

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saad DAHLAB – Blida
Faculté des Sciences Agro-Vétérinaires
Département des Sciences Agronomiques

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de master académique en science de la nature et de la
vie
Option : nutrition et contrôle des aliments

Thème

*Essai de valorisation du lactosérum en
fromagerie : cas d'un fromage fondu à base
d'ail et fines herbes*

Présentée par:

M^{elle} BOUAZRI Nour el Houda

Soutenu le : 09 Octobre 2012

Devant le jury:

Président : Mr RAMDANE S.

M.A.A.

Promoteur : Mr KHALI M.

M.A.A.

Examinatrice : Mme BOUTEKRAPT L.

M.A.A.

Examinatrice : Mme ACHEHEB H.

M.C.B.

Année universitaire : 2011 – 2012

Introduction

Résumé :

Cette étude se résume à la fabrication d'un fromage fondu stérilisé enrichi en lactosérum doux, afin de bénéficier de sa richesse nutritionnelle.

Elle porte sur le contrôle des propriétés microbiologiques (flore total, flore fongique, etc...) et physico-chimiques (extrait sec, matière grasse, etc...) des matières premières et du produit fini, ainsi que les caractéristiques organoleptiques du fromage fabriqué. Enfin, la caractérisation physico-chimique et microbiologique du fromage fondu enrichi en lactosérum conservé à + 6°C pendant 60 jours.

Les résultats obtenus ont montré que le fromage fondu à base d'ail et fines herbes enrichi en lactosérum est de qualité microbiologique, physico-chimique et organoleptique satisfaisante.

Mots clés : Lactosérum, valorisation, fromage fondu, ail et fines herbes, conservation.

Abstract:

This study is summarized with the manufacture of a sterilized cheese spread enriched out of soft whey, to benefit from its nutritional value.

It relates to the control of the microbiological properties (total flora, fungic flora, etc...) and physicochemical (extracted dry, fat contents, etc...) of raw materials and finished product, as well as the organoleptic characteristics of cheese made. Finally, the physicochemical and microbiological analysis of cheese spread enriched out of whey stored at + 6°C during 60 days.

The results obtained showed that the cheese spread containing garlic and sweet herbs enriched out of whey is of quality microbiological, physicochemical and organoleptic satisfaisant.

Key words: Whey, valorization, cheese spread, ail and fins herbs, conservation.

Partie bibliographique

Partie expérimentale

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Classification des fromages en fonction des opérations de fabrication et de leurs caractéristiques.....	6
Tableau n°2 : Composition de fromage fondu.....	8
Tableau n°3 : Caractéristiques physicochimiques du cheddar.....	10
Tableau n°4 : Caractéristiques physicochimiques du cheddar.....	12
Tableau n°5 : Défauts de fabrication du fromage et remèdes possibles.....	21
Tableau n°6 : Composition du lactosérum comparée à celle du lait de vache.....	25
Tableau n°7 : Propriétés nutritionnelles des protéines du lactosérum comparées aux protéines de l'œuf.....	27
Tableau n°8 : Teneurs en vitamines du lactosérum.....	28
Tableau n°9 : Couverture des besoins de quelques vitamines par le lactosérum.....	31
Tableau n°10 : Les différents ingrédients utilisés pour la fabrication de fromage fondu enrichis en lactosérum et ail et fines herbes.....	51
Tableau n°11 : Résultats physicochimiques de l'ail et fines herbes.....	52
Tableau n°12 : Résultats physico-chimiques des matières premières comparativement aux normes AFNOR.....	52
Tableau n°13 : Résultats des analyses physicochimiques du lactosérum.....	53
Tableau n°14 : Analyses physico-chimiques des fromages fondus incorporés du lactosérum et ail et fines herbes à différentes pourcentages.....	53
Tableau n°15 : Résultats d'analyses microbiologiques du cheddar.....	55
Tableau n°16 : Résultats d'analyses microbiologiques de la poudre de lait à 0% de M.G....	56
Tableau n°17 : Résultats d'analyses microbiologiques du beurre.....	56
Tableau n°18 : Résultats des analyses microbiologiques du lactosérum acide.....	57
Tableau n°19 : Résultats des analyses microbiologiques des produits finis.....	57
Tableau n°20 : Evolution du pH lors de la conservation des fromages à 6°C.....	58
Tableau n°21 : Evolution de l'extrait sec total pendant le stockage à 6°C.....	59
Tableau n°22 : Evolution de la matière grasse et du gras/sec pendant la conservation.....	59

Tableau n°23 : Evolution bactériologiques des fromages lors de la conservation à 6°C.....61

Tableau n°24 : Résultats de la dégustation des six fromages.....62

Liste des figures

Figure n°1 : Schéma simplifié de la fabrication d'un fromage.....	4
Figure n°2 : Réaction d'échange d'ions lors de la fonte du fromage fondu.....	12
Figure n°3 : Principe du traitement de stérilisation UHT directe.....	16
Figure n°4 : Diagramme de fabrication du fromage fondu.....	20
Figure n°5 : Schéma technologique d'obtention des principaux types de sérum issus de la première transformation du lait.....	24
Figure n°6 : Procédé de fabrication du lactosérum au niveau de la laiterie de Beni Tamou...37	
Figure n°7 : Le broyage du beurre et de cheddar.....	38
Figure n°8 : Pesage des matières premières.....	38
Figure n°9 : Conditionnement de produit fini.....	40
Figure n°10 : Détermination de l'EST par le Food Scan.....	45
Figure n°11 : Recherche des coliformes fécaux et totaux.....	47
Figure n°12 : Recherche des SAG.....	48
Figure 13 : Diagramme de flux de fabrication du fromage fondu à l'ail et fines herbes enrichi en lactosérum (laiterie de Beni- Tamou).....	49
Figure n°14 : Comparaison des différents paramètres des sept fromages.....	54
Figure n°15 : Evolution du pH des six fromages lors de la conservation à 6°C.....	58
Figure n°16 : évolution de la MG des six fromages lors du stockage à 6°C.....	60
Figure n°17 : Evolution du G/S des six fromages lors du stockage à 6°C.....	60
Figure n°18 : Résultats du test de dégustation des six fromages.....	63

Liste des abréviations

- ❖ **Abs** : absence
- ❖ **AFNOR** : Association française de normalisation
- ❖ **BEA** : Bile Esculin Agar
- ❖ **CO₂**: Dioxyde de carbone
- ❖ ° **C**: Degré celsius
- ❖ ° **D** : Degré dornic
- ❖ **DJA** : Dose journalière admissible
- ❖ **DPD** : Diéthyle Parapheline Diamine
- ❖ **Da**: Dalton
- ❖ **E** : Essai
- ❖ **EST** : Extrait sec total
- ❖ **ESD**: Extrait sec dégraissé
- ❖ **FAO**: Food and agriculture organization
- ❖ **FMAT**: Flore mésophile aérobie totale
- ❖ **h**: Heure
- ❖ **J.O.R.A.**: Journal Officiel de la République Algérienne
- ❖ **g** : Gramme
- ❖ **G/S** : Gras sur sec
- ❖ **Kcal** : Kilocalorie
- ❖ **Kg** : Kilogramme
- ❖ **L** : Litre
- ❖ **LBT** : Laiterie de Beni-tamou
- ❖ **ml** : Millilitre
- ❖ **mg** : Milligramme
- ❖ **min**: Minute
- ❖ **MIN**: Minimum
- ❖ **MAX**: Maximum
- ❖ **MAT**: Matière azotée totale
- ❖ **MG** : Matière grasse
- ❖ **MS** : Matière sèche
- ❖ **OMS** : Organisation mondiale de la santé
- ❖ **PCA**: Plat count agar
- ❖ **pH**: Potentiel d'hydroxyde
- ❖ **RCM**: Reinforced clostridial medium
- ❖ **SAG** : Spores anaérobies gazogènes
- ❖ **Sec**: Seconde
- ❖ **T** : Température
- ❖ **TSE** : Tryptone sel eau
- ❖ **Tr**: Tours
- ❖ **UHT** : Ultra haute temperature
- ❖ **VRBL** : Gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre

Remerciement

Tout d'abord, je remercie le Bon Dieu tout puissant de m'avoir illuminé et ouvert les portes de savoir et m'avoir donné la volonté et le courage pour surpasser tous les obstacles a fin de réaliser ce modeste travail.

Ce travail étant le fruit de plusieurs collaborations, Je tiens à remercier tout particulièrement, mon promoteur Mr KHALI Mustapha, pour avoir encadré ce travail. Je tiens à vous remercier pour votre aide précieuse, vos conseils, votre objectivité, votre disponibilité, votre rigueur scientifique, et vos précieux conseils qui ont fait progresser ce travail. Il m'est aussi d'un agréable devoir de vous adresser un grand merci pour la sympathie, la confiance et la liberté d'action dont j'ai bénéficié tout au long de ce mémoire. Soyez assuré de ma sincère estime.

Je tiens à remercier Mr RAMDANE Sidali pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence de jury de ce travail et pour ses encouragements et ses précieux conseils. Mme BOUTEKRAPT Linda et Mme ACHEHEB Pour m'avoir honoré de leur présence et pour leur qualité d'examineurs.

Je souhaite exprimer également mes sincères reconnaissances et remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de e travail, y compris le personnel de la laiterie de Beni-Tamou LACTALIS- SOUMMAM : Mr MALDJI A. adjoint responsable assurance qualité, et Mr DRIDJ Hichem responsable atelier fromage fondu, Mr AICHAOUI Nour Eddine adjoint responsable atelier fromage fondu qui m'ont permis de mener à bien ce projet par leurs aides techniques et scientifique jamais mesurées.

Je remercie également l'ensemble du personnel du laboratoire de physico-chimie, laboratoire de microbiologie, également le personnel de l'atelier fromage fondu pour leur collaboration et leur aide durant mon stage pratique.

A tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, qu'ils trouvent ici mon haute considération.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents, Nacera et Tahar, à qui je dois tant, mon éducation et mon instruction, c'est bien grâce à vous, à votre patience et votre générosité, vos efforts endurés et vos sacrifices consentis, qu'aujourd'hui en votre présence et grâce au bon dieu, j'atteigne niveau.

Mon très cher mari Mohamed Amine

Mes frères Mahdi, Mohamed Zouhir et mes sœurs Saida et la préférée Nada qui j'ai partagé toutes mes expériences avec eux,

Mes cher grand- mère paternelle et maternelle que dieux les gardes.

Mes tantes : Zakia, Djamilia, Saida et ces enfants et mon oncle Rachid.

Mes beaux parents, Nadira et Abd el Hamid.

Ma belle soeur Douniazed et son mari Lyes et sa fille Malek, et mon beau frère Djelloul.

Tous mes enseignants tout au long de mes études.

A tous ceux ou celles qui me sont chers, qui pensent à moi et qui occupent une place dans mon cœur.

HOUDA

TABLE DE MATIERE :

<i>Introduction</i>	1
---------------------------	---

PARTIE I : Partie Bibliographique

CHAPITRE I : Le fromage fondu

1. Généralités sur les fromages.....	3
1.1 Production et consommation du fromage.....	3
1.2 Définition du fromage.....	3
1.3 Les étapes fondamentales de la fabrication d'un fromage.....	4
1.3.1 Coagulation ou caillage du lait	4
1.3.2. Egouttage	4
1.3.3. Salage	5
1.3.4. Affinage	5
1.4. Classification des fromages	5
2. Fromage fondu	7
2.1. Définition.....	7
2.2. Les différents types de fromage fondu.....	7
2.3. Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus.....	8
2.4. Matières premières utilisées.....	9
2.5. Processus de fabrication du fromage fondu	14
2.5.1. Préparation des matières premières.....	14
2.5.2. Mélange, cuisson et fonte.....	15
2.5.3. Peptisation.....	17
2.5.4. Crémage.....	18
2.5.5. Conditionnement.....	18
2.5.6. Refroidissement.....	19
2.5.7. Etiquetage et conservation.....	19
2.6. Défauts de fabrication du fromage fondu.....	21

CHAPITRE II : Le lactosérum

1. Généralités.....	22
1.1. Définition.....	22
2. Différents types de lactosérum.....	23
3. Composition du lactosérum.....	25

3.1. Le lactose.....	26
3.2. Les matières azotées.....	26
3.3. Les matières minérales.....	27
3.4. Les vitamines.....	28
4. Conservation et stockage.....	29
5. Intérêt de la valorisation du lactosérum.....	29
5.1. Valeur alimentaire et nutritionnelle du lactosérum.....	29
5.2. Pouvoir polluant du lactosérum.....	31
6. Valorisation du lactosérum.....	32
6.1. Les voies de valorisation du lactosérum.....	32
6.2. Modes de valorisation du lactosérum.....	32
6.2.1. Utilisation dans l'alimentation humaine.....	32
6.2.2. Utilisation dans l'alimentation animale.....	34
6.2.3. Autres utilisations.....	34

PARTIE II : Partie Expérimentale

CHAPITRE I : Matériels et méthodes

I. Matériels et méthodes

1. Matériels.....	35
2. Méthodes	35
2.1. Méthodes de prélèvement physicochimique et bactériologiques de la matière première	35
3. Etapes de fabrication.....	38
3.1. Préparation des matières premières.....	38
3.1.1. Broyage.....	38
3.1.2. Pesage.....	38
3.1.3. Mélange, fonte et cuisson.....	39
3.1.4. Crémage.....	39
3.1.5. Conditionnement.....	40
3.1.6. Refroidissement.....	40
3.1.7. Conservation.....	41
II. Méthode d'analyses physico-chimiques.....	41
1. La poudre du lait.....	41
2. Le cheddar.....	42
3. Le beurre.....	43
4. Latosérum.....	43
5. Produit fini.....	44
III. Méthodes d'analyses microbiologiques.....	45
1. Echantillonnage.....	45
2. Préparation des solutions mères et des dilutions décimales.....	46
3. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	46
4. Recherche et dénombrement des germes totaux.....	47

5. Recherche et dénombrement des spores anaérobies gazogènes (SAG).....	47
6. Recherche des levures et moisissures.....	48
7. Recherche et dénombrement des streptocoques groupe D.....	48
8. Essai de fabrication du fromage fondu incorporé du lactosérum et ail, fines herbes..	49
9. Analyse sensorielle.....	50

CHAPITRE II :

Résultats et discussions

1. La recette de fromage fondu enrichi en lactosérum.....	51
1.1. Saumure Ail et fines herbes (AFH).....	52
2. Résultats et interprétations des analyses physicochimiques.....	52
2.1. Matières premières.....	52
2.1.1. Poudre de lait, beurre, cheddar.....	52
2.2. Lactosérum.....	53
2.3. Produit fini.....	53
3. Résultat et interprétations des analyses microbiologiques.....	54
3.1. Matière première.....	54
3.2. Lactosérum.....	56
3.3. Produits finis.....	57
4. Etude de conservation des fromages à 6°C.....	58
4.1. Etude physicochimique.....	58
4.1.1. Ph.....	58
4.1.2. EST.....	59
4.1.3. Matière grasse et gras/sec.....	59
4.2. Etude bactériologique des six fromages durant la conservation à 6°C.....	61
5. Résultats d'analyse sensorielle.....	62
 Conclusion.....	 64
 Références bibliographiques.....	 65
 Annexes.....	 68

INTRODUCTION :

La recherche de nouvelles sources alimentaires est l'une des principales préoccupations de notre siècle surtout dans les pays en voie de développement.

Nombreux sont les pays dont la situation de pénurie alimentaire deviendra certainement encore alarmante dans le proche avenir vue la croissance démographique galopante qui les caractérise.

De plus en plus, des sous produits des industries alimentaires font l'objet d'un intérêt certain du fait de leur richesse en matières nutritionnelles et de leurs sous produits qu'elles génèrent qui peuvent présenter un intérêt économique mais être aussi parfois une source de pollution.

La valorisation de ces sous produits doit permettre de récupérer puis utiliser à peu de frais des produits souvent très intéressants qui sont généralement très mal utilisés voire jetés dans la nature. Cette récupération permet de diminuer notablement la pollution.

Parmi les sous produits des industries laitières et fromagères, le lactosérum occupe une place importante.

Un pouvoir polluant, une richesse alimentaire certaine et un volume considérable font du lactosérum un centre d'intérêt pour les nutritionnistes qui cherchent à aller toujours plus loin dans la voie de la valorisation de ce produit.

Aux cours de ces dernières années, une attention soutenue a été portée à ce produit en Algérie suite au développement des industries laitières et fromagères et plusieurs travaux de recherche lui ont été consacrés. Cependant, il semble que ceci n'est pas encore suffisant puisque peu de réalisations pratiques ont été faites jusqu'à présent.

En effet, bien que la valorisation du lactosérum a été déjà entamée dans certaines de nos unités (biscuiterie de BIMO par exemple), ces utilisations alimentaires ne représentent pas encore un volume global en relation avec la quantité de lactosérum produite.

Le fait de la non existence d'une réglementation interdisant le rejet du lactosérum, la pollution provoquée par celui-ci présente un sérieux problème.

C'est la raison pour laquelle il a été indispensable de concevoir un nouveau produit tout en tenant compte des habitudes alimentaires de notre population et qui aurait pour avantages :

- De contribuer autant que possible à la réduction du déficit en aliments protéiques.
- De stimuler l'activité des fromageries et améliorer l'économie laitière par la réalisation de nouveaux revenus.

L'intérêt porté à ce produit dépend essentiellement de sa richesse en protéines, en lactose et en vitamines hydrosolubles. C'est pour cette raison qu'il est intéressant d'utiliser ce

produit pour l'alimentation humaine : en biscuiterie, confiserie, chocolaterie, margarinerie ...etc.

Notre travail constitue un maillon dont le but est d'apporter une nouvelle possibilité de valorisation du lactosérum dans la fabrication du fromage fondu.

Le fromage fondu est devenu en peu de temps un fromage très apprécié et sollicité dans le monde.

Est-il possible d'incorporer du lactosérum en fromagerie en vue d'obtenir un fromage de haute qualité nutritionnelle sans modifier les caractéristiques organoleptiques ? C'est l'objectif de nous nous sommes fixés à travers cette étude.

CHAPITRE I :**Le fromage fondu****1. Généralités sur les fromages :**

Les fromages sont des formes de conservation et de report ancestrales de la matière utile du lait (protéines, matière grasse ainsi qu'une partie du calcium et phosphore), dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'homme dans presque toutes les régions du globe (**Jeantet et al., 2007**).

1.1. Production et consommation du fromage :

Il existe une très grande variété de fromages selon la nature du lait et les technologies mises en œuvre.

Les chiffres de la production de fromages en 1998 en milliers de tonnes étaient de 1700 en France (correspondant à 50% du lait collecté), 6580 dans l'union européenne et 15000 dans le monde entier (**Mahaut et al., 2003**).

1.2. Définition du fromage :

Le fromage, Selon la norme codex, est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi- dure, dure ou extra-dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum / caséine ne dépasse pas celui du lait (**Vignola, 2010**).

Les fromages sont produits par la coagulation d'un produit laitier assortie d'un égouttage. De la matière grasse d'origine laitière peut être éventuellement rajoutée (**Vierling, 2008**).

La dénomination fromage est réservée au produits fermenté ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitiers (lait entier, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre), utilisée seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse selon l'article 1 du décret n° 88-1206, 30 décembre 1988 (**Mahaut et al., 2003**).

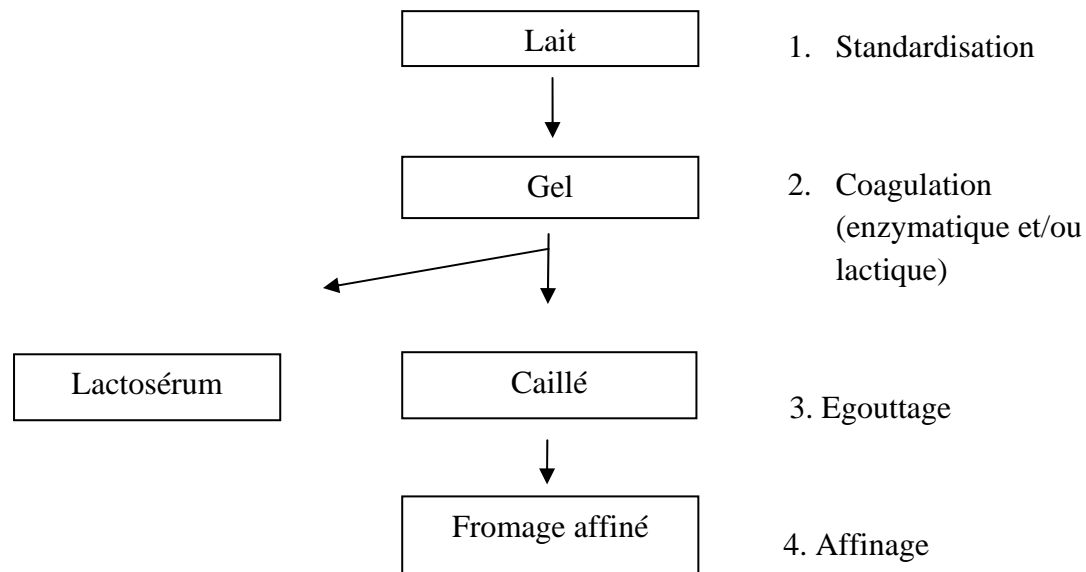


Figure 1 : Schéma simplifié de la fabrication d'un fromage (Mahaut *et al.*, 2003).

1.3. Les étapes fondamentales de la fabrication d'un fromage :

La transformation du lait en fromage comporte, pour la plus grande partie des fromages trois étapes essentielles : la coagulation, l'égouttage, l'affinage (Vignola, 2002).

1.3.1. Coagulation ou caillage du lait :

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

- Par voie enzymatique à l'aide d'enzymes coagulantes, contenues dans la présure.
- Par voie fermentaire à l'aide de bactéries productrices d'acide lactique (bactéries lactiques contaminants à l'état naturel le lait ou apportés sous forme de levains).

Les mécanismes d'action de ces deux agents coagulants au niveau de la micelle sont très différents, mais ils conduisent tous deux à la formation d'un coagulum (gel ou caillé) (Bounie, 2002).

