



*République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique*



Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomique

Département : Biochimie et Microbiologie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Biologiques

Option : Microbiologie Appliquée

Thème :

*Essai de valorisation du lactosérum doux, comme substituant
d'eau, dans la formulation d'un fromage fondu épicé au niveau
de la fromagerie Pâturages d'Algérie (Tizi Ouzou)*

Présenté par :

M^{elle} : GUIDOU Flora

M^{elle} : LARRAS Lamia

Soutenu devant le jury composé de :

Président : Mr HOUALI K.

Professeur UMMTO

Promoteur : Mr SEBBANE H.

Maître assistant (A), chargé de cours UMMTO

Examinatrice : Mme SENOUSSI CH.

Maître assistante (A), chargée de cours UMMTO

Année universitaire : 2019-2020

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*En second lieu, nous tenons à remercier très sincèrement notre promoteur **Mr SEBBANE Hillal** de nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail. Nous sommes très reconnaissantes pour la confiance qu'il nous a témoigné au cours de ce travail, la patience et l'orientation qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.*

*On remercie également **Melle MAKHLOUFI Lydia** ; la responsable du laboratoire de l'unité Pâturages d'Algérie (Tizi Ouzou) qui s'est toujours montrée à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer.*

*Nos vifs remerciements vont également à **Mme SENOUSSI Chahra**, membre du jury pour l'intérêt quelle a porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par ses propositions, et **Mr HOUALI Karim** pour avoir accepté de présider le jury.*

Un remerciement particulier est adressé aux responsables de l'unité pâturages d'Algérie (Tizi Ouzou), Leurs appuis financiers nous ont été indispensables pendant la réalisation de ce travail. Un grand merci à tous leurs techniciens de laboratoire et l'ensemble du personnel.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents KARIM et SAMIA qui m'ont appris que la patience et la persévérance est le secret du succès ; tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien être. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi. Que dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie.

A mon cher frère LOUNES et ma chère sœur SYLIA qui ont toujours su me comprendre, pour leur affection, leur immense soutien et leurs orientations accordées et qui m'ont beaucoup aidé par leur présence, leur encouragement et leur amour.

A mon neveu AYLAN, avoir un neveu est le plus beau cadeau qu'une sœur puisse vous faire. Tes petites mains, tes sourires, tes yeux brillants sont incomparables. Tu as apporté beaucoup de bonheur à notre famille. Je t'aime.

A ma chère grand-mère maternelle OUIZA pour sa présence, son amour, ses prières, ses câlins, qui a toujours souhaité que je réussisse dans mes études.

*A mes oncles qui m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux,
Je rends hommage à mes 2 grand pères et ma grand-mère qui sont parti très tôt.*

A mes adorables amies HAYAT, AMEL. H, CELIA, AMEL. R, RANYA et ANAIS vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur

A ma binôme LAMIA, ses parents et ses sœurs.

A tous mes amis de la section du master 2 (Microbiologie Appliquée) 2019/2020

Enfin, à mes divers compagnons de route et à tous ceux qui m'ont si profondément aidé, je dédie ce travail.

FLORA

Dédicace

Je dédie ce travail avec toute la profondeur de mes sentiments

*Aux êtres les plus chers, mon père Kamel et ma mère
Zina, qui m'ont soutenu tout au long de ces années, avec leur affection et leur
amour, que dieu leur offres une bonne santé et une longue vie;
Et à la mémoire de mon grand père qui m'a tant conseillé que Dieu l'accueille
dans son vaste paradis ;*

A ma grand-mère;

A mes chères sœurs : Sonia, Amel et Ferial;

A mon neveu et ma nièce : Ahcene et Lina;

A toute ma famille : mes tantes, mes oncles et leurs femmes;

Et a tous mes cousins et cousines;

A ma binôme et amie Flora et sa famille;

A mes amies : Lynda et Siham;

*A tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à mon bien être lors de la
réalisation de ce travail ;*

Et à toute la promotion de microbiologie appliquée (2019 / 2020)

LAMIA

Sommaire

Résumé	
Abstract	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1

Synthèse bibliographique

Chapitre I: Lactosérum

1. Définition	3
2. Types de lactosérum	3
2.1. Lactosérum acide	3
2.2. Lactosérum doux	3
2.3. Autres types de lactosérum	4
3. Composition et valeur nutritionnelle du lactosérum	5
3.1. Composition du lactosérum	5
3.2. La valeur nutritionnelle du lactosérum	7
4. Le pouvoir polluant	8
5. Différents domaine de valorisation du lactosérum.....	9

Chapitre II : Fromage

1. Historique	12
2. Définition	12
3. Classification des fromages.....	12
3.1. Fromages à pâte fraîche	12
3.2. Fromages à pâte pressée.....	13
3.2.1. Fromages à pâte pressée non cuite (demie ferme)	13
3.2.2. Fromages à pâte pressée cuite	13
3.3. Fromages à pâte molle.....	14
3.3.1. Fromages à pâte molle à croûte fleurie.....	14
3.3.2. Fromages à pâte molle à croûte lavée.....	14
3.4. Fromages à pâte molle à croûte persillée	14
3.5. Fromages à pâte filée.....	15
3.6. Fromage à pâte fondue	15
4. Composition du fromage	16

5. Valeur nutritionnelle	19
Chapitre III : Fromage fondu	
1. Historique	20
2. Définition	21
3. Classification des fromages fondus	21
3.1. Classification selon la matière grasse	21
3.2. Classification selon la forme	22
4. Matières premières	23
4.1. Matières premières laitières	23
4.2. Matières premières non laitières	24
5. Valeur nutritionnelle	26
6. Processus de fabrication du fromage fondu pasteurisé	27
Présentation de l'entreprise d'accueil	32

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

<i>Matériel</i>	33
<i>Méthodes</i>	34
1. Modèle de simulation de la valorisation du lactosérum	34
1.1. Principe de calcul du model Excel	34
1.2. Modèle mathématique adopté	34
1.2.1. Détermination des quantités des matières premières à utiliser dans la formule-lactosérum	34
1.2.2. Etude technico-commerciale	35
1.2.3. Estimation de l'effet environnemental de la valorisation du lactosérum	36
2. Diagramme de fabrication des fromages fondus épicés	37
3. Plan d'échantillonnage et condition de transport des échantillons	37
4. Analyses physico-chimiques et microbiologiques	38
4.1. Analyses physicochimiques	40
4.1.1. Détermination du pH	40
4.1.2. Détermination de la densité et la température	40
4.1.3. Détermination de l'extrait sec total (EST) et humidité (H)	41
4.1.4. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode acido- butyromètre	42

4.1.5. Détermination de l'acidité titrable	43
4.1.6. Détermination de la teneur en protéines (MilkoScan)	44
4.1.7. Détermination des titres alcalimétriques TA et TAC	44
4.1.8. Détermination du titre hydrométrique	46
4.2. Analyses microbiologiques	46
4.2.1. Préparation des solutions mères et des dilutions décimales	46
4.2.2. Recherche et dénombrement des germes.....	48
- <i>Staphylococcus aureus</i>	48
- <i>Salmonella</i>	48
- <i>Listeria monocytogenes</i>	49
-Entérobactéries	50
- <i>Escherichia coli</i>	50
5. Analyse sensorielle.....	50

Résultats et discussion

1. Résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques des matières premières	52
1.1. Résultats des analyses physico-chimiques	52
1.2. Résultats des analyses microbiologiques	54
2. Résultats de la simulation	56
2.1. Résultats de la simulation mathématique de la nouvelle recette	56
2.2. Etude comparative des résultats physico-chimiques (théoriques et pratiques) des deux produits finis	57
2.3. Résultats technico-commerciaux	58
2.4. Aspect environnemental	59
3. Résultats des analyses microbiologiques des produits finis	60
4. Résultats de l'analyse sensorielle	61
Conclusion et perspectives	63

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

En Algérie, le rejet du lactosérum représente une énorme perte économique sèche. Par ailleurs, il est considéré comme un sous-produit laitier riche en éléments nutritifs qui est incorporé dans divers produits. Ce travail vise à valoriser le lactosérum doux brut comme substituant total de l'eau dans la fabrication d'un fromage fondu épicé. Les proportions du lactosérum et les ingrédients, nécessaire à cette fabrication sont calculés à l'aide d'un modèle de simulation sur Excel. Les résultats physicochimiques des produits obtenus, correspondent aux estimations théoriques, ce qui a permis de valider le modèle d'étude. Les analyses microbiologiques sont très satisfaisantes. Le test de dégustation (couleur, odeur, goût acide, épice, amertume, texture en bouche et description finale du fromage) réalisé avec un panel non entraîné a révélé une acceptabilité du fromage au lactosérum. Cette étude a démontré que la valorisation du lactosérum ne porte pas atteinte à la qualité du fromage, et permet de réduire la pollution des eaux, due au lactosérum. En outre, sur le plan économique, ce travail a démontré que la réduction du coût de production était très considérable, qui est bénéfique pour l'économie nationale, en général, et pour l'industrie fromagère en particulier.

Mots clés : analyses, Excel, économie, fromage fondu épicé, lactosérum, modèle de simulation, pollution, valorisation.

Abstract

In Algeria, the rejection of whey represents a huge net economic loss. Moreover, it is considered to be a nutrient rich dairy by-product that is incorporated into various products. This work aims to promote raw sweet whey as a total substitute for water in the manufacture of spicy processed cheese. The proportions of the whey and the ingredients necessary for this production are calculated using a simulation model in Excel. The physicochemical results of the products obtained correspond to theoretical estimates, which made it possible to validate the study model. The microbiological analyzes are very satisfactory. The taste test (color, odor, acid taste, spice, bitterness, texture in the mouth and final description of the cheese) carried out with an untrained panel revealed an acceptability of the whey cheese. This study showed that valorizing the whey does not affect the quality of the cheese, and reduces water pollution, due to whey. In addition, economically, this work has shown that the reduction in

the cost of production is very considerable, which is beneficial for the national economy in general, and for the cheese industry in particular.

Keywords: analyzes, economy, Excel, pollution, simulation model, spicy processed cheese, valorization, whey.

Liste des abréviations

DBO : demande biologique en oxygène

DCO : demande chimique en oxygène

AFNOR : French national organisation for standardisation (Association Française de Normalisation)

CCA : Commission du Codex Alimentarius (Codex Alimentarius Commission)

EH : Equivalent-habitant

°D : Degré dornic

°F : Degré français

MG : Matière grasse

EST : Extrait sec total

MS : Matière sèche

H : Humidité

AT : Acidité titrable

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH : Titre hydrométrique

D : Densité

FFE : Fromage fondu avec eau

FFL : Fromage fondu avec lactosérum

UHT : Ultra haute température

SM : Solution mère

TSE : Tryptone sel eau

Abs : Absence

m : nombre de germes présents dans un gramme ou un millilitre de produit analysé, qui correspond à la valeur en dessous de laquelle la qualité du produit est considérée comme satisfaisante.

M : nombre de germes présents dans un gramme ou un millilitre de produit analysé, qui correspond à la valeur au dessus de laquelle la qualité du produit est considérée comme inacceptable

Liste des figures

Figure 1. Schéma technologique d'obtention des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait	5
Figure 2 : procédés et traitements utilisés pour la valorisation du lactosérum et de ses sous-produits.....	10
Figure 3: Diagramme de fabrication du fromage fondu.....	28
Figure 4 : organigramme simplifié de la structure de l'entreprise	32
Figure 5: diagramme de fabrication du fromage fondu épicé au niveau de l'usine Pâturages d'Algérie.....	38
Figure 6 : schéma de la préparation des solutions mères et des dilutions décimales.....	47
Figure 7: présentation de l'échantillon et déroulement du test sensoriel	51

Liste des tableaux

Tableau I : composition des différents types de lactosérum.....	6
Tableau II : teneur en vitamine du lactosérum	7
Tableau III : Les domaines d'utilité du lactosérum.....	11
Tableau IV : Composition moyenne des principaux fromages pour 100 g	16
Tableau V : Teneurs en oligoéléments du fromage (mg/100g de produit)	18
Tableau VI: Classification des fromages fondus	21
Tableau VII : exemples d'additifs alimentaires utilisés dans la fabrication du fromage fondu	26
Tableau VIII : Composition du fromage fondu.....	27
Tableau IX : Quantités des matières premières de la recette de base.	35
Tableau X : Tableau regroupant les analyses physico-chimiques et microbiologiques des matières premières et produits finis utilisés	39
Tableau XI : Résultats des analyses physico-chimiques des matières premières.....	53
Tableau XII : résultats des analyses microbiologiques des matières premières.....	55
Tableau XIII: Quantités exactes des matières premières à utiliser dans la formule- lactosérum.	56
Tableau XIV : Résultats des analyses et de la simulation physico-chimiques des deux produits finis	57
Tableau XV: Coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum	58
Tableau XVI: Estimation du pourcentage d'économie de matière première utile (MPU).	59
Tableau XVII: Estimation des quantités annuelles produites de lactosérum	59
Tableau XVIII: Quantités élémentaires annuelle régénérées par lactosérum (tn).....	60

Tableau XIX : Résultats des analyses microbiologiques des produits finis 61

Tableau XX : Tableau regroupant les réponses des dégustateurs..... 62

Introduction

Le monde a connu un développement très important dans le secteur industriel qui s'est répercuté négativement sur l'environnement et la santé publique. Les écologistes et les biologistes se sont intéressés depuis longtemps aux procédés et aux techniques qui limitent la pollution engendrée par les industries. L'industrie laitière et particulièrement la filière fromagère, est l'une des plus polluantes, par le rejet de quantités importantes de lactosérum qui perturbent les écosystèmes aquatiques, en agissant négativement sur la demande biologique en oxygène (DBO) et demande chimique en oxygène (DCO) (**Agnes, 1986**).

