Année Universitaire : 2012-2013

Master Sciences et Techniques : CMBA
Chimie des Molécules Bio Actives

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Procédé de fabrication et contrôle qualité du fromage Emmental

Présenté par:

BOUNDRI Hanae

Encadré par:

- Pr Mme TOUZANI Hanane (FST-Fes)
- Mr EL ALLAM Jamal (CHERGUI)
-Mr EL BADRAOUI Saïd (CHERGUI)

Soutenu Le 19 Juin 2013 devant le jury composé de:

- **Pr. BOUKIR Abdellatif**	**FST-Fes**	**Examinateur**
- **Pr. ALILLOU Houssine**	**FST-Fes**	**Examinateur**
- **Pr Mme TOUZANI Hanane**	**FST-Fes**	**Encadrante**

Stage effectué à : Domaine Douiet de Fès

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom : BOUNDRI Hanae

Année Universitaire : 2012/2013

Titre: Procédé de fabrication et contrôle qualité du fromage Emmental

Résumé

Le principal défi à relever, par la fromagerie du Domaine de Douiet, est d'améliorer et d'assurer une qualité constante des produits transformés. C'est dans ce cadre que se place cette étude. L'objectif de ce travail était de proposer et de mettre en place un procédé de fabrication d'un fromage Emmental à pâte pressé cuite : coagulation, l'égouttage et l'affinage.

Plusieurs analyses ont été effectués lors de la fabrication de l'Emmental, ces analyses sont : la mesure du pH, le dosage de la matière grasse, la teneur en extrait sec total, et enfin, une étude détaillée de l'influence du lysozyme sur la formation des ouvertures de l'Emmental.

L'étude faite sur l'évolution du pH ainsi que sur l'utilisation du lysozyme pour l'homogénéisation des ouvertures de l'Emmental tout au long du procédé de fabrication de l'Emmental a été logique et satisfaisante.

Par contre, les résultats obtenus pour la teneur en matière grasse et l'extrait sec total sont non satisfaisants. Ceci est dû à l'absence d'une standardisation de ces paramètres au début de chaque fabrication, ainsi qu'à l'absence de l'appareil de mesure permettant de contrôler les différents paramètres du lait dès sa réception.

Malgré la prédominance de l'Emmental sur le marché mondial, et ses principaux constituants nutritifs (sel, éléments minéraux, Lipides Totaux, Matière Azotées Totales, Acides Aminés, Glucide et acide lactique), il reste encore mal valorisé par la société de Douiet.

Mots clés: Emmental, pate pressé cuite, procédé de fabrication, contrôle qualité.

Au terme de mon stage en entreprise agroalimentaire, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur le Directeur général du Domaine Douiet Mr BENIS de m'avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage au sein de son établissement.

J'adresse aussi ma plus grande reconnaissance à Mr ALLAM chef du département de la production laitière, Mme JIHANE responsable de la qualité, Mr SAID et Mr MANAR responsables de la production pour leurs conseils judicieux, leur aide précieuse et leur soutien à toute épreuve.

J'exprime mes plus sincères remerciements à tous les enseignants de la faculté des sciences et techniques de Fès en particulier Mr ALILLOU Houssine et le Responsable du Master Chimie des Molécules Bio Actives Mr OUAZZANI CHAHDI Fouad notamment à Mme TOUZANI Hanane pour son encadrement et son orientation durant ce stage.

Je remercie également l'ensemble des techniciens du laboratoire en particulier YOUNESS, OTHMANE, qui ont soutenu ce travail et qui ont mis à ma disposition toutes les informations nécessaires.

Enfin, Je tiens compte à remercier mes chers parents, mon mari et mes frères.

J'offre également mes meilleurs salutation et mon remerciement aux : Hajar ARAQAS, Asmae CHAHID, Soufiane BOUMADYAN, et toute la promotion du Master CMBA.

A
C

CN-β : caséine-β.

CN-γ : caséine-γ.

°D : Le degré Dornic est une unité de mesure d'acidité du lait du nom de M. Pierre Dornic (1°D = 0.1g/l).

EST : Extrait sec totale.

G/S : gras sur sec.

ISO : l'Organisation Internationale de Normalisation.

ITG : Institut Technique du Gruyère.

UFC : Unité Formant une Colonie. Chaque unité cellulaire (une cellule, un groupe de cellules ou un morceau d'hyphe) donne une colonie.

Figure 2.1 **Réaction générale de formation d'un triglycéride.** **7**

Figure 2.2 **Structure micellaire et sous-micellaire de caséine.** **8**

Figure 2.3 **Schéma des différentes étapes de la fermentation lactique.** **10**

Figure 2.4 **Evolution de pH pendant la fabrication de l'Emmental.** **40**

Liste des tableaux

Tableau 1.1 **Etat physicochimique des constituants majeurs du lait de vache** **6**

Tableau 1.2 **Proportions des différents constituants de la fraction lipidique du lait** **7**

Tableau 1.3 **Composition chimique du lait en minéraux.** **10**

Tableau 1.4 **Principales vitamines du lait et leur teneur moyenne.** **11**

Tableau 1.5 **Principales classes d'enzymes du lait ainsi que leur pH et leur température d'activité maximale.** **12**

Tableau 1.6 **Acidité naturelle de quelques constituants du lait.** **13**

Tableau 1.7 **Caractéristiques des caillés lactiques et des présures.** **24**

Tableau 1.8 **Facteurs modifiant la synérèse.** **25**

Tableau 1.9 **Principales enzymes, substrats majeurs et produits majeurs intervenant dans l'affinage.** **27**

Tableau 1.10 **Etude des ouvertures de l'Emmental.** **37**

Tableau 1.11 **suivi du pH du lait jusqu'à formation d'Emmental.** **40**

Tableau 1.12 **Classification des microorganismes en fonction de leur température de développement** **41**

Tableau 1.13 **Résultats de l'étude de la matière grasse dans l'Emmental.** **43**

Tableau 1.14 **l'EST% et H_2O dans l'Emmental.** **44**

Sommaire

Introduction…...……..……...1

Partie I : Présentation du Domine Douiet…….…….……2

1. ***Les Domaines Agricole…….……..…….3***

2. ***Historique…….……..……..4***

Partie II : Etude Bibliographique sur le lait et le fromage……..……...……5

I. Le lait……..……6

1. ***Définition…….…….……..……6***
2. ***Composition du lait……..……..……..6***

2.1 Eau……..……..……7

2.2 Matière grasse ……...……..7

2.3 Protéines …….……..…….……..8

a. Transformations chimiques des protéines……..…….……8

2.4 Lactose ……..……..……..…9

a. Transformations chimiques du lactose.....9

2.5 Minéraux …….…….……10

2.6 Vitamines……..…….…10

2.7 Enzymes……..……11

3. ***Propriétés physicochimiques du lait…….……12***

3.1 Masse volumique et densité du lait……..……..……12

3.2 Point de congélation……..……13

3.3 Point d'ébullition……..……..……13

3.4 Acidité du lait…….…...……13

a. Acidité titrable……..……. 14

b. *pH*…….…. 14

II. Microbiologie du lait……..…….……15

1. ***Définition:……..……...……15***

1.1 Virus…….……..……15

1.2 Bactéries…….……...……15

a. Bactéries utiles…….……..16

b. Bactéries nuisibles…….……16

c. Bactéries pathogènes…….……....16

1.3 Levures……16

1.4 Moisissures……17

2. Principales activités microbiennes dans le lait……17

2.1 Acidification……18

2.2 Production de gaz……18

2.3 Production d'alcool……18

2.4 Production de polysaccharides ou de polypeptides……18

2.5 Protéolyse……18

2.6 Lipolyse……19

3. Cultures propioniques……19

3.1 Espèces et caractéristiques……19

3.2 Rôles dans les fromages……20

III. Technologie de fromage……21

1. Définition……21

2. Rôle des constituants majeurs de l'Emmental……21

2.1 Eau……21

2.2 Matière grasse……21

2.3 Protéines……22

2.4 Lactose…… 22

2.5 Minéraux…… 22

3. Transformation du lait en fromage……23

3.1Coagulation du lait……23

a. Coagulation par voie enzymatique……23

b. Coagulation par voie acide……23

c. Coagulation mixte……24

d. Caractéristiques comparées des deux gels……24

3.2 Egouttage……24

a. Facteurs d'égouttage……22

3.3 Affinage……26

a. Principaux agents de l'affinage……27

b. Les transformations du substrat pendant l'affinage……..……..27

c. Facteurs de l'affinage……..…….……29

Partie III : Le procédé de fabrication Contrôle Qualité de l'Emmental…….…….....31

I. Le procédé de fabrication de l'Emmental……..32

1. Thermisation, réglage de la matière grasse et maturation du lait…….……..……32

2. Emprésurage – coagulation…….……33

3. Décaillage et brassage…….……..33

4. Acidification et égouttage……...……..….33

5. Cuisson……..…….34

6. Prépressage……..……..……..34

7. Pressage……..……34

8. Salage……..……35

9. Affinage et conditionnement…….……...…….35

10. Diagramme de fabrication de fromage Emmental……...……...….36

II. Etude des ouvertures de l'Emmental ……...…….…….37

1. Résultats des tests…….....37

2. Interprétations……..……38

III. Les analyses physicochimiques…….....39

1. Le pH ou potentiel hydrogène……..……..39

2. Dosage de matière grasse……..……42

3. Détermination de l'extrait sec total (EST) de l'Emmental……..43

Conclusion générale…….…….……45

Bibliographie……..……...……46

Introduction :

Devant la concurrence quotidienne que connait le Maroc ces dernières années en raison du libre-échange mais aussi de la mondialisation, les industries nationales - parmi lesquelles figurent les domaines agricoles **DOUIET**- ont pris l'initiative de mettre en place une stratégie d'amélioration continue de leurs produits existants.

Parmi les leaders nationaux dans le secteur de fabrication des produits laitiers, on trouve le domaine agricole **DOUIET**, où j'ai eu la chance d'effectuer mon stage de fin d'étude.

Ce stage a été l'opportunité pour moi d'appréhender beaucoup d'informations sur le secteur industriel et aussi d'enrichir mes connaissances sur ce genre d'industrie alimentaire.

Ce rapport traite le procédé de fabrication des produits de cette société en détaillant ses étapes, ainsi que les différentes analyses de contrôle qualité effectuées au niveau du laboratoire de **DOUIET**, accompagnées d'explications et de renseignements sur le déroulement du travail et l'importance de ces activités.

Depuis toujours, la transformation du lait en fromage a permis de conserver des éléments nutritifs de cet aliment sur des périodes plus au moins longues. Elle résulte de la déshydratation partielle du lait, qui concentre de 6 à 12 fois les caséines, la matière grasse et les minéraux. L'eau éliminée en proportions variables selon la variété de fromages entraine avec elle une partie des éléments solubles et des protéines non coagulées.

Au cours de ce stage nous avons suivie un ensemble de taches qui concerne la technologie fromagère de l'Emmental.

Ce rapport, après une présentation de l'entreprise en première partie, traitera des généralités sur le lait.

Dans un second temps, on présentera le procédé de fabrication d'Emmental en détaillant ces étapes ainsi qu'une étude sur le développement des ouvertures (trous) spécifiques à ces fromages à pâte pressé cuite, puis la microbiologie du lait.

La dernière partie consacrera la partie expérimental, des techniques d'analyses, ainsi le suivie des résultats d'analyses de sa composition physico-chimique obtenues sur des différents échantillons.

partie I :

Présentation du Domaine Douiet

1. Les domaines agricoles :

La société des domaines agricoles a été Crée en 1960, elle se situe à 200km à l'est de RABAT, à la province de FES, commune de Moulay Yacoub, sur une superficie de 700 hectars, dont 320 hacultivables, avec 800 employés dont 32 sont des cadres.

Le domaine dispose de 2 forages :

- ✓ Forage de « Ain Allah » : le plus important qui déverse une eau avec un débit de 158 litres / s. C'est une eau chaude à 42°C avec une pression de 20 bars et sur une profondeur de 1600 m.
- ✓ Forage de « BOURKAIZE » : sur une profondeur de 630 m et un débit de 60 litres/s

Les Domaines constituent l'un des principaux producteurs exportateurs de fruits et légumes au Maroc, leurs principales activités sont :

- ***Activités agricoles :***
  - ✓ La production d'aliment (fourrages et céréales).
  - ✓ La production laitière (élevage bovin laitier et caprin laitier).
  - ✓ La fourniture pour la parfumerie haut de gamme de plantes aromatiques et d'huiles essentielles.
  - ✓ La production horticole (maraichage, Arboriculture, floriculture).
- ***Activités Agro-industrielle :***
  - ✓ La transformation laitière.
  - ✓ La conservation de fruits et le conditionnement de fruits et légumes.
- ***Activités commerciales :***
  - ✓ Le domaine assure la commercialisation de ses produits au Maroc et plus particulièrement dans les régions où l'entreprise est implantée.