1.3.2. Egouttage :

Cette phase consiste à l'élimination plus ou moins grande du lactosérum emprisonné dans les mailles du gel formé par voie acide et/ou enzymatique. Elle commence dans les cuves de coagulation, puis se poursuit dans les moules et en fins en hâloirs (Jeantet *et al.*, 2007).

L'égouttage a pour objectif d'aboutir aux paramètres du fromage en blanc. Régler l'égouttage permet de régler en partie la capacité d'affinage d'un fromage (Neyers, 1996).

L'égouttage spontané d'un gel lactique est lent et limité, il conduit à un caillé hétérogène, présentant des teneurs en matière sèche peu élevées et un faible niveau de minéralisation. Le gel présure présente une forte cohésion, élasticité et porosité mais une perméabilité faible, conduisant à un égouttage spontané limité. C'est pourquoi il est nécessaire de mettre en œuvre différentes opérations de travail en cuve (tranchage, brassage, chauffage lent et régulier jusqu'à 56°C) pour permettre l'égouttage du gel (Jeantet *et al.*, 2007).

1.3.3. Salage :

Incorporation de sel soit par dépôt ou dans la masse ou bien par immersion saumure. Le sel freine le développement des microorganismes, accélère le séchage et la formation d'une croûte. Il favorise la bonne conservation du fromage et intervient dans l'appréciation sensorielle des aliments (Mahaut *et al.*, 2003).

1.3.4. Affinage :

L'affinage correspond à une phase de digestion enzymatique des constituants protéiques et lipidiques du caillé.

La protéolyse et la lipolyse sont les phénomènes dominants de l'affinage, elles se traduisent par de profondes modifications de la composition physicochimique du substrat, et par voie de conséquence, de son aspect, de ses qualités organoleptiques, de sa digestibilité et de sa valeur nutritives (Bounie, 2002).

La protéolyse et la lipolyse se font par l'intermédiaire d'enzyme dont l'origine est variée :

Enzymes naturelles du lait, enzymes coagulantes, enzymes produites par divers microorganismes (moisissures, bactéries, levures) se développent dans et/ou sur le fromage; cette catégorie d'enzymes intervient d'une manière dominante (Ramet, 1993).

1.4. Classification des fromages :

Les différentes variétés des fromages sont représentées dans le tableau ci-après :

Tableau 1 : Classification des fromages en fonction des opérations de fabrication et de leurs caractéristiques (Anonyme, 2001).

pâte		Caractéristiques	Technologie de fabrication	Exemples
Fromage frais ou à pâte fraîche		Humidité: très élevée (60%). Texture: faible, crémeuse sans cohésion Absence d'affinage Conservation au frais de courte durée	fromages à égouttage obtenu par centrifugation ou filtration, à fermentation lactique.	Petit- suisse
Fromage à pâte molle		A croûte lavée	fromages obtenu par action de la présure, avec affinage après la fermentation lactique. Avec une pate ni cuite ni pressée, Egouttage lent, par découpage et éventuellement un brassage	Livarot
		A croûte moisie		Camembert
		Persillé (à moisissure interne)		Roquefort
Fromage à pâte pressée	Non cuite	Pâte ferme non cuite	Quelques degrés de différence dans le chauffage du caillé séparent ces deux types de fromages. Ce chauffage à pour but de resserrer les grains de caillé donc d'extraire davantage de sérum	Cantel
		A croûte lavée		Saint-paulin
		A croûte moisie		Saint -nectaire
		Croûte artificielle		Edam
	cuite	Avec ouverture		Emmental
		Sans ouverture		beaufort
		Très dure		Cheddar
Fromages fondus		Type : Fondu Forme : Variable Croûte : Sans Croûte Texture : Ferme, Tendre Couleur : Jaunâtre Trou : Absence Teneur En EST : 40% Teneur en G/EST : 40%	il s'agit de préparations issues de la fonte de fromage généralement à pate pressée	les fromages en portion

2. Fromage fondu :

2.1. Définition :

Le fromage fondu est un produit obtenu par le mélange de fromages de différentes origines et à différents stades d'affinage avec des sels de fonte ; ce mélange est broyé puis chauffé sous vide partiel et agitation constante, jusqu'à obtention d'une masse homogène qui est conditionnée dans un emballage protecteur. On peut ajouter d'autres matières premières d'origine laitières (beurre, poudre de lait) ou incorporer des ingrédients aromatiques (**Eck et Gillis, 1997**).

2.2. Les différents types de fromage fondu :

Ces produits issus de la fonte de fromage peuvent être regroupés en six familles classées ici par ordre chronologique d'apparition sur le marché mondial.

➤ Fromage fondu type « bloc » :

Le bloc est obtenu par le moulage dans l'emballage formé préalablement. Le traitement thermique appliqué est modéré de manière à conserver au produit fini une élasticité marquée en plus de sa stabilité.

Sa teneur en matière sèche est élevée. Il est fondu partiellement ou totalement avec le citrate de sodium. L'objectif est de retrouver l'aspect d'un fromage à pâte pressée (**Boutonnier, 2000**).

➤ Fromage fondu type coupe :

Moins ferme que le bloc, il contient 3 à 4 fois moins de matière sèche que le précédent, ce qui le rend agréable à la dégustation. L'élasticité parfois recherchée n'est pas toujours souhaitable en raison de la formation de fils qui rendent le conditionnement délicat. (**Boutonnier, 2000**).

➤ Fromage fondu tartinable :

C'est le processus de crémage qui permet en partie de régler la consistance du produit fini et de lui conférer une certaine tartinabilité. Il peut être aromatisé et conditionné en emballages souple (portions) ou rigides (pots, barquettes, tubes) (**Boutonnier, 2000**).

➤ Fromage fondu toastable (pour refonte) ou type de tranche :

Originnaire d'Amérique du Nord, il se présente généralement sous forme de tranches qui sont obtenus soit en formant des bandes qui seront découpées et ensuite emballées, soit en moulant le fromage en forme de tube autour duquel on forme alors une gaine de matière plastique.

Ce produit doit refondre rapidement sans carbonisation superficielle, comme une tranche d'emmental par exemple, ce qui exige une préservation importante de la structure protéique de la matière première (**Boutonnier, 2000**).

➤ Fromage fondu thermostable :

C'est un fromage fondu qui ne doit pas fondre lorsqu'on le soumet à une nouvelle source de chaleur. Il subit un crémage très poussé et les blocs obtenus sont découpés puis incorporés dans les plats cuisinés (**Boutonnier, 2000**).

➤ Fromages fondus aux additifs :

Ces fromages fondus sont obtenus à partir de mélange frais ou affinés, additionnés éventuellement du lait, du beurre, la caséine, et d'autres ingrédients : épices, champignon, olives...etc (**Kernoug et Benmohamed, 2008**).

2.3. Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus :

2.3.1. Composition :

Le fromage fondu se compose de plusieurs éléments cités dans le tableau 2.

Tableau 2 : Composition de fromage fondu (**Carole, 2010**).

Eléments nutritifs	Composition moyenne
Eau (g/100g)	48
Protéines(g/100g)	18
Glucides(g/100g)	2,50
Lipides(g/100g)	22
Sodium(mg/100g)	1650
Magnésium (mg/100g)	25
Phosphore (mg/100G)	900
Calcium (mg/100g)	680
Zinc(mg/100g)	9
Energie(Kcal)	280

2.3.2. Valeur nutritive:

Le fromage fondu comporte toutes les caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui le composent. Il apporte à l'organisme la majorité des nutriments essentiels à un bon équilibre alimentaire. Ne nécessitant aucune préparation, c'est un excellent moyen d'apporter à notre corps les éléments énergétiques et bâtisseurs nécessaires à son fonctionnement

(lipides, glucides, protéines, minéraux, vitamines). Comme tous les produits laitiers, c'est une source importante de protéines et de calcium.

Du fait de sa conservation et des facilités d'exportation qu'il permet, il peut être un aliment de première importance pour les populations de pays non laitiers. La teneur en acides aminés essentiels des protéines du lait et des fromages confère à ces produits une valeur biologique extrêmement élevée. De ce fait, ils conviennent tout particulièrement aux sujets en croissance dont les besoins en acides aminés sont plus élevés que ceux de l'adulte.

La digestibilité des protéines du fromage, exprimée d'après la quantité d'azote protéique absorbé par l'intestin (ou coefficient d'utilisation digestive) est de 95%, très voisine de celle de l'œuf et du même ordre que celle des protéines de la viande. Elles sont donc presque intégralement absorbées au niveau de l'intestin (**Eck et Patont ,1987**).

2.4. Matières premières utilisées:

La principale matière première des fromages fondus est le fromage auquel on associe souvent d'autres produits laitiers. Les fromages appartiennent généralement aux pâtes pressées cuites ou non cuites. Tout l'art du « maître fondeur » est d'utiliser les fromages les mieux adaptés pour une meilleure qualité du produit fini. Souvent, l'association de variétés différents de fromages avec des degrés d'affinage divers, donne de bons résultats, les fromages jeunes apportant l'acidité et la fraîcheur du goût ; les fromages affinés, apportant leur saveur et leur goût caractéristique (**Luquet, 1986**).

Les fromages les plus utilisés sont :

- Des fromages à pâte pressée cuite : emmental, gruyère, comté, cheddar...
- Des fromages à pâte pressée non cuite : gouda, saint Paulin ...
- Des fromages à pâte persillée : roquefort, bleus ...
- Des fromages blancs pour la fabrication de «fromage blanc fondu pour tartine ».

2.4.1. Fromage de fonte « cheddar »:

Il s'agit d'un fromage d'origine anglaise, C'est le fromage le plus courant dans le monde, caractérisé par une croûte dure et lisse, parfois recouverte de cire ou parfois d'une toile (robe) ; il appartient aux fromages à pâte pressée cuite. Sa pâte est homogène, ferme, de couleur crème pâle, dans certaines régions d'Angleterre, la pâte est colorée au rocou qui lui donne une couleur orangée. Son goût est doux ou piquant, il se consomme entre un âge compris entre trois et six mois, jusqu'à douze mois de maturation.

C'est un aliment concentré fabriqué à partir de lait de vache. Dans le processus de fabrication de ce fromage, la caséine du lait doit coaguler, la structure réticulaire qui en résulte emprisonne les globules gras du lait, mais laisse s'écouler une partie d'eau, et des composants solubles (lactosérum en petit lait). Normalement, la coagulation de la caséine est provoquée par une combinaison de l'action de l'acide lactique et de la présure. Une fois la coagulation est terminée, le fromage est soumis à diverses manipulations pour séparer le lactosérum du caillé, puis à une période de vieillissement ; cette dernière permet à la saveur

caractéristique de se développer grâce à l'activité microbienne et enzymatique (**Luquet, 1990**).

Le cheddar doit être conditionné sous emballage plastique, thermosoudé, étanche, et thermique, assurant une conservation totale (transport et stockage compris) jusqu'au moment de l'utilisation du produit ; il sera destiné pour la fabrication du fromage fondu en portion, en barres ou en boîtes métalliques (**Rauger, 1979**).

Les caractéristiques physicochimiques du cheddar se résument dans le tableau suivant (tableau 3)

Tableau 3 : Caractéristiques physicochimiques du cheddar (**Luquet, 1985**).

Caractéristiques	Normes
Nature du lait	Lait de vache
Matière sèche totale (en g/100g) de produit	61
Matière grasse (en % de la matière sèche)	48
Maturation	Consommé doux après trois mois, soit après douze mois d'affinage au plus.
Forme	Cylindre ou bloc.
Nature de la pâte	Texture ferme, lisse et cireuse. Il ne doit pas y avoir de trous dus à la formation de gaz ; peu ou pas d'ouvertures mécaniques.
Nature de la croûte	consistance dure et lisse. Le fromage peut être recouvert ou enveloppé d'une toile couleur de paille foncée jusqu'à l'orange.

2.4.2. Le beurre :

Le beurre est un produit obtenu par barattage, soit de la crème, soit du lait ou de ces sous produits.

Le beurre, émulsion solide et malléable contient 15% d'eau environ, et une teneur en lipides élevée de 80% avec de 3 à 13% en NaCl, qui est défavorable aux bactéries.

Le beurre est une source importante de vitamine A et de beta-carotène lequel donne sa couleur jaune orangée ; il contient aussi du cholestérol (250mg pour 100g) avec une richesse calorique de 750 kcal pour 100 g (**Luquet, 1990**).

2.4.3. Poudre du lait :

La poudre du lait est le produit final d'un lait ayant subi une déshydratation (dessiccation) réduisant son volume et permettant une longue conservation.

Dans la fabrication du fromage fondu à tartiner, la poudre du lait employée est une poudre de lait entier (26% de matière grasse) (**Luquet, 1990**).

2.4.4. Eau :

L'eau intervient à plus d'un titre dans notre alimentation. D'une manière générale, elle intervient dans la préparation des aliments comme une matière première dans le cas de la reconstitution des aliments déshydratés, elle intervient également dans le lavage, elle constitue de part ses propriétés, un agent vecteur possible de germes dangereux.

Aussi dans la préparation des fromages, l'eau utilisée doit être de bonne qualité alimentaire, c'est-à-dire avec une faible teneur en microorganismes et en contaminants chimiques tels que les nitrates. Généralement, la participation de l'eau dans la préparation des fromages est de 20 à 45% de la matière première ; il est nécessaire d'apporter l'eau au mélange car celle-ci permet de solubiliser, de disperser les protéines d'émulsion et par conséquent la matière grasse libre (**Luquet, 1990**).

2.4.5. Les sels de fonte :

Les sels de fonte sont des ingrédients de base, qui rentrent dans la fabrication du fromage fondu.

Dans la réglementation française et dans les normes FAO/OMS(1976), les sels de fonte sont autorisés et utilisés en faible quantité par rapport au fromage, à raison de 3% du poids de la matière première mise en œuvre.

2.4.5.1. Propriétés des sels de fonte :

Les principales propriétés pour lesquelles certains sels sont utilisés en fonte sont les suivantes (tableau 4) :

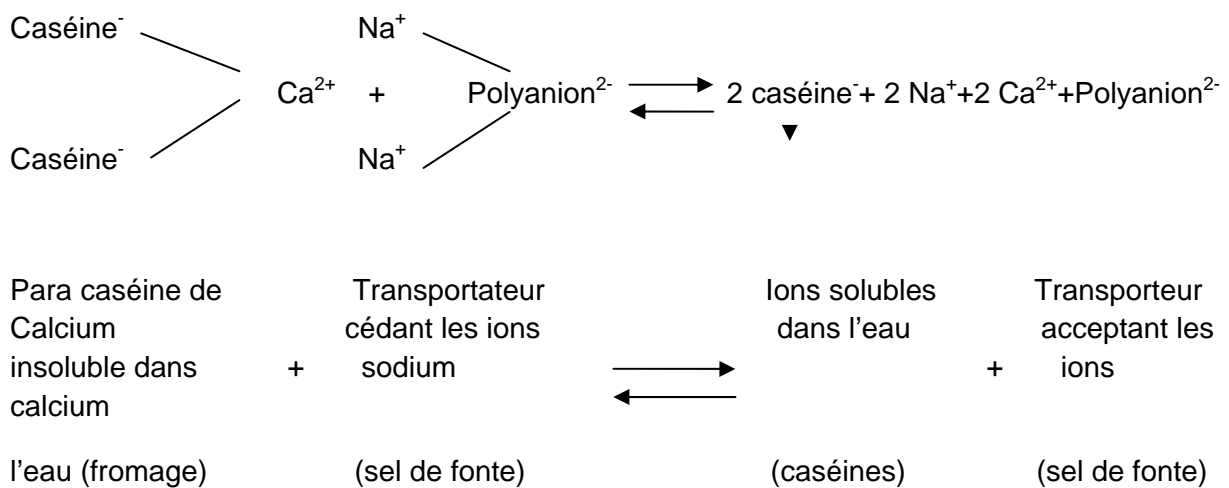
Tableau 4: Caractéristiques physicochimiques du cheddar (**Boutonnier, 2000**).

Propriétés	Citrates	Orthophosphates	Polyphosphates
Echanges d'ions	+	+	++
Variation du pH	++	++	+
Crémage	0	0	++
Changement de la couleur	-	0	0
Influence sur le goût	++	-	0
Influence sur la conservation	0	0	++

++ : Forte réaction + : Réaction normale 0 : Aucune réaction - : Réaction négative

Le sel de fonte a d'une part l'aptitude de solubiliser la caséine avec formation d'une masse homogène. Ce phénomène est lié à un échange d'ions. En effet, dans le fromage, le calcium est lié à la caséine et la liaison du calcium bivalent avec les caséines assure au fromage sa nature et une structure ferme.

Pour le fondre, il faut provoquer un échange de calcium avec le sodium monovalent de ce fait l'ajout d'un mélange des sels de fonte permet une émulsion complète de la masse (voir schéma) :



(Boutonnier, 2000)

Figure 2 : Réaction d'échange d'ions lors de la fonte du fromage fondu.

D'autre part, les sels de fonte sont utilisés pour modifier le pH du mélange à fondre. La valeur du pH souhaitée à obtenir est liée à la texture du fromage. Quand sa valeur est au

dessous de 5, la structure du fromage produit fini devient friable, par contre, si le pH dépasse la valeur 6,5 la structure est molle.

La plage du pH tolérée se situe entre 5,2 et 6,2 en dehors de laquelle les qualités de texture et de consistance ne peuvent pas être atteintes (**Eck et Gillis, 1997**).

Le pH et la texture sont résolus donc par le choix des sels. Chaque sel doit exercer une action régulatrice sur le pH du fromage en le déplaçant vers le haut ou vers le bas.

La modification du pH dépend du degré d'affinage et du pouvoir tampon du fromage et des autres matières premières (**Berger, 1985**).

Les sels de fonte ont aussi une influence considérable sur le goût : ils confèrent un goût de frais. Il est préférable de les utiliser avec les polyphosphates si on a une matière première affinée, ce qui permettra d'atténuer le goût et d'obtenir une saveur régulière. L'influence des citrates au niveau du goût est agréable, celle des orthophosphates est désagréable, goût de savon, dû à un pH trop élevé 6. Les polyphosphates sont sans saveur, ils possèdent des facultés bactériostatiques et agissent contre les bactériophages.

Enfin, une fonte réalisée uniquement avec des citrates de sodium influence directement sur la couleur de la pâte du fromage fondu. Ceci est à l'origine du défaut des microcristalline, après le processus de fonte. Ce phénomène est à l'origine du défaut des marbrures dans les pâtes fondues exclusivement à base de citrates (**Boutonnier, 2000**).

2.4.5.2. Aspect nutritionnel des sels de fonte :

Les phosphates sont très utilisés dans le secteur alimentaire et sont absorbés par l'intestin sous forme d'orthophosphates. Néanmoins, ils font l'objet d'une Dose journalière admissible qui est pour un adulte de 30 mg par Kg de masse corporelle par jour et sans condition. Par contre, l'ingestion d'acide citrique et de ses sels n'est pas limitée.

Le phosphore est un oligo-élément très important en alimentation car il améliore l'absorption du fer et on recommande un ratio calcium/phosphore supérieur ou égale à 1 (**Boutonnier, 2000**).

2.4.5.3. Classification des sels de fonte :

On peut classer les sels de fonte en trois grands groupes (**Berger, 1985**).

a. Les citrates (E.331) : utilisés sous trois formes à savoir :

- Le monocitrate de sodium pH=3,8
- Le dicitrate de sodium pH= 5,1
- Le tricitrate de sodium pH= 8,2

Le but de l'emploi des citrates est d'obtenir un fromage à pâte longue, aussi ils se prêtent particulièrement pour la production d'un fromage fondu à couper ou en bloc.

Ce sont de bons séquestrants du calcium mais ils n'ont aucune action structurante au cours du crémage, ce qui ne permet pas l'obtention d'une pâte fondue recherchée dans les fromages fondus à tartiner.

Ils sont souvent à l'origine de défauts de marbrure dus en général à des cristallisations avec le calcium.

b. Les orthophosphates (E.339) : Existents aussi sous trois formes :

- Le monophosphate de sodium pH=4,5
- Le diphosphate de sodium pH=9,0
- Le triphosphate de sodium pH=11,5

Les orthophosphates et spécialement le diphosphate de sodium, donnent la meilleure émulsion à un pH entre 6 et 6,3, utilisés surtout dans la production des fromages fondus tartinables. L'emploi des diphosphates de sodium augmente la valeur du pH.

c. Les polyphosphates de sodium (E.450) : obtenus par réactions chimiques

à partir d'orthophosphates (condensation de ces derniers à haute température). Les diphosphates, anciennement appelés polyphosphates, se distinguent par leur pouvoir de crémage considérable, c'est un excellent échangeur d'ion.

2.5. Processus de fabrication du fromage fondu :

L'industrie de la fonte des fromages est avant tout une industrie de mélange et de stabilisation qui comporte plusieurs voies, selon le type de fromage fondu fabriqué, le type de matériel utilisé et la sévérité du traitement thermique visé (**Boutonnier, 2000**).

Le processus de fonte des fromages permet la modification de leur structure sous l'action de la chaleur et l'ajout du sel de fonte ; en gel de paracaséine insoluble vers un sol (solution colloïdale de fines particules solubles) de paracaséine soluble, c'est-à-dire de le faire passer vers un état homogène et fluide. Puis, la masse de fromage obtenue est pasteurisée et coulée correctement, puis emballée sans être contaminée, après refroidissement (**Mahaut et al., 2000**).

2.5.1. Préparation des matières premières:

La sélection des matières premières est en fonction de la formule du produit que l'on veut obtenir. Toutes les matières premières sélectionnées feront l'objet d'un contrôle rigoureux avant utilisation (composition physicochimique, qualité bactériologique et organoleptiques) (**Berger et al., 1989**).

L'essentiel du travail consiste ici au nettoyage des fromages éventuellement souillés en surface ou pour lesquels la croûte est considérée comme indésirable. En effet, dans certains cas la dureté de celle-ci peut entraîner des difficultés de fonte et la présence dans le produit

fini de particules infondues. Cet écroûtage peut se faire par raclage, par abrasion ou encore par jets d'eau ou de vapeur sous pression.