Le lactosérum, coproduit de l'industrie laitière, est incontestablement une matière noble et riche en composés actifs avec des propriétés intéressantes sur les plans nutritionnels et techno-fonctionnels à savoir ; le lactose, les protéines solubles, les vitamines hydrosolubles, les matières grasses et les éléments minéraux (**Benaïssa, 2018**).

La fabrication de produits laitiers à base de lactosérum entier a connu ses débuts dans les pays développés. Le processus de production de ces derniers consiste à mélanger le lactosérum avec les matières premières.

Selon **Benaïssa (2018)**, la production Algérienne en fromage a été estimée à 1540 tonnes et de 14 million de litre d'effluent en lactosérum.

Dans ces conditions, il est devenu indispensable de recycler et de valoriser le lactosérum.

En Algérie, le lactosérum reste un paradoxe, car d'un côté il est directement rejeté dans les eaux résiduaires, sans subir de traitement convenable, et de l'autre côté les industriels Algériens importent de la poudre de lactosérum qui est utilisée comme ingrédients dans le nombreux produits alimentaires.

La question qu'on s'est posé, réside dans la rentabilité économique et la faisabilité de la valorisation de lactosérum brut dans les différents produits alimentaires en Algérie sans faire appel à l'importation de la poudre de lactosérum.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude dont l'objectif est de valoriser le lactosérum brut, produit de l'égouttage du fromage à pâte demie dure, dans la formulation d'un fromage

fondue à tartiner. Ce travail constitue une réponse à la dite question, posée ci-dessus, qui peut constituer une nouvelle approche et de nouvelles perspectives dans l'industrie agro-alimentaire en Algérie et de diminuer l'importation de la poudre de lactosérum.

Pour cela nous avons structuré ce document comme suit :

Une partie consacrée pour une étude bibliographique présentant des généralités sur les matières premières (le lactosérum, le fromage et le fromage fondu).

Une partie consacrée à la partie pratique qui consiste à:

- Définir les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des matières premières, du lactosérum, du fromage fondu de référence (sans lactosérum) ;
- Développer un modèle mathématique sur Excel pour définir les taux d'incorporation du lactosérum dans la formule de base du fromage fondu ;
- Valider le modèle en comparant les rapports MG/MS des deux fromages : le fromage fondu de référence et le fromage fondu à base de lactosérum.

1. Définition du lactosérum

Le lactosérum également appelé petit-lait ou sérum, de couleur jaune verdâtre, est un sous produit de la fabrication fromagère, obtenu suite à la coagulation des caséines sous l'action de la présure (lactosérum doux), ou suivant l'acidification du lait (lactosérum acide) (**Morr, 1989**), au cours d'une opération d'égouttage qui suit l'étape de coagulation et qui consiste à séparer la phase coagulée du reste du lait. La fraction liquide ainsi recueillie s'appelle le lactosérum ; son pH est compris entre 5 et 6,5. Il représente près de 90% du lait mis en œuvre (**Kosikowski, 1979 ; Mereo, 1980**).

2. Types de lactosérum

Le lactosérum doit être considéré comme un produit dérivé plutôt qu'un sous produit de la fabrication des fromages, ou de la caséine. Selon le mécanisme de la coagulation du lait, il en résulte deux types lactosérums: acide et doux. (**Linden et Lorient, 1994; De La Fuente et al., 2002**).

2.1. Lactosérum acide

C'est la phase aqueuse obtenue après la coagulation et l'égouttage du lait, lors de la fabrication des fromages à pâtes molles et fraîches ou la précipitation des caséines, par voie lactique ou acide (**Benaouida, 2008**). Ils résultent de la déstabilisation des caséines et leurs précipitations sous l'effet du pH qui est proche de leur pH-isoélectrique, soit par ajout d'acide organique ou minéral (**Violleau, 1999**). le pH des lactosérums acide varient entre 4.5 -5 avec une acidité titrable de 120°Doronic et ils sont moins riches en lactose et plus riche en minéraux que les lactosérums doux (**Adrian et al., 1991 ; Moletta, 2002 ; Schuck et al ., 2004**).

2.2. Lactosérum doux

C'est la phase aqueuse obtenue après la coagulation du lait, lors de la fabrication des fromages à pâte pressée cuite ou non cuite ou la coagulation des caséines sous l'action de la présure sans acidification préalable; on obtient alors un lactosérum doux, pauvre en sels minéraux et riche en lactose et en protéines. En plus des protéines solubles du lait, ce type de

lactosérum contient une glycoprotéine qui provient de l'hydrolyse de la caséine Kappa par la présure (Sottiez, 1990). Les lactosérums doux sont généralement déshydratés (Morr, 1989 ; Moletta, 2002).

2.3. Autres types de lactosérum

L'émergence de nouvelles technologies de fractionnement et de concentration telles que l'ultrafiltration a permis l'apparition de nouvelles dérivées en plus des deux catégories précédentes de lactosérum. Mais ce sont des dérivés des lactosérums doux et acides :

➤ Lactosérum déprotéiné

Certaines fromageries réalisent une opération de déprotéinisation partielle de leurs sérums doux ou acide après coagulation à chaud (90C°) en vue de réincorporer des protéines sériques dans le lait ce qui assure un meilleur rendement fromager (Luquet, 1985).

➤ Perméat de lactosérum

Ce perméat peut être considéré comme étant le sous produit résultant de la fabrication de concentrés protéiques de sérum par ultrafiltration. Sa composition est comparable à celle du lactosérum, exception faite pour les protéines (Chagnon, 1997) comme le montre la figure 1 le perméat d'ultrafiltration, caractérisé par une haute teneur en lactose et en sels minéraux, peut être valorisé après déminéralisation (Bourgogne, 2001).

➤ Lactosérum écrémé

Obtenu par l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication du beurre à partir du lait nature. Après écrémage de ce dernier suivi d'une extraction de la caséine par précipitation (Laplanche, 2004).

Les principaux procédés d'obtention du lactosérum sont résumés dans la figure 1

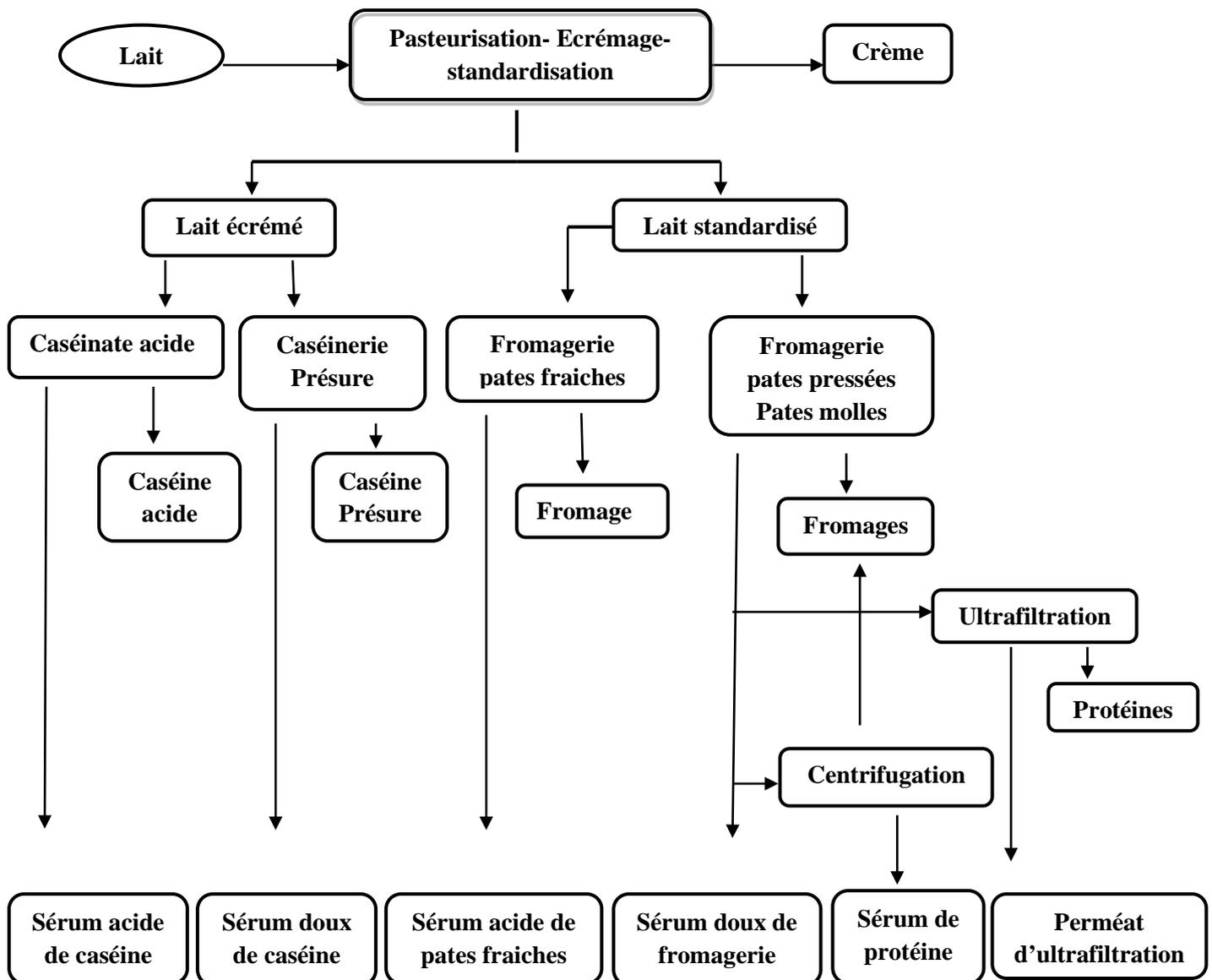


Figure 1. Schéma technologique d'obtention des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait (Luquet, 1990).

3. Composition et valeur nutritionnelle du lactosérum

3.1. Composition du lactosérum

Selon le procédé de coagulation et la composition initiale du lait (donc la saison, la race des animaux, le type d'alimentation, etc.), la composition du lactosérum peut varier sensiblement selon la composition du lait et la technologie fromagère (Bergel et al., 2004).

Le tableau ci-dessous présente la composition des différents types de lactosérum :

Tableau I : composition des différents types de lactosérum (Sottiez, 1985).

	Lactosérum doux		Lactosérum acide		
	Pâte pressée cuite (Emmental)	Pâte pressée non cuite (Edam)	Pâte fraîche	Caséine	Camembert
Teneur en eau (%)	93,5	95	94	94	93,5
Extrait sec (%)	6,5	5	6	6	6,5
pH	6,7	6,5	6	4,6	6,1
Composition g/l					
Lactose	76	75	65,5	74	75
Protéines	13,5	13,5	12	12	12
Cendres	8	8	9	12	8,25
Acide lactique	1,8	2,8	10	1,8	2,2
Matière grasse	1	1	0,5	0,5	1
Matière minérale					
Ca en %	0,6	0,65	1,9	1,8	0,7
P en %	0,6	0,65	1,5	1,5	0,7
Chlorure (NaCl) %	2,5	2,5	2,5	7,5	2,5

La composition vitaminique du lactosérum se caractérise par une quantité importante de riboflavine (B2), ce qui donne la couleur jaune verdâtre du lactosérum, d'acide pantothénique (B5), de thiamine (B1), de pyridoxine (B6) et l'acide ascorbique (**Tableau II**) (**Woo, 2002**).

Tableau II : teneur en vitamine du lactosérum (**Linden et Lorient, 1994**).

Vitamines	Concentrations (mg/ml)
Thiamine (B1)	0.38
Riboflavine (B2)	1.2
Acide nicotinique (B3)	0.85
Acide pantothénique (B5)	3.4
Pyridoxine (B6)	0.42
Coba lamine (B12)	0.03
Acide ascorbique (C)	2.2

3.2. La valeur nutritionnelle du lactosérum

La valeur nutritionnelle et les propriétés fonctionnelles du lactosérum sont liées au lactose et aux protéines (**Lupin, 1998**).

- **Protéines** Les protéines du lactosérum ont une meilleure valeur nutritive que les caséines, du fait qu'elles constituent une source équilibrée en acides aminés indispensables notamment en lysine, acide aminés soufrés et en tryptophane tandis que la caséine présente un léger déficit en ces acides aminés (**Linden et Lorient, 1994**). D'après **Sottiez (1985)**, les protéines du lactosérum ont des propriétés fonctionnelles très intéressantes :
 - Pouvoir émulsifiant en présence de matière grasse ;
 - Pouvoir gélifiant par coagulation à la chaleur ;
 - Pouvoir moussant.