Le secteur de production et de transformation laitière a été créé en 1983. Après son évolution, le secteur atteint une surface de 2150 m^2 en 1997 et les six Hectares en 2011 qui assurent une production moyenne de 15000 litres par jour.

Le département des produits laitiers comprend trois secteurs :

- Laiterie / fromagerie.
- Commercial.
- Contrôle qualité / recherches et développement.

La production : après la réception du lait, il subit un contrôle avant sa transformation. Deux types de lait sont réceptionnés par le domaine : le lait du domaine et le lait du KOUACEM.

Il existe deux lignes de fabrication :

- Produits frais : Yaourt, Daya, Leben, leben avec les arômes, jus de lait en fruits.
- Fromagerie : Cottage, Crème Fraiche, Beure, Fromages.

1. Historique :

- 1970 : Création de la ferme dont la production est destinée uniquement au propriétaire.
- 1997 : construction de la nouvelle usine de la production laitière dans le but d'élargir le champ de commercialisation et de viser une nouvelle clientèle.
- 1998 : Création de trois département distincts (élevage, horticulture et produits laitières).
- 2000 : mise en place de système HACCP (Hasard Analysis Critical Control Point), « Analyses des dangers- point critique pour leur maîtrise ». C'est un système qui identifie, évalue et maitrise les dangers significatifs au regard de la sécurité des aliments.
- 2003 : certification ISO 9001 version qui vise à accroitre la satisfaction de ses clients.
- 2007 : reconduite de la certification ISO 9001.
- 2007 : certification ISO 22000 qui assure la sécurité du consommateur.
- 2011 : Création de la nouvelle usine de la production laitière à oued N'JA.

partie II :

Etude Bibliographique sur le lait et le fromage

I. Le lait :

1. Définition :

Le lait est le produit de sécrétion des glandes mammaires, comme la vache, la chèvre et la brebis, destiné à l'alimentation du jeune animal naissant.

Une connaissance approfondie de sa composition, de sa structure et de ses propriétés physiques et chimiques est indispensable à la compréhension des transformations du lait et des produits obtenus lors des différents traitements industriels.

2. Composition du lait [1a]:

Le lait est un système complexe constitué d'une solution vraie, d'une solution colloïdale et une émulsion. Le tableau 1.1 montre la dimension approximative et l'état physicochimique de chacun des constituants solides majeurs du lait.

- Une solution vraie est un mélange de substance liquides ou solides solubilisées, appelées solutés, dans un solvant liquide.
- Une suspension colloïdale est un mélange constitué d'une phase dispersée solide non solubilisées, présente sous forme de très fines particules solide dans une phase dispersante liquide (S/L) ; quand les particules ont beaucoup d'affinité pour la phase aqueuse, on nomme ce système une solution colloïdale.
- Une émulsion consiste en un mélange d'une phase dispersée liquide non solubilisée, présente sous forme de très fines gouttelettes, dans une phase dispersante liquide ; on peut donc avoir une émulsion huile dans l'eau (H/E) ou une émulsion eau dans l'huile (E/H).

Tableau 1.1 Etat physicochimique des constituants majeurs du lait de vache

Constituants	*Dimensions (m)*	*émulsion*	*Solution colloïdale*	*Suspension colloïdale*	*Solution Vraie*
Matière grasse	10^{-5} *à* 10^{-6}	*X*			
Micelles de caséines	10^{-7} *à* 10^{-8}			*X*	
Protéines du	10^{-8} *à* 10^{-9}		*X*		

sérum					
glucides	*10^{-9} à 10^{-10}*				*X*
minéraux	*10^{-9} à 10^{-10}*				*X*

2.1 Eau :

L'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion 90 % du volume de lait. Il se trouve sous deux formes : l'eau libre (96% de la totalité) et l'eau liée (4%) à la matière sèche.

La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire. Ce caractère lui permet de former une solution vraie avec les glucides et les minéraux, une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum, une émulsion avec la matières grasses, et une suspension colloïdale avec les micelles de caséines.

2.2 Matière grasse :

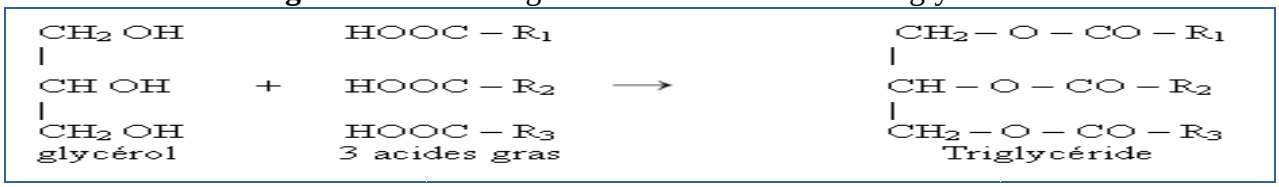
Le lait contient en moyenne entre 35 et 40 g/l de matière grasse. Les matières grasses du lait se composent principalement de triglycérides, de phospholipides et d'une fraction insaponifiable constituée en grande partie de cholestérol et de β-carotène.

Tableau 1.2 Proportions des différents constituants de la fraction lipidique du lait.

Constituants	Proportions de lipides du lait (%)
Triglycérides	98
Phospholipides	1
Fraction insaponifiable	1

Les triglycérides sont des esters du glycérol, c'est-à-dire qu'ils sont formés par condensation de trois molécules d'acides gras sur une molécule de glycérol, par perte de trois molécules d'eau.

Figure 2.1 Réaction générale de formation d'un triglycéride.



Les triglycérides sont dits « homogènes » si les trois acides gras sont identiques et « mixtes » si au moins un des acides gras est différent. La majorité des triglycérides présents dans le lait sont mixtes ; le nombre de combinaisons possibles des acides gras dans les molécules de triglycérides est considérable, ce qui fait de la matière grasse du lait une des graisses les plus complexes qu'on connaisse.

2.3 *Protéines* [1b]:

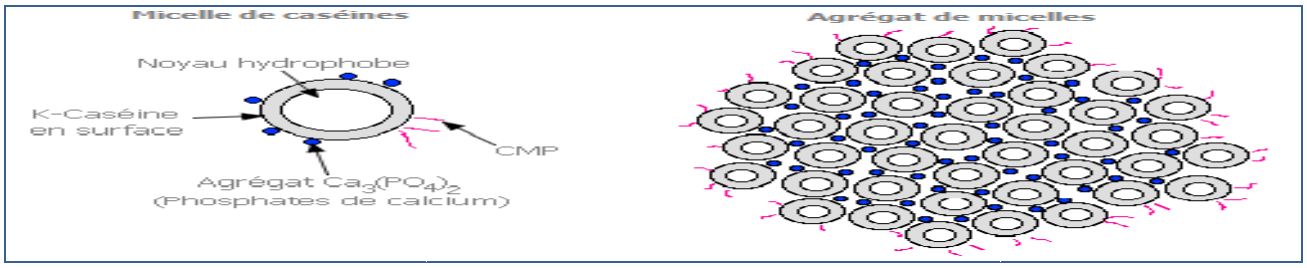
Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et constituent (31-35g/l) du lait. L'analyse de l'azote par la méthode kjeldahl, permet d'évaluer que 95% de la quantité totale d'azote est présente dans les protéines. Les composés azotés non protéiques sont principalement des protéoses, des peptones et de l'urée.

Les protéines du lait ont différentes structures et différentes propriétés physico-chimiques, cela nous conduit à les classer en deux groupes selon leur solubilité dans l'eau et leur stabilité:

- Les caséines qui se trouvent en suspension colloïdale et se regroupent sous forme de micelle. Sous l'effet de la présure ou lors de l'acidification à un pH d'environ 4.6, elles précipitent.
- Les protéines du sérum sont en solution colloïdale et qui précipitent sous l'effet de la chaleur.

Les micelles sont formées de sous-micelles reliées ensemble par des ponts phosphate de calcium. Les sous-micelles périphériques sont plus hydrophiles et contiennent une plus grande proportion de κ-caséine. Les caséines β et α_{s1} sont plus présentes au centre de la micelle et forment le cœur hydrophobe, tandis que la partie externe de la micelle est formée de caséines α_{s1}, α_{s2} et κ.

Figure 2.2 Structure micellaire et sous-micellaire de caséine.



Les principales protéines du sérum sont la β-lactoglobuline (55%), α-lactalbumine (22%), les immunoglobulines (13%), le sérum albumine bovine (SAB) (7%) et la lactoferrine (4%). L'ensemble de ces protéines représente environ 20% des protéines totales.

a. Transformations chimiques des protéines:

Pendant la transformation du lait en un produit dérivé, la structure des protéines change sous l'effet des facteurs physico-chimiques utilisés pendant le traitement à savoir : l'acidification, la chaleur et la présure.

- ***Effet de l'acidification :*** L'acidification du lait touche particulièrement les caséines. Même une légère acidification modifie suffisamment la structure micellaire pour que les caséines deviennent instables à la chaleur. Ainsi, lorsque le pH passe de 6.7 à 5.5 les charges négatives présentes à la surface des micelles de caséines sont neutralisées, ce qui produit une augmentation du diamètre moyen des micelles causées par l'agglomération des petites micelles aux plus grosses. Lorsque l'acidification se poursuit jusqu'à un pH de 5 on observe l'agrégation des micelles et même la fusion de certaines d'entre elles. L'acidification se poursuit jusqu'au point isoélectrique de la caséine, soit un pH de 4.65. Les micelles perdent complètement leur structure par dissolution totale du calcium micellaire. Les protéines subissent alors un étirement peuvent s'enchevêtrer et former un gel [1c].
- ***Effet de la chaleur :*** Le chauffage d'un lait jusqu'à 60°C provoque des changements dans la structure des protéines.
- ***Effet de la présure :*** L'addition de la présure au lait provoque sa coagulation par hydrolyse de la κ-caséine située en périphérie de la micelle. Cette coagulation commence par l'agrégation des petites micelles, puis se complète par l'agrégation des plus grosses micelles et formera le gel de para-caséine.

2.4 Lactose :

Le lactose est le sucre du lait puisqu'il constitue environ 40% des solides totaux. D'autres glucides peuvent être présents en faible quantité, comme le glucose et le galactose qui proviendraient de l'hydrolyse du lactose ;

a. Transformations chimiques du lactose:

Le lactose peut subir quelques transformations chimiques lors des fabrications industrielles de différents produits laitiers et dont les principales sont l'hydrolyse, le brunissement non enzymatique, et la fermentation.

Au cours de la fermentation, les bactéries lactiques présentes dans le lait ou ajoutées lors de différentes étapes de fabrication décomposent le lactose selon la voie de Meyerhof-Embden, voie anaérobique de la glycolyse. Le lactose est initialement hydrolysé en D-glucose et en D-galactose. Ces deux monosaccharides subissent les onze réactions de la glycolyse pour former chacun deux molécules d'acide pyruvique. Chaque molécule d'acide pyruvique se transforme ensuite en acide lactique.

Figure 2.3 Schéma des différentes étapes de la fermentation lactique.

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{Lactase} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

lactose — glucose — galactose

glucose ou galactose $\xrightarrow{enzyme}$ glucose-1-phosphate $\rightarrow$ (10 étapes) $\rightarrow$ acide pyruvique $\rightarrow$ acide lactique par réduction.

2.5 Minéraux :

La quantité des minéraux contenus dans le lait après incinération varie de 0.60 à 0.90%. Ils prennent plusieurs formes ; ce sont le plus souvent des sels, des bases et des acides.

Tableau 1.3 Composition chimique du lait en minéraux.

Minéraux	*Teneur (mg/kg)*	*Minéraux*	*Teneur (mg/kg)*
Sodium (Na)	*445*	***Calcium (Ca)***	*1180*
Magnésium (Mg)	*105*	***Fer (Fe)***	*0.50*
Phosphore (P)	*896*	***Cuivre (Cu)***	*0.10*
Chlore (Cl)	*958*	***Zinc (Zn)***	*3.80*
Potassium (K)	*1500*	***Iode (I)***	*0.28*

A cette liste s'ajoute certains éléments, comme le soufre présent dans les protéines et les oligo-éléments qui sont présents à de faibles concentrations ou à l'état de trace.