Enfin, pour faciliter le mélange avec les autres ingrédients et réduire le temps de fonte, il est impératif de fragmenter les fromages, le broyage est une étape importante du traitement des matières car il est indispensable de dissocier finement les fromages pour obtenir un fromage fondu homogène (**Choisy, 1983 cité par Kernoug et Benmohamed, 2008**).

Une fois le broyage terminé, le fromage est pesé et mis dans le pré-mélangeur avec les éventuels autres ingrédients. L'eau est pesée dans des quantités définies d'avance. Les sels de fonte sont pesés à l'état sec. Sans pesage exacte, il n'y a pas de garantie de régularité de fabrication : cette opération doit donc se faire avec une grande exactitude.

2.5.2. Mélange, cuisson et fonte :

Le plus souvent le mélange est effectué dans deux pré-mélangeurs fonctionnant de manière alternative afin d'assurer un fonctionnement continu de la fabrication.

L'homogénéité du mélange est fondamentale pour assurer une bonne qualité du produit fini, elle est notamment fonction du matériel, de l'intensité des forces de cisaillement générées par les systèmes d'agitation (agitateurs à pales, à rubans concentriques ou excentriques), ainsi que la durée du traitement. Lorsqu'on utilise des couteaux tournant à grande vitesse (jusqu'à 3000 tours /min), le broyage fin a lieu directement dans cutter, de même que l'opération de cuisson-fonte. Dans ce cas, on travaille par batch de 150 voire à 300 l, avec des appareils dans les cuves peuvent fonctionner :

- Sous vide.
- Sous pression avec injection directe de vapeur d'eau froide dans la cuve.
- Par circulation de vapeur dans une double paroi.

Les pétrins comme les cutters peuvent également se charger du traitement thermique de pasteurisation ou de stérilisation ou être couplés à des stérilisations continues. Deux paramètres sont fondamentaux : la température et le temps de fonte.

En fonction du pétrin et du produit demandé, la durée de la fonte se situe généralement entre 8 et 10 min, un temps plus court est à proscrire ; en effet, il faut un certain temps pour que l'échange d'ions de calcium et de sodium puisse se faire. La pasteurisation a pour but de détruire tous les germes pathogènes non sporulés, les formes végétatives pour les germes sporulés et la presque totalité des germes d'altération tout en préservant au maximum les propriétés organoleptiques et nutritionnelles de l'aliment (**Boutonnier, 2000**).

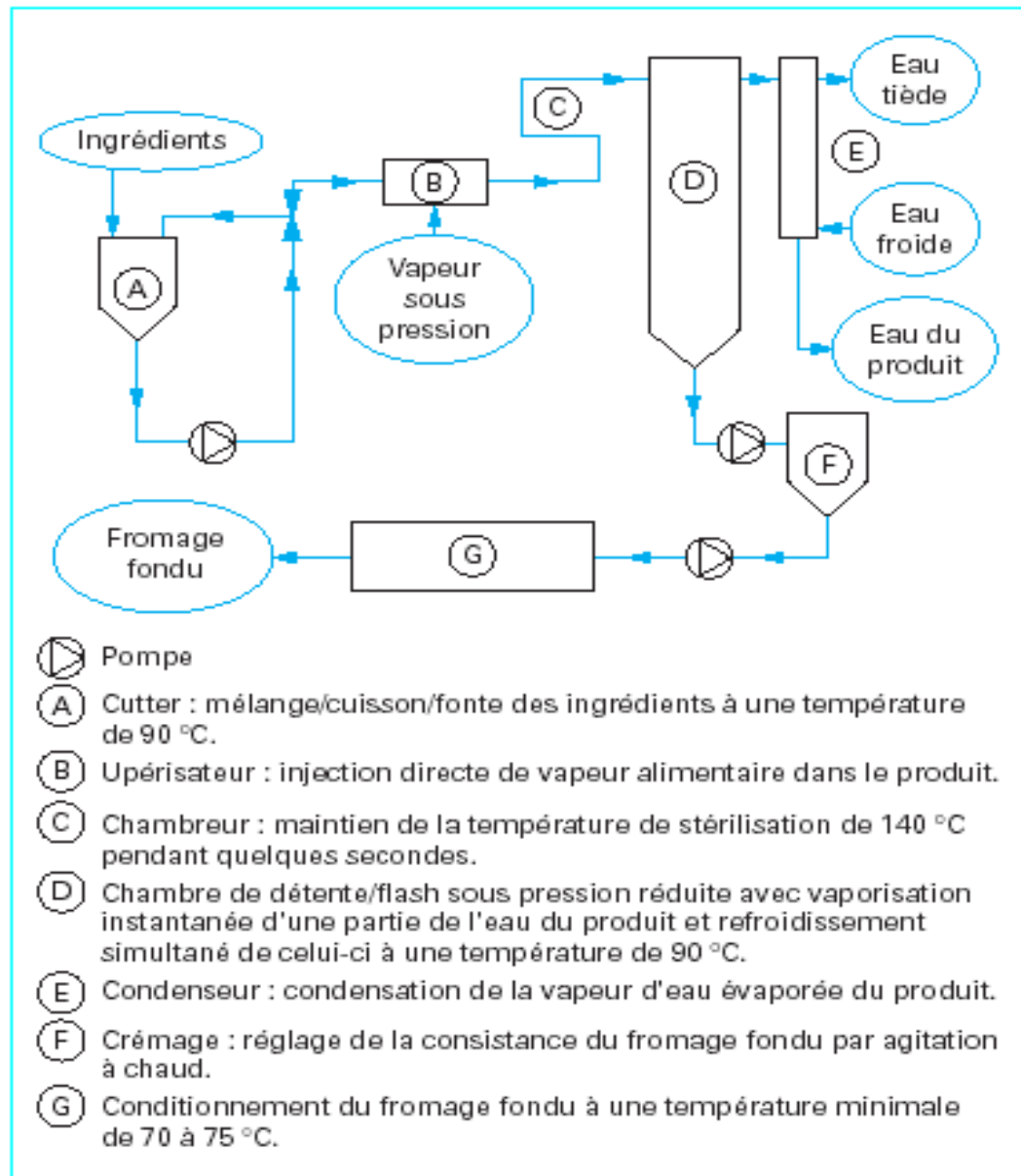


Figure 3 : Principe du traitement de stérilisation UHT directe (Boutonnier, 2000).

La fonte est l'opération clef pour la fabrication du fromage fondu :

➤ **Pour les petites productions :**

Elle s'effectue sur des pétrins en discontinu.

L'appareil permet l'injection de vapeur (chauffage), d'eau, de solutions de sels de fonte, etc. Une double paroi peut également apporter un chauffage complémentaire. On peut ainsi atteindre 75°C et au delà de température minimale nécessaire pour s'assurer d'une bonne sécurité microbiologique : en effet, les germes microbiens inclus dans le fromage fondu résistent beaucoup mieux à la chaleur que lorsqu'ils sont en solution aqueuse dans le lait. Certains de ces pétrins peuvent travailler sous pression pour monter en température jusqu'à

120°C. La montée en température est malheureusement assez lente (**Chambre et Daurelles, 1997**).

➤ **Pour les productions importantes :**

L'utilisation d'un pétrin suivi d'une cuve de lancement aboutissant à un stérilisateur de type UHT (ultra haute température), permet à la fois de stériliser parfaitement le produit.

Tout en préservant ses qualités organoleptiques et nutritionnelles (goût, arôme, développement limité des réactions de Maillard). La stérilisation est suivie d'un pré-refroidissement jusqu'à 80-90°C., puis d'une étape spécifique à la fonte « le crémage ».

Le crémage s'effectue dans des réacteurs agités ; le fromage séjourne dans les cuves un temps suffisant pour assurer le développement des réactions de polymérisation protéique à l'origine de la structuration du produit se traduisant par son épaissement. L'évolution de la viscosité au cours de cette phase est particulièrement surveillée de façon à arrêter la réaction au stade optimal recherché.

Le fromage fondu chaud (70-80°C) structuré peut alors être conditionné (**Chambre et Daurelles, 1997**).

2.5.3. Peptisation :(déstructuration de la masse protéique initiale)

Les fromages sont constitués par la juxtaposition de granules de caillé composé de protéine et de globules gras.

La zone externe du granule est composée essentiellement de substances protéiques et la zone interne d'une proportion importante de matière grasse.

Après avoir broyé finement les matières premières fromagères et dès la mise en contact avec l'eau et les sels de fonte on assiste au démarrage de l'étape de déstructuration. Cette étape va se poursuivre et s'accroître lors du traitement thermique ; les sels de fonte chélatent le calcium lié aux protéines et transforment ainsi la paracaséine de calcium insoluble en paracaséinate de sodium soluble.

Après l'échange de calcium contre du sodium, les chaînes peptidiques sont en partie déroulées et dissociées ; c'est le stade de peptisation. Le mélange fromager initial est transformé dans cette étape en une solution colloïdale homogène.

En effet les protéines moins calcifiées sont devenues plus hydrophiles ce qui induit une augmentation de la viscosité de la phase aqueuse, parallèlement et sous l'action de la température et l'agitation, la matière grasse est dispersée dans la solution colloïdale et stabilisée incluant les protéines précédemment peptisées (**Eck et Gillis, 1997**).

C'est à ce moment là qu'a lieu la phase de crémage.

2.5.4. Crémage : (phase de restructuration)

L'étape de crémage correspond à un épaississement du produit qui a deux origines :

- Peptisation des protéines, qui permet l'hydratation des chaînes, aboutit à un gonflement du milieu et à une augmentation de la viscosité.

En effet, le déroulement des chaînes protéiques et l'augmentation des charges négatives conférées aux molécules protéiques par les anions polyvalents des sels de fonte augmentent le caractère hydrophile des groupements latéropolaires. Ceci permet une hydratation importante des protéines ce qui se traduit par un épaississement de la pâte fondue.

- Les pyrophosphates de calcium formés au cours du traitement thermique ont une taille qui leur permet de s'insérer entre les chaînes protéiques pour former des liaisons ioniques inter et intra protéiques ce qui entraîne la gélification du réseau.

La constitution du réseau protéique se fait d'autant plus vite que l'on incorpore de la pré-fonte ; cette dernière (fromage fondu déjà structuré) va conférer au sein du mélange où elle est introduite un « modèle » favorisant les interactions, ce qui va accélérer la cinétique de restructuration (**Eck et Gillis, 1997**).

L'importance du crémage a une influence primordiale sur la texture finale.

2.5.5. Conditionnement :

Dans les premiers temps, la pâte du fromage fondu se conditionne en portions triangulaires, sous feuilles minces d'étain. Maintenant, les portions de ce produit sont emballées dans des feuilles d'aluminium laquées, thermoscellables, regroupées en boîtes rondes de carton permettant une meilleure distribution (**Luquet, 1990**).

Des machines de plus en plus sophistiquées ont été produites permettant de sortir 60, 80, 100, 200, 400 et même 800 portions à la minute. Les techniques modernes du conditionnement permettent de réduire considérablement les risques de contamination de la pâte après les opérations de pasteurisation ou de stérilisation.

Si l'image traditionnelle de fromage fondu est donnée par la boîte ronde contenant un certain nombre de portions triangulaires, la diversification de la présentation a été très importante depuis quelques années. Non seulement les portions sous aluminium sont également carrées, rectangulaires, rondes, mais on trouve aussi, des blocs et aussi des conditionnements en boîtes métalliques ou verre type moutarde et diverses autres présentations originales. Bien entendu, à chaque type de conditionnement est adapté le produit qui convient :

Pâte plus ou moins grasse, épaisse ou liquide, obtenue grâce au choix des matières premières convenables et en modulant en conséquence les divers paramètres du processus de fabrication (**Jacquot et al., 1981**).

2.5.6. Refroidissement :

Le refroidissement doit se faire rapidement afin d'éviter le risque du brunissement non enzymatique de la pâte et de condensation d'eau qui pourraient se produire à l'extérieur des emballages. Cette vitesse de refroidissement varie avec la taille du produit et son système d'emballage.

Dans le fromage fondu à tartiner, un refroidissement rapide s'effectue par circulation des produits sur des tapis à l'air ambiant, mais les meilleurs résultats sont obtenus dans des couloirs de refroidissement à 20°C (**Luquet, 1990**).

2.5.7. Etiquetage et conservation :

Malgré ses qualités exceptionnelles de conservation sous différents climats, certaines précautions élémentaires doivent être prises pour la conservation, le transport, et la distribution du fromage fondu, notamment en ce qui concerne les pays chauds :

- Eviter l'écrasement par surcharge et le mouillage, surtout lorsqu'il s'agit de boîtes en carton.

- Eviter l'exposition au soleil et le stockage à une température trop élevée, l'idéal se situe entre 8-12°C.

- Eviter particulièrement, les brusques changements de température, notamment le passage brutal du froid au chaud, ce qui provoque des condensations détériorant particulièrement les emballages en carton.

L'étiquetage doit indiquer parfaitement les caractéristiques du produit et bien sur son poids net à la sortie de l'usine, les additifs utilisés, la date de fabrication, la date optimale de consommation, et l'identification de l'usine.

Les laboratoires conservent en outre des échantillons prélevés régulièrement sur les fabrications de façon à contrôler leur comportement dans le temps, même dans les conditions difficiles (**Eck et Patont, 1987**).

Le processus de fabrication du fromage fondu est résumé dans la figure suivante (figure 4)

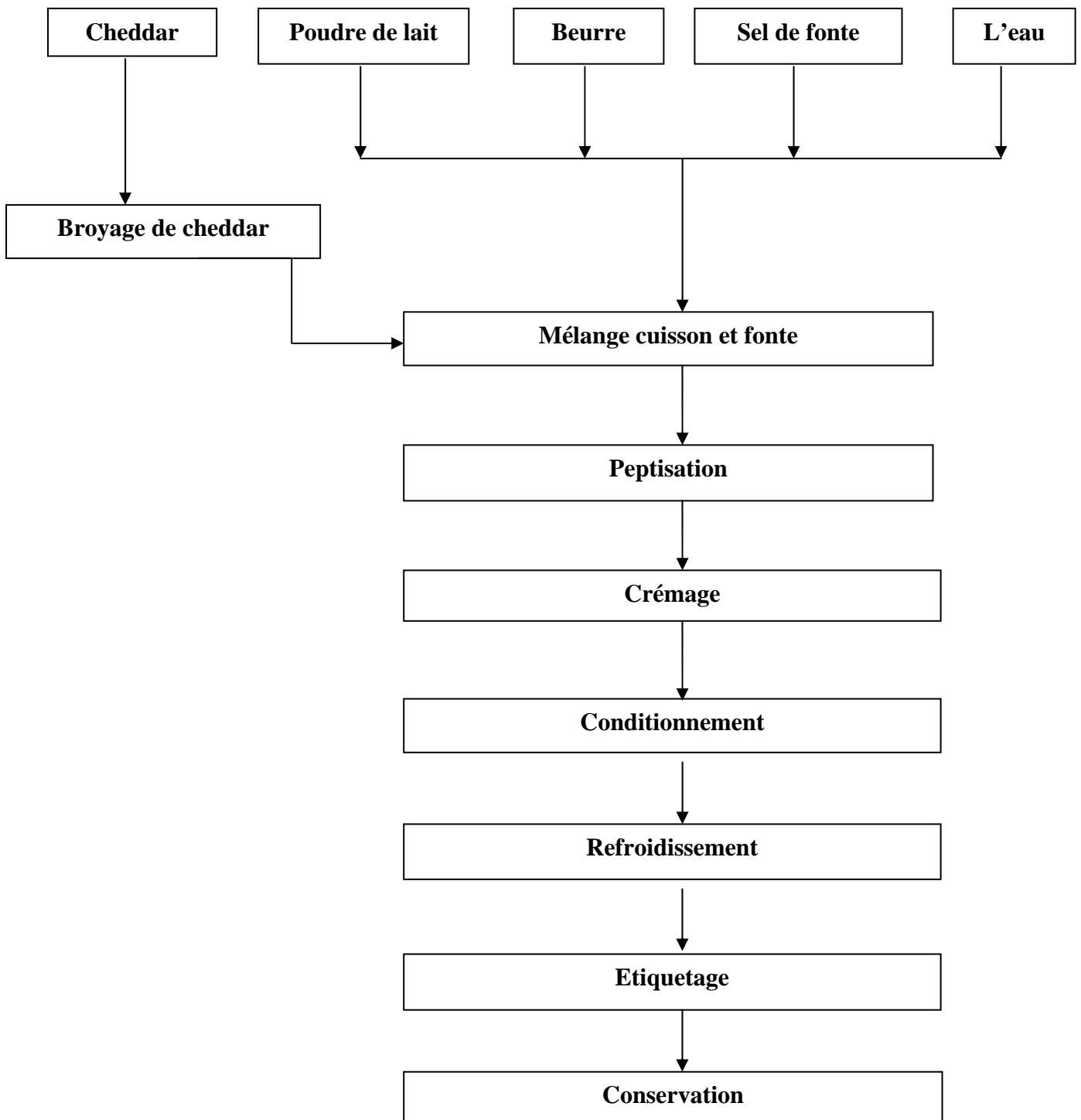


Figure 4 : Diagramme de fabrication du fromage fondu. (Gyot et Hermman, 1981).

2.6. Défauts de fabrication du fromage fondu :

Ces défauts sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Défauts de fabrication du fromage et remèdes possibles (JOHA industry, 1995).

Défauts constatés	Causes possibles	Remèdes possibles
la pâte n'est pas homogène.	<ul style="list-style-type: none"> - pH trop bas. -Apport de sel de fonte insuffisant. - Temps de fonte trop court. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmenter le pH. - Augmenter la quantité de sel de fonte. - Prolonger le temps de fonte.
la pâte est trop liquide.	<ul style="list-style-type: none"> -Fromage de fonte trop jeune. - Sel de fonte à faible pouvoir crémant. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mélanger du fromage jeune avec un autre moyennement affiné. - Utiliser un sel de fonte à fort pouvoir crémant. - Réduire la quantité d'eau. - Ajouter de l'eau en 2 ou 3 fois. - Ajouter 3à 8% de pré-fonte.
la pâte s'étire et fait des fils.	<ul style="list-style-type: none"> -Une insuffisance de pré-fonte. -Un sel de fonte inapproprié. -Un temps de fonte trop court. -Un sous dosage du sel de fonte. -Un agitateur trop lent. -Une eau ajoutée une seule fois. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmenter la pré-fonte. - Ajouter un sel de fonte bien crémant. - Prolonger le temps. - Augmenter la dose de sel de fonte. - Augmenter la vitesse de rotation de l'agitation. -Ajouter l'eau de 2à 3 fois.
la pâte est trop épaisse.	Présence probable d'un sur-crémage	<ul style="list-style-type: none"> -Réduire la quantité des sels de fonte. - Identifier un sel de fonte moins crémant. - Réduire le temps de fonte. -Réduire la vitesse de rotation. -Diminuer la quantité de pré-fonte.
La pâte est trop luisante et trop liquide.	pH élevé	Régler le pH sur la valeur adéquate.
La pâte est relativement épaisse est non liée.	pH trop bas	Augmenter le pH.

CHAPITRE II :**Le lactosérum****1. Généralités :**

L'industrie fromagère produit, à partir du lait, un nombre très important de variétés de fromage, mais le fromage ne renferme pas, quantitativement ni qualitativement, tous les éléments apportés par le lait une partie de ces éléments se trouve dans un important produit de seconde transformation : le lactosérum, parfois appelé également le sérum.

Ce terme, lactosérum, s'applique aussi aux sous produits de la fabrication des caséines.

1.1. Définition :

Le lactosérum est un sous produit liquide de la fromagerie et de la caséinerie, qui provient essentiellement de la séparation de la fraction liquide du lait lors de la précipitation, ou floculation, de la caséine, ou caillé (**Clément et al., 1981**).

Sa composition est celle d'un lait sans caséine ni matière grasse (**Maziyer, 2002**).

Le lactosérum est un liquide jaune verdâtre issu de la coagulation de la caséine du lait, sous l'action de divers agents :

- De la présure dans la fabrication des fromages à pâtes molles, à pâtes pressées et de la caséine présure.
- D'un acide organique dans la fabrication de fromage frais et de la caséine lactique.

C'est la fraction aqueuse qui se sépare du caillé au cours des fabrications conventionnelles des fromages ou des caséines, protéines majoritaires du lait (**Kosikowski, 1979**).

Le sérum a donc deux origines : la fromagerie et la caséinerie, la matière première étant le lait pour les deux procédés.

Le lactosérum représente 90% du volume total du lait entrant dans le procédé il contient environ 50% des nutriments du lait de départ : protéines solubles, lactose, vitamines, minéraux et une légère fraction de matière grasse.

Il est partiellement privé d'albumine et totalement de caséine, c'est l'un des plus gros réservoirs de protéines alimentaires qui restent encore largement inutilisées pour l'alimentation humaine.

2. Différents types de lactosérum :

Selon le mode d'obtention et le degré d'acidité, on distingue deux types de lactosérum :

- Lactosérum doux, issu des fromages à coagulation présure (coagulation enzymatique) et de la caséine présure. Les fromages à pâte molles (type camembert) et à pâte pressées (Edam) libèrent du lactosérum doux.

Il a une acidité Dornic inférieure à 18°D et son pH peut aller de 5,2 à 6,7.

- Lactosérum acide issu des fromages à coagulation lactique et des caséines lactiques. L'acidité Dornic est supérieure à 18°D pour ce type de lactosérum et son pH est de 3,8 à 4,6.

Au cours d'une lente maturation du lait, les ferments lactiques dégradent le lactose en acide lactique et acidifient le caillé ainsi que le lactosérum qui s'en échappe (parfois jusqu'à 60°D). tel est le principe de fabrication des pâtes fraîches qui libèrent donc un lactosérum acide.

Aussi, l'acidification du lait provoque une déminéralisation plus importante du caillé d'où se teneur minérale plus élevée que celle du lactosérum doux.

