar)
- Oxytetracycline glucose agar (OGA)
- Désoxycholate
- Baird Parker (BP)
- Bouillon lactosé pourpre de Bromocrésol (B.C.P.L) double concentration
- Bouillon lactosé pourpre de Bromocrésol (B.C.P.L) simple concentration
- gélose de Sabouraud

I.4.Produits et réactifs

- Alcool à 96%
 - Eau de javel
- } Désinfectants
-
- Eau physiologique stérile
- } Diluants

- Alun de fer (38%)
- Sulfite de sodium
- Tellurite de potassium.

❖ Matériel utilisé pour les analyses physico-chimiques

I. Matériel

I.1.Appareillage

- Balance analytique
- Centrifugeuse (**Funk Gerber**)
- PH-mètre (**Hanna instruments**)
- Dessicateur (**Sartorius**)
- Incubateur d'antibiotique (**Cher Hansen**)
- Thermo lacto-densimètre
- Butyromètre à lait
- Butyromètre à fromage
- Thermomètre.

I.2.Verrerie

- Erlenmeyer (fiolle) et béchers
- Eprouvette
- Pipettes graduées

I.3.Produits et réactifs

- Hydroxyde de sodium N/9
- Phénolphtaléine 1% solution alcoolique
- Acide sulfurique à 0.1 N
- Alcool iso-amylque à 0.1 N
- Eau distillée
- EDTA à 0.01N
- Noir Eriochrome T (NET)
- Nitrate d'argent (AgNO_3 à 0.1 N)

- Solution tampon
- Biochromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$).
- Acide nitrique HNO_3
- pemanganate de potassium $KMNO_4$
- .Thiocyanate d'ammonium

Annexe II

Composition chimique des solutions et principaux milieux de culture utilisés

➤ Milieux liquides

• Eau physiologique stérile

Chlorure de sodium (NaCl).....	9g
Eau distillée.....	1L
Ph=7.5	

➤ Milieux solides

• Gélose de Baird Parker (BP)

Treptone ou tryptone.....	.10g
Extrait de viande.....	.5g
Extrait de levure.....	.1g
Pyruvate de sodium.....	.10g
Glycocolle.....	.12g
Emulsion de jaune d'œuf.....	50cm ³
Tellurite de potassium.....	0.1g
Chlorure de lithium LiCl.....	5g
K_2TeO_3	0.1g
Agar.....	20g
Eau distillée.....	1L
PH final=7.2	

- **Gélose Oxytétracycline-glucose (OGA)**

Extrait de levure.....	5g
Glucose.....	20g
Gélose.....	16g
Eau distillée.....	1L

Ph=7

Stérilisation à 120°C/15min.

- **Gélose viande foie (VF)**

Bouillon viande foie	100ml
Glucose.....	2g
Sulfate de sodium	7g
Citrate de sodium	0.4g
Alun de fer d'ammonium	2g
Gélose.....	8g
Eau distillée	1l

PH =7.4

- **Gélose PCA (Plate Count Agar)**

Tryptone.....	5g
Extrait de levure.....	2.5g
Glucose.....	1g
Agar.....	20g
Eau distillée.....	1L

PH=7±0.2

- **Milieu Sabouraud**

Peptone de viande.....	5g
Peptone de caséine	5g
Glucose.....	20g

Gélose (2%)..... 20g

PH=6.5

- **Bouillon lactosé pourpre de bromocrésol (BCPL) double concentration**

Extrait de viande de bœuf..... 6g

Peptone 10g

Lactose 10g

Pourpre de bromocrésol... 0.05g

Eau distillée 1L

PH=6.9

- **Bouillon lactosé pourpre de bromocrésol (BCPL) simple concentration**

Extrait de viande de bœuf..... 6g

Peptone 10g

Lactose 10g

Pourpre de Bromocrésol..... 0.025g

Eau distillée 1L

PH=6.9

Annexe III : Table de MAC GRADY pour le dénombrement en milieu liquide. Indice NPP, combinaison des résultats positifs et négatifs obtenus avec 1 fraction de 50 ml, 5 fractions de 10 ml et 5 fractions de 1 ml. Les coliformes dans l'eau.