- **Lactose** : Le lactose est le principal constituant du lactosérum de fromagerie (**Luquet, 1990**) c'est un disaccharide, composé d'une molécule de glucose et une autre de galactose comme il représente des propriétés très intéressantes :
- c'est un constituant essentiel des cérébrosides composant les tissus nerveux (**Gerard et Debry, 2001**) ;
 - Il contribue à stabiliser le pH intestinal d'où une meilleur utilisation digestive du calcium et du phosphore ; cette stabilité du pH évite l'installation de flores putrifiantes (**Sottiez, 1990**) ;
 - Il représente un intérêt diététique fondamental puis qu'il représente la seule source d'hydrate de carbone de tous les mammifères y compris l'homme (**Sottiez, 1985 ; Lupin, 1998**) ;
 - C'est un facteur favorable aux réactions de caramélisation et réaction de Maillard, ainsi qu'il est un très bon support d'arôme et un bon substrat de culture pour les ferments de maturation (**Sottiez, 1985**).

4. Le pouvoir polluant du lactosérum

Pendant longtemps, le lactosérum a constitué un effluent de l'industrie fromagère avec une moyenne de 900 litres de lactosérum régénérées pour la production de 100 kg de fromages. Par sa composition riche en matière organique, son rejet dans l'environnement constitue une source de pollution à cause de sa demande biochimique en oxygène qui est très élevée (**Cheryan, 1998**). Le lactosérum contient encore environ 50 g/l de matière organique facilement biodégradable, constituée de sucres et de protéines et un litre de petit-lait correspond pratiquement à la charge polluante rejetée par un habitant (un équivalent-habitant ou EH = 60 g/l). En d'autres termes, la transformation de 1000 kg de lait en fromage produit une charge polluante équivalente à celle d'une commune d'environ 750 habitants (**Laplanche, 2004**).

Pour remédier à ce problème, différentes technologies et procédés comme le montre la figure 2 ont été développés afin de diminuer l'impact environnemental de la gestion du lactosérum en produisant des sous-produits à valeur ajoutée (**Venetsaneas et al., 2009 ; Alves et al., 2014**).

5. Différents domaine de valorisation du lactosérum

L'objectif de la valorisation du lactosérum est basé sur sa transformation en produits à plus haute valeur économique.

Le lactosérum non modifié est communément utilisé pour l'alimentation du bétail et la production de boissons (**Spreer, 1998**). Etant donné que la fraction principale des solides est le lactose, les protéines solubles, les vitamines et les minéraux, divers procédés biotechnologiques, physiques et chimiques ont été appliqués pour produire des produits de valeur industrielle (**Prazeres et al., 2012**).

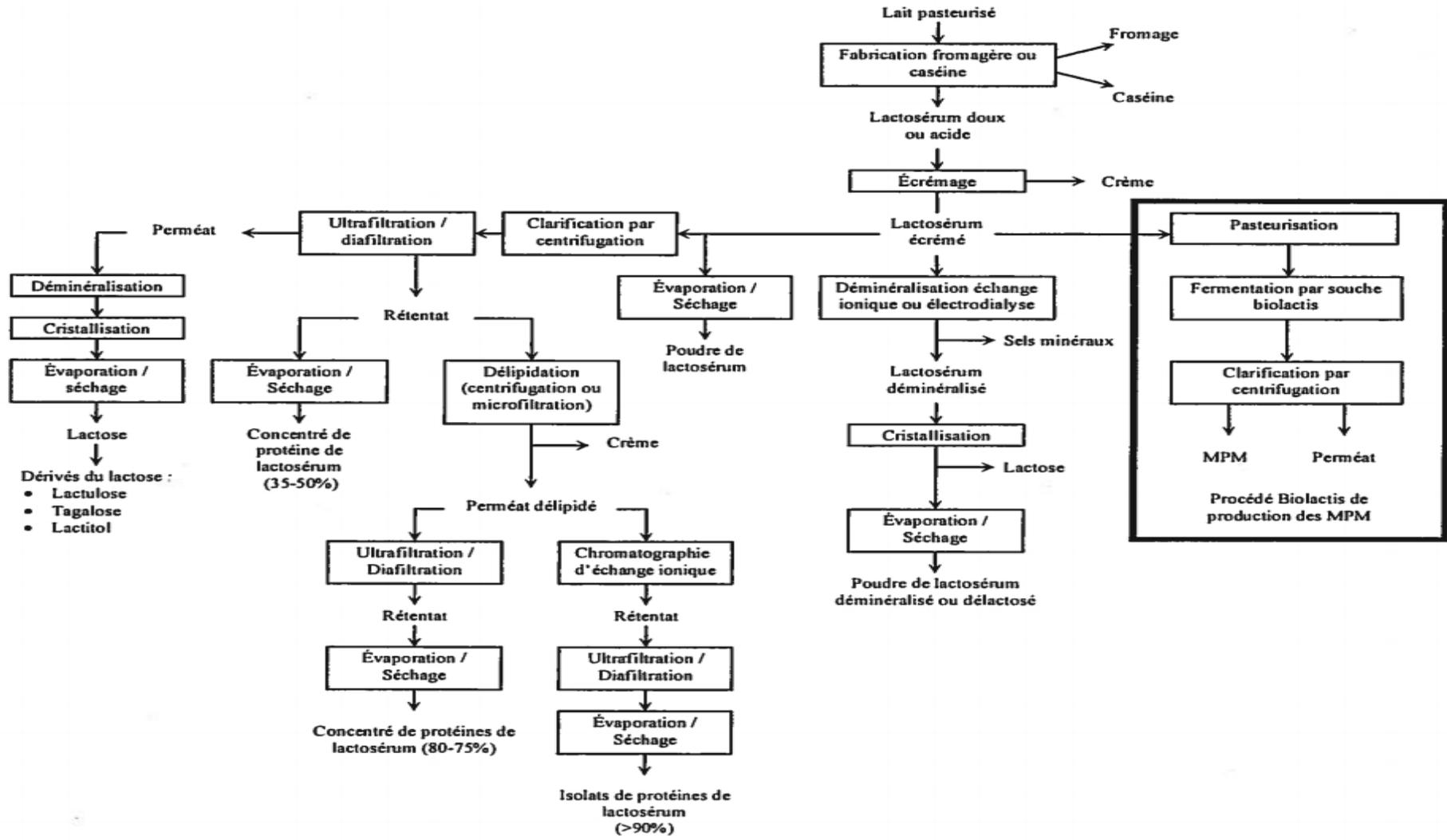


Figure 2 : procédés et traitements utilisés pour la valorisation du lactosérum et de ses sous-produits. Adapté de Paquin, 2004.

Tableau III : Les domaines d'utilisation du lactosérum

Alimentation animale	Le veau	L'ultra filtrat du lactosérum à l'état liquide est bien toléré par le veau après sevrage. Il peut remplacer la totalité de l'eau de boisson, et apporter jusqu'à 30-35% de la matière ingérée chez les animaux pesant 100 à 110 kg (Luquet et Boudier, 1984)
Alimentation humaine	Industrie de boisson	Les boissons à base de lactosérum, ont une grande valeur diététique, digestion facile et rapide. Elles sont légères, désaltérantes, et très agréables à boire (Nelson et Coll, 1978)
	Industrie laitière	La poudre de lactosérum acide peut remplacer la poudre de lait écrémé à des taux précis pour la fabrication des yaourts, sans atteinte à la qualité ni à l'arôme de ces derniers (Luquet et Boudier, 1984)
	Dans la confiserie	Le lactosérum a d'importantes utilisations dans la fabrication de certains bonbons, et il se trouve le moins coûteux des produits laitiers utilisables du fait de son importante teneur en eau (Vrignaud, 1983)
	En boulangerie	La combinaison du lactose avec les matières azotées (réaction de Maillard) donne des complexes stables (contre le rancissement). Amélioration du goût et l'arôme du pain ; Amélioration des caractéristiques internes et externes : affinage de la coloration ; pâte plus tendre et augmentation du rendement (APIA, 1980)
	Dans les glaces et crèmes glacées	La poudre de lactosérum doux peut remplacer jusqu'à 25% de la quantité du lait écrémé. Le lactosérum acide peut remplacer une partie du sucre pour la fabrication des sorbets de bonne qualité (APIA, 1973)
Biotechnologie	Substrat de fermentation	Vu sa composition le lactosérum est choisi comme un milieu de culture pour les microorganismes (levure), qui dégradent le lactose (Anonyme 1, 2002)
	Production des vitamines et des enzymes	<i>Propionibacterium shermanii</i> : qui produit la vitamine B12 <i>Saccharomyces fragilis</i> : qui permet la production du lactose (bêta galactosidase) (Luquet et Boudier, 1984)
	Production de biogaz et biohydrogène	L'H ₂ peut également être obtenu par fermentation anaérobie du lactosérum (Venetsaneas et al., 2009 ; Carrillo-Reyes et al., 2014). La méthanisation permet d'éliminer la pollution organique tout en consommant peu d'énergie et en générant une énergie renouvelable: le biogaz ou CH ₄ (Pescuma et al., 2015).
	Production d'acide lactique	près de 90% de l'acide lactique produit dans le monde provient de la fermentation des saccharides par des bactéries lactiques (<i>Lactobacillus</i>). Ces bactéries peuvent utiliser du lactosérum et ensuite hydrolyser le lactose afin de produire du glucose et du galactose (Pescuma et al., 2015).
	Production d'alcools	La production d'alcools à partir du lactosérum a été très étudiée dans le monde dû à la haute teneur en carbohydrates disponible présente dans ce résidu fromager. Le lactose est fermenté en utilisant des conditions de levure et de microorganismes (Koushki et al., 2012 ; Hadiyanto et al., 2014). <i>Ethanol</i> : <i>Kluyveromyces fragilis</i> , <i>Kluyveromyces marxianus</i> et <i>Candida kefir</i> , <i>S. cerevisiae</i> , <i>E. coli</i> (Ozmihci et Kargi, 2008 ; Akbas et al., 2014; Diniz et al., 2014; Hadiyanto et al., 2014 ; Ryan et Walsh, 2016). <i>Butanol</i> : <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Bacillus polymyxa</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> et <i>Corynebacterium glutamicum</i> , ainsi que par plusieurs espèces de levures (Garg et Jain, 1995; Nielsen et al., Yoon, Yuan, et Prather, 2010).

1. Historique

Il est admis que les fromages ont été produits pour la première fois accidentellement lors du transport de lait dans des outres d'estomacs de mammifères.

Il s'agissait en effet, d'une pratique courante dans les temps anciens, en Europe de l'Est et en Asie de l'Ouest, pour transporter le lait, qui a permis le fondement de la technologie fromagère moderne (**Abi Azar, 2007**). D'ailleurs des traces des moules pour de fromages, datant de 5000 ans av. J.-C., ont été découverts sur les rives du lac Neuchâtel (en suisse) ce qui témoigne que l'homme connaissait depuis longtemps le phénomène de coagulation du lait (**Gelais et al., 2002 ; Katz et Weaver, 2003**)

2. Définition du fromage

Les fromages sont des formes de conservation et de stockage ancestrales de la matière utile de lait dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont très appréciées (**Jeantet et al., 2007**).

Selon **CODEX STAN 283-1973**, la dénomination « fromage » est réservée au 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, et qui est obtenu soit par coagulation complète ou partielle des protéines du lait, du lait écrémé, du lait partiellement écrémé, de la crème, de la crème de lactosérum ou du babeurre, seuls ou en combinaison, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation ; et/ou par l'emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation des protéines du lait et/ou des produits provenant du lait, de façon à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques similaires à celles du produit défini.

3. Classification des fromages

Les fromages peuvent être classés sur la base de la présence ou l'absence de l'étape de l'affinage mais aussi selon la rhéologie et l'aspect de la pâte

3.1. Fromages à pâte fraîche

Selon *Codex alimentarius*, le fromage frais ou non affiné est un fromage qui est prêt à la consommation peu de temps après sa fabrication (**CODEX STAN 283-1978**). Ce fromage se

caractérisé par l'absence d'affinage après les étapes d'égouttage et de moulage, fabriqué à partir de lait ou de crème propre à la consommation humaine. Ils résultent de la coagulation à prédominance lactique du lait, combinant souvent l'action des ferments lactiques et celle de la présure (**Luquet et Corrieu 2005**).

La pâte fraîche est de couleur blanche et de texture molle, a un goût frais (**Veisseyre, 1979**), qui peut être assaisonné de légumes, de fruits ou d'épices.

Sa teneur en MG est supérieure à 20 g ou au plus égale à 20 g pour 100 g de fromage, après complète dessiccation (**GEM RCN, 2009**).

3.2.Fromages à pâte pressée :

Désignent une série de fromages très variés dans leur composition, format et leur aspect extérieur. Ils sont obtenus par coagulation chimique (coagulation par l'action des enzymes 'la présure').

Leurs temps de prise est court et la phase de durcissement est réduite pour éviter la déminéralisation du gel, ensuite il y'a l'étape du pressage qui vient pour assurer le compactage des grains et l'évacuation du lactosérum intergranulaire (**Evette, 1975**).

Les pâtes pressées se divisent en deux familles qui sont :

3.2.1. Fromages à pâte pressée non cuite (demie ferme)

Ce sont des fromages dont le mélange caillé-sérum peut être chauffé, mais à une température inférieure à 50°C et dont le caillé est pressé après soutirage-moulage (**GEM RCN, 2009**).

Ils subissent une période d'affinage assez longue dans une atmosphère fraîche et très humide, les fromages à pâte demi-ferme, ont une consistance dense et une pâte de couleur jaune pâle. Ils contiennent entre 40 et 60 % d'humidité (**Anonyme2, 1999**).

La grande majorité des membres de cette famille ont un taux de matière grasse de 45%. (**GEM RCN, 2009**).