Chaque lactosérum a des caractéristiques particulières étroitement liées au type de fromage fabriqué et à la technologie employée (figure 5).

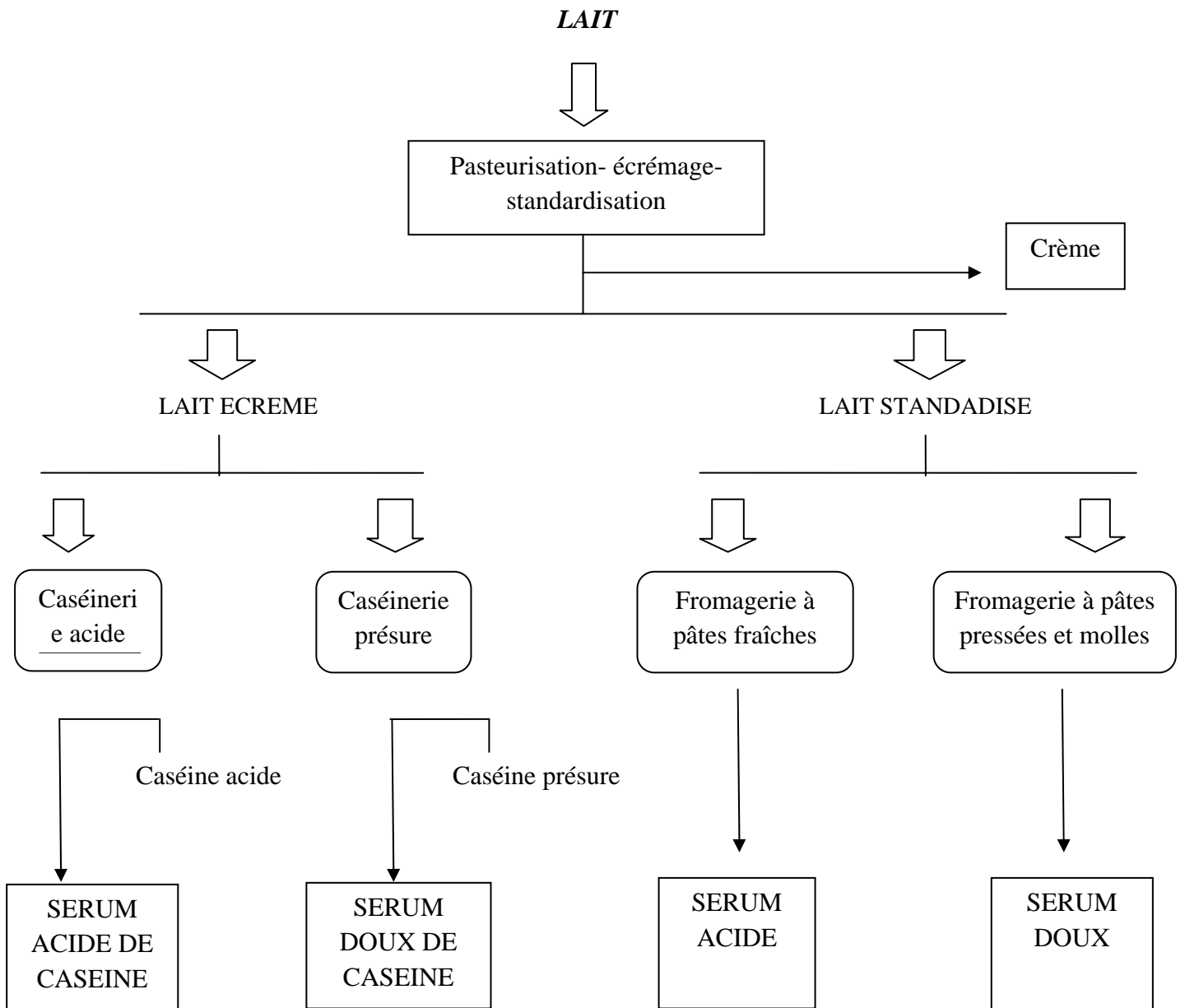


Figure 5 : Schéma technologique d’obtention des principaux types de sérum issus de la première transformation du lait (**Luquet, 1990**).

3. Composition du lactosérum :

La composition moyenne du lactosérum peut varier en fonction du lait d'origine et du type de fabrication dont il est issu. Ainsi, le lactosérum provenant de la production des fromages à pâtes fraîches est plus acide et contient donc moins de lactose mais plus de sels minéraux que le sérum provenant de la fabrication des fromages à pâtes molles ou à pâtes pressées (cuite ou non).

Les caractéristiques des différents lactosérums sont indiquées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Composition du lactosérum comparée à celle du lait de vache (**Linden et Lorient, 1994**)

Produits Composants	Lait	Lactosérum	
		doux	acide
Eau	87.6	93	93.5
Matière sèche	12.4	7	6.5
Matière grasse	3.4	0.4	0.1
Caséine	2.6	Traces	Traces
Protéines solubles	0.7	0.9	0.7
Lactose	4.7	5	4.5
Sels (cendres)	0.9	0.6	0.7
acide lactique	Traces	0.1	0.6

Il existe trois différences essentielles entre les deux lactosérums : la teneur en acide lactique, la teneur en cendres et le taux de matière grasse. La première différence s'explique par le mode de coagulation, le sérum doux est issu de la coagulation présure, tandis que le sérum acide doit son acidité à la maturation lactique du caillé. D'autre part, l'acidification du lait par les bactéries lactiques provoque la déminéralisation des micelles de caséines qui libèrent leur calcium dans le lactosérum (**Veisseyre, 1975**). C'est ce qui explique que le lactosérum acide est plus riche en cendres.

Quant à la matière grasse, elle est pratiquement absente du sérum acide car le lait destiné à la fabrication des pâtes fraîches est écrémé avant sa mise en œuvre. Le fromage obtenu ni enrichi en matière grasse qu'une fois séparé du lactosérum.

Nous allons à présent procéder à l'étude des caractéristiques de ces différents constituants :

3.1. Le lactose :

Le lactose est un sucre réducteur, il est le composant le plus important de l'extrait sec du lactosérum, il constitue le principal sucre du lait, de formule $C_{12}H_{22}O_{11}$, résultant de l'association d'une molécule de galactose et d'une molécule de glucose par une liaison osidique alpha (1-4), il a un faible pouvoir sucrant et est dix (10) fois moins soluble que le saccharose (**Goursaud, 1985**). Dans certains sérums, la richesse en lactose en fait un auxiliaire dans le brunissement non enzymatique ou maillardisation (**Luquet, 1990**).

3.2. Les matières azotées :

Les protéines ne forment pas la fraction la plus abondante du lactosérum, mais elle est la plus intéressante sur le plan économique et nutritionnel. (Tableau 7)

Sur les 10 à 14 g de matières azotées présentes dans 100g de matière sèche du sérum, 65% sont des protéines du lactosérum et 35% des matières azotées non protéiques :

Azote uréique, acides aminés libres (acide glutamique, lysine,...etc.) et nucléotides. (**Benchicha et Boudali, 2008**)

Les protéines se répartissent en trois fractions :

- Fraction globulaire : 10%.
- Fraction albumine : 80%. Dont : beta- lactoglobuline : 55% ;
alpha- lactalbumine : 20% ; sérumalbumine : 5%.
- Fraction protéose-peptone : 10%

Les protéines dites majeures de lactosérum sont :

➤ **Alpha-lactalbumine :**

C'est une petite protéine de 123 résidus d'acides aminés que l'on trouve dans le lait à la concentration massique de 1 à 1,5 g/l et sa masse moléculaire 160 k Da. Il s'agit d'une métalloprotéine dont la structure est fortement ordonnée par des ponts disulfure et un cation.

➤ **Beta-lactoglobuline :**

Sa proportion environ de 3 g/l de lait et malgré son nom elle est plutôt à ranger avec les albumines en raison de sa faible masse moléculaire 18360 Da, sa grande solubilité, sa mobilité électrophoretique et de sa nature holoprotéique (**Linden et Lorient, 1994**).

➤ **Les immunoglobulines :**

Elles sont présentes dans tous les laits de vache et leur masse moléculaire 160 k Da, elles ne forment que 1% de protéines solubles (0,5- 0,7 g/l) mais leur proportion s'accroît d'une manière considérable dans le colostrum. Les immunoglobulines sont importantes car elles assurent la transmission de l'immunité de la mère au jeune animal. Par leur composition qualitative et quantitative en acides aminés, les lactosérums présentent une valeur nutritionnelle intéressante si on les compare aux protéines de l'œuf. (**Alais et Linden, 1997**).

Tableau 7 : Propriétés nutritionnelles des protéines du lactosérum comparées aux protéines de l'œuf.

Acides aminés	Lactosérum	Œuf	Equilibre recommandé F.A.O
Thréonine	6.2	4.9	3.5
Cystéine	2.85	2.8	2.6
Méthionine	2.0	3.4	2.6
Valine	6.0	6.4	4.8
Leucine	9.5	8.5	7.0
Isoleucine	5.9	5.2	4.2
Phénylalanine	3.6	5.2	(phe+tyr)+ 7.3
Lysine	9.0	6.2	5.1
Histidine	1.8	2.6	1.7
Tryptophane	1.5	1.6	1.1

(Linden et Lorient, 1994)

3.3. Les matières minérales :

La teneur moyenne en sels minéraux du lactosérum acide et du lactosérum doux est respectivement égale à 11,5 et 7,5 pour 100g de matière sèche. Cette différence s'explique par le mode de coagulation de la caséine.

Dans ces sels minéraux, on trouve en moyenne pour les deux types de lactosérum, pour 100g de matière sèche, les teneurs suivantes :

- Calcium : 500 à 725 mg.
- Sodium : 650 à 950 mg.
- Potassium : 2400 à 2900 mg.
- Magnésium : 80 à 160 mg.
- Phosphore : 700 à 800 mg.
- Chlore : 1500 à 1800 mg.

Dans les lactosérums, les matières minérales se trouvent sous forme de sels : chlorures, sulfates, citrates, bicarbonates.

Il faut ajouter la présence de quelques métaux à l'état de traces ; des teneurs ont été données par **Boudier et al. (1980)** :

- Manganèse : 10 mg/100 g de sérum brut
- Fer : 1mg/100g de sérum brut
- Soufre : 10mg/ 100g de sérum brut

3.4. Les vitamines :

Les vitamines du lactosérum sont en majorité des vitamines hydrosolubles puisque la matière grasse a été presque totalement éliminée entraînant avec elle les vitamines liposolubles.

Le lactosérum contient la majeure partie des vitamines hydrosolubles présents dans le lait ; il est particulièrement riche en riboflavine, la quelle donne sa couleur au lactosérum et constitue d'après **Mereo (1971)** un élément indésirable ; car elle freine la cristallisation et colore les cristaux de lactose.

Aussi le lactosérum est très riche en vitamines de groupe B tel que la vitamine B₂ et la teneur par litre correspond à la couverture d'une proportion appréciable des besoins quotidiens humaines ou du moins pour quelques unes de ces vitamines. (Tableau 8)

Tableau 8 : Teneurs en vitamines du lactosérum.

Vitamines	Concentration (mg/ml)	Besoins quotidiens (mg)
Thiamine (vit.B ₁)	0.38	1.5
Riboflavine (vit.B ₂)	1.2	1.5
Acide nicotique (vit.B ₃)	0.85	10 - 20
Acide pantothénique (vit.B ₅)	3.4	10
Pyridoxine (vit. B ₆)	0.42	1.5
Cobalamine (vit.B ₁₂)	0.03*	2*
Acide ascorbique (vit.C)	2.2	10 - 75

*Exprimé en µg/ml

(Linden et Lorient, 1994)

3.5. La matière grasse :

La matière grasse du lait est retenue par le caillé dans la fabrication du fromage. Cependant, une certaine quantité est entraînée dans le lactosérum brut. Celle-ci est faible, mais le plus souvent, dans les traitements industriels, le lactosérum est écrémé, la matière grasse ainsi récupérée est utilisée dans la fabrication d'un beurre de seconde qualité.

Enfin, par sa composition chimique et sa valeur nutritionnelle particulièrement intéressante, le lactosérum n'est plus un sous produit encombrant, mais une nouvelle matière première alimentaire susceptible de donner naissance à de nombreux produits utilisables dans les secteurs les plus variés de l'alimentation (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

4. Conservation et stockage :

Les substances nutritives du lactosérum constituent un bon milieu de culture pour de nombreux germes (bactéries, levures, moisissures...) qui en se multipliant, consomment la matière sèche du lactosérum, en particulier le lactose, qui est transformé en acide lactique, cela conduit à une augmentation de l'acidité, cette évolution est plus rapide quand la température ambiante est élevée ; le lactosérum va donc se conserver moins bien l'été que l'hiver.

Certains chercheurs ont étudié les problèmes de stockage du lactosérum en petites quantités. Ce travail donne d'excellentes indications sur la sensibilité de ce produit.

A 4°C, le stockage de lactosérum pendant deux semaines ne montre aucune variation notable de la composition chimique. Le développement des fermentations est très limité même dans le cas où un ensemencement en levains lactiques a été fait.

Par contre à température ambiante (20°C), les variations de composition sont assez importantes surtout si le sérum a étéensemencé et s'il est doux.

Les fermentations se développent au sein du lactosérum. L'effet principal est une diminution rapide de la teneur en lactose, corolaire d'un accroissement de la teneur n acide lactique. Cet accroissement tend à se ralentir assez vite par suite d'une inhibition de l'activité des bactéries lactiques à un taux d'activité élevé. En fait, certains microorganismes hétérofermentaires (des levures notamment) produisent d'autres composés à partir du lactose, par exemple du CO₂.

L'acide citrique est utilisé par les microorganismes et sa teneur dans le lactosérum diminue au cours du stockage. Les cendres et l'azote total ne sont pas influencés par les fermentations. Il y'a d'autre part une légère augmentation de la teneur en azote non protéique ainsi que celle des lipides.

Globalement, le stockage à température ambiante se manifeste par une diminution notable du taux de matières sèches et l'acidité des sérums augmente moins vite quant il est stocké en grandes quantités (**Boudier et Luquet, 1980**).

5. Intérêt de la valorisation du lactosérum :

5.1. Valeur alimentaire et nutritionnelle du lactosérum :

La valeur alimentaire d'un produit se définit par rapport à deux notions :

- ✓ Première relative aux nutriments existants dans le produit en qualité (protéines, lipides, vitamines, minéraux) et à leur quantité (tenant compte des besoins quotidiens de l'organisme).
- ✓ Seconde relative aux possibilités physiologiques animales à assimiler ces nutriments.

Le lactosérum est un aliment intéressant non seulement par la présence du lactose mais aussi par la teneur des protéines solubles riches en acides aminés indispensables (lysine et tryptophane) et par la présence de nombreuses vitamines du groupe B.

L'intérêt des principaux composés nutritionnels du lactosérum :

❖ **Le lactose :**

Le lactose a une importance biologique déterminante pour la vie des jeunes mammifères, cela se traduit par :

- Son rôle énergétique.
- Son rôle dans la fixation du calcium (glucide de structure).
- Son rôle dans la formation des muscles lisses (intestin, peau).
- Son rôle dans la formation des cérébrosides (le lactose est une molécule formée de glucose et galactose), les cérébrosides se forment à partir du galactose.
- Son rôle dans l'allaitement en tant qu'antiseptique intestinal par fermentation de l'acide lactique.
- L'acidification du tube digestif au niveau de l'intestin grêle constitue une barrière biologique contre les infections intestinales.

❖ **Les protéines :**

La fraction protéique du lactosérum n'est pas négligeable puisqu'elle est de l'ordre de 16% par rapport à celle du lait.

L'efficacité alimentaire des protéines solubles (lactalbumines, lactoglobuline) est très appréciable. Il faut noter que les fractions beta- lactoglobuline et alpha- lactalbumine sont assez riches en acides aminés importants du point de vue nutritionnel.

Les acides aminés qui composent les protéines du sérum sont parmi les plus importants. Notons la présence d'acides aminés essentiels soufrés tels que la méthionine et la cystéine.

L'équilibre des protéines du sérum en acides aminés permet de couvrir un pourcentage assez large des besoins de croissance (**Linden et Lorient, 1994**).

❖ **Les vitamines :**

La couverture des besoins de l'organisme par les vitamines présentes dans le lactosérum est décrite ci-dessous (tableau 9).

Tableau 9 : Couverture des besoins de quelques vitamines par le lactosérum.

Vitamines	Besoin de croissance (en mg) d'un enfant de 8-10ans	Couverture par le lactosérum (%)
Vitamine A	1.1	34
Riboflavine	1.2	100
Vitamine B ₁₂	0.005	100
Pyridoxine	1.2	35
Acide folique	0.3	-
Vitamine C	40	6

(Mereo, 1971)

❖ Les minéraux :

Le calcium et le phosphore représentent respectivement environ 1.8% et 1% du poids corporel de l'homme adulte, ce qui correspond à 1250 g de calcium et 700 g de phosphore pour un sujet de 70 kg.

La plus grande partie du calcium (99%) et du phosphore (85%) se trouve dans le squelette et les dents.

En dehors de leur double rôle essentiel qui est d'assurer la rigidité e la solidité du squelette et de constituer une réserve mobilisable pour les fluides circulants, le calcium et le phosphore ont d'innombrables fonctions vitales ; ainsi le calcium extra osseux intervient dans l'excitabilité neuromusculaire, dans la conduction nerveuse, dans la contraction musculaire, dans la coagulation sanguine, dans la perméabilité membranaire et les mécanismes de synthèse hormonale par exemple l'insuline.

Les rôles du phosphore sont encore plus nombreux ; constituant fondamental de toute cellule vivante, il intervient notamment sous la forme d'ester phosphorique (ATP), dans la mise en réserve et l'utilisation de l'énergie, donc dans tous les processus vitaux. (Gaucheron, 2004).

5.2. Pouvoir polluant du lactosérum :

Le caractère polluant du lactosérum est du surtout à sa richesse en lactose (40 à 50 g/l), rapidement métabolisable par les microorganismes en présence d'oxygène.

Cette pollution s'exprime par la demande biologique en oxygène (DBO₂) qui représente la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation microbiologique des matières organiques présentes dans ce milieu pendant 5 jours à 20°C pour une unité d'eau. La DBO moyenne du sérum est de 30g/l, c'est-à-dire qu'un litre de sérum nécessite 30 g d'oxygène pour que ses matières organiques soit détruites par l'oxydation. Cette pollution agit en diminuant la quantité d'oxygène dans le milieu récepteur du fait de son caractère fermentescible.

En effet, la dégradation aérobie du lactose et des matières protéiques nécessite de l'oxygène, lorsque celui-ci vient à manquer, il se crée un milieu anaérobie où les fermentations deviennent plus intenses au dépend des respirations.

Dans les pays développés producteurs de lait, une réglementation sévère sur les rejets des eaux résiduaires interdit aux fromageries d'évacuer leur sérum sans lui faire subir un traitement d'épuration.

6. Valorisation du lactosérum :

Le lactosérum, résidu de la fabrication du fromage fondu et de la caséine, constitue l'un des ressources importantes des protéines alimentaires. La quantité du lactosérum disponible dans le monde est considérable ; elle représente plus de 80 p.100 du lait de fromagerie. C'est un produit encombrant ; son utilisation est un des problèmes majeurs de l'industrie laitière. (Alais, 1984).

6.1. Les voies de valorisation du lactosérum :

Deux grandes tendances guident à la valorisation du lactosérum :

- Valorisation globale où le lactosérum peut être utilisé dans sa totalité.
- Valorisation partielle qui repose sur l'extraction des constituants nobles du lactosérum (protéines et lactose).

6.2. Modes de valorisation du lactosérum :

Traditionnellement, le lactosérum était orienté soit vers l'alimentation des porcs, des veaux ou épandu ou rejeté en rivière.

Ces dernières années, la production des produits alimentaires de haute valeur, à base de lactosérum s'est développée, et on peut utiliser le lactosérum sous diverses formes :

- Sous forme liquide pour l'alimentation humaine et surtout animale.
- Sous forme de concentré ou de poudre.
- Sous forme de lactose.
- Sous de produits fermentés par les bactéries lactiques ou des levures.

6.2.1. Utilisation dans l'alimentation humaine :

L'utilisation rationnelle du lactosérum est un problème important. Le secteur de la nutrition humaine doit se développer de façon à faire bénéficier l'homme des nutriments de valeur contenus dans ce liquide biologique.

Les domaines d'utilisation particulièrement étudiés sont selon **Boudier et Luquet (1980)** :

6.2.1.1. Les boissons :

La plupart d'entre elles font appel à un lactosérum préalablement traité, transformé ou partiellement réduits de ses constituants, bien qu'il soit possible d'utiliser le lactosérum entier.

Il existe plusieurs types de boissons à base de lactosérum dont on peut citer :

- Boisson à base de lactosérum entier :

L'arôme du lactosérum acide est très compatible avec celui des agrumes, c'est pourquoi les arômes pour ce type de boisson sont généralement ceux d'agrumes (jus ou concentré d'orange ou de citron...).

- Boisson de lactosérum déprotéiné :

Ces boissons peuvent être fermentées ou non. La préparation de boissons non fermentées comprend l'élimination des protéines, la désodorisation, l'addition d'arômes naturels, la filtration et la pasteurisation.

Ces boissons non fermentées ont l'avantage de mieux retenir les arômes ajoutés par rapport à celles fermentées.

- Boissons alcoolisées :

Ces boissons font appel aussi à la déprotéinisation du sérum. La gamme de telles boissons est vaste : Bière, vins, Champagne, vinaigre, alcool éthylique....

- Boissons nutritives :

Celles-ci, ont une haute teneur en protéines. Selon **Mann, 1982** ; une boisson nutritive est élaborée à partir de sérum concentré, partiellement déminéralisé, à lactose hydrolysé auquel sont ajoutés plusieurs autres ingrédients.