Les minéraux du lait se trouvent sous deux formes principales, surtout sous forme de sels ionisés et solubles dans le sérum et sous forme micellaire insoluble. Les éléments basiques majeurs comme le calcium, potassium, magnésium et sodium forment des sels avec les constituants acides que sont les protéines, les citrates, les phosphates et les chlorures.

2.6 Vitamines :

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.

On répartit les vitamines en deux classes selon leur solubilité, soit les vitamines hydrosolubles et les vitamines liposolubles.

Tableau 1.4 Principales vitamines du lait et leur teneur moyenne.

Vitamines	*Teneur moyenne (µg/100ml)*
Vitamines liposolubles :	
Vitamine A (+ carotènes)	*40*
Vitamine D	*2.4*
Vitamine E	*100*
Vitamine K	*5*
Vitamines hydrosolubles :	
Vitamine C (acide ascorbique)	*2.10^6*
Vitamine B1 (thiamine)	*45*
Vitamine B2 (riboflavine)	*175*
Vitamine B6 (pyridoxine)	*50*
Vitamine B12 (cyanocobalamine)	*0.45*
Niacine et niacinamide	*90*
Acide pantothénique	*350*
Acide folique	*5.5*
Vitamine H (biotine)	*3.5*

Il est important de noter que les vitamines liposolubles A, D, E et K s'associent aux différents lipides ; par conséquent, l'écrémage du lait diminuera considérablement leurs concentrations. Par contre, elles seront en plus grande concentration dans les produits comme la crème et le beurre.

2.7 Enzymes :

Les enzymes sont des protéines globulaires spécifiques produites par les cellules vivantes ; chaque enzyme possède son point isoélectrique et s'avère vulnérable à différents agents dénaturants

comme la variation de pH, la température, la force ionique, les solvants organiques. Les enzymes sont des biocatalyseurs, car ils accélèrent les réactions biochimiques. Chaque enzyme possède une spécificité absolue à un type de réaction ; en plus de cette spécificité de réaction, chaque enzyme est spécifique à un substrat. Cette spécificité lui vient de son site actif qui possède la forme complémentaire du substrat.

Le lait contient principalement trois groupes d'enzymes : les hydrolases, les Oxydo-réductases et les oxygénases. Les deux principaux facteurs qui influent sur l'activité enzymatique

sont le pH et la température. En effet, chaque enzyme possède un pH et une température d'activité maximale.

Tableau 1.5 Principales classes d'enzymes du lait ainsi que leur pH et leur température d'activité maximale[1d].

Activité maximale				
Groupes d'enzymes	***Classes d'enzymes***	***pH***	***Température (°C)***	***Substrats***
Hydrolases	*Estérases :*			
	Lipases	*8.5*	*37*	*Triglycérides*
	Phosphatase acide	*4.0-5.2*	*37*	*Esters phosphoriques*
	Protéases :			
	Lysosyme	*7.5*	*37*	*Parois cellulaires microbiennes*
Oxydo-réductases	*Déshydrogénases ou oxydases : Sulfhydryle oxydase*	*7*	*37*	*Protéines et peptides*
	Oxygénases :			
	Lactoperoxydase	*6.8*	*20*	*Composés réducteur + H_2O*
	catalase	*7*	*20*	

3. Propriétés physicochimiques du lait :

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

3.1 Masse volumique et densité du lait :

La masse volumique, le plus souvent exprimée en grammes par millilitre ou en kilogramme par litre, est une propriété physique qui varie selon la température. Pour diminuer l'effet de la température, on utilise souvent la densité relative. Cette propriété se définit comme suit :

$$\mathbf{D} = \frac{\varphi \ d'une\ substance\ à\ une\ température\ T}{\varphi \ de\ l'eau\ à\ une\ température\ T}$$

Où : **D** = densité relative ; **φ** = masse volumique (g/l) ; **T** = température (°C)

3.2 Point de congélation :

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Il peut varier de -0.530°C à -0.575°C avec une moyenne de -0.555°C.

3.3 Point d'ébullition :

On définit le point d'ébullition comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée. Le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés. Il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100.5°C.

3.4 Acidité du lait :

Dès sa sortie du pis de la vache, le lait démontre une certaine acidité. Cette acidité est due principalement à la présence de protéines, les phosphates, le gaz carbonique CO_2, et l'acide citrique. On l'appelle acidité apparente ou acidité naturelle du lait.

Tableau 1.6 Acidité naturelle de quelques constituants du lait **[1e].**

Constituants	Acidité (% d'équivalent d'acide lactique)
Caséines	0.05 à 0.08
Phosphates	0.05 à 0.07
Lactalbumine	0.01
CO_2	0.01 à 0.02
Acide citrique	0.01

A la sortie du pis de vache, le lait frais ne contient qu'environ 0.002% d'acide lactique. En se développant, les bactéries lactiques vont former de l'acide lactique CH_3-CHOH-COOH par fermentation du lactose. Cette nouvelle acidité se nomme *acidité développée.* C'est cette acidité qui conduit à la dénaturation des protéines.

a. *Acidité titrable :*

L'acidité titrable est une mesure de deux acidités définies précédemment :

Acidité titrable = acidité naturelle + acidité développée

La mesure d'acidité titrable s'exprime couramment de deux façons : soit en pourcentage (%) d'équivalents d'acide lactique, soit en degrés Dornic (°D).

b. *pH :*

Le pH d'un lait frais se situe entre 6.6 et 6.8. Le pH ne mesure pas la concentration des composés acides mais plutôt la concentration des ions H^+ en solution. Les valeurs de pH représentent l'état de fraîcheur du lait et renseigne sur la stabilité des protéines. Un lait ayant une acidité développée importante aura un pH plus bas que 6.6, car l'acide lactique est un acide suffisamment fort pour se dissocier et abaisser le pH. Deux laits peuvent donc avoir des pH identiques, c'est-à-dire être dans le même état de fraicheur, mais avoir des acidités titrables différentes. Par exemple :

Lait n°1 : pH =6.7 ; acidité titrable = 14°D ; lait normale et stable.

Lait n°2 : pH =6.7 ; acidité titrable = 18°D ; lait riche en protéines, en phosphates et stable.

Lait n°3 : pH = 6.4 ; acidité titrable = 18°D ; lait ayant une acidité développée, dans un état de fraicheur douteux.

II. Microbiologie du lait :

1. *Définition:*

Un microorganisme est un organisme vivant, de très petites dimensions. Du fait qu'il est invisible à l'œil nu, il est impossible de détecter sa présence et seul le respect des règles d'hygiène et de salubrité diminuera les risques de problèmes.

Les microorganismes se multiplient, se nourrissent, s'adaptent et sécrètent des déchets ou sous-produits de leur métabolisme qui pourront être utiles, nuisibles ou dangereux pour l'humain. Pour se multiplier, ils utilisent les principaux constituants qui entrent dans la composition des produits laitiers. On retrouve quatre groupes de microorganismes qui ont une importance dans le domaine laitier : les virus, les bactéries, les levures et les moisissures.

1.1 Virus :

Le virus est le plus petit des microorganismes connus. Sa taille est de l'ordre du nanomètre, soit un millionième de mètre. Etant un parasite, il a besoin d'un organisme vivant pour se développer. Selon le virus, il peut parasiter un humain, un animal, une plante ou une bactérie. Les virus ne se développent donc pas dans les aliments. La présence de virus dans un produit laitier signifie qu'un manipulateur, un animal, l'eau ou une des composantes utilisées dans la formulation du produit alimentaire a servi de vecteur d'incorporation.

1.2 Bactéries :

Les bactéries peuvent être jusqu'à 1000 fois plus grosses qu'un virus ; leur taille est de l'ordre du micromètre (µm). Toutes les bactéries peuvent se retrouver sous la forme végétative, forme sous laquelle elles peuvent se nourrir, se multiplier et libérer des sous-produits de leur métabolisme. Certaines bactéries telles que *Bacillus* sp. Et *Clostridium* sp. Ont la capacité de produire une spore leur permettant de résister à certaines conditions défavorables telles que le froid, la chaleur, l'absence d'eau, l'acidité ou l'absence de nourriture. Dans ces conditions toutefois, la bactérie ne peut pas se multiplier ; elle est en attente de conditions plus clémentes afin de germer et ainsi retrouver sa forme végétative. Pour les identifier sommairement, on a recours à l'observation microscopique. Une bactérie peut rester sous la forme sporulée durant plusieurs mois, voire plusieurs années.Des conditions plus extrêmes de traitement thermique ou d'acidité sont nécessaires

pour les détruire. Selon leurs actions, on peut classer les bactéries comme utiles, nuisibles ou pathogènes.

a. Bactéries utiles :

L'industrie laitière utilise certaines bactéries, appelées ferment, dans la production des yogourts, des fromages, de la crème et de tout autre produit laitier fermenté. On nomme ferments lactiques les bactéries utilisées, entre autres, pour l'acidification du lait. On emploie Les ferments propioniques dans la fabrication des fromages de types Emmental.

b. Bactéries nuisibles :

Ces bactéries peuvent être responsable de diverses dégradations telles que le limonage, entraînant l'apparition d'une texture visqueuse à la surface des fromages ou la présence de longs filaments dans le lait, le surissement ou le caillage du lait et la production de mauvaises odeurs (soufrée, ammoniacale, fruitée et atypique) découlant de certaines activités métaboliques telles que la protéolyse ou la lipolyse. La gazéification du lait, à la source de trous non voulus ou de gonflements durant l'affinage des fromages, résulte aussi de l'activité de bactéries contaminantes nuisibles.

c. Bactéries pathogènes :

Les bactéries pathogènes sont responsables des affections reliées à la santé des manipulateurs et des consommateurs. On retrouve deux genres de bactéries pathogènes : les infectieuses et les toxigènes.

Les bactéries infectieuses doivent être vivantes dans l'aliment lors de sa consommation pour agir. Une fois ingérées, elles dérèglent le système digestif. Apparaissent alors divers symptômes connus tels que la diarrhée, les vomissements, les maux de tête et la mort dans certains cas extrêmes. Pour ce qui est des bactéries toxigènes, elles produisent une toxine dans l'aliment et c'est cette toxine qui rend le consommateur malade.

1.3 Levures :

Les levures sont de 10 à 40 fois plus grosses que les bactéries. De forme ovale, elliptique ou rectangulaire, dans certains cas, elles se développent en produisant des renflements appelés bourgeons. On n'a pas identifié pour l'instant de levures pathogènes associées au domaine laitier.

On retrouve aussi dans le domaine laitier des levures nuisibles responsables de certaines dégradations détectées par des odeurs d'alcool, par un gonflement des emballages et du fromage dû à la production de gaz et par le limonage. Ces dégradations entraîneront une perte de rendement et une diminution de la vie de tablette. Même si les levures ne sont pas pathogènes, la dégradation d'aliments causée par les levures peut être un indice de la présence d'autres microorganismes pathogènes. Elle est certainement un indice de mauvaises pratiques et de fabrications mal contrôlées.

1.4 Moisissures :

De façon générale, les moisissures sont dix fois plus grosses que les levures.

Elles ont une forme très structurée appelée « thalle » qui peut rappeler un arbre ou un pissenlit. Elles ont une partie aérienne appelée « hyphe » et une partie dans le produit, appelé « mycélium ». On les considère comme des aérosols puisque, comme un pissenlit en période de pollinisation, son pollen que l'on appelle « spore » peut se détacher au moindre courant d'aire ou mouvement brusque pour aller contaminer les aliments et les surfaces avoisinantes.

Il y a des moisissures utiles qui sont employées dans la fabrication de fromages telles que le camembert, le brie et le roquefort. Il y a également des moisissures nuisibles. Il suffit de penser à tous ces aliments qui sont moisis et qui ont des couleurs et des textures atypiques.

Enfin, on retrouve aussi des moisissures pathogènes qui sont pour la plupart toxigènes, produisant une toxine dans le produit alimentaire. C'est pour cette raison qu'il faut jeter tout aliment moisi, car la toxine diffusée dans l'aliment sera source de danger pour la santé. Les moisissures sont des microorganismes ayant absolument besoin d'oxygène pour se développer. C'est pourquoi on les retrouve principalement à la surface des produits laitiers ou dans les canaux des fromages bleus.