3.2.2. Fromages à pâte pressée cuite

Ce sont les fromages dont le caillé a subi un chauffage supérieur ou égal à 50°C au moment de son tranchage, lorsqu'il est thermisé (**Majdi, 2009**).

Ils ont une teneur minimale en MG/EST respectivement de 45% pour le Comté et l'Emmental, de 47% pour le Gruyère, et de 48% pour le Beaufort (**GEM RCN, 2009**).

3.3.Fromages à pâte molle

Ce sont des fromages à coagulation mixte équilibrée qui conduit à un coagulum mixte par une acidification importante et une longue élimination du lactosérum pour une forte destruction du gel et une moindre cohésion de la pâte (**Eck et Gillis, 1997**).

Ils ont une texture généralement crémeuse et onctueuse avec une légère élasticité dans la pâte. Se divisent en deux (2) catégories :

3.3.1. Fromages à pâte molle à croûte fleurie

Il se caractérise par une croûte blanche à dorée recouverte d'un duvet de moisissures blanc et feutré appelé fleur qui se développe pendant l'affinage ce qui leur donne le nom « croûte fleurie ». Cet aspect duveteux de la croûte est dû à la présence du champignon *penicillium candidum* qui peut être pulvérisé à la surface des fromages en début d'affinage (**Evette, 1975**).

3.3.2. Fromages à pâte molle à croûte lavée

le principe de fabrication d'une pâte molle à croûte lavée est semblable à celui des pâtes molles à croûte fleurie, sauf que le caillé est coupé plus ou moins finement avant d'être mis en moule, ce qui facilite l'écoulement du petit lait.

Puis vient l'affinage dont le fromage est retourné régulièrement puis brossé ou lavé à plusieurs reprises à l'aide d'une saumure sur une période qui s'étend sur deux à quatre mois (**Anonyme 2, 1999**).

La plupart des pâtes molles à croûte lavée sont des fromages dont la teneur en matière grasse est importante, rarement inférieure à 45% sur extrait sec (**GEM RCN, 2009**).

3.4.Fromages à pâte molle à croûte persillée

Les fromages à pâte persillée sont plus communément appelés « bleus » à cause des veines bleuâtres ou verdâtres qui sillonnent la pâte.

Leur fabrication est semblable à celle des pâtes molles ou demi-fermes non cuites, sauf sur un point important : on incorpore au lait caillé un champignon (le *penicillium glaucum roqueforti* ou le *penicillium candidum*) pour permettre le développement de moisissures dans la pâte. L'affinage, qui dure plusieurs mois, se fait en milieu humide. Afin de faciliter la circulation

de l'air dans la pâte et de favoriser le développement des veines de moisissures, on transperce les meules avec de longues aiguilles (**Eck et Gillis, 2006**).

3.5.Fromages à pâte filée

Les fromages à pâte filée sont des fromages typiques d'origine italienne, traditionnellement fabriqués avec du lait d'hiver, conférant à la pâte une couleur blanche recherchée. Ils peuvent être fabriqués avec du lait de vache, de brebis ou de chèvre mais aussi du lait de bufflonne pour la mozzarella.

Ils présentent de grandes similarités avec la fabrication de pâtes pressées (**Le Jaouen, 1993**):

Coagulation : ils sont obtenus à partir d'un caillé résultant d'un lait très emprésuré en amenant des protéases coagulantes et des lipases pré-gastriques qui facilitent le développement de saveurs piquantes (**Le Jaouen, 1993**).

Egouttage : le caillé est ensuite découpé en lamelles lesquelles sont immergées dans de l'eau ou du lactosérum chaud (de 70 à 80 °C) pendant 10 à 20 min. Après fusion, la masse est malaxée, étirée, lissée soit manuellement soit mécaniquement. Elle est ensuite conditionnée sous diverses formes : balle, cylindre, disque (**Le Jaouen, 1993**).

Salage: les fromages sont enfin plongés dans l'eau froide pour durcissement puis salés en saumure (**Le Jaouen, 1993**).

3.6.Fromage à pâte fondue

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

Le produit obtenu est homogène, stable et se conserve parfaitement dans le temps (**Eck et Gillis, 2006**).

Il présente une teneur minimale en matière sèche de 40 g pour 100 g de produit fini, et une teneur minimale en matière grasse de 40 g pour 100 g de produit après complète dessiccation (**GEM RCN, 2009**).

Ce sont les **fromages** fabriqués par les entreprises laitières sous des marques privées.

4. Composition du fromage

Le fromage est très riche de part sa composition en protéines, eau, lipides, acides gras, vitamines et en minéraux.

Le tableau IV illustre la composition moyenne des différents types de fromage.

Tableau IV : Composition moyenne des principaux fromages pour 100 g (Eck et Gillis, 2006)

Constituants	Fromage frais	Fromage à pâte molle	Fromage fondu
Eau (g)	80	50	48
Glucides (g)	4	4	2.5
Lipides (g)	7.5	24	22
Protéines (g)	8.5	20	18
Calcium (mg)	100	400	680
Sodium (mg)	40	700	1650
Vitamine A (2/3 mg)	170	1010	1200

➤ Eau

La teneur en eau détermine dans une large mesure la consistance, la conservation, l'aspect et indirectement le goût du fromage (Eck et Gillis, 1997).

➤ Matière grasse

La teneur en matière grasse portée sur l'emballage du produit fini ou le panneau lorsque le fromage est vendu en vrac, correspond à la quantité de matière grasse contenue dans 100g d'extrait sec, c'est-à-dire sur ce qui reste du fromage après déshydratation complète (Luquet, 1990)

Les lipides conditionnent l'onctuosité de la pâte du fromage. Au cours de la maturation se produit, sous l'influence de lipases microbienne, une lipolyse limitée avec formation d'acides gras libres qui va de 0,25% de la matière grasse dans le camembert frais à 6,4% dans le camembert très affiné. Certains de ces acides gras sont volatiles et interviennent dans la formation de l'arôme. Les lipides du lait (triglycérides, phosphoglycérides, sphingosides) se

trouvent dans le fromage sous forme émulsionnée, ce qui les rend plus digestibles (**Eck et Gillis, 2006**).

➤ **Protéines**

Selon leur mode de fabrication, les fromages contiennent de 10 à 30 % de protéines (**Renane et Saadi, 2010**). Ils s'inscrivent ainsi parmi les meilleures sources alimentaires de protéines ayant une digestibilité élevée. Lors de l'affinage, une partie importante se trouve dégradée et solubilisée en oligopeptides et acides aminés sous l'influence d'enzymes, différentes selon la microflore. Outre sa teneur élevée en protéines, la haute valeur biologique de fromage lui est conférée par sa composition en peptides et en acides aminés, intéressante sur le plan nutritionnel (**López-Expósito et al., 2012**).

➤ **Glucides**

La teneur en glucides des fromages blancs est de 3 à 4%, celle des fromages affinés et fondus est négligeables (2%), et elle est quasiment nulle dans les fromages à pâte pressée.

Le lactose a été entraîné lors de l'égouttage dans le lactosérum ou a été transformé par la flore lactique lors du caillage ou de l'affinage.

L'acide lactique construit, a une saveur rafraîchissante dans les fromages frais. Les acides volatils formés lors de la transformation du lactose par la microflore, tels que les acides acétiques, propénoïques, cétones ... sont sapides et odorantes (**Luquet, 1990**).

➤ **Les minéraux**

Sodium : Les fromages ont subi l'adjonction de chlorure de sodium et/ou autres sels de sodium. De ce fait, l'augmentation de leur consommation constatée ces quinze dernières années a concouru au fort apport sodique de l'alimentation, pouvant intensifier les troubles cardio-vasculaires (**Luquet, 1990**).

Voici la teneur en sodium pour 100g de fromage (**Luquet, 1990**) :

Fromage blanc : 30 à 40 mg, mais le demi - sel : 1100mg.

Fromage affiné : 800mg en moyenne.

Fromage à pâte molle, à croûte moisie et à croûte lavée : 900mg valeur moyenne acceptable.

Fromage à pâte demi-dure : 1000 mg valeurs moyennes acceptables.

Fromage fondu : 1500mg en moyenne.

Calcium et phosphore : Dans la majorité des fromages, le rapport calcium / phosphore, reste à peu près à la même approximation dans la majorité des fromages mesuré à 1,4 dans le lait, sauf dans les fromages à caillage lactique, à égouttage lent où il est de 1.2 (**Luquet, 1990**). Mais le phosphore restant plus lié aux matières organiques. Dans les fromages fondus dans lesquels des polyphosphates ont été ajoutés, il est compris entre 0.5 et 1. La teneur en magnésium est de 10 à 50 mg pour 100g en rapport avec la concentration en matières sèche (**Luquet, 1990**).

Oligoéléments : le lait a une teneur faible en oligoéléments. Les oligoéléments se concentrent avec la matière sèche.

Tableau V : Teneurs en oligoéléments du fromage (mg/100g de produit) (**Luquet, 1990**).

Fer	Cuivre	Zinc
0.1-1	<0.1-0.6	0.5-4

➤ **Vitamines :**

Les vitamines liposolubles A, D, E et K des fromages sont en fonction de la teneur en matière grasse des laits utilisés comme matières premières, de l'adjonction de crème et de la concentration en matière sèche réalisée lors de l'égouttage.

Les teneurs en vitamines E restent faibles ; sauf la vitamine B12 qui augmente avec la concentration en matière sèche, les vitamines hydrosolubles sont en partie éliminées avec le lactosérum, la plupart des fromages sont peu intéressants comme sources d'apport en vitamines C et B. Cependant, certaines vitamines du groupe B sont synthétisées par les moisissures .Les fromages à moisissures internes contiennent alors une quantité quatre fois supérieur à celle du lait en vitamines B2, PP, B6.

Lors de l'affinage, les minéraux et vitamines migrent vers la croûte du fromage : il est donc conseillé de consommer le maximum de fromage servi, tout en sachant que la croûte est la partie la plus contaminée des fromages par la flore microbienne (**Luquet, 1990**).

5. Valeur nutritionnelle

Les fromages sont des produits précieux d'une grande valeur nutritionnelle et de haute qualité gustative, ils sont très riches en éléments nutritifs, et jouent un rôle important dans l'alimentation humaine, en effet, sa composition le rend intéressant pour tous les groupes d'âge.

- ✓ Le calcium joue un rôle clé dans la santé osseuse, plus particulièrement pendant l'enfance et l'adolescence ou la croissance structurale s'accompagne d'une minéralisation accrue de l'os néoformé (**Esterle, 2010**), en prévenant le risque d'ostéoporose ainsi que la régulation de l'activité plaquettaire, et empêche la décomposition dentaire (**Eck et Gillis, 2006**).
- ✓ Le fromage est riche en protéines de haute valeur nutritionnelle, la matière grasse, le calcium, le phosphore et vitamines qui maintiennent des muscles et des os et qui sont indispensables pour un métabolisme équilibré.
- ✓ Il a été démontré que certains peptides issus de l'hydrolyse de protéines laitières peuvent réduire le taux de cholestérol sérique, contribuant ainsi à la réduction du risque des maladies cardiovasculaires (**Nagaoka et al., 1999**).
- ✓ Les hydrolysats de protéines laitières (caséines, protéines sériques) ont un effet sur le système immunitaire en augmentant l'activité des cellules immunitaires, la prolifération des lymphocytes, la synthèse d'anticorps et la régulation des cytokines.

1. Historique

C'est à la fin du 19^{ème} siècle que s'est développée la production industrielle du fromage, en Europe occidentale, en Amérique du nord et en Australie à partir de cette époque le fromage devient une source importante de protéine pour satisfaire les besoins alimentaires mondiaux **(Eck et Gillis, 2006)**.

Or à cette époque, dans les pays chauds éloignés des zones de productions, l'exploration du fromage était difficile du fait de la courte durée de conservation. Cependant, les premiers essais de fonte, ont permis d'obtenir un fromage de longue conservation et c'était en Allemagne en 1890 à partir de fromages à pâte molle **(Richonnet, 2016)**. La technique de fonte a ensuite été perfectionnée par des industriels allemands et hollandais qui résolurent en partie ce problème en enfermant du fromage à pâte demi dure et molle dans des boîtes soumises à un traitement de pasteurisation.

Mais ce procédé s'est avéré inutilisable pour les fromages à pâte dure, car il provoque des ruptures de la structure du fromage, accompagné de l'exsudation de l'eau et de la matière grasse **(Eck et Gillis, 2006)**.

En 1911, deux industriels suisses, Walter Gerber et Fritz Stetter ont réussi la première fabrication du fromage fondu. La Société GERBER a utilisé du citrate de sodium et d'emmental ; c'est ainsi que la paternité de la fabrication industrielle du fromage fondu leurs a été attribuée à Thun (canton de Berne) **(Berger, 1988)**.

En 1917, des américains utilisent une solution d'un mélange de citrates et ortho phosphates qui facilite la fonte du cheddar et permettra un développement important du fromage fondu aux USA. En 1930, un très grand progrès fut obtenu grâce à l'utilisation de poly phosphates de sodium linéaires. Ces poly phosphates permettent de fondre efficacement des fromages à pâte pressée cuite. Ceci est à l'origine du développement important du fromage fondu.

Simultanément, les frères GRAF créèrent à Dole la première usine de fabrication de fromage fondu en Europe.