6.2.1.2. Utilisation du lactosérum dans le fromage blanc :

Des recherches poursuivies aux Etats-Unis ont démontré du lactosérum acide comme acidifiant du caillé et agent précipitant pour la fabrication du fromage blanc. Le fromage blanc est fabriqué par précipitation du lait entier, à haute température ($T=82^{\circ}\text{C}$), avec l'acide acétique glacial. Cet acide est remplacé dans le lait entier chaud par de la poudre de lactosérum. En utilisant du lactosérum comme acidifiant, les rendements sont meilleurs et le fromage nécessite moins de sel que par la méthode usuelle (**Boudier et Luquet, 1980**).

6.2.1.3. Utilisation du lactosérum dans le yaourt :

Des tests d'évaluation sensorielle ont montré l'acceptabilité d'un tel produit frais avec 60% de lactosérum acide, 29% de lait entier homogénéisé et 11% de poudre écrémé.

En Grande Bretagne, la législation permet l'incorporation de la poudre de lactosérum déminéralisé, sérum doux de cheddar dans les yaourts jusqu'à des taux de 12 à 15% par rapport au poids.

6.2.1.4. Utilisation en confiserie :

Le lactosérum est beaucoup utilisé dans la fabrication de certains bonbons. Aux USA, le lactosérum concentré sucré est apprécié pour ces qualités organoleptiques proches de celles du lait, ses facilités de mélange et son pouvoir émulsifiant.

6.2.2. Utilisation dans l'alimentation animale :

La façon la plus directe de valoriser le lactosérum est de le donner sous forme de boisson aux animaux domestiques.

Grâce à sa richesse en lactose, le lactosérum constitue la source énergétique la mieux adaptée aux besoins des jeunes mammifères comme le veau, capable de digérer rapidement le lactose grâce à sa lactase intestinale.

Dans le cas des vaches laitières, l'introduction dans la ration doit être progressive pour permettre à la flore du rumen de s'adapter à l'apport important de lactose. Si cette mesure n'est pas respectée, l'animal encourt des risques de troubles digestifs (diarrhées, ballonnement). En pratique, un troupeau peut consommer de 30 à 60 litres de lactosérum par vache et par jour, lorsque le produit est disponible à volonté.

Le niveau de consommation est lié au type de ration : lorsqu'il s'agit d'un régime sec avec prédominance de foin, l'animal compense le déficit en eau par une consommation accrue de lactosérum.

Dans le cas de la volaille, le sérum séché est distribué sous forme de granulés pour faciliter la prise de l'aliment et diminuer les pertes (Kaouadji, 1989).

6.2.3. Autres utilisations :

Le lactosérum comme milieu de culture des bactéries lactiques :

L'utilisation du sérum comme milieu de culture a depuis longtemps retenu l'attention des chercheurs. Sa composition et plus particulièrement sa teneur élevée en lactose (sucre fermentescible) font du lactosérum un substrat de fermentation intéressant pour la production de levures, aliments destinés à l'alimentation humaine et animale.

Après modification de la composition (enrichissement par les acides aminés, peptides, vitamines, divers facteurs de croissance...etc.) il peut servir non seulement à la production de bactéries lactiques, mais aussi à des produits dérivés de leurs fermentations (alcools, acides lactiques, vitamines, enzymes).

CHAPITRE I :**Matériel et méthodes****I. Matériel et méthodes :****➤ Présentation de l'étude :**

Ce travail a été réalisé au niveau de la laiterie de BENI TAMOU de BLIDA (Annexe 1), durant la période s'étalant du 15 mai au 20 juillet 2012.

L'objectif assigné à cette étude se résume à la fabrication d'un fromage fondu à l'ail et fines herbes enrichi en lactosérum, afin de bénéficier de la richesse nutritionnelle de ce dernier d'une part et permettre la valorisation de ce sous produit et en protection de l'environnement de ses effets polluants d'autre part.

1. Matériel :

Appareillage et réactifs (Annexe 2).

2. Méthodes :**2.1. Méthodes de prélèvement physicochimique et bactériologiques de la matière première :**

Durant notre partie expérimentale, on a effectué le prélèvement de la matière première à partir du même lot, afin de garder les mêmes paramètres pour la réalisation de notre essai et seul le facteur pourcentage de lactosérum et la saumure (ail et fines herbes) est variable.

▪ La poudre de lait :

Le prélèvement de la poudre de lait a été effectué à partir d'un sac de 25Kg, choisi aléatoirement de la palette de stockage et cela à l'aide d'une louche préalablement stérilisée.

Le prélèvement se fait à partir du fond du sac et cela dans une atmosphère stérile en présence toujours de la flamme bleue qu'on dispose à proximité de l'ouverture du sac de poudre. La poudre prélevée est disposée dans un bécher stérile, bien fermé.

▪ Le beurre :

On prélève le beurre à partir d'un bloc de beurre de 25Kg. Ce bloc a été choisi aléatoirement de la palette de stockage, l'ouverture de l'emballage est réalisée par un couteau stérilisé ainsi que le découpage des morceaux du beurre qui sont introduits aseptiquement dans un bécher stérilisé et bien fermé. Tout cela doit être réalisé dans une atmosphère stérile.

- **Le cheddar :**

Le cheddar est prélevé selon le même protocole suivi pour le beurre.

- **L'eau :**

Le prélèvement de l'eau s'effectue après avoir laissé couler l'eau quelques instants, on flambe le robinet et à côté de la flamme, on remplit l'eau à analyser dans un flacon de 225ml déjà stérilisé et bien fermé.

- **Produit fini (fromage fondu) :**

Le prélèvement du produit fini, s'effectue juste à la fin du crémage dans des pots de polystyrène stériles à partir d'une vanne.

2.2. Origine du lactosérum :

Le lactosérum acide provient de l'unité de fabrication des produits laitiers « LACTALIS » située à Beni Tamou et qui est obtenu selon le diagramme de fabrication montré dans la figure suivante:

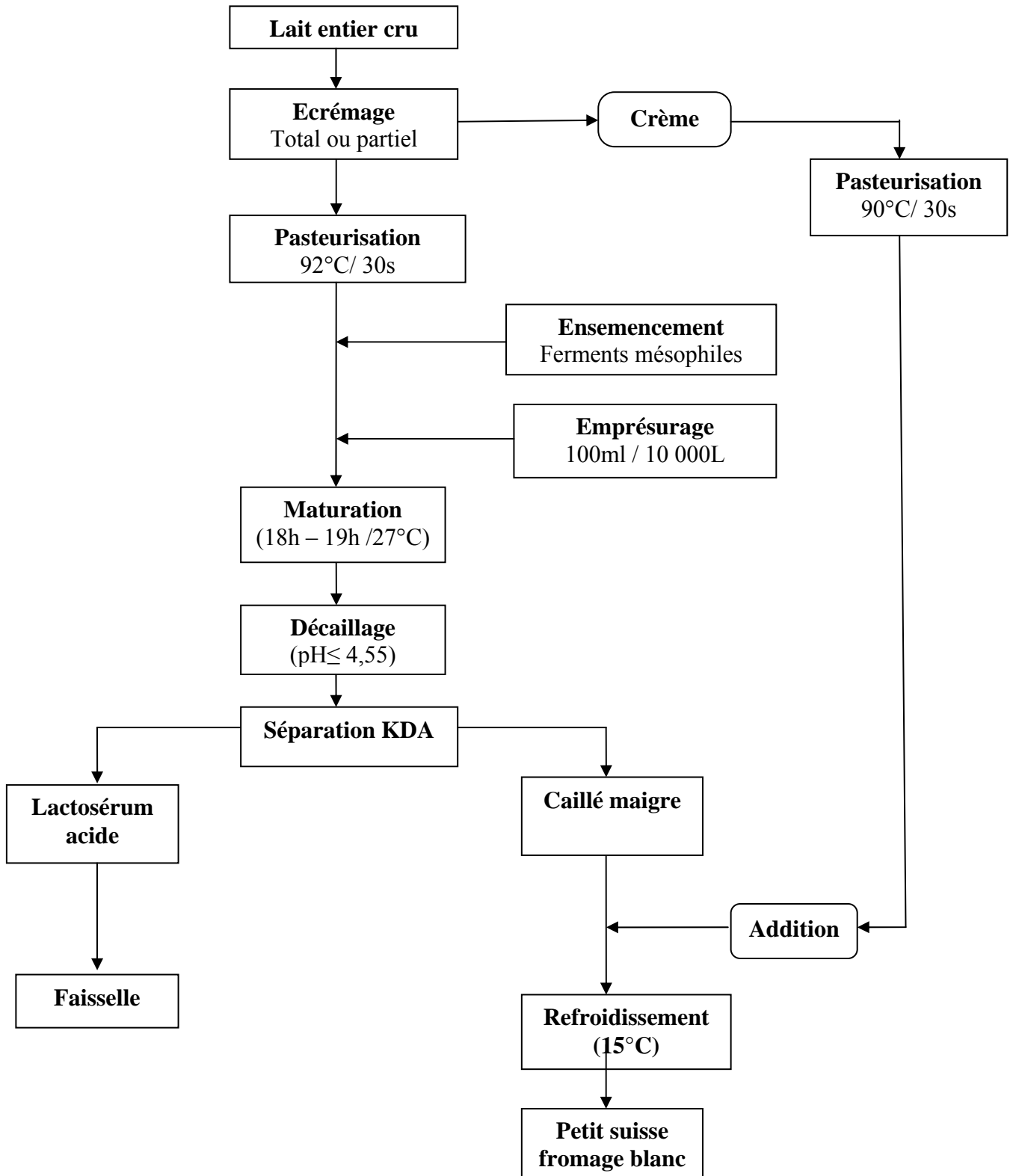


Figure 6: Procédé d'obtention du lactosérum au niveau de la laiterie de Beni Tamou (originale)

3. Etapes de fabrication :

3.1. Préparation des matières premières :

3.1.1. Broyage :

Le broyage du beurre et du cheddar s'effectue dans un broyeur qui permet leur découpage ; ce broyage grossier est généralement suivi d'un broyage plus fin lors de la cuisson dans le cuiseur.



Figure 7 : Le broyage du beurre et de cheddar (Photo originale)

3.1.2. Pesage :

Une fois le broyage terminé, les matières premières sont pesées une par une pour chaque recette dans une balance, qui sont amenées vers le cuiseur dans des bacs Europe en inox.



Figure 8 : Pesage des matières premières (originale)

3.1.3. Mélange, fonte et cuisson :

L'ensemble des ces opérations (mélange, fonte, cuisson) est réalisé dans le même appareil appelé cuiseur ou cutter qui travaille en discontinu.

Le mélange est porté à 100°C pendant 60 secondes dans un cuiseur à double parois afin de bien sauvegarder la température régnant à l'intérieur et peut également apporter un chauffage complémentaire.

Le fond du cuiseur est de forme conique muni des couteaux tournants à grande vitesse permettant le broyage, découpage et malaxage des différentes matières, le couvercle étanche du cuiseur et muni d'un racleur qui est nécessaire pour le crémage du fromage (**Eck et Gillis, 1997**). La capacité du cuiseur est d'environ 130 Kg.

Le cuiseur est guidé manuellement par un réglage au préalable de l'appareil, toute en maîtrisant les différents paramètres nécessaires pour la fabrication du fromage fondu.

- Temps de broyage
- Quantité et temps d'injection d'eau sous formes de vapeur
- Temps et température de cuisson
- Temps et température de crémage

3.1.3.1. Mélange :

Les doses sont versées dans des bacs europe en inox et amenées au cuiseur ou elles vont subir un deuxième broyage plus fin grâce aux couteaux qui se trouvent au fond du cuiseur. Aux matières premières fromagères et laitières, nous ajoutons de l'eau et des sels de fonte, puis on effectue un prébroyage de l'ensemble pendant quelques minutes pour obtenir un mélange prêt à être fondu.

3.1.3.2. Cuisson :

Lors de cette étape la température augmente par injection directe de vapeur à une pression de 1,5 bar, jusqu'à 100°C /60 sec.

Cette vapeur est de qualité strictement alimentaire. Pour accélérer le processus de cuisson.

Après la stérilisation un volume d'eau traitée est injecté directement dans le cutter dont le but est de refroidir le mélange avant conditionnement afin d'éviter la caramélisation du fromage (gout de cuit).

3.1.4. Crémage :

L'opération de crémage est réalisée aussi dans le cuiseur par recyclage tournant à 800tr/min et par action du racleur qui tourne à raison de 7 à 23tr/min. Le crémage a pour but la restructuration et la texturation du fromage.

3.1.5. Conditionnement :

Sachant que le conditionnement n'était pas fait, le prélèvement des échantillons est nécessaire pour l'analyse sensorielle et l'étude de la stabilité du produit fini.

Le prélèvement est effectué, juste à la fin de crémage dans des pots de polystyrènes stériles pour les analyses physicochimiques et dans des sachets stomacher pour les analyses microbiologiques et dans des bidons stériles de 1Kg pour le test sensoriel.

Le prélèvement se fait comme suit :

- Ouverture de la vanne inférieure du cuiseur.
- Remplissage à chaud par écoulement gravitaire du fromage dans des pots de polystyrènes stériles à la température 85°C.
- Fermeture des pots, en respectant les conditions aseptiques.



Figure 9 : Conditionnement de produit fini (originale)

3.1.6. Refroidissement :

Le fromage fondu est refroidi à la température de 15-20°C. Le refroidissement doit être uniforme et relativement rapide pour obtenir une consistance régulière et pour quitter rapidement la zone de température de 30-37°C favorable au développement des bactéries indésirables. Le crémage n'est pas stoppé complètement que lorsque la température du fromage atteint 20°C dans la masse c'est le cas pour le fromage fondu à couper et des blocs ou un crémage complémentaire et un durcissement sont souhaités.

Dans notre cas le fromage a subi un refroidissement à la température ambiante dans des pots.

3.1.7. Conservation :

Pour effectuer l'analyse sensorielle, un échantillon de 500g a été prélevé dans des pots de polystyrène stériles et ce pour chaque essai.

Une fois que le temps de refroidissement terminé, l'échantillon doit être mis en frais (+6°C). Le froid a pour but d'arrêter le crémage et d'éviter le développement des germes d'altération.

II. Méthode d'analyses physico-chimiques :

Il faut signaler que l'échantillonnage, en vue d'une analyse physico-chimique est le même, que celui effectué pour l'analyse microbiologique mais n'exige pas de condition d'asepsie particulières.

1. La poudre du lait :

1.1. Détermination du pH :

Le principe de cette méthode est la dispersion du lait sec dans l'eau distillée avec mesure directe du pH à l'aide mètre.

Dans un bécher, on va peser 3g de l'échantillon, on ajoute 30ml d'eau distillé fraîchement bouillie et refroidie, on mélange à l'aide d'une baquette en verre, jusqu'à complète dispersion de la prise d'essai, on le place pendant 3-4heures dans le réfrigérateur et on effectue la mesure électrique à 20°C tout en agitant le contenu du bécher.

La valeur du pH est lue directement sur le pH-mètre (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

1.2. L'acidité titrable :

L'acidité est obtenue par le dosage titrimétrique de l'acide lactique à l'aide d'hydroxyde de sodium, et en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré.

Dans un bécher de 250ml, on introduit 2g de poudre de lait avec 20 ml d'eau distillée qu'on mélange avec une baquette en verre et on laisse reposer pendant 30 minutes et dans un autre bécher, on prélève à l'aide d'une pipette 10ml de lait reconstituée précédemment, ajouter 4 à 5 gouttes de phénolphthaléine, titrer par la solution d'hydroxyde de sodium (N/9), jusqu'à coloration rose pale (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

1.3. La teneur en matière grasse :

Le dosage de la teneur en matière grasse de la poudre du lait est effectué par la méthode acidobutyromètre à l'aide d'un butyromètre « GERBER » gradué.

Le principe de cette méthode est d'attaquer par l'acide sulfurique les matières non grasses qui sont dissoutes libérant ainsi les lipides, et ceci grâce à l'alcool iso-amylque et une centrifugation (1200tr/min) pendant 5 minutes.

Dans un butyromètre, on introduit respectivement :

- 10 ml d'acide sulfurique.
- 2,5 g de la poudre du lait.
- 8,5 ml d'eau distillée.
- 1 ml d'alcool iso amylique.

Après avoir fermé le butyromètre, on tourne 5 à 10 fois jusqu'à la dissolution complète de la poudre du lait.

Le butyromètre est ensuite déposé dans un bain marie à température de 65°C pendant 5min, après cette période, il est déposé dans la centrifugeuse à 1200 tr/mn pendant 5 minutes.

Les résultats sont obtenus selon la formule suivante :

$$MG\% = N_1 - N_2$$

N_1 : la valeur atteinte par le niveau supérieur du butyromètre.

N_2 : la valeur atteinte par le niveau inférieur du butyromètre.

MG : la teneur en matière grasse (exprimée en pourcentage).

2. Le cheddar :

2.1. Détermination du pH :

Cette méthode décrit la mesure de l'acidité ionique du fromage. Elle consiste à introduire délicatement l'électrode du pH-mètre dans le fromage en réglant le correcteur de la température (Tebbal et Tounsi, 2010).

2.2. Détermination de l'extrait sec total :

Le principe de cette méthode repose sur la dessiccation par évaporation d'une quantité déterminée de la prise d'essai.

L'extrait sec total est exprimé en pourcentage. Le mode opératoire se fait comme suit : Dans une capsule séchée et tarée, on va étaler de façon homogène 3g de l'échantillon, on place la capsule dans le four à une température 300°C pendant 5 minutes et déclencher le processus de séchage.

La détermination de la matière sèche est donnée quand l'appareil s'arrête automatiquement et lorsqu'aucune perte de poids n'est détectée. Après le séchage de l'échantillon peser la capsule contenant l'échantillon.

$$EST = (X * 100) / E$$

X : le poids de la capsule avec la prise d'essai après le séchage.

E : la masse de la prise d'essai en g (3g).

2.3. Détermination de la matière grasse :

Son principe est basé sur la dissolution des éléments du fromage par addition d'acide sulfurique et la séparation de la matière grasse par centrifugation dans un butyromètre de VAN GULIK, la séparation étant favorisée par l'addition d'une quantité d'alcool iso amylique.

On va peser 3g de l'échantillon dans le godet, on le place dans le butyromètre, on ferme le col du butyromètre et on ajoute de l'acide sulfurique jusqu'à l'immersion totale de la prise d'essai.

On va palier l'ensemble dans un bain marie à +65°C pendant 5minutes, on retire et on agite énergiquement pendant 10 secondes.

Par la suite, on va ajouter 1ml d'alcool iso amylique, puis de l'acide sulfurique jusqu'à ce que le niveau atteigne le trait repère (35%) de l'échelle du butyromètre.

On ferme et on retourne 2à 3 fois le butyromètre et enfin on va le placer immédiatement dans la centrifugeuse (1200 tr/mn) pendant 10 minutes (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

La teneur en matière grasse de l'échantillon est exprimée en pourcentage.

$$MG\% = B - A$$

A : la lecture faite à l'extrémité inférieure de la colonne grasse.

B : la lecture faite à l'extrémité supérieure de la colonne grasse.

3. Le beurre :

3.1. Détermination du pH :

On fait fondre une quantité suffisante du beurre au bain marie, puis on porte les tubes du beurre fondu à la centrifugation (1200 tr/mn pendant 5 minute), jusqu'à ce que la matière grasse soit limpide. On prend la phase non grasse et on la transvase dans un tube à essai propre. On met e dernier dans le congélateur pour quelques minutes, puis on mesure le pH à l'aide d'un pH-mètre (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

4. Le lactosérum :

4.1. Le pH :

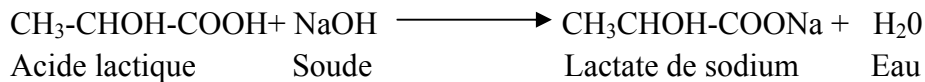
Le principe est basé sur la mesure de l'acidité ionique du lactosérum. Pour cela, on va mettre une certaine quantité de lactosérum dans un bécher, introduire l'électrode du pH-mètre dans le bécher et lire directement la valeur du pH sur le pH-mètre (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

4.2. L'acidité titrable :

L'acidité est obtenue par le dosage titrimétrique de l'acide lactique à l'aide d'hydroxyde de sodium, et en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré.

On prélève à l'aide d'une pipette 10ml de lactosérum, ajouter 4à5gouttes de phénolphtaléine, titrer par la solution d'hydroxyde de sodium (N/9), jusqu'à coloration rose pale (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

Cette méthode est basée sur la réaction chimique suivante :



- Réaction de neutralisation de l'acide par une base.
- Sachant que 0,1 ml de NaOH correspond à 1°D.
- 1°D correspond à 0,1g/l d'acide lactique.

4.3. Détermination de la matière grasse et l'extrait sec total par le Milko-scan (FT 120) :

C'est une technique rapide, cet appareil est étalonné sur le lait qui détermine le taux des protéines, la teneur en matière grasse, le taux de lactose, la densité, l'extrait sec total en utilisant deux solutions, la première est une solution nettoyante et la deuxième est une solution zéro pour l'étalonnage de l'appareil. Les résultats d'analyses sont indiqués sur l'écran du FT 120.

5. Produit fini :

Les échantillons ont été prélevés à chaud dans des pots de polystyrène stériles.

5.1. Détermination de pH :

Elle est identique à celle du cheddar (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

5.2. Détermination de la matière grasse :

Cette méthode est la même que celle décrite pour le cheddar.

5.3. Détermination de l'extrait sec total :

Nous avons utilisé deux méthodes

1. La première méthode en utilisant le dessiccateur à balance qui va évaporer l'eau de la prise d'essai jusqu'à poids constant. La lecture se fait directement en pourcentage sur l'appareil.
2. La deuxième méthode en utilisant le Food scan.

- **Première méthode :**

Dans des capsules en aluminium séchées et tarées, du dessiccateur à balance nous introduisons 4g de fromage, nous fixons la température à 105°C, quand le poids de l'échantillon est fixé, l'appareil s'arrête automatiquement et affiche la valeur de l'extrait sec en pourcentage.

- **Deuxième méthode :**

Cette méthode consiste à remplir une boîte pétri par l'échantillon à analysé sans laisser des bulles d'aire, et on la met dans le Food Scan, l'appareil s'arrête automatiquement après 30 secondes et affiche la valeur de l'extrait sec en pourcentage.