2. Principales activités microbiennes dans le lait :

Les activités métaboliques des microorganismes présents dans le lait peuvent avoir des effets positifs ou négatifs sur l'apparence, l'odeur, la consistance ou la texture et le goût des produits laitiers. Il y a six principales catégories d'activités métaboliques pouvant survenir dans le lait : l'acidification, la production de gaz tels que le dioxyde de carbone, l'alcoolisation, le limonage, la protéolyse et la lipolyse.

2.1 Acidification :

Les bactéries lactiques hydrolysent le lactose du lait grâce à la β-galactosidase, pour produire deux nouveaux sucres : le glucose et le galactose. Le glucose provenant de cette hydrolyse sera fermenté pour produire des composés acides, du CO_2 dans certains cas ou de l'alcool. Cette production de composés acides va amener un abaissement du pH du produit se caractérisant par des odeurs et goûts surs, pouvant aller jusqu'à la coagulation si on atteint le point isoélectrique de 4.6.

2.2 Production de gaz :

Certaines bactéries lactiques ne produisent que de l'acide lactique lors de la fermentation du lactose. On dit qu'elles sont homofermentaires. Toutefois, d'autres bactéries lactiques produisent du CO_2 et d'autres sous-produits en addition à l'acide lactique. On qualifie ces bactéries d'hétérofermentaires ou de gazogènes.

2.3 Production d'alcool :

Les levures, microorganismes responsables de la production d'alcool, transforment le lactose du lait en alcool. La principale conséquence est l'apparition d'une odeur levurée ou alcoolisée, souvent associée à la bière ou au pain.

2.4 Production de polysaccharides ou de polypeptides :

Certains microorganismes utilisent les sucres ou les protéines du lait pour construire des molécules plus grosses et plus longues appelées respectivement polysaccharides ou polypeptides. On dira de ces microbes qu'ils sont filants, limoneux, texturants ou épaississants. La production de ces longues molécules donne une texture visqueuse ou graisseuse au lait en raison de leur grosseur et de leur longueur. Comme la plupart de ces microorganismes sont mésophiles, la présence de ce problème dans les produits laitiers est souvent un indice du bris de la chaîne de froid ou d'un non-respect des règles d'hygiène et de salubrité.

2.5 Protéolyse :

Au cours de leurs activités métaboliques, certains microbes, grâce à l'action de leurs protéases, utilisent les protéines du lait. Ce phénomène produit la libération de sous-produits très variés, dont des peptides à longues chaîne ou courte chaîne, des acides aminés et des dérivés d'acides aminés.

Lors de l'affinage des fromages, la protéolyse joue un rôle primordial dans l'obtention d'une texture caractéristique et de flaveurs désirées pour les divers types de fromage.

2.6 Lipolyse :

Certains microorganismes, grâce à leurs lipases, peuvent décomposer les matières grasses et les acides gras libres du lait, entraînant l'apparition d'odeurs rances dans le produit laitier.

Les produits laitiers à haute teneur en matière grasse sont plus sensibles à la dégradation par les microorganismes lipolytiques.

3. Cultures propioniques :

3.1 Espèces et caractéristiques :

Les bactéries du genre *propionibacterium*, récemment classées dans la nouvelle classe *Actinobacteria*, sont groupées selon leur environnement en bactéries propioniques cutanées et laitières. Les souches laitières comprennent les espèces de *p. freudenreichii, P. jensenii, P. thoenii* et *P. acidipropionici*. Ces espèces ne sont pas typiques de la microflore humaine. Les bactéries propioniques sont *Gram positives*, anaérobies facultatives, non sporulantes, catalase-positives et sans motilité. Elles sont souvent pléomorphes leur forme pouvant être coccoïdale, allongée ou ramifiée. Les cellules sont seules ou en paires et forment parfois des configurations en « Y » ou des arrangements rappelant les caractères chinois. Les bactéries propioniques métabolisent divers hydrates de carbone selon les espèces ainsi que le pyruvate et le lactate. Toutes les espèces de bactéries propioniques sauf *P. freudenreichii* subsp. *freudenreichii* métabolisent le lactose. [1f]

La température optimale de croissance de *propionibacterium* se situe généralement entre 30°C et 32°C. Le pH optimal de croissance se situe entre 6.5 et 7.0 et la valeur minimale de A_W pour *propionibacterium* est de 0.90.

Il apparait que le niveau de sel de saumure influence le niveau initial des bactéries propioniques alors que leur nombre demeure plus ou moins stable durant l'affinage peu importe la température de maturation. Ainsi, dans le fromage, la formation des yeux débute au centre de la pâte, car la périphérie présente des concentrations de sel plus élevées.

Les souches sélectionnées doivent se développer à 21°C et montrer peu d'activité à température plus basse (10°C). Les ferments propioniques sélectionnés doivent survivre à la cuisson pouvant atteindre 55°C pendant 30 minutes.

3.2 Rôles dans les fromages :

Dans le fromage Emmental, la croissance des bactéries propioniques est indispensable pour la formation des yeux et des arômes caractéristiques. Les bactéries n'interviennent pas lors de la fabrication fromagère mais forment les yeux pendant l'affinage de fromage en cave chaude, entre 20-25°C. Le nombre de bactéries propioniques à cette période se situe autour de 10^9 UFC/g de fromage. L'affineur devra faire coïncider la production de gaz des bactéries propioniques et l'obtention d'une pâte déformable.

Dans le fromage, le lactate CH_3-CHOH-CO_2^- est la principale source d'énergie pour la fermentation propionique mais d'autres substrats comme le lactose ou des composés organiques peuvent aussi servir. Les taux de croissance pour *propionibacterium* et les biomasses finales sont généralement plus élevés avec le lactose, le glucose et le galactose que pour le lactate. Malgré cela, on préfère le lactate.

La qualité du fromage est fonction des concentrations en propionate, en acétate et en gaz carbonique de même que des proportions de chacun de ces composés. Théoriquement, trois moles de lactate sont converties en deux moles de propionate, une mole d'acétate et une mole de CO_2. Le rapport propionate : acétate varie selon les souches et les conditions. On a démontré que les bactéries propioniques possédent des hydrolases peptidiques intracellulaires et extracellulaires. Les peptides libérés par les ferments lactiques sont dégradés davantage par les peptidases des bactéries propioniques et contribuent, avec les acides aminés, à l'arôme du fromage.

La production de proline, également l'œuvre conjointe des bactéries lactiques et des bactéries propioniques, est associée à l'arôme sucré de noisette, typique de l'Emmental. Les bactéries propioniques produisent, en quantité moindre, des lipases et des protéases qui influencent la saveur du fromage.

III. Technologie du fromage :

1. Définition :

L'Emmental est un fromage affiné à pâte dure conformément à la Norme générale pour le fromage (CODEX STAN 283-1978). La pâte a une couleur allant du blanc cassé au jaune pâle et une texture élastique et tranchable mais pas collante, avec un nombre de trous de gaz réguliers, allant de rares à nombreux, d'une taille variant entre celle d'une cerise et d'une noix [2].

Le fromage affiné est un fromage qui n'est pas prêt à la consommation peu après sa fabrication, mais qu'on doit maintenir pendant un minimum de 6 semaines à une température de 20°C puis à 5°C pendant un minimum de 5 semaines et dans les conditions nécessaires pour que s'opèrent les changements biochimiques et physiques caractéristiques du fromage.

2. Rôle des constituants majeurs de l'Emmental :

2.1 Eau :

L'eau a une incidence directe sur la fermeté du fromage, donc sur la texture. La teneur en humidité des fromages peut être un moyen de classifier les fromages. Par exemple, l'Emmental contient au maximum 35% d'eau. Cette eau est essentielle aux microorganismes et influence leur croissance et, par le fait même, la vitesse de fermentation et d'affinage. Plus la teneur en eau dans les fromages est grande, plus rapide sera l'hydrolyse des caséines, de la matière grasse et du lactose par les enzymes microbiennes, ce qui aura également un effet direct sur la flaveur d'un fromage. De plus, l'eau est un facteur déterminant de la durée de conservation d'un fromage. Si l'action des enzymes présents dans le fromage se trouve accélérée en raison d'un contenu élevé en eau, le fromage pourrait atteindre plus rapidement, selon la variété, les qualités sensorielles désirées et ainsi voir diminuer sa période de conservation. Par contre, une teneur élevée en humidité peut aussi entraîner l'apparition de défauts de saveur et de texture et ainsi nuire à la qualité du produit fini. L'eau contribue également au rendement fromager. Plus la teneur en eau dans un fromage est élevée, plus le rendement fromager est élevé.

2.2 Matière grasse :

La matière grasse qui contribue au développement de l'arôme et de la saveur est constituée de triglycérides et d'acides gras, les enzymes lipolytiques peuvent hydrolyser les triglycérides et

libérer des acides gras en nombre plus ou moins grand et ainsi contribuer au développement de l'arôme et de la saveur au cours d'affinage. Cependant, une trop grande lipolyse peut aussi entraîner l'apparition de saveurs et d'arômes indésirables.

La matière grasse sert également de véhicule de transport à des composés aromatiques liposolubles. Dans la bouche, lorsqu'elle fonde, elle libère ces composés aromatiques, contribuant ainsi à la qualité sensorielle du fromage. Outre les composés aromatiques, la matière grasse transporte des vitamines liposolubles (A, D, E et K).

2.3 Protéines :

La caséine, en formant un caillé lactique ou présure, retient selon le cas plus ou moins de matière grasse, de minéraux, d'eau et d'éléments solubles, ce qui a une incidence directe sur les rendements fromagers.

Les caséines participent également au développement de la saveur du fromage. Pendant la fabrication et surtout pendant l'affinage, les caséines sont hydrolysées en des constituants plus petits (polypeptides, peptides et acides aminés) par des enzymes protéolytiques comme la chymosine, les enzymes bactériens et les enzymes naturellement présents dans le lait. Ces enzymes sont généralement responsables de l'apparition des saveurs de fruits d'amertumes et de noisettes.

2.4 Lactose :

En présence de la β-galactosidase présente dans les bactéries lactiques, le lactose s'hydrolyse en libérant le galactose et le glucose. Ces éléments servent de sources de carbones pour les bactéries lactiques. Pendant la fabrication fromagère, la transformation graduelle du lactose en acide lactique fait abaisser le pH du lait, favorise sa coagulation, force la déminéralisation des micelles de caséines, favorise la synérèse du caillé et inhibe en même temps la croissance de certains microorganismes indésirables.

2.5 Minéraux :

Plus de la moitié du phosphore et des cations divalents (Ca et Mg) sont retenus dans le caillé. Par contre, une bonne partie des minéraux monovalents (Na et K) sont éliminés dans le lactosérum. Cependant l'élimination du sodium est en partie annulée par l'ajout de sel (NaCl) à l'étape du salage.

3. Transformation du lait en fromage :

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

3.1 Coagulation du lait :

a. Coagulation par voie enzymatique :

Il y a un grand nombre d'enzymes protéolytiques, d'origine animale, végétale ou microbienne, qui ont la propriété de coaguler le lait. Cependant, cette propriété ne suffit pas à les rendre tous aptes à produire des fromages de qualité. Il faut tenir compte de leur grande activité protéolytique non spécifique supplémentaire qui leur permet d'hydrolyser les caséines α et β avec libération de peptides. Cette hydrolyse non spécifique peut se produire pendant et après la fabrication fromagère. Si elle est trop élevée, il peut en résulter plusieurs inconvénients, dont une baisse du rendement fromager, une texture molle et l'apparition de goûts anormaux. La présure d'origine animale constituée principalement de chymosine et d'un peu de pepsine est le coagulant le plus utilisé. Elle appartient à la famille des endopeptidases, c'est-à-dire des protéases agissant à l'intérieur des chaînes polypeptidiques constituant les protéines. Elles possèdent une activité très spécifique, car elle n'hydrolyse que la caséine-κ pendant les fabrications fromagères. Selon le procédé de fabrication utilisé, une certaine quantité de présure demeure emprisonnée dans le caillé, cette dernière amorcera l'affinage en s'attaquant de préférence à la caséine-α_{s1}.