Actuellement le fromage fondu est fabriqué dans le monde entier, dans environ la moitié aux USA. Au sein de l'union européenne, 70 établissements produisent selon des techniques ultra

modernes, 500 000 tonnes de fromage fondu. La France prends sa part assure près de un quart (¼) cette production européenne, soit 100 000 tonnes. Elle exporte environ 50% vers 150 pays dont des destinations lointaines comme le moyen orient, l’Afrique et l’Asie (**Eck et Gillis, 2006**).

2. Définition du fromage fondu

Selon Codex Alimentarius, les fromages fondus sont des produits laitiers obtenus à partir de fromage, avec ou sans ajout d’autres matières premières et d’ingrédients autorisés, par fonte et émulsification du mélange, sous l’action de la chaleur et par utilisation de sel émulsifiants (ou de fonte) dans un mélange homogène, pour produire une émulsion homogène, lisse et stable de type huile-dans-eau (**CODEX STAN 283-1978**).

Les fromages fondus portant un ou des noms des variétés sont des fromages fondu, tel que défini précédemment, caractérisé par l’utilisation en cours des fabrications d’une ou de plusieurs variétés de fromages figurants dans leur nom (**Commission du Codex Alimentarius, 2015**).

3. Classification des fromages fondus

Les fromages fondus peuvent être classés selon leur teneur en matière grasse ou selon leur forme :

3.1. classification selon la matière grasse

Selon la teneur en matière grasse de l’extrait sec (MG/ES), les fromages fondus peuvent se diviser en sept catégories, présentées dans le tableau suivant (**DFI, 2009**).

Tableau VI: Classification des fromages fondus (DFI, 2009).

Catégorie selon la Teneur en MG	Teneur minimale MG/ES en g/kg	Fromage fondu ES minimal en g/kg	Fromage fondu à tartiner ES minimal en g/kg
Double crème	650	530	450
Crème	550	500	450
Gras	450	500	400
Trois-quart gras	350	450	400
Demi-gras	250	400	300
Quart-gras	150	400	300
Maigre	Moins de 150	400	300

3.2. Classification selon la forme

Ces produits issus de la fonte de fromages peuvent être aussi regroupés en cinq familles classées ici selon la forme par ordre chronologique d'apparition sur le marché mondial (**Boutonnier, 2000**) ;

- **Fromage fondu type « bloc »**

C'est le plus ancien des fromages fondus. L'extrait sec totale est relativement élevé dans le rapport MG/ES. Il a une consistance ferme et une bonne élasticité. Le coulage s'effectue sous forme de blocs de poids différents, mais aussi de plus en plus sous forme de tranche (**Anonyme 3, 1989**).

- **Fromage fondu à couper**

Moins ferme que le bloc, il n'est pas pour autant tartinable. Il contient 3% à 4% de moins de matière sèche que le précédent, ce qui le rend plus 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 sur les machines classiques (**Boutonnier, 2000**).

- **Fromage fondu tartinable**

Ce type de fromage nécessite un crémage important par rapport au fromage fondu en bloc, c'est le processus de crémage qui permet en partie de régler la consistance du produit fini et de lui conférer une certaine tartinabilité ceci a permis d'augmenter de 10% la teneur en eau et d'obtenir un produit à consistance comparable à celle du beurre. De plus l'extrait sec relativement faible et la teneur élevée en matière grasse permettent des fontes relativement faciles.

Ces produits peuvent être aromatisés et conditionnés en emballages souples (portions) ou rigides (pots, parquettes, tubes) (**Anonyme 3, 1989 ; Boutonnier, 2000**).

- **Fromage fondu pour la refonte**

Originaire d'Amérique du Nord, il se présente généralement sous forme de tranche adaptées à une utilisation dans les cheeseburgers. Ce produit doit fondre 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.

Ils peuvent être produits à partir de fromages fondus de type «bloc», mais aussi après coulage dans un film plastique, suivi d'un refroidissement rapide, d'une préparation fromagère fondue dont la texture est obtenue, entre autres, par la gélification d'un hydro colloïde (carraghénanes en général) (**Boutonnier, 2000 ; Roustel, 2014**).

- **Fromage fondu thermostable (résistant à la chaleur)**

Issu d'une demande extrême-orientale, à l'inverse du précédent, ce fromage fondu ne doit pas fondre lorsqu'on le soumet à une nouvelle source de chaleur. Ce fromage subit un crémage très poussé et ne change pas de goût et de valeur nutritionnelle après la cuisson (**Anonyme 3, 1989 ; Boutonnier, 2000**).

Les blocs obtenus sont découpés puis incorporés généralement dans des plats asiatiques. Ces préparations peuvent être appertisées, et les cubes de fromage fondu doivent rester intacts après la stérilisation (**Oliveira et al., 2016; Richonnet, 2016**).

4. Matières premières

4.1. Matières premières laitières

- **Les fromages naturels**

Le fromage fondu et la spécialité fromagère sont les produits laitiers dans lesquels le fromage est l'ingrédient laitier majoritairement utilisé comme matière première (**C.C.A. 2004**). Une sélection adaptée des fromages naturels est primordiale pour la fabrication d'un fromage fondu de qualité (**Chambre et Daurelles, 1997**).

Le choix des fromages utilisés se fait entre le Cheddar, l'Emmental, le Gruyère, Mozzarella et d'autres fromages à pâte pressée en se basant sur le type, la flaveur, la maturité, la consistance, la texture et l'acidité (**Chambre et Daurelles, 1997 ; USDA, 2007**).

les critères qui dirigent les choix industriels sont avant tout d'ordre économique (coût et disponibilité) et technique (aptitude à la fonte, rendement et régularité de la qualité). Ce sont les fromages matières premières de type présure suffisamment marqués, où le pH après affinage est relativement bas et où la matière protéique n'est pas trop dégradée, qui sont le

plus aisés a fondre. Cependant le fromage le mieux adapté à toutes ces exigences est le cheddar. (**Boutonnier, 2000**).

- Cheddar

Le cheddar, d'origine anglaise, est le fromage le plus fabriqué dans le monde. Il est surtout produit dans les pays anglo-saxons tels que la Grande-Bretagne, l'Australie, les USA, la Nouvelle- Zélande, le Canada, l'Irlande. Il est souvent consommé dans les préparations culinaires mais peut aussi être apprécié a table lorsqu'il a plusieurs mois d'affinage (**Gassi et al., 2002**). C'est un fromage à pâte demie dure et de bonne conservation, sa couleur naturelle varie du blanc au jaune pâle. La teneur en humidité ne peut dépasser 39 % et la teneur en gras ne peut être inférieure à 31 % (**CODEX STAN 283-1978**).

Autres matières premières laitières

En outre des fromages, d'autres matières premières laitières sont utilisées pour la fabrication du fromage fondu à savoir : les poudres de lait (26% et 0%), lactosérum, lactose, les caséines-caséinates, protéines de sérum, crème, beurre et matière grasse laitière anhydre (**Fox et al., 2000**).

4.2.Matières premières non laitières

- **Préfonte**

Il s'agit de fromage déjà fondu qui résulte de la récupération de la pâte contenue dans différents endroits du circuit du produit dans l'atelier en fin de production et notamment au niveau du conditionnement. En pratique lorsqu'elle était refondue, la préfonte se comporte sur le plan de la chimie des colloïdes comme un fromage fondu ayant été exposé depuis un certain temps aux phénomènes chimiques, physiques et mécaniques du processus de fonte. Ainsi, la préfonte transmet fortement ce processus physicochimique de modification de la structure au fromage fraîchement fondu auquel elle est ajoutée (**Berger et al., 1993**).

Son rôle régulateur du processus de fonte se justifie surtout dans le cas de fabrication de produits tartinables avec des taux d'incorporation de 2 à 10 % en masse selon les caractéristiques recherchées surtout en traitements UHT (**Patart, 1987**).

- **Sels de fonte**

L'une des manières les plus efficaces de maîtriser les propriétés du fromage fondu est d'utiliser des sels émulsifiants. Les sels de fonte sont des agents chélatants du calcium qui possèdent, en plus du pouvoir péptisant, un pouvoir émulsifiant de la matière grasse et favorisent la rétention de l'eau ; de ce fait ils affectent les propriétés chimiques, physiques et microbiologiques du fromage fondu (**Dantas Cavalcante, 1995**). Cependant leur absence entraîne, après arrêt du brassage, la séparation de caséine (**Luquet, 1990**).

Les sels de fonte utilisés dans la fabrication du fromage fondu sont essentiellement les sels de sodium, de l'acide phosphorique et l'acide citrique (**Eck et Gillis, 2006**).

- **L'eau de process**

Elle intervient comme matière première, l'un des paramètres physico-chimiques jouant un rôle déterminant dans la fabrication de tous les produits alimentaires. L'humidité des fromages est généralement faible à cause de l'ajout des poudres. Par conséquent, l'eau va solubiliser et disperser les protéines et émulsionner par conséquent la matière grasse. Cette eau doit être exempte (ou de teneur faible) de micro-organismes et de contaminants chimiques, tel que le nitrate (**German, 1976**).

Elle peut être apportée sous forme liquide en une ou plusieurs fois à différents moments de la fabrication mais toujours froide afin d'assurer une quantité d'eau de condensation constante lors du chauffage. Dans le cas des traitements thermiques de type stérilisation UHT, cette eau est injectée sous forme de vapeur dans une plage de 120 à 140 °C et sous une pression de 2.105 à 4.105 Pa. Cette vapeur doit être filtrée avant injection de manière à être débarrassée des additifs apportés par le traitement des eaux de chaudière et des contaminants récupérés lors de sa distribution (**Boutonnier, 2000**).

- **Additifs alimentaires**

Ce sont des agents de sapidité, colorants, agent de texture, conservateurs... etc.

Utilisés de manière limitée, selon le type de fromage fondu (**Tableau VIII**) (**Boutonnier, 2000**).

Tableau VII : exemples d’additifs alimentaires utilisés dans la fabrication du fromage fondu (Commission du Codex Alimentarius, 2015).

Nom de l’additif	Exemples	Limite maximale
Colorants	Riboflavines	300 mg/kg
	Extrait de paprika	40 mg/kg
Sels émulsifiants	Lactate de sodium	BPF
	Citrates de potassium	BPF
Régulateurs de l’acidité	Carbonate de calcium	BPF
	Acide lactique	BPF
Agents de conservation	Acide sorbique	2000 mg/kg
	Nisine	12.5 mg/kg
Antiagglomérants	Cellulose en poudre	BPF
	Talc	10 g/kg
Emulsifiants	Lécithines	BPF
	Esters de saccharose d'acides gras	10000 mg/kg
Stabilisants	Agar-agar	BPF
	Alginate de sodium	BPF

5. Valeur nutritionnelle

Lors de la fabrication du fromage fondu, les proportions entre les différentes matières premières à utiliser doivent répondre à une composition biochimique spécifique dans le produit fini. Le fromage fondu comporte toutes les caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui le composent. Il apporte à l’organisme tous les éléments énergétiques et bâtisseurs nécessaires à son fonctionnement (lipides, glucides, protéines, minéraux, vitamines...Etc.), la composition biochimique du fromage fondu varie selon le rapport MG/MS (**Tableau VIII**)(Meyer, 1973).

Tableau VIII : Composition du fromage fondu (Meyer, 1973).

Composants	Composition par 100 g de fromage fondu	
	45 % MG dans ES	60 % MG dans ES
Eau	51,3 %	50,6 %
Matière grasse	23,6 %	30,4 %
Protéines	14,4 %	13,2 %
Sodium	1,26 mg	1,01 mg
Potassium	65,0 mg	108 mg
Calcium	547,0 mg	355,0 mg
Phosphore	944,0 mg	795,0 mg
Vitamine A	0,30 mg	/
Vitamine D	3,13 µg	/
Vitamine B1	34,0 µg	/
Vitamine B2	0,38 mg	/
Vitamine B6	70,0 µg	80,0 µg
Biotine	3,60 µg	2,80 µg
Acidefolique	3,46 µg	3,40 µg
Vitamine B12	0,25 µg	0,25 µg
Vitamine C	Traces	Traces
Valeur énergétique (KJ/Kcal)	1178/282	1490/339

6. Processus de fabrication du fromage fondu pasteurisé

Les principales étapes que comprend la fabrication du fromage fondu sont représentées dans la figure qui suit (Figure 3)

- **écroutage (Nettoyage de la surface des fromages), découpage et broyage des fromages**

L'écroutage se fait par raclage ou broyage mais des techniques nouvelles apparaissent telles que les jets d'eau chaude sous pression par exemple. Le broyage est une étape importante du traitement de matières premières, car il est indispensable de dissoudre les fromages pour

obtenir un fromage fondu homogène. Dans certains cas la matière première peut même être laminée pour être transformée en très fines brisures (Eck et Gillis, 2006)