Figure 10 : Détermination de l'EST par le Food Scan (originale)

5.4. Détermination de l'extrait sec dégraissé

Calculé par la différence entre l'extrait sec du fromage et sa matière grasse (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

$$\text{ESD}(\%) = \text{EST} - \text{MG} \cdot 100$$

III. Méthodes d'analyses microbiologiques :

1. Echantillonnage :

➤ Poudre du lait, beurre, cheddar, lactosérum, produit fini, eau :

L'échantillon est préparé à partir de la quantité du produit à analyser qu'on a prélevé auparavant, on pèse 25g dans un récipient stérile pour la préparation de la solution mère.

2. Préparation des solutions mères et des dilutions décimales :

➤ Cas des produits solides :

Après avoir effectué notre échantillonnage, on prépare les solutions mères et les dilutions de chaque produit (poudre du lait, beurre, cheddar) dont le but de faciliter la lecture en diminuant la charge microbienne dans une boîte de pétri contenant un milieu de culture.

Dans un flacon de 225 ml de solution de TSE (Tryptone Sel Eau), 25g du produit à analyser ont été introduit aseptiquement.

Homogénéisation de la solution par le stomasher. Cette solution mère correspond à une dilution de 10^{-1} .

A partir de cette solution mère, les dilutions décimales ont été préparées comme suit :

- Dans un tube à essai contenant 9 ml de diluant TSE, on a introduit aseptiquement 1ml de la solution mère précédente afin de réaliser une solution de 1/100 (10^{-2}).
- A l'aide d'une nouvelle pipette stérile, on a prélevé ensuite 1ml de la dilution 10^{-2} et on l'a introduit dans un tube contenant 9ml de TSE, ce qui donnera la dilution 1/1000 (10^{-3}).

❖ Cas du produit fini :

La solution mère :

- Peser 10g de fromage dans un sac stomasher stérile.
- Ajouter 20 ml du TSE pour avoir une dilution de 1/3.
- Homogénéisation de la dilution à l'aide d'un stomasher.

➤ Cas des produits liquides :

On met notre lactosérum dans un erlenmeyer stérile, ce qui constitue donc la solution mère (SM).

Pour réaliser les solutions décimales on procède de même manière que dans le cas des produits solides.

3. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux :

A partir des dilutions décimales 10^{-1} , on ensemence aseptiquement 1 ml de chaque dilution dans une boîte de Pétri vide préparée à cet usage et numérotée.

Cette opération doit être effectuée en double pour chaque dilution car :

- La première série de boîtes sera incubée à 37°C et sera réservée à la recherche des coliformes totaux.
- La deuxième série de boîtes sera incubée à 44°C et sera réservée à la recherche des coliformes fécaux.

On complète ensuite avec environ 15ml de VRBL, faire ensuite des mouvements circulaires en forme «8» pour bien mélanger la gélose à l'inoculum. Puis on laisse solidifier les boîtes sur paillasse puis couler à nouveau environ 5 ml de la même gélose ; cette double couche va bloquer le développement des germes aérobies qui en se multipliant vont fausser la lecture.

Les boîtes sont incubées couvercle en bas pendant 24 à 48 heures pour les deux séries.

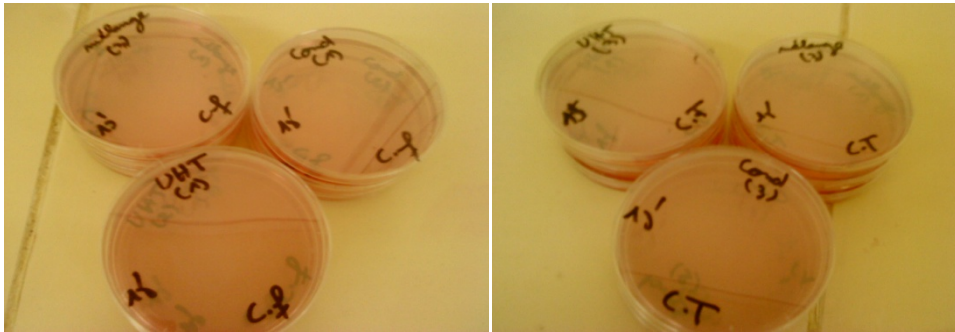


Figure 11 : Recherche des coliformes fécaux et totaux (originale)

4. Recherche et dénombrement des germes totaux :

Cette technique permet le dénombrement de la FMAT susceptible de donner des colonies visibles en se développant en anaérobiose et dont la propriété est d'avoir un optimal de croissance.

A partir des dilutions décimales allant de 10^{-3} à 10^{-1} , on porte aseptiquement 1 ml dans une boîte de pétri vide préparée à et usage et numérotée.

On complète ensuite avec environ 20 ml de gélose PCA fondue puis refroidie à 45°C .

On va faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose utilisée.

On laisse se solidifier sur pailleasse, puis on rajoute une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose. Cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminants.

Les boîtes seront incubées couvercle en bas à 30°C pendant 72 heures avec lecture à intervalle de 24 heures.

5. Recherche et dénombrement des spores anaérobies gazogènes (SAG) :

Cette analyse est faite pour la matière première (cheddar, beurre, poudre de lait) et produit fini (fromage fondu) pour des raisons technologiques.

Spores thermorésistants de *Bacillus* et de *clostridium* thermorésistants qui après une épreuve de sélection thermique peuvent donner naissance à des formes végétatives de *Bacillus* et de *clostridium* se développent à 55°C lorsque l'essai est effectué selon la méthode spécifiée dans la présente norme (V08-407 AFNOR).

Les tubes contenant les dilutions 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} seront soumis :

- D'abord à un chauffage à 80°C pendant 8 à 10 min
- Puis à un refroidissement immédiat sous l'eau de robinet afin d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées.

A partir de ces dilutions, on met aseptiquement 3ml de chaque dilution dans trois tubes à vis stériles contenant 10 ml de la gélose RCM. Laisser se solidifier à la température ambiante, après solidification complète on ajoute environ 2 ml de gélose Agar-agar (bouchon), enfin on laisse se solidifier une deuxième fois sur paillasse.

Ces tubes sont incubés à 37 °C durant 5 jours.



Figure 12 : Recherche des SAG (originale)

6. Recherche des levures et moisissures :

Le dénombrement est réalisé sur milieu O.G.A (Oxytetracycline Glucose Agar) qui permet la croissance de toutes les levures et moisissures rencontrées dans les produits alimentaires tout en inhibant totalement le développement des bactéries.

A partir des dilutions décimales retenues (de 10^{-1} à 10^{-3}), on porte 1 ml sur la boîte de pétrie.

On complète ensuite avec environ 20 ml de gélose OGA. Faire ensuite des mouvements circulaires de forme de 8. On laisse se solidifier sur paillasse.

L'incubation de ces boîtes se fait à 25°C pendant 5 jours.

7. Recherche et dénombrement des streptocoques groupe D :

A partir des dilutions décimales 10^{-1} , on porte aseptiquement 1 ml de chaque dilution dans une boîte de pétri vide préparée, On complète ensuite avec environ 20 ml de BEA, faire ensuite des mouvements circulaires en forme «8» pour bien mélanger la gélose à l'inoculum.

L'incubation se fera à couvercle en bas à 37°C durant 72 heures.

8. Essai de fabrication du fromage fondu incorporé du lactosérum et ail, fines herbes :

Les essais ont été fabriqués selon Le diagramme suivant :

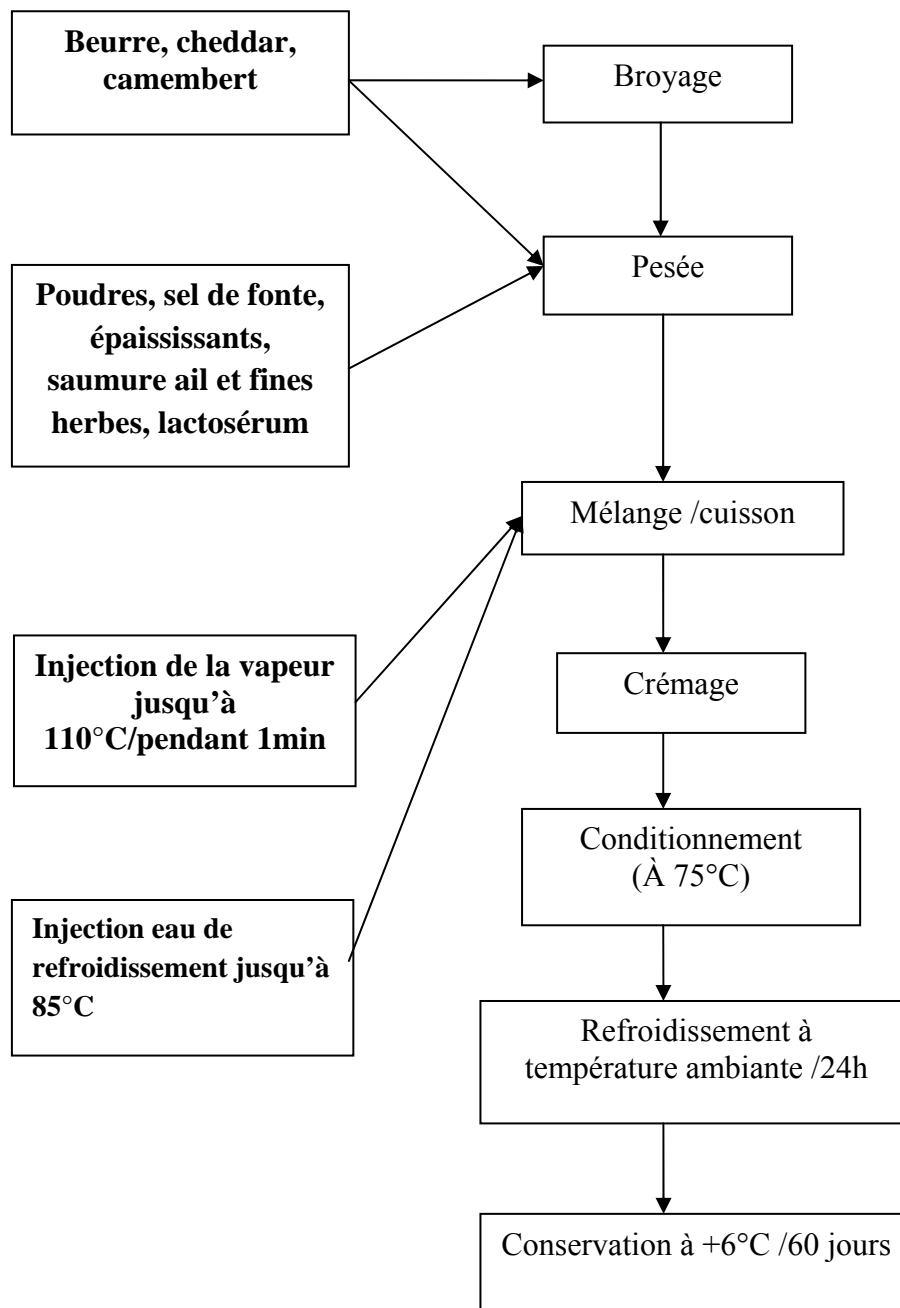


Figure 13 : Diagramme de flux de fabrication du fromage fondu à l'ail et fines herbes enrichi en lactosérum (laiterie de Beni- Tamou).

9. Analyse sensorielle :

9.1. Principe du test :

Le test sensoriel est réalisé avec une évaluation basée sur trois critères à savoir l'aspect, la texture et le goût notés sur fiche de dégustation proposée au jury.

Pour cela nous avons présenté au jury de dégustation qui comprend sept dégustateurs pluridisciplinaires (assurance qualité, production et marketing) les six échantillons en anonyme plus le témoin avec 0% lactosérum.

Pour neutraliser les impressions gustatives, il est nécessaire de se rincer la bouche avec de l'eau à chaque dégustation. La salle où la dégustation s'effectue doit être éclairée et bien aérée. Les membres de jury ne doivent pas fumer avant et pendant la dégustation, ils ne doivent surtout pas avoir faim, ni soif, ni être malade, ni consommer des aliments à parfum fort (café).

A la fin du test, les résultats sont rassemblés, comparés et discutés.

Chapitre II :

Résultats et discussions

1. La recette de fromage fondu enrichi en lactosérum :

Le calcul de formulation du fromage fondu est important, non seulement pour respecter la législation (MG, EST et G/S doivent être conformes aux indications déclarées), mais aussi pour assurer la rentabilité des produits (**Kasomel, 1990**).

Les différents ingrédients utilisés pour la fabrication de fromage fondu et leurs quantités sont indiquées dans le tableau ci-après.

Tableau 10 : Les différents ingrédients utilisés pour la fabrication de fromage fondu enrichis en lactosérum et ail et fines herbes.

Ingrédients (%)	E0 Témoin	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Cheddar	21.39	21.39	21.39	21.39	21.39	21.39	21.39
Beurre	0.938	0.938	0	0	0	0	0
Poudre de lait	5	5	5	5	5	5	5
Caséine présure	2	2	2	2	2	2	2
Sel de fonte	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Cream chesse	25	25	25	25	25	25	25
Camembert	5	5	4	3.2	3.2	3.2	3.2
Carraghenan	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Viscogum	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
Acide citrique	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0
Eau traitée	22	11	0	11	0	11	0
Lactosérum	0	11	22	11	22	11	22
Saumure AFH	3.5	3.5	3.5	3	3	4	4

La recette a été fixée par LBT de façon à obtenir un produit ayant un : EST, MG, MAT, G/S conformes aux Normes et objectifs physicochimiques, fixés par l'entreprise.

La quantité du cheddar, poudre de lait, caséine présure et les sels de fonte reste fixe dans tout les essais par contre les autres ingrédients varie.

Les pourcentages du lactosérum et ail et fines herbes des six essais sont :

Essai 1 : 50% eau et 50% sérum, 3,5% AFH.

Essai 2 : 100% lactosérum, 3,5% AFH.

Essai 3 : 50% eau et 50% sérum, 3% AFH.

Essai 4 : 100% lactosérum, 3 % AFH.

Essai 5 : 50% eau et 50% sérum, 4 % AFH.

Essai 6 : 100% lactosérum, 4 % AFH.

1.1. Saumure Ail et fines herbes (AFH) :

Les résultats physicochimiques de l'ail et fines herbes sont mentionnée dans le tableau suivant :

Tableau 11: Résultats physicochimiques de l'ail et fines herbes.

Paramètres	Résultats	Normes d'acceptation
pH	4,06	> 4
EST (%)	35,66	35-37
Taux de sel (%)	17,42	17-18,5

D'après le tableau, nous remarquons que les résultats obtenus sont conforme aux normes d'acceptation de l'entreprise.

2. Résultats et interprétations des analyses physicochimiques :

2.1. Matières premières :

2.1.1. Poudre de lait, beurre, cheddar :

Les analyses physico-chimiques des matières premières utilisées sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Résultats physico-chimiques des matières premières comparativement aux normes AFNOR.

	Poudre de lait		Beurre		Cheddar	
	Echantillon	Normes AFNOR(1986)	Echantillon	Normes AFNOR(1986)	Echantillon	Normes AFNOR(1986)
pH	6,7	6,5-6,75	6,4	6 Max	5,12	5,1-5,5
Acidité	16	15-18°D	0,28	0,35 Max	*	*
MG%	0,125	1,25	83	80% Max	34	30,5 Min
EST%	96, 3	96	87	84 Min	61,5	61% Min

* Analyses non effectuées au niveau de l'unité.

- ❖ Les résultats relatifs aux analyses physico-chimiques de la poudre de lait montrent que :

Le pH répond parfaitement aux normes AFNOR qui le situent entre 6,5 et 6,75.

L'acidité qui est un indice d'auto-oxydation des lipides et de la présence d'aides gras libres, donnerait un gout de rance à la poudre de lait que nous n'avons pas observé. Cette acidité est de 16°Dornic et conforme aux normes (15-18°D).

La poudre de lait utilisée au niveau de l'unité a un taux de 0,125% de matière grasse, cette teneur est adaptée durant le processus de fabrication pour éviter les risques d'auto-oxydation rapide de la matière grasse durant la conservation en évitant la prolifération de la flore lipolytique.

- ❖ Le beurre utilisé par l'unité LACTALIS est conforme aux normes.

Son taux de matière grasse est de 83%, son acidité grasse est de 0,28% et son pH est de 6,4.

- ❖ Les résultats des analyses physico-chimiques effectués sur le cheddar montrent que :

La valeur de pH est de 5,12, et est en accord avec la norme AFNOR.

Le cheddar est riche en M.G, la norme est de 30,5% au minimum. Elle peut aller jusqu'à 34 comme nous le voyons dans nos résultats.

La norme AFNOR fixe l'extrait sec total à 61% au minimum ; nous remarquons que notre résultat est de 61,5 ce qui est en accord avec cette norme.

2.1. Lactosérum :

Les résultats des analyses physicochimiques du lactosérum acide de la laiterie LACTALIS de Beni Tamou sont mentionnés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Résultats des analyses physicochimiques du lactosérum.

Echantillons \ Paramètres	E1	E2	E3	E4	E5	E6
MG %	0,02	0,07	0,04	0,01	0,06	0,03
ESD %	5,94	6,46	6,59	6,04	6,16	6,37
pH	4,29	4,37	4,47	4,46	4,31	4,33
MAT %	0,62	0,69	0,76	0,64	1,01	0,61

D'après le tableau, nous constatons que le pH varie entre (4,29 - 4,47) répond aux normes LACTALIS (4,20 – 4,60), cette variabilité est due à la durée de la maturation du lait.

L'extrait sec du lactosérum dépend de deux facteurs :

La richesse en matière sèche du lait au départ et la fiabilité de la séparation c'est-à-dire le passage de la matière sèche avec le lactosérum.

La teneur en extrait sec du lactosérum varie entre (5,94 – 6,59%).

Les échantillons E1, E4 et E5 présentent des valeurs correspondant à la norme LACTALIS Tandis que les autres échantillons E2, E3 et E4 ont une teneur en extrait sec supérieur à la norme car il y a eu un passage de la matière sèche lors de la séparation du caillé. Le taux de protéines varie entre (0,61 – 1,01) ce qui est conforme aux normes de l'entreprise LACTALIS (Anonyme, 2012).

La matière grasse varie entre (0,01 – 0,07) ce qui est conforme aux normes de l'entreprise.

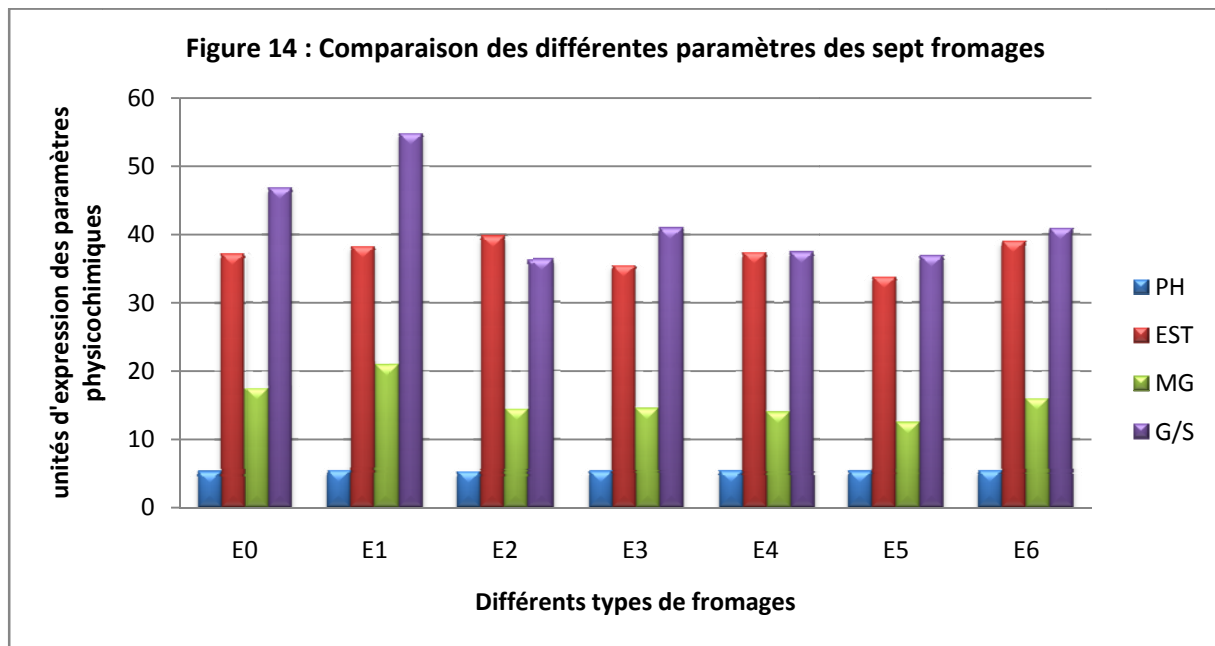
2.2. Produit fini :

Les résultats des analyses physicochimiques des fromages fondus incorporés du lactosérum à différents pourcentages sont mentionnés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Analyses physico-chimiques des fromages fondus incorporés du lactosérum et ail et fines herbes à différents pourcentages.

analyses	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6
pH	5,33	5,46	5,30	5,37	5,40	5,35	5,42
EST	37,32	38,31	39,89	35,5	37,38	33,83	39,05
MG	17,5	21	14,5	14,56	14	12,5	15,98
G/S	46,89	54,81	36,34	41,01	37,45	36,94	40,92

Les valeurs du tableau 14 exprimées sous forme d'histogramme montrent mieux les différences entre les sept types de fromages.



L'ajustement du pH lors de la formulation du fromage fondu constitue une étape importante dans le procédé de fabrication. Cet ajustement permet d'obtenir un produit de consistance uniforme et sans variation dans le goût recherché. Pour cela les sels de fonte permettent par son pouvoir tampon, d'ajuster le pH du produit à la bonne valeur. Toutefois la plage de pH tolérée se situe entre 5,3 et 5,5 en dehors de laquelle les qualités de texture et de consistance ne peuvent pas être atteintes.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que le pH des six essais est conforme aux normes fixées par l'entreprise qui se situe entre 5,3- 5,5.