Le gel présure est très minéralisé. Il s'ensuit une augmentation de sa cohésion et de sa fermeté.

b. Coagulation par voie acide

La coagulation par voie acide est provoquée par le ferment lactique qui transforme le lactose en acide lactique. Lorsqu'il y a production d'acide, le pH du lait de fromagerie diminue, ce qui provoque une solubilisation du phosphate de calcium colloïdal, un élément important dans la stabilité des micelles de caséines. Dépourvues de phosphate de calcium, les micelles se défont en sous-unités. Lors de l'acidification, s'il n'y a aucune, les sous-micelles s'associent par liaison électrostatique et hydrophobes pour former un gel lactique qui emprisonne toute l'eau. Cependant, lorsque le pH atteint le point isoélectrique des caséines (pH =4.6), la structure sous-micellaire disparaît et les liaisons concernées, quoi qu'elles soient très nombreuses, s'affaiblissent et le gel se

fragilise. A l'inverse, si on agite le lait pendant l'acidification, il y a floculation des micelles de caséines, ce qui provoque une synérèse. L'eau n'est donc plus retenue dans le gel. La coagulation sera plus ou moins grande selon que la combinaison de facteurs appliqués au lait favorisera ou non la solubilisation des minéraux colloïdaux. Certaines combinaisons auront des effets antagonistes, tandis que d'autres iront dans le même sens. La teneur en protéines agit aussi sur la coagulation acide. Un lait riche en protéines formera un caillé lactique plus ferme.

c. Coagulation mixte :

Deux types de coagulation sont conjugués : la coagulation enzymatique, et la coagulation acide. Les enzymes contenues dans la présure coupent les chaînes de caséine. Les micelles se restructurent en formant le coagulum. Sous l'effet des bactéries lactiques qui transforment le lactose en acide lactique, les ions minéraux se détachent des micelles de caséine. Les ions minéraux passent dans le lactosérum, tandis que les protéines précipitent.

d. Caractéristiques comparées des deux gels

Les mécanismes de coagulation du lait par voie acide et par voie enzymatique combinés à l'égouttage permettent de produire deux types de gels, donc des caillés bien distincts.

Tableau 1.7 Caractéristiques des caillés lactiques et des présures $[1g]$.

Paramètres	Type de caillés	
	Lactique	Présure
Egouttage	Faible	Elevé
Teneur en eau	Elevée	Faible
Teneur minérale	Faible	Elevé
Pouvoir tampon	Faible	Elevé
Teneur résiduelle en lactose	Elevée	Faible
Structure des caséines	Etat dissocié	Etat micellaire
pH	Faible <4.60	Elevé >5.00
Type de texture	Plastique, fragile	Elastique, solide
Durée de conservation	Faible (quelques semaines)	Elevée (plusieurs mois)

2.2 Egouttage :

La synérèse est un phénomène biochimique et physicochimique suivant lequel un caillé formé soit par voie enzymatique, soit par voie lactique se contracte continuellement et expulse spontanément le lactosérum. L'égouttage est une étape commune dans beaucoup de procédés de fabrication fromagère qui permet, d'accélérer la synérèse puis de séparer le lactosérum du caillé.

Lors de cette étape, la plus grande partie des éléments solubles est éliminée dans le lactosérum. On peut considérer qu'il s'agit d'une déshydratation partielle du caillé.

a. Facteurs d'égouttage :

Comme pour la coagulation, plusieurs facteurs peuvent influencer la vitesse de synérèse. Parmi ces facteurs, il y a les facteurs liés à la composition du lait et aux traitements technologiques que le lait subit à la ferme ou à l'usine de transformation.

On peut faire ressortir des effets généraux de différents facteurs sur la vitesse de synérèse. Le tableau 1.8 en fait un résumé $[1h]$.

Tableau 1.8 Facteurs modifiant la synérèse.

Les types de modification	Effet sur la synérèse
Teneur en gras	↘
Teneur en protéines	↘
Température	↗
Homogénéisation	↗
ph	↗
Surface des grains	↗
Brassage	↗
Teneur en sel	↗
pression	↗

Les paramètres de coagulation appliqués lors de la fabrication fromagère, s'ils prédisposent le caillé à l'égouttage, ne suffisent pas à éliminer adéquatement le lactosérum. Comme d'autres traitements entrent alors en jeu comme les traitements thermiques et les traitements mécaniques.

L'augmentation de la température en général accroît la synérèse d'un caillé parce qu'elle favorise également l'action des enzymes coagulantes et la fermentation lactique se trouve parfois à ralentir si l'augmentation de la température est trop importante. D'ailleurs, l'étape de la cuisson pour le fromage type Emmental permet, en plus d'accroître la synérèse, de réguler l'activité des ferments lactiques. Les traitements mécaniques tel que le découpage, le brassage, le moulage, les retournements et le pressage varient d'intensité selon qu'on cherche à obtenir en fin d'égouttage un caillé de type présure, mixte ou lactique.

Un caillé présure minéralisé peu acide, donc peu perméable, peut supporter des actions mécaniques variées et intenses. Par contre, un caillé mixte plus acide et moins minéralisé supporte moins bien les traitements mécaniques et c'est le cas de l'Emmental.

Le découpage consiste à diviser le gel en cubes et en portions égales afin d'accroître les surfaces d'exsudation du lactosérum. Pour un caillé de type lactique, on réduit le tranchage du caillé au minimum, tandis que pour un caillé présure, le découpage sera très important. En permettant une séparation plus ou moins rapide et importante du lactosérum, le découpage conditionne l'allure de l'égouttage, donc il est un facteur important. Le brassage consiste à agiter les grains de caillé dans le lactosérum. Cette opération est nécessaire pour empêcher les grains de s'agglomérer en masse, ce qui ralentirait l'évacuation du lactosérum. A mesure que l'acidité des grains se développe, ces derniers ont tendance à s'agglomérer. C'est la raison pour laquelle on n'agite pas, ou que très peu, les caillés de type lactique.

Le brassage permet également de bien répartir la chaleur entre les grains de caillé.

Le moulage et les retournements permettent de donner la forme au fromage et de poursuivre l'élimination du lactosérum.

Le pressage à pour but de compléter l'égouttage, de renforcer la soudure des grains de caillé tout en donnant au fromage sa forme définitive.

2.3 Affinage :

Lors de la coagulation et de l'égouttage, on prépare un substrat constitué de caséine, de matière grasse, d'eau, de minéraux et d'une fraction des constituants solubles du lait. Ce substrat est un genre de bioréacteur, car il contient une biomasse microbienne et des enzymes actifs qui, pendant l'affinage, transforment continuellement le substrat. L'affinage correspond donc à une digestion enzymatique des constituants du caillé égoutté qui lui conférera à la fin une texture et une saveur caractéristiques. Cependant, les phénomènes qui se produisent dans l'évolution du substrat sont complexes en raison de la nature du substrat, de la variété des agents responsables des transformations, de la diversité des modifications subies par les constituants et du grand nombre de produit formés. Plusieurs types de dégradations s'effectuent simultanément ou successivement dans un caillé en voie de maturation. Il y a notamment la fermentation du lactose, l'hydrolyse des protéines et la dégradation de la matière grasse. Ces transformations ne s'arrêtent pas au stade

primaire, car le ou les produits formés peuvent être à leurs tours transformés et donner naissance à de nouveaux composés, eux-mêmes susceptibles d'être repris par d'autres systèmes enzymatiques.

a. Principaux agents de l'affinage [1*i*]:

Tableau 1.9 Principales enzymes, substrats majeurs et produits majeurs intervenant dans l'affinage.

	Enzymes principales ou voie métabolique	Sources principales	Substrat Majeur	Produits majeurs
Sucres Et acides	β-galactosidase	• Bactéries lactiques	Lactose	Glucose et galactose
	Voie homofermentaire	• Bactéries lactiques	Glucose Galactose	Lactate
	Voie du propionate	• *Propionibacterium*	Lactate	Propionate et acétate
Composés azotés	Chymosine	• Pressure	CN-α_1, CN-β	Polypeptides
	Pepsine	• Pressure	CN-α_1, CN-β	Peptides
	Plasmine	• Lait	CN-β, CN-α_2	CN-γ, protéose peptone et polypeptides
	Protéases	• Bactéries lactiques	CN-α_1 ,CN-β	Polypeptides et peptides
	Peptidases	• Bactéries lactiques	Polypeptides et peptides	Acides aminés
	Désaminase	• Lactobacillus	Acides aminés	Aldéhydes, ammoniac et acides organiques
Composés lipidiques	Lipase	• Lait • Moisissures • Psychrotrophes	Triglycérides	Acides gras et triglycérides
	Estérase	• Levures	Acides gras	Composés fruités : (ester, acétate d'éthyle)

b. Les transformations du substrat pendant l'affinage :

➢ ***Glycolyse :*** *Lors* des fabrications fromagères, une grande partie du lactose est évacuée pendant l'étape de l'égouttage. La quantité de lactose résiduel, si minime soit-elle, peut varier selon les types de caillé produits (caillés lactiques, caillés présures). Pendant l'affinage,

ce lactose résiduel se transforme en acide lactique sous l'action de la microflore homofermentaire, provoquant dans certains cas une postacidification souhaitée.

➢ ***Protéolyse :*** La chymosine est l'enzyme principale de la présure ajouté pendant la fabrication fromagère, elle a une double activité, l'une très spécifique sur la caséine-κ qui fait coaguler le lait et l'autre de protéolyse plus générale portant surtout sur la caséine-α_{s1} et susceptible de se manifester au cours de l'affinage d'un fromage. Pendant l'affinage, la présure contribue à amorcer la dégradation des caséines en s'attaquant plus particulièrement aux liens peptidiques (Ph_{23}-Ph_{24} ou Ph_{24}-Val_{25}) de la caséine-α_{s1}, ce qui provoque la production de peptides de hauts poids moléculaires, lesquels peuvent être utilisés à leur tour par les systèmes enzymatiques bactériens. La caséine-α_{s2} serait relativement résistante à la protéolyse par la présure. Par contre, la chymosine aurait aussi la capacité d'hydrolyser la caséine-β. Cependant, la présence de sel (NaCl) inhiberait grandement son action. Ainsi, la caséine-β n'est pratiquement pas hydrolysée par la présure et en absence de plasmine et de protéolyse secondaire provoquée par les enzymes microbiennes, sa dégradation par la présure survient très tard durant l'affinage.

La présure de veau en plus de la chymosine, peut contenir de 10 à 50% de pepsine. Il semble que la pepsine ait la même spécificité que la chymosine mais qu'elle soit plus protéolytique, car elle produirait plus de peptides à courte chaîne que la chymosine.

La plasmine, qui est une protéase alcaline du lait, peut jouer un rôle important au début de l'affinage. En solution, elle a la capacité d'hydrolyser toutes les caséines ; mais dans un caillé, elle dégrade préférentiellement la caséine-α_{s2} et surtout la caséine-β. Elle est à l'origine de la formation des caséines γ, de polypeptides et de protéoses peptones. Cette enzyme a une activité maximale à pH 8, elle est stable dans l'intervalle de 5 à 9 et présente une thermorésistance relativement élevée.

D'ailleurs, pour certaines fabrications fromagères la capacité d'autolyse des ferments lactiques mésophiles est souvent une qualité recherchée et devient un critère de sélection. Ces bactéries lactiques autolytiques peuvent liber dès le début de l'affinage leur cocktail d'enzymes, ce qui permet, selon le but recherché, d'accélérer l'affinage ou de favoriser un meilleur développement de la texture et de la saveur.

➢ ***Lipolyse :*** Les lipases, qui ont pour origine la microflore qui contamine le lait, et en particulier celle des psychrotrophes, ont une grande thermorésistance. Contrairement aux lipases natives du lait, les lipases d'origine bactérienne peuvent être très actives. Si leur concentration est élevée, elles peuvent provoquer rapidement la rancidité avant même que les protéases

n'agissent. Elles peuvent donc elles aussi affecter les rendements fromagers et la qualité sensorielle d'un fromage. Comparativement aux psychrotrophes, les bactéries lactiques ont une faible activité lipolytique et agissent plus facilement sur une matière grasse déjà partiellement hydrolysée.

La lipase naturelle du lait est une lipoprotéine qui, à l'état natif, est surtout associée à la micelle de caséine. L'addition de sel et le refroidissement du lait favorisent la migration de l'enzyme des micelles vers le lactosérum. Cependant, cette enzyme a une faible thermorésistance et est totalement inactivée par un chauffage du lait à 70°C pendant 15 secondes. Par conséquent, la lipolyse durant l'affinage d'un fromage produit à partir d'un lait pasteurisé est surtout provoquée par les lipases microbiennes.

c. Facteurs de l'affinage :

Tous les facteurs qui touchent le développement des microorganismes, la production d'enzymes et l'activité enzymatique auront des effets importants sur le déroulement de l'affinage. Les principaux facteurs sont les suivants : la température, l'humidité, le pH et la composition de l'atmosphère.