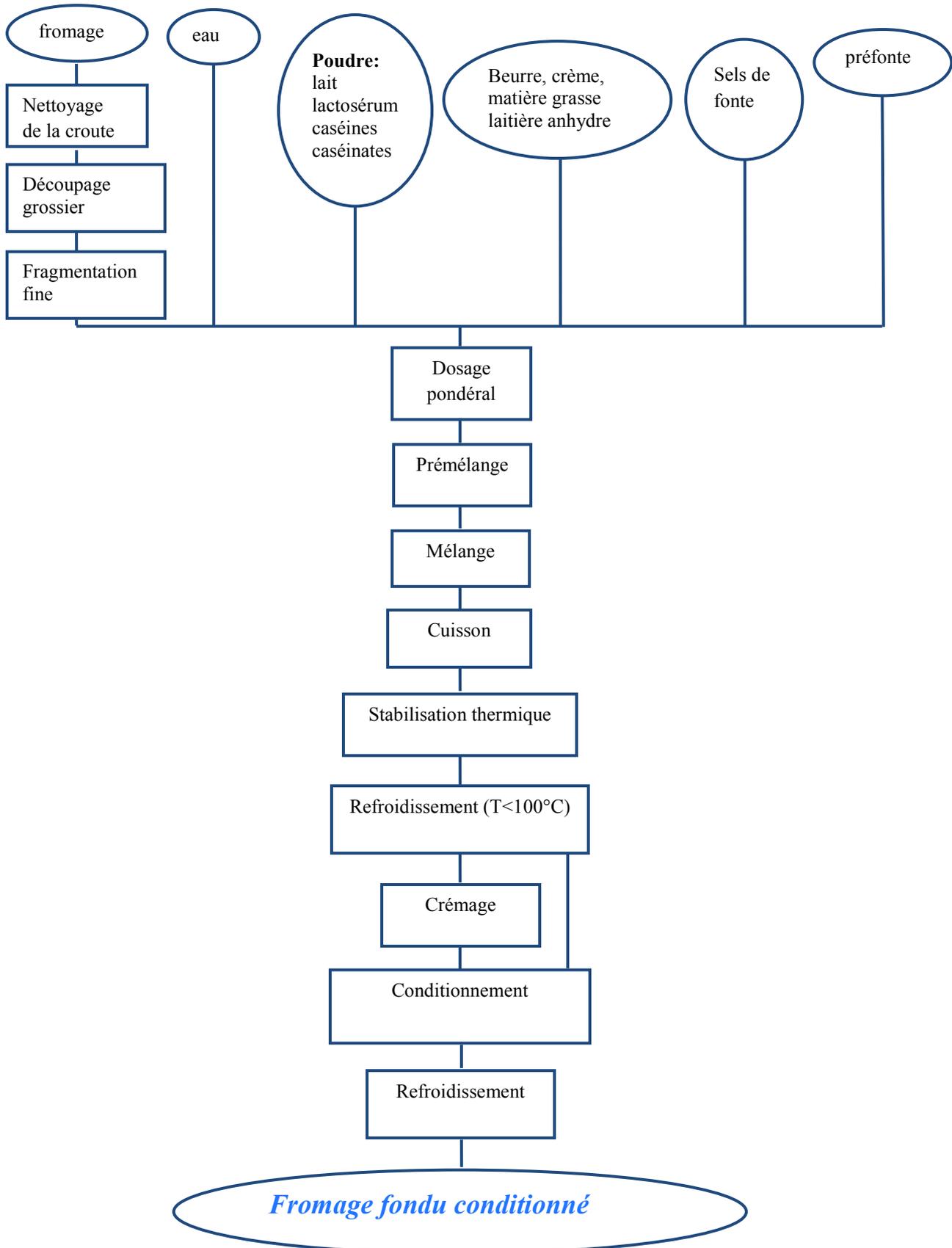


Figure 3: Diagramme de fabrication du fromage fondu (Boutonnier, 2000)

- **Pesage et mélange des ingrédients**

Une fois le broyage est terminés, les différents lots de fromage sont pesés et mis dans des grandes machines «cuiseurs» avec les autres ingrédients préalablement pesés avec exactitude. Les sels de fonte sont pesés soit a l'état sec, soit sous forme de solution (**Anonyme 3, 1989**).

- **Cuisson et traitement thermique du mélange**

C'est l'opération clef du fromage fondu. Cette opération consiste en deux étapes qui se déroulent simultanément et qui sont : pasteurisation et cuisson (**Luquet, 1985**).

- **Pasteurisation**

Inventée par Louis Pasteur en 1865, la pasteurisation servait a l'origine a empêché la fermentation au niveau du lait. Cette technique, limite la prolifération microbienne sans la détruire entièrement (**Luquet, 1985**). Elle consiste à cuire les ingrédients avec utilisation de vapeur dans les pétrins pour une simple pasteurisation 90 – 95 °C pendant 10 minutes (**Fox et al., 2000**). Les traitements thermiques sont généralement suffisants pour éliminer toutes formes végétatives (**Warburton et al., 1986**).

- **Cuisson**

Cette étape est importante dans le processus de fabrication du fromage fondu. Le mélange est introduit dans les cuiseurs, ou il subit une cuisson et brassage simultané, la cuisson est réalisée grâce a l'injection directe de vapeur sous vide pendant 5 à 10 minutes.

La température de mélange atteint une valeur de 85°C à 90°C (**Luquet, 1985**).

On constate trois phénomènes physico-chimiques :

- ✓ Péptisation
- ✓ Hydratation
- ✓ Crémage

- ✓ **La phase de péptisation (déstructuration de la masse protéique initiale)**

Après avoir broyé finement les matières premières fromagères et des mises en contact avec l'eau et les sels de fonte on assiste au démarrage de l'étape de déstructuration.

Les protéines émulsifiantes de la matière grasse dans les fromages naturels sont stabilisées par le pont calcique. Les sels de fonte chélatants le calcium sont lié aux protéines et transforment ainsi le paracaséinate de calcium insoluble en paracaséinate de sodium soluble (**Lee et al.,**

1979). Après l'échange du calcium contre du sodium, les chaînes peptidiques sont en partie déroulées et dissociées ; c'est le stade de péptisation ou déstructuration du gel existant (Schäffer *et al.*, 2001).

✓ **Hydratation**

Le processus d'hydratation ou de « gonflement » aboutit à une édification de la consistance, c'est à ce moment-là qu'a lieu la phase de « crémage » (Luquet et Beerens, 1987).

✓ **Le « crémage » - la phase de restructuration**

Le crémage nécessite des températures entre 70 et 90°C, cette dernière étant considérée comme la température optimale du crémage. Cette étape est l'opération clef au cours de laquelle le fromage acquiert sa consistance. De plus, elle assure la destruction thermique des microorganismes et des enzymes.

Le crémage ou hydratation de la protéine est obtenu par l'action associée de l'agitation, du traitement thermique, et par l'action dispersante des sels de fonte. L'association de ces trois facteurs fait apparaître des zones hydrophiles à la surface de la caséine, qui facilitent la liaison des molécules d'eau, ce qui se traduit par un épaississement de la pâte fondue fondu (Dantas Cavalcante, 1995).

• **Conditionnement du fromage fondu**

Dans les premiers temps le transport de la pâte chaude du fromage est assuré manuellement dans des seaux. Actuellement et pour éviter une contamination au cours du conditionnement, le transfert du fromage se fait de plus en plus par des tuyauteries en acier inoxydable alimentant des couleuses (Luquet, 1986), donc transporté jusqu'au poste de conditionnement et vidé dans les trémies d'alimentation des conditionneuses. Ces dernières sont généralement entièrement automatiques.

En règle générale, le fromage fondu est conditionné à chaud, à la température de fonte.

• **Refroidissement**

Ce refroidissement peut se faire par circulation des produits sur des tapis à l'air ambiant mais les meilleurs résultats sont obtenus dans des tunnels de refroidissement (Eck et Gillis, 1997). Le mode de refroidissement du fromage fondu varie selon le format et le type de produit. Le fromage fondu conditionné à chaud doit être refroidi rapidement dans des chambres froides à

4°C afin d'éviter les risques de brunissement enzymatique de la pâte. Cette vitesse de refroidissement varie avec la taille du produit et son système d'emballage (Luquet, 1990). mais sans trop de brutalité pour éviter la condensation d'eau qui pourrait se produire à l'extérieur des emballages (AFNOR, 1986).

- **L'étiquetage**

Cette étape est nécessaire, elle vient directement après l'étape de refroidissement. Selon (Luquet, 1986 ; Commission du Codex Alimentarius, 1999), plusieurs notions doivent être mentionnées sur l'étiquetage :

- nom du produit
- pays d'origine.
- La teneur en matière grasse dans l'extrait sec.
- liste des ingrédients.
- Le nom et l'adresse du fabricant, de l'emballage, du distributeur, de l'exportateur ou du vendeur de produit doivent être déclarés.
- La date de fabrication et de péremption du produit.
- La température de conservation (entre 10 et 15°C).

- **Stockage du produit**

Les produits finis mis en carton sont stockés dans des entrepôts dont la température se situe autour de 10 à 15°C et la durée de conservation peut être estimée entre 6 à 12 mois si les conditions optimales au cours de différentes étapes de fabrication sont bien respectées. A des températures de stockage comprises entre 30 et 35°C, une contamination par les moisissures, les levures et *Clostridium botulinum* pourra survenir ce qui peut mener à une sécrétion des toxines (Eckner *et al.*, 1994; Eck et Gillis, 2006).

Présentation de l'entreprise d'accueil

La S.A.R.L « Pâturage d'Algérie», est une société à responsabilité limitée dirigée par Mr OUNNNOUGHENE et sa famille.

Créée en 1998, portant le nom de « LA MONTAGNARDE » elle était originalement implantée à 1200m d'altitude, en Kabylie (Ain El Hammam). En 2002 et suite à un incendie qui l'a touché, cette dernière s'est installée dans la zone industrielle de la périphérie sud-ouest de la ville de Tizi Ouzou (Chef lieu de Wilaya), où elle a pris le nom de « Pâturages d'Algérie ».

« Pâturages d'Algérie » est une entreprise agro-alimentaire issue de la filière du lait. Elle produit de grandes variétés de produits, plus de 20 produits, répartis en laits (pasteurisé, fermenté), fromages à pâte molle ou à pâte pressée et fromages de fonte.

Elle comporte un effectif de salariés au nombre de 300, et couvre une production de : 120 000 l/j de lait, 5 t/j de pâte pressée, 6 t/j de fromage fondu et 3 t/j de camembert. La figure 9 représente l'organigramme de la structure de l'entreprise.

L'entreprise offre une gamme de produits variés qui sont :

Lait pasteurisé et stérilisé, lait fermenté (Raib et L'ben), beurre, fromage frais, fromage à pâte molle (Camembert), fromage fondu (en portion, en barre, en pot), fromage à pâte pressée (Gouda, Edam), cherbet, yaourt à boire.

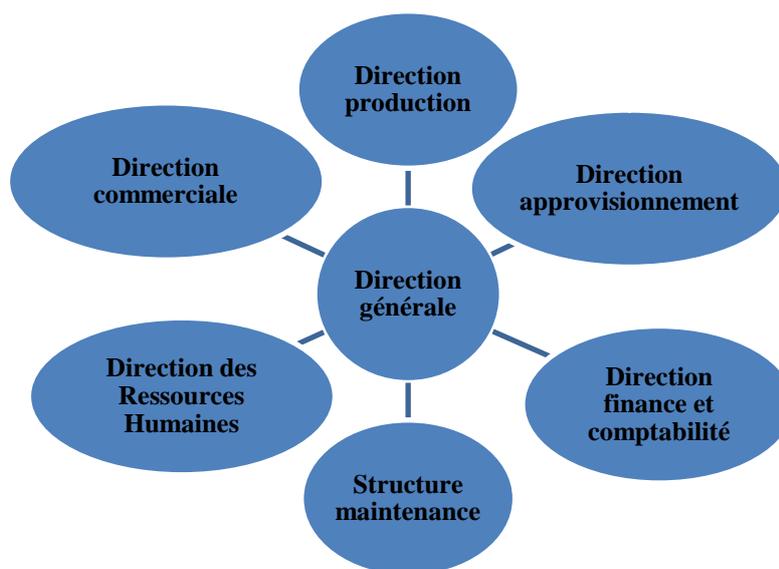


Figure 4: organigramme simplifié de la structure de l'entreprise

L'objectif de cette étude consiste à valoriser le lactosérum brut dans la fabrication d'un fromage fondu en remplaçant l'eau par le lactosérum doux, tout en gardant les mêmes caractéristiques physico-chimiques du fromage à savoir la teneur de MG/MS caractéristique du fromage de référence. Cela est réalisé grâce à un model mathématique sur Excel. Cette incorporation de lactosérum dans le produit fini pourrait être une solution pour diminuer la pollution due au lactosérum d'une part, et de faire des économies en terme d'amortissement du coût de revient du produit fini qui intéresserai les industriels algériens d'autre part.

Matériel

➤ **Produits et réactifs :**

- Acide sulfurique
- Alcool iso-amylque
- Acide hydrochlorique HCl
- Bleu de bromophénole
- Phénolphtaléine
- Soude NaOH (1N)
- Eau oxygénée
- Téliurite de Potassium.

➤ **Appareillage :**

- pH mètre
- Dessiccateur infra rouge
- Centrifugeuse de paillasse
- Balance de précision
- Agitateur magnétique ;
- Agitateur de tube (Vortex)
- MilkoScan
- Torche à flamme
- Bain marie
- Etuves
- Autoclave
- Bec Bunsen.
- Thermo-lactodensimètre.
- Eprouvette.