Les teneurs en matière grasse ne répondent que pour l'E2, E3, E4 et E6 aux normes (14-16), alors que les autres essais ne sont pas conformes. Cela peut être expliqué par la correction de la recette par l'enlèvement de beurre dès la deuxième production.

Les valeurs de l'EST ne répondent que pour le 3ème échantillon aux normes (35- 37), alors que les autres échantillons sont hors normes. Cela peut être dû à l'incorporation d'une quantité élevée du lactosérum lors de la fabrication du fromage et aussi à l'introduction d'une quantité insuffisante du camembert, du beurre et de la poudre de lait.

Le rapport matière grasse sur l'extrait sec total permet d'apprécier d'une façon précise la teneur en matière grasse dans 100 gramme d'extrait sec total. Il est important de la mentionner avec nos résultats car il permet d'exprimer une large gamme de texture : fluide à ferme, tartinable à tranchable, onctueux à croquant.

Les rapports G/S sont dans les normes (40-43) pour le E3 et E6 contrairement aux autres échantillons qui ne correspondent pas à la plage de la tolérance.

3. Résultat des analyses microbiologiques du lactosérum et des produits finis :

3.1. Matière première :

On a utilisé le même échantillon pour tous nos essais c'est-à-dire le même cheddar, le beurre, et la poudre du lait pour les fromages à différents pourcentages de lactosérum et ail, fins herbes.

3.1.1. Le cheddar :

Le cheddar est considéré comme une matière première qui doit être contrôlé toujours avant la répartition de la fonte. Aussi, en premier lieu, nous présentons les résultats des analyses microbiologiques affectant la qualité du cheddar utilisé (tableau 15).

Tableau 15 : Résultats d'analyses microbiologiques du cheddar.

Analyses	Echantillon	Normes (J.O, 1998) Germes /gr
Germes totaux	110	<3000
Coliformes totaux	Absence	<100
Coliformes fécaux	Absence	10
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absence	100
Clostridium sulfito- réducteur	Absence	01
Levures et moisissures	Absence	1000

Les résultats des analyses microbiologiques du cheddar résumés dans le tableau 15 montrent l'absence de tous les germes recherchés sauf pour les germes totaux, on constate une présence de 110germes/grammes qui est un taux insignifiant par rapport aux normes ; pour cela notre cheddar est conforme aux normes, ce qui témoigne de la bonne qualité de la matière première et du respect des conditions de stockage.

3.1.2. Poudre de lait :

La poudre de lait est une matière première utilisée pour la fabrication du fromage fondu à tartiner. Sa nature déshydratée ne favorise pas la multiplication de la plupart des germes pathogènes, néanmoins, nous avons effectué quelques analyses concernant la qualité microbiologique de cette poudre afin de préciser son utilisation en production fromagère (tableau 16).

Tableau 16 : Résultats d'analyses microbiologiques de la poudre de lait à 0% de M.G.

Analyses	Echantillon	Normes (J.O, 1998) Germes /gr
Germes totaux	3.10 ³	Max 2.10 ⁵
Coliformes totaux	Absence	Max 1
Coliformes fécaux	Absence	Absence
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absence	Absence
Clostridium sulfito- réducteur	Absence	Max 10
Levures et moisissures	Absence	50-100

D'après les résultats du tableau 16, la poudre de lait destinée à la production du fromage fondu est de bonne qualité bactériologique si on se base sur les normes du (JORA, 1998).

3.1.3. Le beurre :

Nous avons également vérifié la qualité microbiologique de beurre utilisé en fromagerie (tableau 17).

Tableau 17 : Résultats d'analyses microbiologiques du beurre.

Analyses	Echantillon	Normes AFNOR (germes /g)
Germes totaux	50	<100
Coliformes totaux	Absence	10
Coliformes fécaux	Absence	Absence
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absence	10
Clostridium sulfito- réducteur	Absence	01
Levures et moisissures	Absence	Absence

Les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessus montrent une absence totale des germes recherchés dans le beurre, ceci nous amène à dire que le beurre utilisé est de bonne qualité microbiologique, toutefois le beurre étant stocké dans des bonnes conditions au niveau de l'unité.

3.2. Lactosérum :

Le lactosérum étant le produit que nous voulons valoriser, il est donc indispensable de déterminer sa qualité microbiologique avant toute autre analyse chimique. Le tableau 18 donne les résultats obtenus.

Tableau 18 : Résultats des analyses microbiologiques du lactosérum acide (par 10^{-1} ml).

Analyses	Résultats					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
coliformes totaux	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
coliformes fécaux	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Levures et moisissures	40	80	120	60	150	180

D'après nos résultats, nous remarquons que le lactosérum utilisé présente une absence totale des coliformes totaux et fécaux, cela est expliqué par le respect des conditions aseptiques au cours de prélèvement des échantillons et à l'efficacité du traitement thermique lors de l'obtention du lactosérum.

On note la présence des levures et moisissures, ceci est du à une contamination extérieure pouvant survenir à différents niveaux du processus de fabrication.

Cette présence reste dans la tolérance LACTALIS ($< 2 \cdot 10^2$). Ce qui permet de dire que notre lactosérum est de bonne qualité hygiénique.

3.3. Produits finis :

Résultats des analyses microbiologiques des six essais sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 19 : Résultats des analyses microbiologiques des produits finis.

Les germes recherchés	Résultats					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
Essais						
coliformes totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Clostridium sulfito- réducteur	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
spores anaérobies gazogènes	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
streptocoques D	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

En ce qui concerne le produit fini, on note une absence totale des germes pathogènes.

A partir de là on peut déduire que notre produit est de très bonne qualité microbiologique.

4. Etude de conservation des fromages à 6°C :

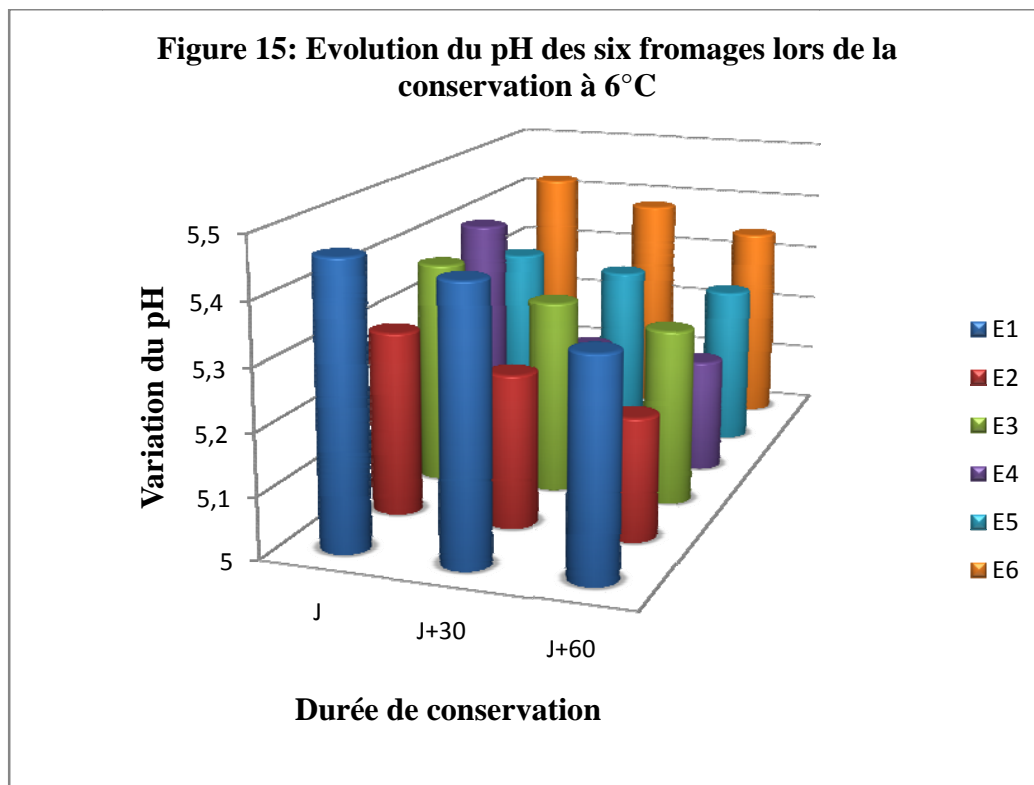
4.1. Etude physicochimique :

4.1.1. pH :

Le tableau suivant montre l'évolution du pH pendant une durée de 60 jours à +6°C.

Tableau 20 : Evolution du pH lors de la conservation des fromages à 6°C.

Paramètre	Durée	E1	E2	E3	E4	E5	E6
pH	J	5,46	5,30	5,37	5,40	5,31	5,42
	J+30	5,44	5,25	5,32	5,20	5,29	5,38
	J+60	5,35	5,20	5,29	5,19	5,27	5,34



Cette figure montre une légère diminution du pH durant les 60 jours de conservation à 6°C pour tous les types de fromages malgré le traitement thermique de pasteurisation. Nous pouvons émettre l'hypothèse que cette dernière pourrait être insuffisante pour détruire toute la flore acidifiante.

En effet, selon **Guiraud (2003)**, la flore banale acidophile et acidifiante peut entraîner un certain nombre d'altération malgré le traitement de pasteurisation.

Selon **Vignola (2002)**, la transformation graduelle du lactose en acide lactique fait abaisser le pH, donc la légère diminution du pH observée est peut être du aussi à la transformation du lactose en acide lactique.

4.1.2. EST :

Le tableau 21 montre l'évolution de l'extrait sec total lors de la conservation.

Tableau 21 : Evolution de l'extrait sec total pendant le stockage à 6°C.

Paramètre	durée	E1	E2	E3	E4	E5	E6
	J		38,31	39,89	35,50	37,38	33,83
EST	J+30	38,33	39,90	35,52	37,40	33,85	39,07
	J+60	38,35	39,92	35,54	37,42	33,86	39,09

D'après les résultats, les fromages conservés à 6°C, présentent une augmentation de l'extrait sec, cela est du probablement à une évaporation d'eau suite à un mauvais conditionnement.

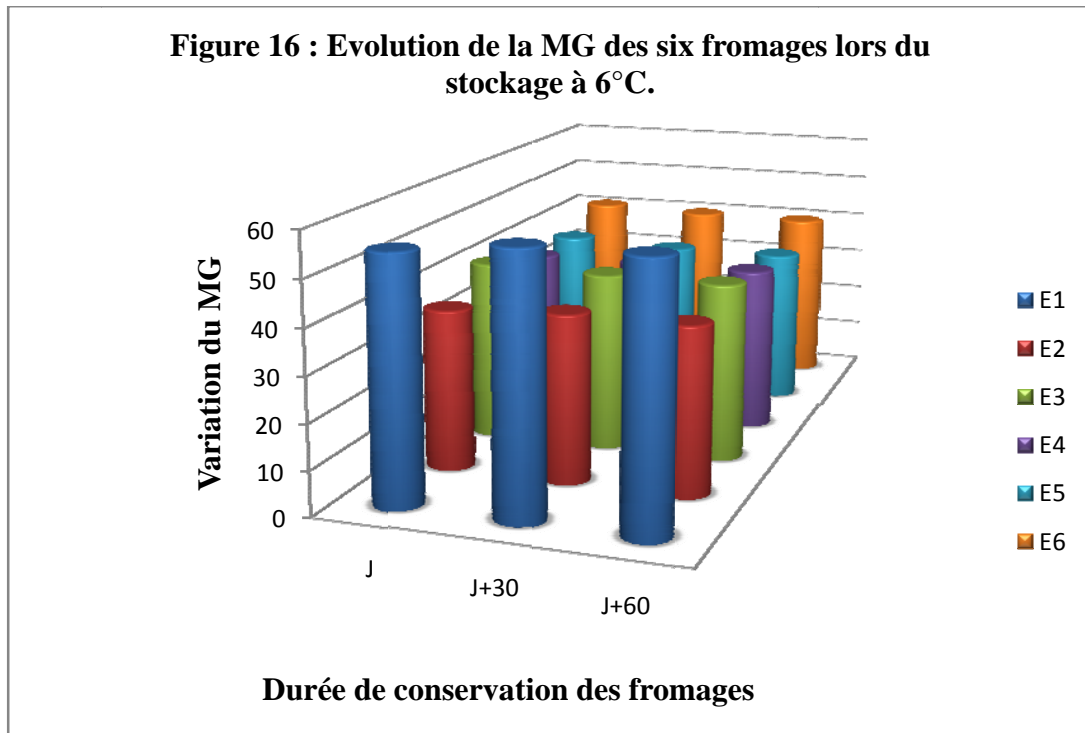
4.1.3. Matière grasse et gras/ sec:

Le tableau 22 montre l'évolution de la matière grasse et du gras/sec pendant le stockage à 6°C.

Tableau 22 : Evolution de la matière grasse et du gras/sec pendant la conservation.

Durée	Paramètres	E1	E2	E3	E4	E5	E6
J	MG	21	14,5	14,56	14	12,5	15,98
	G/S	54,81	36,34	41,01	37,45	36,94	40,92
J+30	MG	22,06	15,09	14,38	14,05	12,15	15,68
	G/S	57,55	37,82	40,48	37,57	35,89	40,13
J+60	MG	22,04	15,08	14,36	14,09	12,21	15,62
	G/S	57,74	37,77	40,40	37,65	36,06	39,95

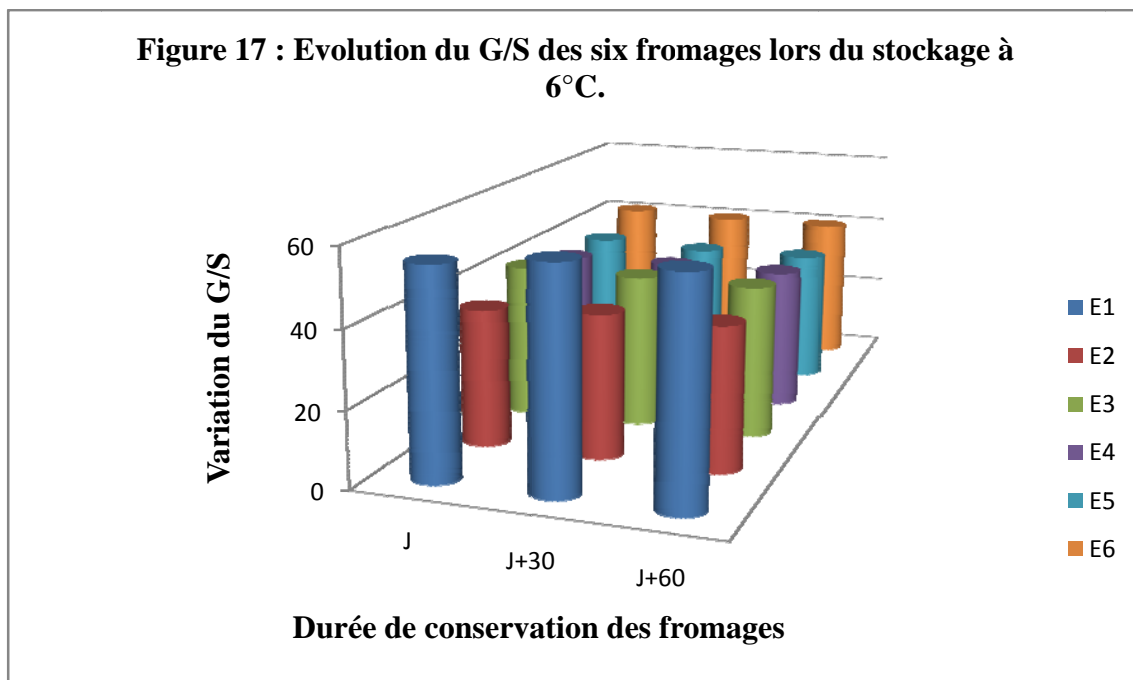
Les résultats obtenus pour la matière grasse sont représentés dans la figure suivante :



D'après les résultats, nous remarquons une légère augmentation de la matière grasse d'un type de fromage à un autre en fonction du taux de lactosérum incorporé.

Selon **Karleskind (1992)**, l'eau apporté par l'aliment se dégage sous forme de vapeur et peut provoquer une hydrolyse de la matière grasse avec libération d'acides gras, apparition de glycérides et de glycérol. Cette vapeur d'eau réalise lors de son dégagement un entrainement des produits les plus volatils. Ce qui n'est pas le cas pour nos résultats car on remarque le taux de MG reste à peu près stable durant la conservation.

En ce qui concerne le gras sur gras (G/S), l'histogramme illustre bien les résultats exprimés dans le tableau 22.



Le rapport G/S semble également identique car on ne remarque pas une augmentation ou diminution marquée de l'un des six fromages lors du stockage à température basse (+6°C).

4.2. Etude bactériologique des six fromages durant la conservation à 6°C:

L'évaluation bactériologique est très importante pour l'estimation aussi bien sur la qualité des fromages obtenus mais aussi de l'efficacité du mode de conservation.

Le tableau ci-dessous donne les résultats de l'évolution microbiologique des fromages fabriqués durant la conservation.

Tableau 23 : Evolution bactériologiques des fromages lors de la conservation à 6°C.

Les germes recherchés	Résultats							Durée de conservation
	E0	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	
Essais								J+30
coliformes totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	
coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	
Clostridium sulfito- réducteur	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	
spores anaérobies gazogènes	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	
streptocoques D	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	
coliformes totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	J+60
coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	
Clostridium sulfito- réducteur	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	
spores anaérobies gazogènes	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	
streptocoques D	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	

D'après les résultats du tableau ci-dessus, et après 60 jours de conservation à 6°C, on soulève l'absence de germes d'altération et germes pathogènes.

A partir de là on peut déduire que nos six essais plus le témoin sont de qualité bactériologique satisfaisante.

5. Résultats d'analyse sensorielle :

Par cette analyse, la qualité de nos produits alimentaires a été en partie évaluée, tout en sachant que la notion de qualité est à priori subjective puisque le meilleur test d'évaluation est de consommateur.

Pour juger et contrôler la qualité des produits alimentaires, on fait appel à des critères et des méthodes d'évaluation de divers types (**Cheftel et al, 1977**).

Les résultats obtenus à partir de cette analyse, nous permettent de tirer des conclusions sur l'acceptabilité pour les divers taux d'incorporations (tableau 24).

Tableau 24 : Résultats de la dégustation des six fromages.

Produits	Aspect	Texture	Gout	Notes/sur 20	Classement
E0 (100% eau, 3% AFH)	bon	cassante	bon	14,25	6
E1 (50% eau 50% sérum, 3,5% AFH)	légèrement jaune	cassante et ferme	bon	14,88	3
E2 (100% sérum, 3,5% AFH)	bon	bonne	légèrement acide	16,25	2
E3 (50% eau et 50% sérum, 3% AFH)	très bon	très bonne	très bon	17,62	1
E4 (100% sérum, 3% AFH)	légèrement jaune	bonne	légèrement acide	14,75	4
E5 (50% eau et 50% sérum, 4 % AFH)	bon	légèrement collante	bon	14,50	5
E6 (100% sérum, 4% AFH)	jaune	molle	acide	13,75	7

Pour une meilleure lecture des résultats, nous les avons présentés sous forme d'histogramme (figure 18).

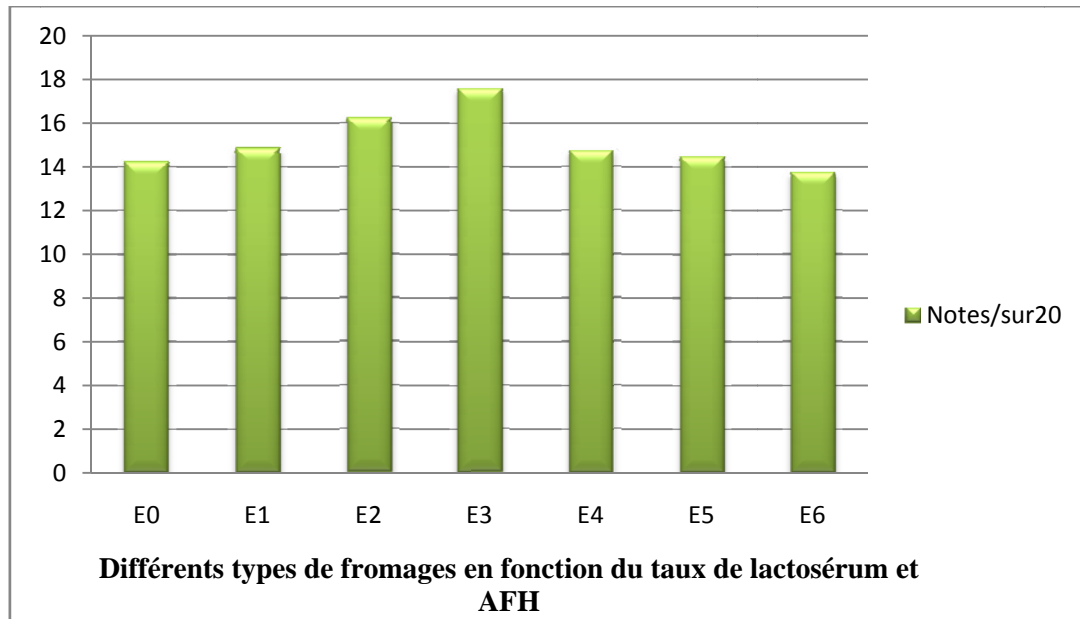


Figure 18 : Résultats du test de dégustation des six fromages.

D'après cette figure nous constatons que le fromage le plus apprécié et accepté est celui qui est fait à base de 50% eau et 50% sérum, 3% AFH car il présente les meilleures qualités organoleptiques. La figure 18 montre clairement cette préférence.

Alors que les autres fromages ont connu une appréciation notable. Le fromage N°6, malgré qu'il soit classé le dernier, a toutefois montré une certaine acceptabilité par les consommateurs.

Conclusion :

De cette étude, il ressort que le lactosérum de l'unité « LACTALIS » de Beni Tamou à l'état frais renferme des quantités appréciables en lactose et protéines. Seulement l'étude bactériologique a révélé que celui-ci contient divers germes donc il ne peut être utilisé en alimentation humaine tel quel.