- ***La température***: C'est l'un des facteurs importants à contrôler lors de l'affinage car l'activité microbienne et enzymatique varie selon la température. Pour l'ensemble des microorganismes et pour la plupart des enzymes utilisées en fabrication fromagère, il faut baisser les températures d'affinage au-dessous des conditions optimales pour ralentir la croissance de la microflore, et pour mieux la contrôler et donner le temps aux enzymes de jouer leur rôle. Pour un fromage donné, le fait de réduire ou d'augmenter la température d'affinage permet de ralentir ou d'accélérer la vitesse d'affinage. Toutefois, la modification de la température d'affinage influence souvent les équilibres et la dynamique interne propres à chaque fromage. Si on abaisse la température d'affinage, on risque de favoriser d'avantage la lipolyse que la protéolyse, ce qui peut modifier grandement les caractéristiques sensorielles recherchées du produit fini.
- ***La teneur en humidité d'un fromage :*** La teneur en eau est l'un des deux paramètres qui ont une incidence sur l'indice de disponibilité de l'eau (A_W) dans un fromage. Cet indice, pour un aliment donné, se définit comme le rapport entre la pression de vapeur d'eau et celle de l'eau pure à la même température. Il indique, l'eau disponible dans un fromage

pour les diverses réactions nécessitant une phase aqueuse. Le deuxième paramètre qui a un effet direct sur l'indice de disponibilité de l'eau est la teneur en sel. Plus la teneur en sel est élevée, plus cet indice est bas. La teneur en sel varie avec les types de fromage, se situant en moyenne entre 2.0 à 2.5% chez la plupart. Pour cette raison, un bon nombre de microorganismes ne peuvent pas se développer à ces concentrations, car la vitesse de croissance des microorganismes en fonction de l'indice de disponibilité de l'eau passe par un maximum entre 0.9 et 1.0 puis diminue rapidement avec l'abaissement de l'indice.

- ***Le pH*** : Influence le développement microbien et l'activité enzymatique. Parmi les microorganismes, seules les bactéries lactiques, les levures et les moisissures peuvent se développer à des pH inférieurs à 5. L'activité des enzymes est aussi très sensible aux variations de pH. L'activité de la plupart des protéases microbiennes est maximale entre un pH 5.0 et 5.7, tandis que celle des lipases se situe dans la zone de pH compris entre 7.5 et 9.0. À un pH inférieur à 4.5 ; l'activité de nombreux enzymes est fortement réduite. En général, à la fin de l'égouttage, le pH est inférieur à 5.5 et le lactose résiduel est transformé en acide lactique. Cette fermentation freine l'action des enzymes et réduit le développement d'une flore bactérienne nuisible comme les coliformes. Cependant, une acidification trop accentuée peut réduire considérablement l'affinage. Dans le cas des pH est souvent au-dessus de 5.0. Ces valeurs de pH sont compatibles avec les réactions enzymatiques et on ne cherche pas alors à neutraliser la pâte.

- ***La composition de l'atmosphère :*** Peut intervenir dans le processus d'affinage. Les besoins en oxygène des microorganismes sont variables. Certains microorganismes, comme les bactéries propioniques, sont anaérobies stricts et se développent principalement à l'intérieur du caillé. D'autres sont microaérophiles, comme les lactobacilles, et se cultivent mieux dans un environnement à teneur limitée en oxygène. D'autres, sont strictement aérobies, comme les levures et les moisissures, et ne peuvent se développer qu'en surface des fromages. La teneur de l'air en oxygène devient donc importante pour les fromages dont l'affinage se fait principalement en surface. Les microorganismes aérobies de surface utilisent l'oxygène de l'air ambiant, qui diminue, et parallèlement produisent des gaz ammoniacaux et autres.

- ***Rôle des soins :*** Au cours de l'affinage, un ensemble de traitements variés, retournements, lavages, frottages, enrobages, sont appliqués de manière sélective selon le type de fromage pour former à la périphérie du produit une zone d'aspect caractéristique, soit sèche, soit favorable au développement de flores spécifiques. Ces soins régularisent également l'aspect extérieur et la forme du fromage.

partie III :

procédé de fabrication

et contrôle

qualité de

l'Emmental

I. Le procédé de fabrication de l'Emmental

1. Thermisation, réglage de la matière grasse et maturation du lait:

Le temps de coagulation s'allonge et l'égouttage se trouve ralenti par une augmentation du barème de pasteurisation. C'est pourquoi la pasteurisation doit être absente ou remplacée par une thermisation à 63°C pendant 16 secondes. Donc le caillé se comporte sensiblement comme celui qu'on obtient avec un lait cru, particulièrement à l'égouttage **[1*j*].**

Cependant, dans la société Douiet on applique la pasteurisation à 75°C pendant 30 secondes .Ce traitement réduit la charge microbienne et augmente la sécurité alimentaire du produit.

La matière grasse du lait représente 35-45g/l. Pour le fromage Emmental il faut au minimum 27% de matière grasse à laisser dans le lait au moment de l'emprésurage, c'est pourquoi on le standardise par l'ajout du lait écrémé.

La maturation consiste à ensemencer le lait après pasteurisation avec un ferment lactique à des doses très faibles :

- TA (Danisco®) Bactéries thermophiles: *Streptococcus thermophilus.*
- BT (Danisco®) Flores mésophiles acidifiants et aromatiques : *Lacctococcus lactis ssp. Lactis.* Et *Lacctococcus lactis ssp.cremoris.*
- LH (Danisco®) Flores thermophiles aromatiques : Lactobacillus helveticus

On laisse reposer le lait ensemencé à une durée qui ne dépasse pas 60 minutes à une température comprise entre 30 et 33°C. En pratique, la maturation consiste à ajouter le ferment et le lysozyme au lait à la température d'emprésurage. Elle permet de :

- ✓ vérifier l'activité fermentaire des bactéries lactiques et de réagir alors que le lait est encore liquide ;
- ✓ laisser le lysozyme rétablir les équilibres minéraux et l'aptitude du lait à la coagulation ;
- ✓ Aux bactéries ajoutées de s'adapter à leur milieu (phase de latence).

Le lysozyme ou chlorure de muramidase est un extrait du blanc d'œuf réagit sur les bactéries par son action au niveau des parois (hydrolyse des muccopolysaccharides) **[3a].**

2. Emprésurage – coagulation :

L'emprésurage est l'ajout d'un enzyme coagulant au lait. Comme la présure a une activité qui varie suivant la température (32-33°C) et le pH (6.58-6.62), il faudra prendre soins d'ajuster ces deux paramètres avant l'emprésurage.

Les enzymes coagulants les plus fréquemment utilisés sont la chymosine microbienne ou la présure de veau. Par contre, la pepsine de porc ou de poulet et des extraits de plantes donnent des coagulums de moindre qualité et sont par conséquent peu utilisés.

La température d'emprésurage était à l'époque de MUNIER[4] (1858) de 24 à 25°C Réaumur (31 à 32°C) ; PETER[5] (1953) recommande 32 à 33.5°C et la pratique actuelle pour l'Emmental français est d'emprésurer à 31-33°C (ITG, 1971) [6].

Dans ces conditions, la coagulation est obtenue en 24 à 31 minutes, ce qui est presque exactement ce qu'indiquait MUNIER il y a plus d'un siècle !

3. Décaillage et brassage :

Les opérations d'égouttage commencent par le décaillage. La fermeté du gel au décaillage est essentielle. Plus le caillé est ferme, plus le nombre de liaison entre les micelles est élevé. L'eau est donc plus entrappée et s'égouttera plus difficilement, ce qui donne un fromage plus humide. Les grosseurs normales du grain après décaillage doivent être à la taille d'une grain de blé. Cette taille de grain s'obtient, en règle générale, entre 10 à 20 minutes.

Très vite après le coupage, les grains se rétractent et commencent à s'agglomérer puis à sédimenter au fond du bassin, surtout si l'acidification est très active. Il est donc nécessaire de brasser continuellement les grains après les avoir laissé se raffermir.

4. Acidification et égouttage :

Le fromage dispose de deux grands leviers pour contrôler l'égouttage :

- L'acidification du gel, qui conditionne sa perméabilité ;
- La température, qui facilite sa synérèse.

Il devra tout au long des prochaines étapes du procédé (cuisson, prépressage ou délactosage, pressage…) effectuer un contrôle minutieux de l'évolution de ces deux paramètres.

Au-dessus d'un pH de 6, la forme micellaire imperméable domine ; au-dessous de pH 5.2, la forme submicellaire plus perméable remplace la structure micellaire. Cependant, cette dernière structure est moins contractile et surtout plus friable. Le maximum d'efficacité d'égouttage se situe donc entre un pH de 6 et de 5.2. En conséquence le soutirage, qui consiste à évacuer le lactosérum du bassin, s'effectue lorsque le pH est voisin de 6. Le délactosage consiste à remplacer une partie du lactosérum par de l'eau. Avec la diminution de la concentration du lactose, le développement des bactéries lactiques se trouve ralenti. Suivant les fabrications, on peut remplacer de 30 à 50% du lactosérum par de l'eau et la température de l'eau permet la cuisson des grains.

5. *Cuisson :*

La cuisson est l'opération la plus efficace pour favoriser la synérèse, c'est-à-dire la concentration du gel. Sous l'effet de la chaleur, les caséines forment de nouvelles liaisons entre les acides aminés de nature hydrophobe. En pratique, la température est montée graduellement de 30°C (l'emprésurage) jusqu'à une température finale de 48°C. Pendant la cuisson, on continue le brassage qui dure, en général, entre 45 et 60 minutes (ITG, 1971) et PETER considère que le caillé doit pouvoir être brassé dans de bonnes conditions (de fabrication) entre 35 et 45 minutes**[3b].**

6. *Prépressage :*

Avant de soutirer complètement le lactosérum, on regroupe et on presse le caillé (25 à 30 minutes 4 bars) pour permettre une meilleure soudure des grains entre eux et d'éviter que l'Emmental final présente des espaces visibles entre les grains, les ouvertures mécaniques.

Le prépressage permet d'obtenir un « gâteau » qu'il restera à couper au besoin et à placer dans des moules appropriés. La distribution du mélange caillé-lactosérum est importante. Elle doit être bien répartie avant que les grains se sédimentent. Une fois le « gâteau » formé et l'air enlevé par un léger brassage, on ne doit plus déplacer les grains, sans quoi des ouvertures mécaniques pourront se former.

7. *Pressage :*

Le caillé, une fois déposé dans les moules, subit une pression appliquée de 6 bars. On le laisse presser 2 heures puis le fromage sera retourné une seule fois.

Après on continue le pressage pendant 24 heures. C'est à ce moment que commence l'acidification que l'on observe. Après deux heures de pressage, l'acidité du sérum est de 16 à 25 °D et de 35 à 45 °D, après 4 heures de pressage dans une fabrication s'acidifiant normalement. Après 20 heures de pressage, le pH du caillé est généralement de 5.15 à 5.30 (OEHEN, 1969) [7]. L'acidification pendant les six premières heures est surtout obtenue par le développement intense de *S. thermophilus*, alors que la poursuite de l'acidification est le fait des lactobacilles thermophiles (ACCOLAS et al., 1978) [8].

8. Salage:

Après démoulage, l'Emmental est immergé dans une saumure saturée pendant 24 h à 10°C. Le sel ajouté au fromage permet de rehausser la valeur finale mais il fait plus :

- Il complète l'égouttage sous l'effet de la pression osmotique ;
- Il arrête l'acidification du caillé et prévient une déminéralisation excessive de la pâte ;
- Il contrôle le développement des bactéries nuisibles et fait apparaître des changements de texture et de saveur.