- Burette

➤ **Milieux de culture :**

- Gélose Baird Parker
- Rappaport Vassiliadis
- Sélénite-Cystéiné
- Gélose Hektoen
- Bouillon Fraser ½
- Bouillon Fraser
- VRBG
- ECC

Méthode

1. Modèle de simulation de la valorisation du lactosérum

1.1. Principe du calcul en mode Excel

La modélisation en mode Excel se base sur la quantification des teneurs en matières premières utiles (Cheddar, beure, lactosérum et la poudre de lait) qui doivent être apportées de façon à garder le même rapport MG/MS dans le produit de référence (fromage fondu à base d'eau). L'incorporation du lactosérum doit aussi garder le rapport MG/MS du produit fini identique à celui obtenu dans le produit à base de l'eau.

Ces quantités sont calculées sur la base des pourcentages en matière sèche (% EST) élémentaire de chaque ingrédient dans la formule à base d'eau. Ces pourcentages doivent être maintenus dans la recette qui complètera l'apport élémentaire (EST, MG, humidité) apportées par le lactosérum. Sur la base des différents % EST élémentaires, leurs équivalents massiques seront déterminés pour la réalisation du fromage fondu à base du lactosérum.

1.2. Model mathématique adopté

1.2.1. Détermination des quantités des matières premières à utiliser dans la formule-lactosérum

L'équation n° 1 adoptée dans cette étude est basée sur la recette standard du fromage fondu présenté dans le tableau suivant

Tableau IX : Quantités des matières premières de la recette de base.

Ingrédients (kg)	Quantités (kg)
Poudre de lait 26%	4,5
Poudre de lait 0%	3
Cheddar	10
Beurre	6,5
Eau	10
Sels de fonte	0,82
Sel de table	0,13
Ail et fines herbes	0,1
Total (kg)	35,05

$$B = A * D / C \quad \text{---} \rightarrow \textcircled{1}$$

A et *B* les quantités (Kg) de la matière première dans la recette standard et optimisée, respectivement ;

C et *D* les teneurs (Kg) de matières sèches (MS), dans les recettes standards et optimisées, respectivement.

1.2.2. Etude technico-commerciale

L'étude techno-commerciale consiste à évaluer les coûts de revient annuel en matières premières dans les deux recettes. Cela permet de déterminer le gain que va apporter l'intégration du lactosérum dans la formulation de base, en se basant sur l'équation n°2. L'amortissement du coût de production de fromage fondu au lactosérum, est déduit en soustrayant les prix de revient des recettes du fromage standard et le fromage au lactosérum.

$$F = E * H / G \quad \text{-----} \rightarrow \textcircled{2}$$

E et *F* les prix (Da) de la matière première dans la recette standard et optimisée, respectivement ;

G et **H** les teneurs (Kg) de la matière première, dans les recettes standards et optimisées, respectivement.

1.2.3. Estimation de l'effet environnemental de la valorisation du lactosérum

L'effet positif de cette valorisation sur l'environnement est estimé par la détermination des quantités annuelles des lactosérums qui peuvent être directement récupérées et incorporées dans le produit fini, au lieu d'être rejetées dans les eaux résiduaires. Cette valorisation de lactosérum va nous permettre d'apprécier la réduction de la pollution en se référant à son équivalent de pollution apportée par habitant. Mais aussi par la quantification des substrats utiles (MG, protéine, lactose) qui peuvent être récupérés et réutilisés dans divers domaines.

➤ **Détermination de la quantité de lactosérum annuelle générée par l'entreprise**

En prenant en considération le rendement fromager (R.F 10%) du Cheddar ; les quantités annuelles du lactosérum générées pour la production annuelle de fromage de cheddar se calculent selon l'équation n°3.

$$QL An (Kg) = 90 * QFCAn/10 \quad \text{---} \quad \textcircled{3}$$

QL An (Kg) : quantité du lactosérum annuelle

QFCAn : quantité du fromage cheddar annuelle

➤ **Estimation de l'équivalent en pollution humaine**

La multiplication de *QL An* par son équivalent en pollution humaine, qui est de 60 g /l de lactosérum, va permettre d'apprécier et de quantifier l'effet positif de cette étude sur le plan environnemental.

➤ **Estimation des teneurs en matières utiles dans le lactosérum**

Les teneurs en matières utiles (MS, MG, lactose et protéines) du lactosérum régénérées annuellement pour chaque élément, se calcule en multipliant leurs quantités dans un kilogramme de lactosérum fois la quantité annuelle en lactosérum (*QL An*).

2. Diagramme de fabrication des fromages fondus épicés

Le fromage fondu épicé a été fabriqué selon deux formules, l'une à base de l'eau de process (standard) et l'autre à base de lactosérum durant la période du 07 au 14 /09/2020 au niveau de la fromagerie S.A.R.L Pâturages d'Algérie. Selon le diagramme représenté dans la figure 5.

3. Plan d'échantillonnage et condition de transport des échantillons

L'échantillonnage a été effectué dans l'atelier de fabrication du fromage juste avant les pesées des matières premières utilisées, et en quantités suffisantes pour les analyses physico-chimiques et microbiologiques. Les prélèvements ainsi effectués sont immédiatement transportés et analysés au laboratoire de l'industrie.

3.1.Echantillonnage du cheddar, de la poudre de lait, du beurre et sels de fonte

Le prélèvement du cheddar, de la poudre de lait et du beurre se fait dans des conditions aseptiques et de manière aléatoire, selon les étapes suivantes :

- Désinfecter la surface au niveau de la zone de prélèvement avec une torche à flamme
- Prélever à l'aide d'une louche stérile dans un flacon stérile une quantité suffisante de poudre et à l'aide d'un couteau stérile couper des tranches de cheddar et de beurre.

3.2.Echantillonnage de l'eau de process

Le prélèvement de l'eau de process est fait comme suit :

- Laisser couler un certain volume d'eau.
- Prendre une quantité suffisante.

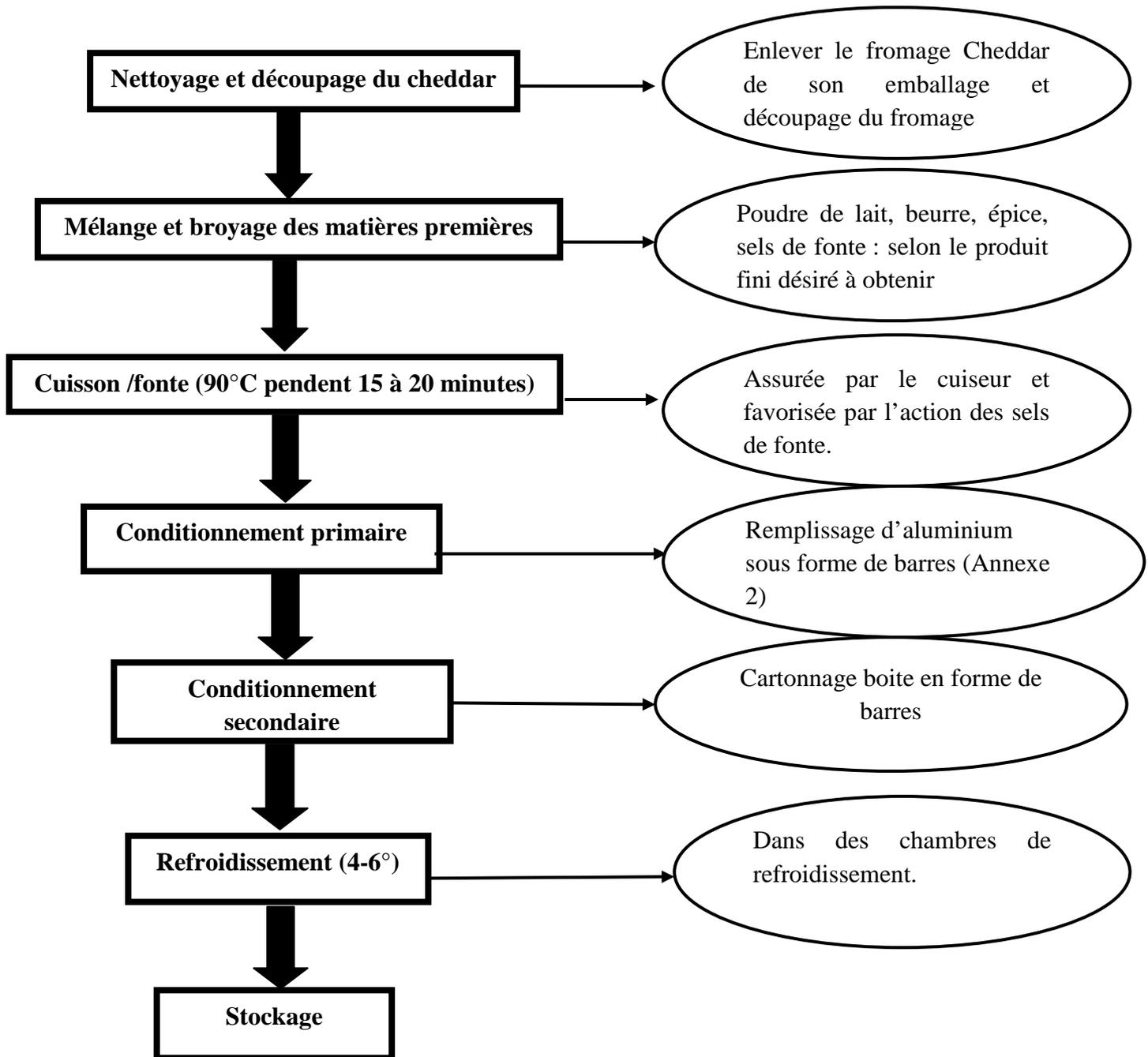


Figure 5 : Diagramme de fabrication du fromage fondu épicé au niveau de l'usine Pâturages d'Algérie

4. Analyses physico-chimiques et microbiologiques

Les analyses physico-chimiques et microbiologiques des matières premières et produits finis utilisés, sont citées dans le tableau suivant :

Tableau X : tableau regroupant les analyses physico-chimiques et microbiologiques des matières premières et produits finis utilisés

Echantillons		Cheddar	Beurre	Poudre de lait	Eau	Sel de fonte	Lactosérum	Produit fini avec lactosérum	Produit fini avec eau
Analyses physicochimiques	pH	X	X	X	X	X	X	X	X
	Densité						X		
	EST	X	X	X			X	X	X
	H	X	X	X			X	X	X
	MG	X	X	X			X	X	X
	MG/EST	X	X	X			X	X	X
	AT			X			X		
	Protéines	X	X	X			X	X	X
	TA et TAC				X				
	TH				X				
	Analyses microbiologiques	<i>S. aureus</i>	X	X	X			X	X
<i>Salmonella</i>		X	X	X			X	X	X
<i>Listeria monocytogenes</i>		X	X					X	X
Entérobactéries			X	X			X		
<i>E. coli</i>		X						X	X

Légende : Extrait sec total(EST) ; Matière grasse(MG) ; Humidité(H) ; acidité titrable(AT) ; Titre alcalimétrique (TA) ; Titre alcalimétrique complet (TAC) ; Titre hydrométrique (TH) ; *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*); *Escherichia coli* (*E. coli*).

4.1. Analyses physicochimiques

4.1.1 Détermination du pH (AFNOR, 1986)

➤ Principe

La mesure du pH consiste la détermination de différence de potentiel existant entre deux électrodes immergées dans l'échantillon analysé à l'aide d'un pH mètre.

➤ Mode opératoire

Pour les produits solides (produit fini, cheddar et beurre)

- Etalonner le pH-mètre avec les solutions tampon
- Plonger les électrodes du pH-mètre dans l'échantillon
- Lire la valeur du pH affichée sur l'écran

Pour la poudre de lait et les sels de fonte

- Dissoudre une quantité de 10,3g de poudre de lait (ou 1g quand il s'agit des sels de fonte) dans 100 ml d'eau distillée et homogénéiser très bien.
- Plonger les électrodes du pH-mètre dans l'échantillon
- Lire la valeur du pH affichée sur l'écran

Pour les liquides (eau du processus et lactosérum)

Elle se fait par l'immersion de l'électrode du pH- mètre dans un bécher contenant un échantillon d'eau utilisé (ou lactosérum) dans la fabrication du fromage. La valeur du pH s'affiche directement sur l'écran.

4.1.2. Détermination de la densité et la température

➤ Principe :

La densité est déterminée au environ de 20 °C par un thermo-lactodensimètre. Cependant, si la température est supérieure ou égale à 25 °C, il faut appliquer un facteur de correction.

➤ Mode opératoire :

- Verser le lactosérum dans l'éprouvette tenue inclinée afin d'éviter la formation de mousse ou de bulles d'air.

- Remplir l'éprouvette jusqu'à un niveau tel que le volume restant soit inférieur à celui de la carène de thermo-lactodensimètre (il est commode de repérer ce niveau par un trait de jauge sur l'éprouvette).
- L'introduction de thermo-lactodensimètre dans l'éprouvette pleine de lactosérum provoque un débordement de liquide, ce débordement est nécessaire, il débarrasse la surface des traces de mousse qui gêneraient la lecture.
- Placer l'éprouvette ainsi remplie en position verticale, il est recommandé de la plonger dans le bain à 20 °C lorsque la température du laboratoire n'est pas comprise entre 18 et 22 °C.
- Plonger doucement le thermo-lactodensimètre dans le lactosérum en le maintenant dans l'axe de l'éprouvette en le retournant dans sa descente jusqu'au voisinage de sa position d'équilibre.