En effet, la pasteurisation n'a pas une grande répercussion sur la valeur nutritionnelle du lactosérum ; ceci a été démontré lors des résultats des analyses physicochimiques du fromage fondu enrichi en lactosérum qui ont révélés un taux élevé en protéines par rapport au fromage non enrichi (fromage à 100% d'eau).

*L'*incorporation du lactosérum à un taux égale à 50% et à 3% ail et fines herbes semble être un maximum pour avoir de bonnes caractéristiques organoleptiques.

Les conditions de conservation à 6°C influent sur la composition biochimique de fromage. Nous signalons que certains paramètres tels que le pH, l'extrait sec total, matière grasse, protéines présentent une très légère variation résultent du développement des germes totaux, levures et moisissures ce qui témoigne que la réfrigération à 6°C n'inhibe pas la prolifération de certains germes.

Il faut signaler que d'après nos résultats et au bout de 60 jours de conservation, le produit ne montre pas de grandes variations, donc il sera possible d'augmenter sa durée de conservation pour mieux maîtriser ses variations.

Au terme de cette étude expérimentale, on peut confirmer la possibilité de fabriquer un fromage fondu enrichi en lactosérum et ail, fines herbes présentant des qualités organoleptiques et nutritionnelles satisfaisantes.

*L'*acceptation de nouveaux produits à base de lactosérum dépend de nombreuses conditions (L'utilisation potentielle de grandes quantités de lactosérum, production à base coût de revient, bonnes propriétés nutritionnelles et une flaveur et texture satisfaisante). En s'inspirant de tous ces paramètres d'autres études peuvent être menés en modifiant les pourcentages, l'origine du lactosérum est également un paramètre à considérer.

Références bibliographiques

A

1. **Alais C.**, 1984. Science du lait : principes des techniques laitières. SEPAIC, Paris, 814 p.
2. **Alais C., Linden G.**, 1997. Biochimie alimentaire : abrégé. Masson, Paris, 248p.
3. **Afnor.**, 1986. Contrôle de la qualité des produits laitiers. Afnor, Paris, p.p. 222-321.
4. **Anonyme**, 2001. Commission canadienne du lait, novembre 2001.
5. **Anonyme**, 2012. Normes internes à l'entreprise « LACTALIS –PRESIDENT » de Beni-Tamou.

B

6. **Benchiha A., Boudali M.**, 2009. Valorisation du lactosérum : en incorporation des protéines solubles dans la fabrication d'un fromage frais de chèvre. Mémoire d'ingénieur d'état. Boumerdes, université M'Hamed Bougara, 60p.
7. **Berger W.**, 1985. J.O.H.A., Les sels de fonte, propriétés et emploi. Benckiser-KNAPSCK. GMBH, Allemagne, p.p.6-24
8. **Boudier J-F., Luquet F-M.**, 1980. Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale. APRIAN°21, Paris, 113p.
9. **Bounie D.**, 2002. Le fromage de beaufort. Lille, Ed. Ecole polytechnique de Lille, p.p.1-53
10. **Boutonnier J-L.**, 2000. Fabrication du fromage fondu. www.Technique d'ingénieur.fr

C

11. **Chambre M., Daurelles J.**, 1997. Fromage fondu dans « le fromage » coordonné par Eck A., 1997. Lavoisier, Paris, 891p.
12. **Clément J.M.**, 1981. Larousse agricole. Larousse, Paris, 1208p.
13. **Cheftel H. et al.**, 1977. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 801p.

E

14. **Eck A., Gillis J.C.**, 1997. Le fromage de la science à l'assurance qualité. 3^{éd.} Tec et Doc Lavoisier, Paris, 891p.
15. **Eck, Patont J.P.**, 1987. Fromage fondu dans « le fromage » coordonné par Eck A., 1997. Lavoisier, Paris, 539p.

G

16. **Gaucheron F. et al**, 2004. Minéraux et produits laitiers. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 922p.
17. **Goursaud J.**, 1985. Essai de fabrication d'une boisson à base de lactosérum et de la pulpe de tomate. Mémoire d'ingénieur agronome. Tizi Ouzou, Université Mouloud Mameri, 115p.
18. **Guiraud J-P.**, 2003. Microbiologie alimentaire. Dunod, Paris, 651p.
19. **Gyot, Hermman.**, 1981. Suivi de la qualité du fromage fondu incorporé de « roquefort ». Mémoire de technicien supérieur en industrie agroalimentaire, Blida, INFPIAA. 74p.

J

20. **Jacquot et al.**, 1981. Les aliments dans «les carences nutritionnelles dans les pays en voie de développement» coordonné par Lemonnier D. et al, 1989. Karatala, 613p.
21. **Jeantet R., Brulé G et al**, 2007. Sciences des aliments. Te et Doc Lavoisier, Paris, p.p. 40-55
22. **JOHA industry.**, 1995. Système de produits par l'industrie du fromage fondu et l'industrie laitière : Sels de fonte. 2éd. Bk Lande bourg de Ludwigshafen, Allemagne, 22p.

K

23. **Kanane D., Sadoune S.**, 2008 .Analyses physicochimiques et microbiologiques du fromage stérilisé .diplôme d'études universitaires appliquées, Boumerdes, Université M'hamed Bougara ,58 p.
24. **Karleskind A.**, 1992. Manuel des corps gras. Tome 2. Lavoisier, Paris, 1570p.
25. **Kaouadji L.**, 1989. Valorisation du lactosérum de fromagerie : Etude d'un projet de séchage dans la région centre. Mémoire d'ingénieur agronome, El- Harrach, institut national agronomique, 91p.
26. **Kasomel A.**, 1990. Du fromage au fromage fondu. Rhône-Poulenc.
27. **Kernoug O., Benmohamed B.**, 2008. Suivi de la qualité du fromage fondu incorporé de « roquefort ». Mémoire de technicien supérieur en industrie agroalimentaire, Blida, INFPIAA. 74p.
28. **Kosikowski F.V.**, 1979. Revue laitière française N° 372, p.p.11-20

L

29. **Linden G., Lorient D.**, 1994. Biochimie agro-industrielle : Valorisation alimentaire de la production agricole. Masson, Paris, 367p.
30. **Luquet F.M.**, 1985. Lait et produits laitiers : Vache, brebis, chèvre.T2. Paris, Lavoisier, 633p.
31. **Luquet F.M.**, 1990. Lait et produits laitiers : Vache, brebis, chèvre.T2. Paris, Lavoisier, 637p.

M

32. **Mahaut M. et al.**, 2003. Initiation à la technologie fromagère. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 180p.
33. **Maziyer M.**, 2002. Larousse agricole : Le monde agricole au XXI^e siècle. Larousse, Paris, 767p.
34. **Mereo M.**, 1971. Les utilisations industrielles du sérum de fromagerie. Industrie agro-alimentaire, p.p. 817-824
35. **Multon J-L et al.**, 1994. La qualité des produits alimentaires : politique, incitations, gestion et contrôle. Lavoisier, Paris, 754p.

N

36. **Neyers F.**, 1996. Egouttage des caillés mixtes. Mémoire d'ingénieur. Enilia surgères. Paris. p.p.13-20

T

37. **Teball S., Tounsi A.**, 2010. Valorisation du lactosérum en fromagerie : cas du fromage fondu .Mémoire d'ingénieur agronome. El-Harrach, Institut National Agronomique, 116p.

R

38. **Ramet J.P.**, 1993. Les agents de transformation du lait In : Le Fromage. Lavoisier, Paris, 165p.
39. **Rauger V.**, 1979. Technologie du lait. www.Technique d'ingénieur.fr

V

40. **Veisseyere R.**, 1979. Technologie du lait : constitution, récolte, traitement et transformation du lait. 3^{éd}. La Maison Rustique, Paris, 709p.
41. **Vignola C.L.**, 2002. Science et technologie de du lait. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 600p.
42. **Verling E.**, 2008. Aliments et boissons : filières et produits.3^{éd}. Doin, Paris, 275p.

Annexe 1 :

Présentation de l'unité

La laiterie de Beni Tamou a été construite par la firme Italienne INTERCOOP en 1990, elle est située à environ 9Km du centre ville de Blida.

En raison de la forte demande en lait et produits laitiers et afin de satisfaire au mieux la clientèle, la laiterie de Beni Tamou est composée de 4 ateliers de transformation à savoir :

- 1- Atelier des pâtes molles
- 2- Atelier fromage fondu
- 3- Atelier réception écrémage pasteurisation
- 4- Atelier conditionnement des produits frais

La laiterie fabrique une large gamme de produits comme montre le tableau ci-dessous

Tableau : Gamme de production de la laiterie

Produits	Catégories
Lait de consommation	Lait reconstitué demi écrémé
	Lait fermenté (l'ben)
	Lait caillé (raib)
Pâte fraîche	Petit suisse Fromage régime naturel
Pates molles	Camembert metidja Camembert président Brie
Fromage fondu	Fromage président nature Fromage president gouda Fromage président bleu Fromage ladid au camembert Fromage ladid nature Spécialité fromagère metidja Nouvelle recette (fondu ail fines herbes)

Annexe 2 :

Appareillage et réactifs :

Réactifs :

- Acide sulfurique (d= 1,525)
- Acide sulfurique concentré
- Alcool iso amylique
- Eau distillée
- Phénolphtaléine 1%
- Solution d'hydroxydes de sodium NaOH (N/9)

Appareillage :

- Agitateur vortex
- Balance analytique
- Bain-marie
- Bec-benzène
- Becher de 500 ml, 250 ml et 100ml
- Boite de pétri
- Burette à robinet graduée
- Butyromètre GERBER gradué
- Butyromètre de VAN GULIK
- Capsule en aluminium
- Centrifugeuse
- Distillateur
- Dessiccateur à balance (MA 150)
- Etuves à incubation
- Entonnoir
- Eprouvette
- Fiole de 2 l
- Appareil d'analyse Food scan
- Appareil d'analyse FT 120
- Godet
- pH mètre avec électrode de verre
- plaque chauffante
- Réfrigérateur à 6°C
- Sachet stomacher stériles
- Spatules
- Pair de pince
- Pipettes de 10 ml et 1 ml
- Portoir en inox
- Tubes à essai, TPS

Annexe 3 :

Composition des milieux de cultures

➤ **Solution TSE**

-Tryptone.....	1g
-Na Cl.....	8,5g
-Eau	1000 ml

➤ **Milieu plat count agar (PCA)**

-Extrait de levure déshydratée.....	2,5 g
-Tryptone.....	5g
-Glucose.....	1g
-Agar.....	12g à 18g
-Eau.....	1000 ml

➤ **Gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL)**

- Eau distillé.....	1000 ml
- Digestat enzymatique de tissus animaux (Peptone)	7,0 g
- Extrait de levure.....	3,0 g
- Lactose	10,0 g
- Sels biliaires	1,5 g
- Chlorure de sodium	5,0 g
- Rouge neutre.....	30,0 mg
- Cristal violet	2,0 mg
- Agar-agar.....	12 à 18 g

➤ **Gélose RCM de HIRSCH et GRINSTED**

- Tryptone.....	10 g
- Extrait de viande.....	10 g
- Extrait enzymatique de levure.....	3 g
- Cystéine (Chlorydrate)	0.5g
- Chlorure de sodium (NaCl)	5 g
- Glucose	5 g
- Amidon soluble.....	1 g
- Acétate de sodium	3 g
- Agar agar bactériologique	15 g
- Eau distillé.....	1000 ml

pH=6,8±0,2 à 25°C

➤ **Gélose Agar à l'esculine (BEA)**

-Peptone de viande.....	10g
-Citrate de fer ammoniacal.....	1g
-Esculine.....	1g
-Bile de bœuf.....	3g
-Agar.....	18g
-Eau distillé.....	1000 ml
	pH= 7,3

➤ **Agar (bouchon)**

L'agar utilisé comme bouchon est obtenu par dissolution complète de l'agar bactériologique type E dans 1 litre d'eau distillée ou déminéralisée, répartir en flacons à vis à raison de 100 ml maximum par flacon et enfin stériliser à 121°C pendant 15 minutes.

Annexe 4 :

La matière première utilisée

La poudre de lait 0% de MG

C'est une poudre de lait écrémé, à 0% de MG, importé de la Nouvelle-Zélande, La poudre est livrée à l'unité dans des sacs en polyéthylène de 25Kg et entreposée dans un hangar à température ambiante.

Le beurre

Il est importé de la nouvelle Zélande, et conditionné en bloc dans un film plastique et dans des cartons, le bloc de beurre est de 25kg stocké dans des chambre froides à + 4°C.

Le cheddar

Le cheddar est une pâte de fromage pressé destinée à la fonte. Le pays producteur est l'Irlande, il est importé sous forme de blocs conditionnés dans un emballage en plastique d'un poids net de 20Kg. Le cheddar est conservé dans une chambre froide +4°C.

Les Sel de fonte

Les sels de fonte sont les seuls additifs employés dans la fabrication des fromages fondus. On a utilisé le sel de fonte JOHA (E203) ce dernier est importé de la Belgique.

L'Acide citrique

Il est utilisé comme correcteur de ph, cet additif est importé de France emballé dans des sacs en polyéthylène de 25Kg entreposé dans le magasin dédié au stockage de matières premières.

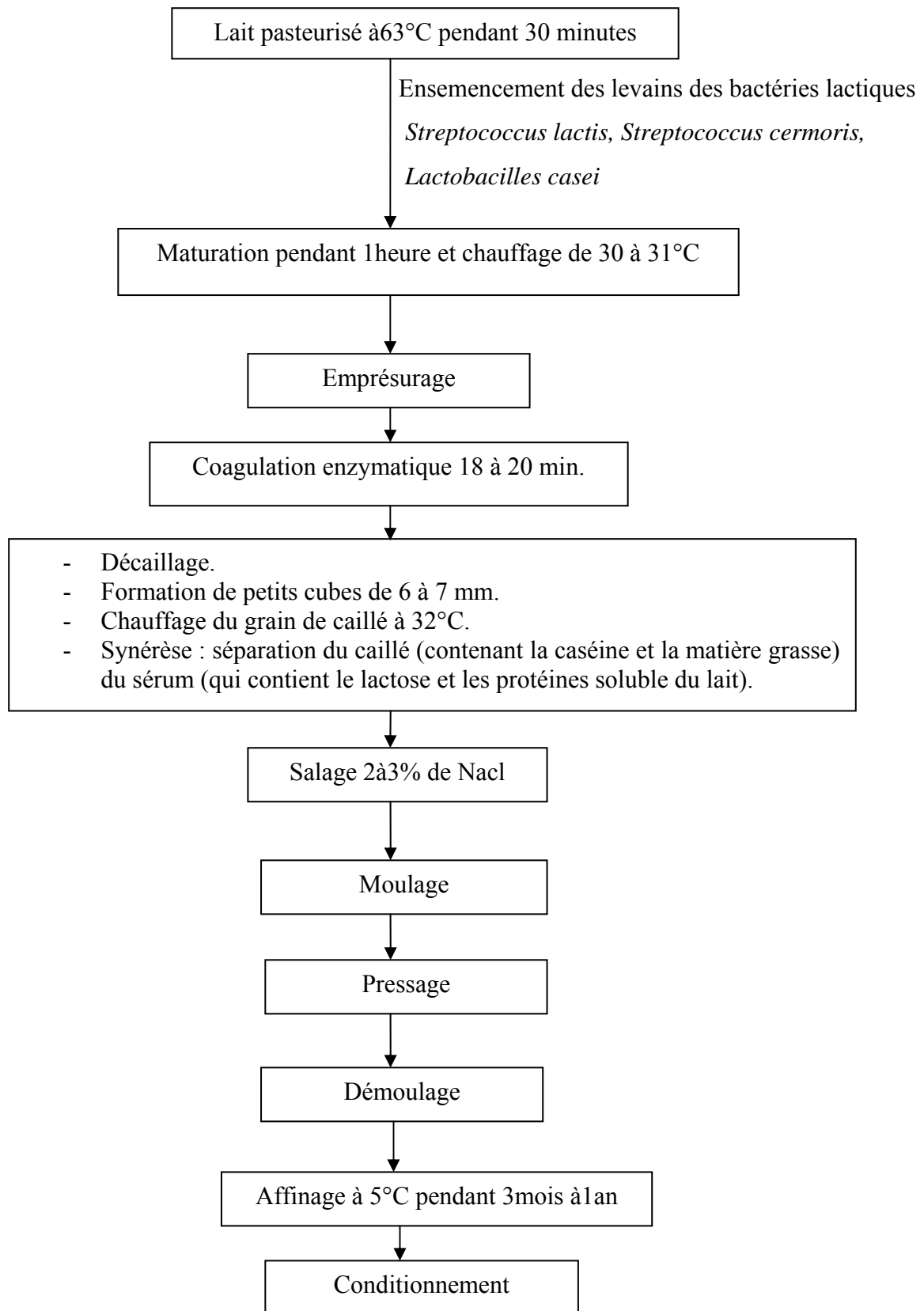
L'Eau

L'eau de la laiterie utilisée est une eau de forage traitée et adoucie. Cette eau est stockée dans bâche à eau.

Lactosérum

Le lactosérum incorporé dans notre préparation est de type acide. Il est obtenu par séparation par une centrifugeuse KDA du caillé maigre mûré destiné à la fabrication des pâtes fraîches.

Annexe 5 :



« Les procédés technologiques de la fabrication du cheddar (Kannane et Sadoune, 2008) »

Annexe 6 :

Tableau : Composition du cheddar (gramme pour un Kg de cheddar)

Constituants	Unité	Moyenne	Constituants	Unité	Moyenne
Energie	Kcal /Kg	4056	Acide gras		
Eau	g/Kg	360	Ac Butyrique	g /Kg	10,60
Matière sèche	g/Kg	640	Ac Caproïque	g/Kg	5,40
Lipide/MS	g/Kg	52,30	Ac Caprylique	g/Kg	2,80
Azote total	g/Kg	40,80	Ac Caprique	g/Kg	6,10
Protéines	g/Kg	260,30	Ac Laurique	g/Kg	5,50
Lipides totaux	g/Kg	335	Ac Myristique	g/Kg	33 ,70
Glucides disponible	g/Kg	Trace	Ac Palmitique	g/Kg	99,10
Minéraux			Ac Palmitique	g/Kg	10,10
Sodium	mg/Kg	7000	Ac Stéarique	g/Kg	40,50
Magnésium	mg/Kg	280	Ac Oléique	g/Kg	79,90
Phosphore	mg/Kg	4700	Ac Linoléique	g/Kg	5,90
Chlore	mg/Kg	14440	Ac Linoléinique	g/Kg	3,60
Potassium	mg/Kg	1000	Ac gras saturés totaux	g/Kg	213,20
Calcium	mg/Kg	7400	Ac gras mono-insaturés totaux	g/Kg	94,90
Fer	Cholestérol	4	Ac poly-insaturés totaux	g/Kg	9,50
Cuivre	mg/Kg	0,30	Stérols		
Zinc	mg/Kg	70	Cholestérol	g/Kg	1
Acide aminés			Vitamines		
Isoleucine	g/Kg	16,20	Rétinol	mg/kg	3100
Leucine	g/Kg	24,90	Béta carotène	mg/Kg	2050
Lysine	g/Kg	21,70	Vitamine D	mg/Kg	2,60
Méthionine	g/Kg	6,80	Vitamine E	mg/Kg	8
Cystine	g/Kg	1,30	Vitamine C	mg/Kg	0
Phénylalanine	g/Kg	13,70	Thiamine	mg/Kg	0,40
Tyrosine	g/Kg	12,60	Riboflavine	mg/Kg	5
Thréonine	g/Kg	9,30	Niacine	mg/Kg	1
Valine	g/Kg	17,40	Ac pantothénique	mg/Kg	3
Arginine	g/Kg	9,80	Vitamine B6	mg/Kg	0,80
Histidine	g/Kg	9,10	Vitamine B12	mg/Kg	15
Alanine	g/Kg	7,30	Folates totaux	mg/Kg	200
Aspartate	g/Kg	16,70	Biotines	mg/Kg	17
Glutamate	g/Kg	63,70		mg/Kg	
Glycocolle	g/Kg	4,50		mg/Kg	
Proline	g/Kg	29 ,30		mg/Kg	
Serine	g/Kg	15,20		mg/Kg	
Tryptophane	g/Kg	3,30		mg/Kg	

Annexe 7 :

Fiche de dégustation du fromage fondu de l'unité LACTALIS-PRESIDENT

Service qualité :

Nom :

Prénom :

Fonction :

ID Produit/ D.L.C	Produit	DEGUSTATION					OBSERVATIONS CONSTATEES															
																						ASPECT
		ASPECT /sur 5	TEXTURE /sur 5	GOUT /sur 10	TOTAL /sur 20	Classement	Exsudation de sérum	Trop blanc	Trop jaune	Trop ferme	Trop souple	Trop friable	Granuleuse (Sableux)	Pâteuse	Collante	Rance	Piquant	Acide	Salé	Amer	Fade	Trop acidulé

Annexe 8 :



Food Scan



Bain-marie



Dessicateur MA150



Agitateur



Centrifugeuse



Butyromètre



Distillateur



Stomacher



Balance



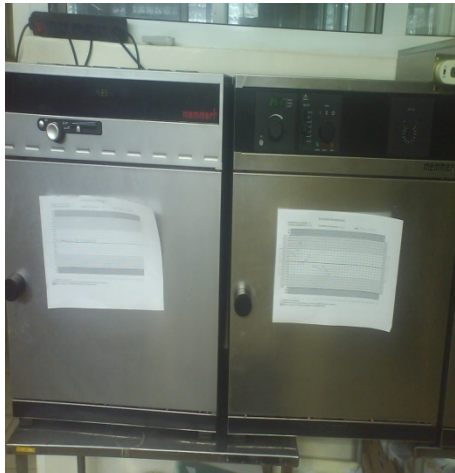
Bain marie



pH mètre



Balance



Etuves 30 C et 44 C



Etuve 37 C



Milieu VRBL



Milieu PCA



Autoclave