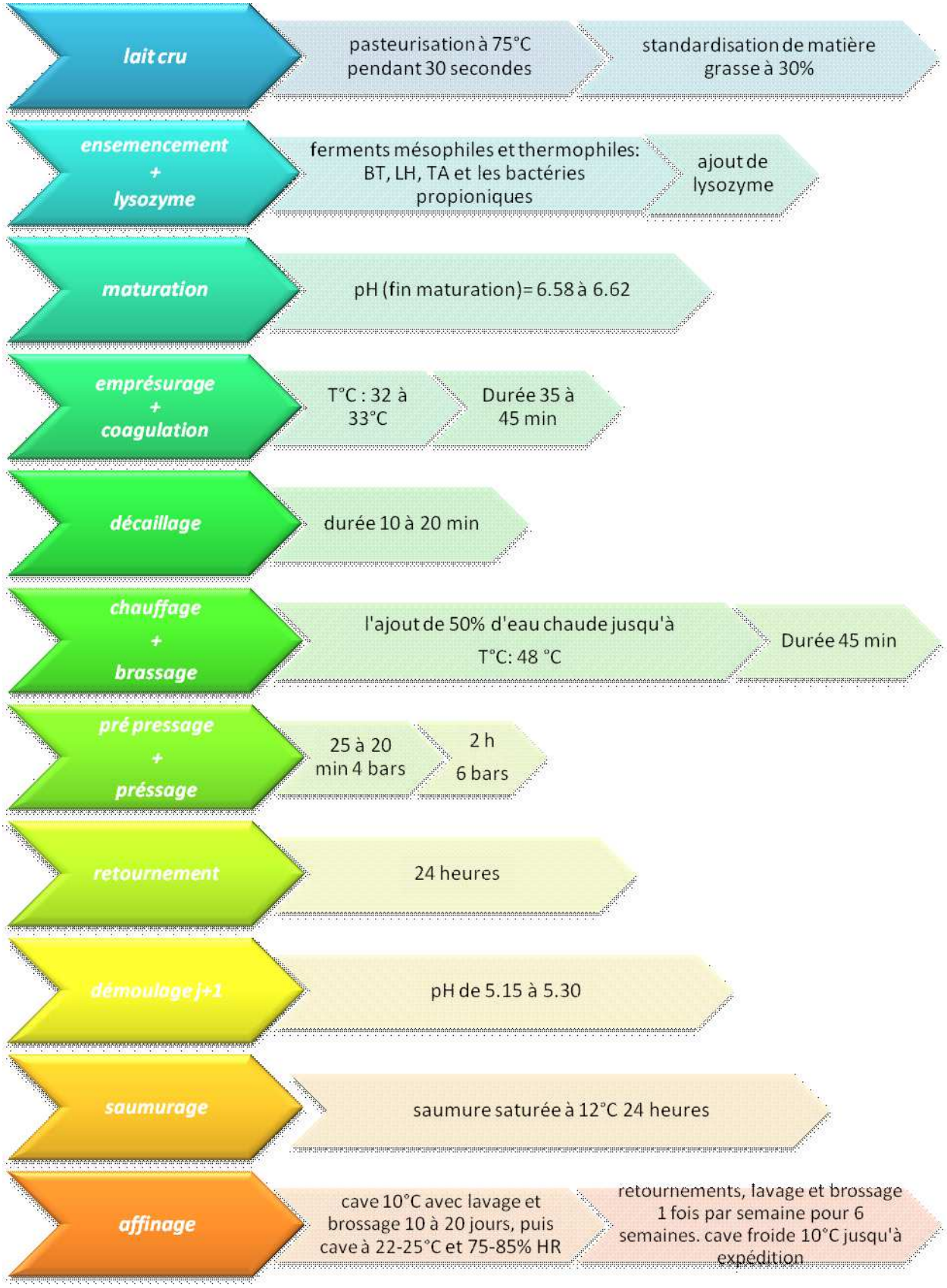
Le salage s'accompagne d'une légère diminution du rendement de l'Emmental puisqu'une partie du lactosérum est évacuée par pression osmotique. Cette perte peut atteindre 2 à 4%.

9. Affinage et conditionnement :

Outre les phénomènes communs observés pour tous les fromages au cours de la maturation (désacidification, protéolyse et lipolyse), ce qui caractérise l'affinage de l'Emmental c'est la formation d'une ouverture (ensemble des yeux). Cette ouverture est le résultat de la fermentation des lactates du caillé par les bactéries propioniques conduisant à la production d'acétate, de propionates et de CO_2 qui est le responsable de la formation des yeux (PETER et al., 1953) [3c].

Après salage, les fromages Emmental séjournent environ 15 jours en cave froide 10-13°C avec une hygrométrie de 85-90% et ensuite en cave chaude 21-25°C pendant environ 4 semaines. Lorsque l'ouverture est suffisante, les fromages retournent en cave froide avec parfois un court passage en cave tempérée. La durée normale de l'affinage est donc de l'ordre de 10 semaines. Bien entendu, au cours de l'affinage, les fromages sont entretenus (lavage, brossage de la croûte) et régulièrement retournés (1 à 2 fois par semaine, surtout dans les caves chaudes et en début d'affinage).

10. Diagramme de fabrication de fromage Emmental :



II. Etude des ouvertures de l'Emmental :

Ces trous sont l'identité de l'Emmental et permettent de savoir si le fromage est correctement affiné ou non.

On a réalisé quatre tests de fabrication de fromage en utilisant différents paramètres microbiologique afin d'étudier l'absence, la présence et la forme des trous (ouvertures) dans l'Emmental :

- Test 1 : le lait + ferments habituels + présure.
- Test 2 : le lait + ferments habituels + présure + lysozyme.
- Test 3 : le lait + ferments habituels + présure + bactéries propioniques.
- Test 4 : le lait + ferments habituels + présure + lysozyme + bactéries propioniques.

1. Résultats :

Les résultats obtenus sont affichés dans le tableau 1.10 suivant :

Tableau 1.10 Etude des ouvertures de l'Emmental.

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
fabrications	le lait + ferments habituels + présure	le lait + ferments habituels + présure + lysozyme	le lait + ferments habituels + présure + bactéries propioniques	le lait + ferments habituels + présure + lysozyme + bactéries propioniques
Fabrication 1	Ouvertures non spécifiques	Absence des ouvertures	Ouvertures spécifiques + Ouvertures non spécifiques	Ouvertures spécifiques
Fabrication 2	Ouvertures non spécifiques	Absence des ouvertures	Ouvertures spécifiques	Ouvertures spécifiques
Fabrication 3	Ouvertures non spécifiques	Absence des ouvertures	Ouvertures non spécifiques	Ouvertures spécifiques

2. *Interprétation :*

➧ Test 1 :

L'utilisation de plus en plus répandue des fourrages ensilés dans l'alimentation des vaches laitières a entraîné une forte augmentation de la contamination en spore de *clostridium tyrobutyricium.* Ces spores non détruites par les traitements de thermisation et de pasteurisation favorisent dans les fromages à pH ≥ 5 ayant une croûte, fermentation butyrique productrice d'acide acétique et butyrique ainsi que de gaz carbonique et d'hydrogène. Les fromages subissent des gonflements plus ou moins marqués, la saveur et l'odeur sont dégradées.

➧ Test 2 :

Le fromage obtenu dans ces conditions ne contient plus d'ouvertures car le lysozyme est actif sur les bactéries par son action au niveau des parois (hydrolyse des muccopolysaccharides). Son utilisation en fromagerie à pour but :

- diminution des spores de *Clostridium tyrobutyricium* ;
- Le taux d'acide butyrique baisse de 56% ;
- Ne pas avoir d'action sur les bactéries lactiques utilisées (streptocoques mésophiles, streptocoques thermophiles, lactobacilles), lors de l'égouttage ;

Des essais ont été conduits par l'I.T.G. en collaboration avec la société CODIPI de 1979 à 1981[6]. Les résultats sont consignés dans une publication « utilisation du lysozyme comme moyen de lutte contre la fermentation butyrique » dont on peut extraire les éléments suivants :

- Au niveau fabrication en cuve, pas de modifications appréciables par le fromager ;
- Le temps de séjour en cave chaude est augmenté de façon assez importante.
- Le taux d'acide butyrique baisse de 56% ;

➧ Test 3 :

L'absence de lysozyme et présence des bactéries propioniques cause une formation des yeux (ouvertures spécifiques), et aussi des ouvertures non spécifiques parce qu'il y a dominance des bactéries butyriques existant naturellement dans le lait.

La présence de bactéries « butyriques » (*C. tyrobutyricum)* dans le caillé perturbe la fermentation propionique normale en produisant, à partir des lactates de l'acide butyrique (odeur désagréable), du CO_2, mais surtout de l'hydrogène. Ce dernier gaz, insoluble dans l'eau du

fromage, provoque une ouverture anormale, excessive pouvant aller jusqu'à l'éclatement de la meule.

- Teste 4 :

Dans ce test on a appliqué les conditions nécessaires pour obtenir un vrai Emmental avec des ouvertures bien spécifiques percées allant de la taille d'une cerise à celle d'une noix. Les yeux sont ronds, nets et bien répartis dans la masse.

Les bactéries propioniques sont donc en condition favorable pour se développer et consommer le lactate qui est la principale source d'énergie pour la fermentation propionique et d'autres substrats comme le lactose ou des composés organiques. Et théoriquement, trois moles de lactate sont converties en deux moles de propionate, une mole d'acétate et une mole de CO_2. Ce gaz se dissout au début dans l'eau présente dans la pâte, jusqu'à saturation, au fur et à mesure du développement des bactéries propioniques. Alors la meule gonfle et se bombe sous l'effet de la poussé du gaz carbonique, la pâte est comme en ébullition. Les bulles de gaz carbonique, prisonnière de la croûte, éclatent et forment ces fameuses ouvertures dans les zones de moindre résistance de la pâte d'où l'importance d'un caillé homogène pour obtenir une répartition équilibrée des ouvertures. Ce phénomène se produit au bout de la quatrième semaine en cave chaude.

III. Les analyses physicochimiques :

Pour la mise en place des analyses, les échantillons de l'Emmental sont broyés au robot mixeur (DeLonghi®) pendant 2 minutes à 300 tours par minute.

1. Le pH ou potentiel hydrogène :

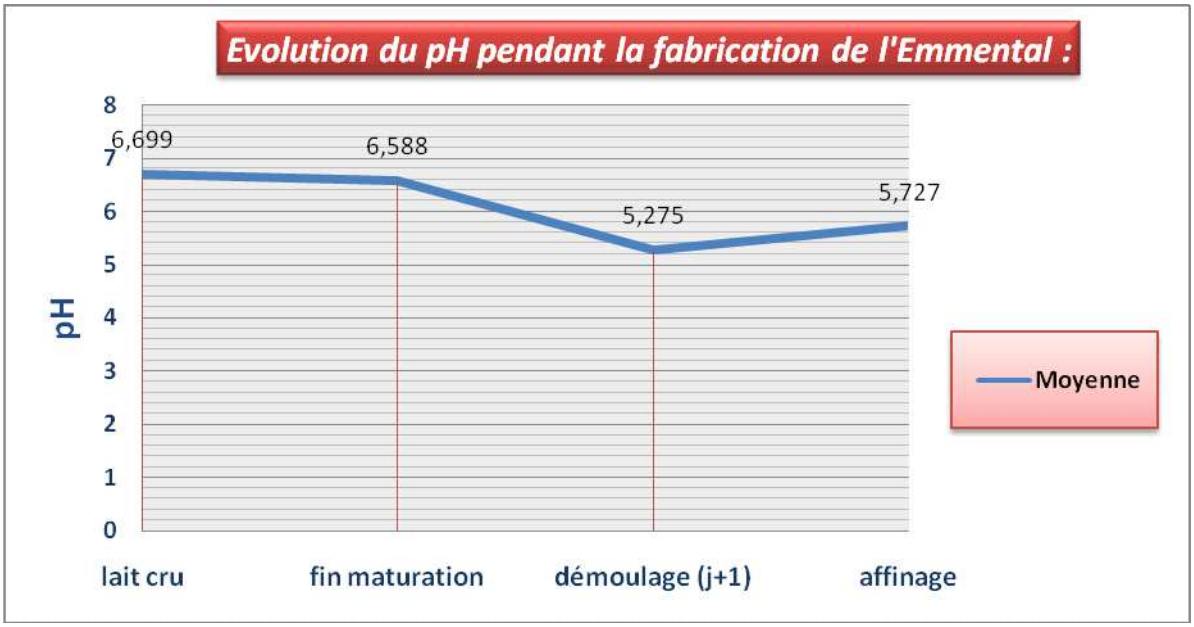
- Résultats :

On a fait le suivi du pH de 10 échantillons du lait utilisé dans les fabrications fromagères . Le pH reste stable pendant toute la fabrication jusqu'à l'étape du démoulage (j+1), on a une chute de pH. Ces résultats sont illustrés dans le tableau 1.11.