Nombre de tubes donnant une fraction positive			Indice NPP de germes par 100 ml
1 flacon de 50 ml	5 tubes de 10 ml	5 tubes de 1 ml	
0	0	1	1
0	0	2	2
0	1	0	1
0	1	1	2
0	1	2	3
0	2	0	2
0	2	1	3
0	0	2	4
0	3	0	3
0	3	1	5
0	0	0	5
1	0	0	1
1	0	1	3
1	0	2	4
1	0	3	6
1	1	0	3
1	1	1	5
1	1	2	7
1	1	3	9
1	0	0	5
1	2	1	7
1	2	2	10
1	2	3	12
1	3	0	8
1	3	1	11
1	3	2	14
1	3	3	18
1	3	4	21
1	4	0	13
1	4	1	17
1	4	2	22
1	4	3	28
1	4	4	35
1	4	5	48
1	5	0	24
1	5	1	35
1	5	2	54
1	5	3	92
1	5	4	161

Exemple : le nombre 111 correspond à 5 coliformes / ml

Abstract:

Edam cheese is made of an uncooked pastry, which have a big nutrition value, it made from coagulate milk.

In this study we have to use a manufactory of this type of cheese, we produce a small quantity of this cheese in a factory of milk and cheese manufactory at Boudouaou;

Physical chemistry , microbiological and biochemistry analysis was done to produce the Edam cheese, a physical chemistry analysis shows that the milk using for production is conform to the norms and water too, The final product is an acceptable quality ;

Key words: Edam cheese, cheese manufactory

المخلص:

الجبن من نوع إيدام هو جبن بعجينة مضغوطة دون طهي، ذا قيمة غذائية كبيرة يصنع بالاعتماد على الحليب المخثر ثم يوضع في نقيع الملح؛

في هذا البحث قمنا باتباع تكنولوجيا إنتاج الجبن المستعملة في ملبنة و مجبنة بوداوا ، حيث قمنا بإنتاج كميات صغيرة من الجبن مع القيام بتحليل فيزيوكيميائية ، ميكروبيولوجية و بيوكيميائية اللازمة لإنتاج هذا النوع من الجبن؛

الدراسة الفيزيوكيميائية بينت أن الحليب المستعمل يتوافق مع معايير نسبة المادة الدهنية و التي تمثلت في نسب قليلة و الماء المستعمل أيضا ذا كمية كلورور مرتفعة ، أما فيما يخص المنتج النهائي فإن النتائج المتوصل إليها تدل على أن المنتج ذو جودة مرضية لا بأس بها.

الكلمات المفتاحية: صناعة الجبن، جبن إيدام؛

Résumé :

Le fromage type Edam est un fromage à pâte pressé non cuit, d'une valeur nutritionnelle appréciable, obtenu à partir d'un lait coagulé par l'action de la présure, pressé, puis saumuré et laissé à l'affinage.

Nous avons suivi la technologie de fabrication de ce fromage à l'échelle industrielle et nous avons fabriqué un fromage à petite échelle au niveau de la laiterie fromagerie de Boudouaou. Des analyses physicochimiques, microbiologiques et même biochimiques ont été effectuées dans le but de mettre en évidence quelques défauts et accidents de fabrication rencontrés dans le fromage type "Edam".

L'étude physicochimique révèle que le lait cru utilisé est conforme aux normes à l'exception du taux de la matière grasse qui sont inférieurs à la norme.

L'eau de lavage présente une dureté hydrométrique et un taux de chlorure élevés.

Concernant le produit fini, les résultats obtenus révèlent une qualité satisfaisante.

Mots clés : Technologie fromagère, Fromage Edam,