Tableau 1.11 Suivi du pH du lait jusqu'à la formation de l'Emmental.

pH				
	lait cru	***fin maturation***	***démoulage (j+1)***	***Affinage***
Fabrication 1	*6,7*	*6,58*	*5,28*	*5,77*
Fabrication 2	*6,7*	*6,59*	*5,31*	*5,77*
Fabrication 3	*6,71*	*6,6*	*5,27*	*5,77*
Fabrication 4	*6,7*	*6,59*	*5,28*	*5,76*
Fabrication 5	*6,73*	*6,61*	*5,26*	*5,69*
Fabrication 6	*6,71*	*6,6*	*5,27*	*5,77*
Fabrication 7	*6,71*	*6,6*	*5,27*	*5,62*
Fabrication 8	*6,7*	*6,59*	*5,27*	*5,6*
Fabrication 9	*6,67*	*6,6*	*5,27*	*5,76*
Fabrication 10	*6,66*	*6,52*	*5,27*	*5,76*
Moyenne	*6,699*	*6,588*	*5,275*	*5,727*
MAX	*6,73*	*6,61*	*5,31*	*5,77*
MIN	*6,66*	*6,52*	*5,26*	*5,6*
ECARTYPE	*0,022*	*0,030*	*0,016*	*0,069*

Figure 2.4 Evolution de pH pendant la fabrication de l'Emmental.



➧ Interprétation :

Le mécanisme de la coagulation par voie fermentaire est induit par les ferments lactiques :

- TA (Danisco®) Bactéries thermophiles: *Streptococcus thermophilus*

- BT (Danisco®) Flores mésophiles acidifiants et aromatiques : *Lacctococcus lactis ssp. Lactis.* Et *Lacctococcus lactis ssp.cremoris.*
- LH (Danisco®) Flores thermophiles aromatiques : Lactobacillus helveticus.

En raison de la température du lait, de sa teneur élevée en eau (87, 5%), de ses éléments nutritifs et de son pH proche de la neutralité (6, 6–6, 8) de nombreuses bactéries y trouvent des conditions favorables à leur développement.

On connaît depuis longtemps l'influence considérable de la température sur le développement et l'activité des microorganismes :

Tableau 1.12 Classification des microorganismes en fonction de leur température de développement.

Microorganismes	*Température de développement en °C*		
	Minimum	***Optimum***	***Maximum***
Mésophiles	*+ 10*	*+ 30 à + 40*	*+ 45*
Thermophiles	*+ 40*	*+ 50 à + 60*	*+ 75*

Remarque: Pendant le long du procédé de fabrication de l'Emmental on a deux changements de la température :

➢ Le lait réceptionné à une température de 33°C est la maintenu jusqu'à l'étape d'emprésurage.

➢ Pendant la cuisson on augmente la température à 48°C.

❖ Pour les bactéries mésophiles BT (Danisco®), plus on approche de la température optimum (+30 à +40°C), plus on aura une augmentation du taux de croissance. La fonction principale de ces bactéries est de dégrader le lactose pour produire de l'acide lactique. Ce dernier est libéré lors de la croissance des microorganismes et neutralise progressivement les charges électronégatives des caséines κ. La répulsion électrostatique entre les micelles de caséine diminue au fur et à mesure de l'enrichissement du milieu en ions H+, puis disparaît et provoquant ainsi un rapprochement et une agrégation des micelles de caséine (Walstra, 1990) jusqu'à un pH compris entre 6.58-6.62 car l'activité coagulante de présure sur le lait est réalisée à un pH entre 6.58-6.62 et la température optimale se situe entre 30 et 35° C (Berridge, 1952). La présure a donc presque une activité optimale et le pH restera stable jusqu'à l'étape de retournement (J+1) de l'Emmental.

❖ Les bactéries thermophiles LH (Danisco®) et TA (Danisco®) vont trouver leurs conditions favorables pendant la cuisson dont la température est de 48°C, donc on aura une production de l'acide lactique et une diminution du pH après 10 heures de l'égouttage.

❖ Lors du salage, puis de l'affinage, les phénomènes de multiplication bactérienne et de production de l'acide lactique se stabilisent par suite de la baisse de température et de l'activité de l'eau. Le pH final doit être supérieur à 5,2, car une trop forte acidité final (pH inférieur à 5,2) nuirait à l'élasticité de la pâte fromagère.

2. Dosage de matière grasse :

➧ Principe:

La détermination de la matière grasse de l'Emmental se fait par la méthode de Gerber (méthode de routine). Pour chaque échantillon, deux essais sont réalisés. Des butyromètres à fromage parfaitement nettoyés, sans aucun reste de déchets gras sont utilisés. Une masse de 3g ± 0.05g, d'Emmental est introduite dans un godet. Le col du butyromètre est fermé par le godet contenant la prise d'essai et de l'acide sulfurique (densité : 1,522 ± 0,005g /ml à 20°C), est ajoutée de sorte à remplir les 2/3 de la chambre des butyromètres. L'ouverture supérieure du butyromètre est fermée et ce dernier est placé au bain-marie (Precidisdig®) à 85 ± 2°C, avec une agitation toute les 30 secondes, jusqu'à dissolution complète du fromage. Un volume de 1 ml d'alcool isoamylique est introduit dans le butyromètre, sorti du bain-marie. Après agitation, d'un volume d'acide sulfurique est introduit jusqu'au trait de l'échelle indiquant 35%. La lecture se fait sur l'extrémité supérieure de la colonne, au niveau du ménisque inférieur, en réglant au préalable la ligne de séparation entre le mélange d'acide sulfurique, d'alcool isoamylique et des lipides sur un cran de graduation. Le résultat est exprimé en g de matière grasse pour 100 grammes de formage.

➧ Résultats :

Pour les six fabrications on a changé les proportions du lait entier et du lait écrémé dans une quantité totale de 100 à 150 litres. Les résultats suivants ont été obtenus :

Tableau 1.13 Résultats de l'étude de la matière grasse dans l'Emmental.

Date de fabrication d'Emmental	Matière grasse obtenue (%)	Matière grasse souhaitée (%)	Quantité de lait entier (litre)	Quantité de lait écrémé (litre)
22/02/2013	28	35	150	0
26/02/2013	29	30	85.7	14.3
21/03/2013	25	30	85.7	14.3
16/04/3013	27	30	85.7	14.3
24/04/2013	25	30	85.7	14.3
25/04/2013	30	30	85.7	14.3

➧ Interprétations :

On remarque que les valeurs de la matière grasse obtenues sont loin des valeurs souhaitées. Cette différence est probablement due à :

- Mauvais fonctionnement de l'écrémeuse.
- Ou bien parce que les teneurs en matière grasse et en protéines diminuent pendant les mois d'hiver et du printemps pour atteindre des valeurs minimales durant les mois d'été.

C'est pour cela qu'il faut standardiser le taux de la matière grasse surtout pendant cette période de l'année.

3. Détermination de l'extrait sec total (EST) de l'Emmental :

➧ Principe :

Cette analyse consiste à réaliser la méthode thermogravimétrique qui sert comme référence pour la détermination du taux de l'eau ou de la matière sèche dans les aliments.

La détermination de l'extrait sec total de l'Emmental se fait par la méthode de référence. Pour chaque échantillon, 3 essais sont réalisés. Cette détermination se déroule en plusieurs étapes. Des capsules en inox et parfaitement nettoyées sont séchées à l'étuve (Memmert®) portée à une température de 102 ± 2°C pendant 1 heure puis refroidies dans un dessiccateur. Une masse de 5 ± 0.002g, d'Emmental est introduite dans la capsule à l'aide d'une spatule. Après un passage de 3 heures à l'étuve à 103 ± 2°C, la capsule est refroidie pendant 30 minutes au dessiccateur, puis pesée à nouveau.

$$\%M.S = \frac{P_2 - P_0}{P_1} \times 100$$

$$\% H_2O = 100 - \%M.S$$

Avec :

- P_1 : prise d'essai qui est égale à 5g.
- P_2 : poids final de la capsule sèche.
- P_0 : poids de la capsule vide.

➡ Résultats :

Tableau 1.14 l'EST% et H_2O dans l'Emmental.

Date de fabrication d'Emmental	% EST	% H_2O
22/02/2013	73.2	26.8
26/02/2013	65.56	34.44
21/03/2013	66.8	33.2
16/04/2013	59.88	40.12
24/04/2013	61.74	38.26
25/04/2013	61	39

➡ Interprétation :

La teneur en extrait sec total EST varie d'une fabrication à une autre car il n'y a pas de standardisation de la matière grasse et des protéines au début de chaque fabrication.

Et pour les trois premières fabrications, on a appliqué un salage à sec ce qui a augmenté la teneur en sel dans l'Emmental et par conséquent la teneur en eau a diminué et l'EST a augmenté.

Conclusion générale.

L'objectif de cette étude consistait, donc à la mise au point du procédé de fabrication de l'Emmental qui est un fromage à pâte pressée cuite, ainsi que son contrôle de qualité.

Néanmoins, Les résultats obtenus au cours des analyses effectuées sur la teneur de la matière sèche et de la matière grasse dans l'Emmental, ne sont pas satisfaisants. Il serait donc souhaitable de standardiser la matière grasse et les protéines de la matière première au début de chaque fabrication, ainsi que la mise en place d'un appareil de mesure permettant de contrôler les différents paramètres du lait dès sa réception.

Malgré la place beaucoup plus modeste qu'occupe l'Emmental au Maroc, sa qualité nutritive mériterait également d'être mieux connue.

L'Emmental doit être les principaux objet des analyses, en raison de sa prédominance sur le marché mondial. Les principales constituants à doser sont : le sel, les éléments minéraux (Ca, Mg, k, P, Cl et Na), les lipides totaux, matière azotées aotales, acides aminés, glucide et acide lactique.

Bibliographie :

[1a] : Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 1 et 2.

[1b] Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 12, 15 et 16.

[1c] : Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 19.

[1d] : Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 26.

[1e] : Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 28.

[1f] : Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 116 et 117.

[1g] : Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 368.

[1h] : Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 370.

[1i]: Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 373.

[1j] : Carol L. Vignola, éditrice scientifique. Science et technologie du lait- Transformation du lait. 17 février 2002. Pages : 389.

[2] : EMMENTAL (CODEX STAN 283-1978). «Norme pour l'Emmental». Adopté en 1978. Révision 2007. Amendé en 2008, 2010.

[3a] : François M.LUQUET. Lait et produit laitiers (vache – brebis - chèvre): 2 les produits laitiers, transformation et technologies « deuxième édition ». Mars 1990. Pages: 81, 82, 83.

[3b] : François M.LUQUET. Lait et produit laitiers (vache – brebis - chèvre): 2 les produits laitiers, transformation et technologies « deuxième édition ». Mars 1990. Pages : 242.

[3c] : François M.LUQUET. Lait et produit laitiers (vache – brebis - chèvre): 2 les produits laitiers, transformation et technologies « deuxième édition ». Mars 1990. Pages : 244

[4] : **MUNIER** J.B. Manuel des fromageries ou traité de la fabrication des fromages de gruyère septmoncel, chevrets, mont-d'or, etc. 1858, imp. Lithographie F. Gauthier, Lons-le-saunier (bibliothèque INRA Poligny).

[5] : **PETER** A., ZOLLIKOFER E., BADOUX F. Manuel de la fabrication du fromage d'Emmental, 1953, Edition des Hoyrs, Berne, 3e éd., française.

[6] : **I.T.G. (**Institut Technique du Gruyère, 2 avenue du champ de foire, 01009 BOURG-en-BRESSE) :

1971 : Enquête cuves multiples NS 1969/D.

1972 : Le soutirage sous vide de l'Emmental NS 70/14/D.

1977 : -Les levains à gruyères – Utilisation en pratique courante des suspensions concentrées de bactéries lactiques thermophiles pour la fabrication de l'Emmental S – INRA 77/1/BE.

-Enquête fromageries mécanisées NCS 77/10/D.

1978 :- Report de longue durée à basse température de l'Emmental en blanc – Etude du stockage sous sacs plastiques S 78/1/C.

- Ultrafiltration – Application à la fabrication des pâtes pressées cuites N 78/2/BD.

1982 : Utilisation du lysozyme comme moyen de lutte contre la fermentation butyrique en emmental N 1982/4/E.

[7] : **OEHEN** V. New gârungstechnische Erkenntnise. Schweizerische Milchzeitung, 1969, 421-423.

[8] : **ACCOLAS** J.P ., VEAUX M., VASSAL L., MOCQUOT G. Evolution de la flore lactique thermophile au cours du pressage des fromages à pâte cuite. Le Lait, 1978, 58, 118-13