Equation de correction de la densité (D) :

$$D (20^{\circ}\text{C}) = T^{\circ}_{\text{lue}} - 20^{\circ}\text{C} * 0,2 + D_{\text{lue}}$$

4.1.3. Détermination de l'extrait sec total (EST) et humidité (H)

➤ Principe

La détermination de l'EST consiste à faire évaporer l'eau de l'échantillon à 102°C, la quantité de matière sèche restante après dessiccation totale par la technique d'infrarouge, constitue la matière sèche de l'échantillon (**Amarglios, 1986**).

➤ Mode opératoire

- Peser une quantité de l'échantillon (2g pour la poudre de lait et le beurre préalablement fondu dans un bain marie, 1,2 - 2,5 g pour le cheddar et 3g de lactosérum) sur une coupelle d'aluminium préalablement tarée.
- Régler le dessiccateur à 102° C.
- Fermer le couvercle.

- Après quelques minutes le résultat est directement affiché sur l'écran et exprimé en pourcentage de masse.

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

Et par conséquent, la teneur en eau est donnée par la formule suivante:

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

4.1.4. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode acido-butyromètre

➤ Principe

Le principe consiste d'abord en l'hydrolyse des protéines par un mélange d'alcool iso-amylque et d'acide sulfurique, puis une séparation de la matière grasse par centrifugation dans des butyromètres spécifiques pour chaque produit.

➤ Mode opératoire

Pour les produits solides (cheddar, beurre et produit fini)

- Peser une quantité d'échantillon (3g pour le cheddar et le fromage fondu et 5g pour le beurre) dans un godet adapté (fromage ou beurre)
- L'introduire dans la chambre du butyromètre adapté (**Van Gulik** pour les fromages et **Roeder** pour le beurre).
- Ajoute 10ml d'acide sulfurique par l'ouverture de la tige jusqu'à l'immersion de l'échantillon
- Boucher l'ouverture, et placer le butyromètre (le col en bas) dans un bain d'eau de température comprise entre 85°C et 90°C pendant 5 min.
- Agiter énergiquement pendant 10 secondes.
- Répéter l'opération de chauffage et agitation jusqu'à dissolution de tous les composants de l'échantillon sauf la matière grasse.
- Retirer le butyromètre du bain-marie et agiter puis on ajoute 1ml de l'alcool iso-amylque.

- Compléter par l'acide sulfurique (H_2SO_4) jusqu'à un volume de 35 ml de la graduation.
- Centrifuger pendant 5 min.

Pour la poudre de lait et le lactosérum

- Introduire dans un bécher 10,3g de poudre de lait avec 100ml l'eau distillée, le mélange est laissé au repos une heure puis on l'introduit dans un butyromètre à lait.
- Ajouter dans le butyromètre (**Gerber** pour la poudre de lait et le lactosérum), 10ml d'acide sulfurique et 1ml d'alcool iso amylique.
- A l'aide d'une pipette, ajoute 11ml d'échantillon (11ml de solution de poudre de lait préparée ou 11ml de lactosérum) et agiter le butyromètre avec précaution et on le met dans la centrifugeuse.
- Le résultat est lu directement sur le butyromètre.

4.1.5. Détermination de l'acidité titrable (AFNOR, 1986)

➤ **Principe**

Le principe est de mesurer la teneur en acide lactique par un titrage volumique avec une solution alcaline en présence d'un indicateur coloré.

➤ **Mode opératoire**

- Dans un bécher, mettre 10 ml de l'échantillon préparé (10,3g de poudre dans 100ml d'eau distillée) pour la poudre de lait.
- Ajouter 2 gouttes de phénophtaléine.
- Titrer avec la solution de NaOH (1N) jusqu'à l'apparition d'une coloration rose.
- Lire le volume du NaOH utilisé.

$$\text{AT (g/l)} = V * 10$$

Avec :

AT : acidité titrable

V: chute de la burette (en ml)

1°D= 0,1 g/l d'acide lactique

4.1.6. Détermination de la teneur en protéines (MilkoScan)

➤ Principe

La composition (protéines, de lactose, de matière grasse, etc...) du lait et des produits laitiers est déterminée par absorption en infrarouge à l'aide du MilkoScan, qui utilise le principe de mesure FTIR (Fourier Transformed Infrared Spectroscopy). Le principe de la spectroscopie infrarouge (IR) repose sur l'absorption de la lumière par la plupart des molécules dans la région de l'infrarouge du spectre électromagnétique et en convertissant cette absorption en vibration moléculaire. L'absorption correspond spécifiquement aux liaisons présentes dans la molécule. Avec un spectromètre, cette absorption du rayonnement infrarouge par le matériau de l'échantillon est mesurée en fonction de la longueur d'onde (sous la forme de nombres d'onde, typiquement de 2500 à 16667 nm).

➤ Mode opératoire

- Introduire une quantité de 10ml d'échantillon dans un bécher, le mettre dans son emplacement adapté puis l'appareil aspire un volume.
- Les résultats sont affichés directement sur l'écran d'un ordinateur relié à l'appareil en %.

4.1.7. Détermination des titres alcalimétriques TA et TAC (AFNOR, 1986)

❖ Titre alcalimétrique

➤ Principe

C'est une analyse qui permet de connaître l'alcalinité de l'eau par la mesure de la teneur en alcalins libres (OH^-), en alcalins caustiques et en carbonates (CO_3^{-2}). Il est déterminé par la neutralisation d'un certain volume d'eau par l'acide titrant (acide hydrochlorique) en présence de phénolphtaléine 1%.

➤ **Mode opératoire**

Introduire dans un bécher 5ml d'eau utilisé dans le processus et une goutte de phénolphtaléine à 1%.

Les résultats sont exprimés ainsi :

-le pH de solution < 8,3 : le TA est nul (la solution ne se colore pas en rose)

-le pH de solution >8,3 (la solution est colorée en rose) ; dans ce cas le TA est déterminé par l'addition d'acide hydrochlorique dans la solution jusqu'à sa décoloration. Le TA est exprimé par la relation suivante :

$$\text{TA (mg/l)} = V_1 * 300$$

Avec :

TA : titre alcalimétrique

V1 : le volume de HCl additionné pour le titrage.

❖ **Titre alcalimétrique complet TAC**

➤ **Principe**

Il permet de mesurer la teneur de l'eau en alcalins libres (OH⁻), en carbonates (CO₃⁻²) et en bicarbonates (HCO₃⁻²). Cette mesure est basée sur la neutralisation de l'eau par l'addition d'acide titrant (acide hydrochlorique) en présence de l'indicateur coloré bleu de bromophénole.

➤ **Mode opératoire**

- Introduire dans un bécher 5 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 1 goutte de bleu de bromophénole, puis de l'acide hydrochlorique jusqu'au changement de la couleur du bleu au jaune.

Le TAC est exprimé par la formule suivante :

$$\text{TAC (mg/l)} = V_2 * 300$$

Avec **V2** : le volume de HCl additionné pour le titrage.

4.1.8. Détermination du titre hydrométrique (AFNOR, 1986)

➤ **Principe**

La dureté de l'eau détermine la concentration en sels de calcium et magnésium exprimée par mg/l. Le titre hydrométrique est donné par la formule suivante :

$$\text{TH (mg)} = (\text{Ca}^{+2}) + (\text{Mg}^{+2})$$

➤ **Mode opératoire**

- Mettre dans un bécher 20ml de l'eau de process.
- Titrer la solution avec une solution du réactif test (**ORCHIDIS, code : OR/RD1908**), ou chaque goutte représente 1°F jusqu'au virage de couleur de rouge vineux au bleu franc.

Le titre hydrométrique est déterminé selon la formule suivante :

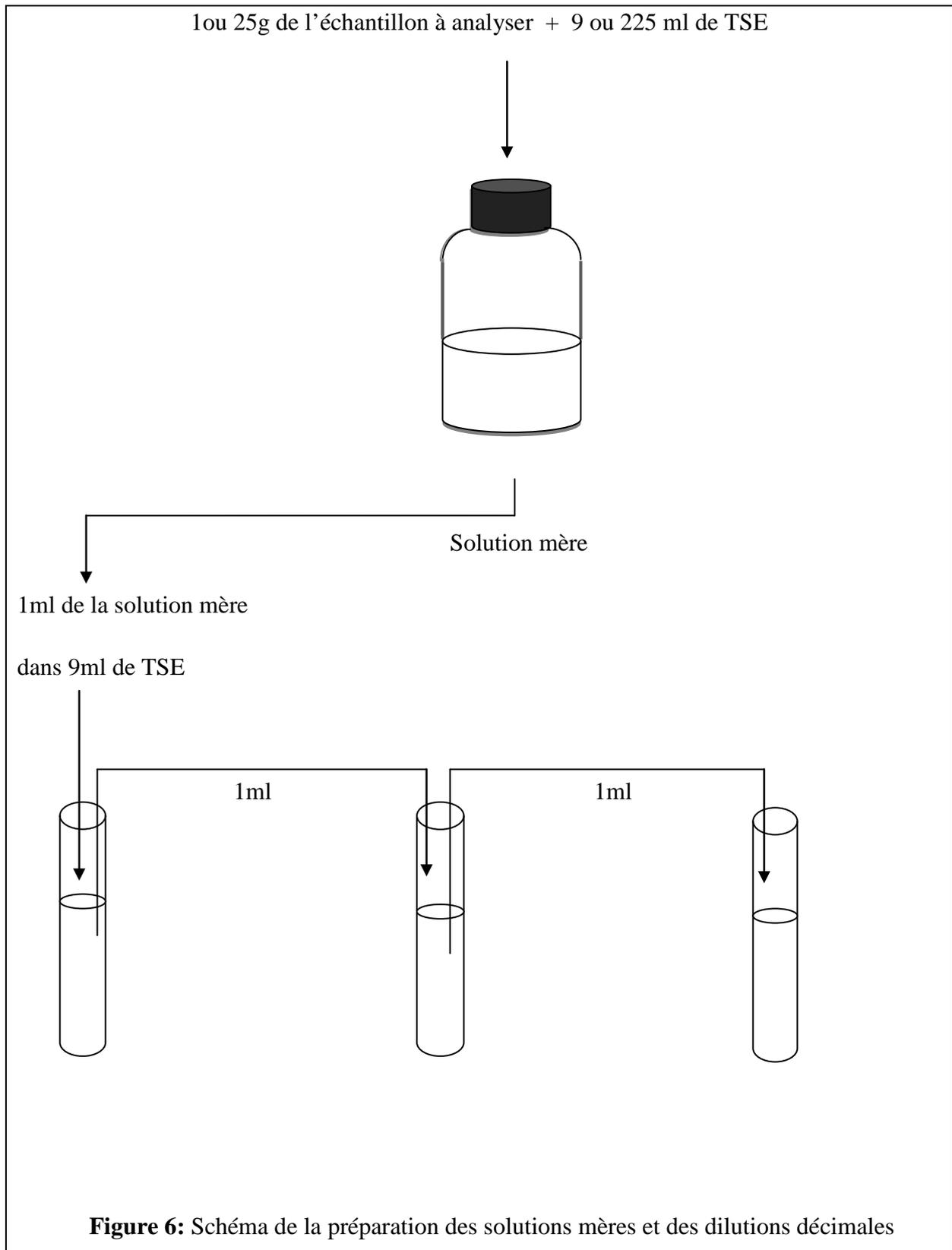
$$\text{TH (°F)} = n$$

n: nombre de gouttes utilisées pour le titrage.

4.2. Analyses microbiologiques

4.2.1. Préparations des solutions mères et des dilutions décimales (Bourgeois et leveau, 1991).

À partir des solutions mères des produits liquides ou solides, une série de dilutions décimales successives est réalisée (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) dans la TSE (Tryptone Sel Eau) comme le montre la figure 06.



4.2.2. Recherche et dénombrement des germes

- *Staphylococcus aureus*

Préparation du milieu

Au moment de l'emploi faire fondre un flacon contenant 225 ml de gélose Baird Parker, le refroidir ensuite dans un bain d'eau à 45°C, puis ajouter 15 ml d'une solution de jaune d'œuf au Tétrurite de potassium.

Mélanger soigneusement et aseptiquement, puis répartir le milieu en boîtes de Pétri à raison de 15 à 18 ml par boîte.

Laisser solidifier les boîtes sur pailleuse, puis les sécher en les plaçant retournées couvercle en bas (bord de la boîte sur le bord du couvercle) dans une étuve de séchage réglée entre 45 à 55°C.

Ensemencement

A partir des dilutions décimales, porter aseptiquement 0.1 ml de chaque dilution en surface puis étaler à l'aide d'un étaleur en commençant par les boîtes de plus forte dilution.

Incubation

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Lecture

Seront considérées comme positives, les boîtes contenant des colonies caractéristiques à savoir des colonies noires, brillantes, convexes entourées d'une zone de transparence qui peut être translucide (l'apparition d'un anneau d'éclaircissement est dû à l'hydrolyse des protéines du jaune d'œuf). Des zones opaques dues à l'activité lipolytique (lécithinase) peuvent apparaître plus tardivement (après 24 H) dans le halo clair.

- *Salmonella*

Ensemencement

Jour1 : Pré-enrichissement

Prélever 25 ml ou 25 gr de produit à analyser dans un flacon contenant 225 ml de TSE.

Homogénéiser et incubé à 37°C pendant 18 heures.

Jour2 : Enrichissement

L'enrichissement doit s'effectuer sur deux milieux sélectifs différents à partir du milieu de pré-enrichissement de la façon suivante :

- 0.1 ml pour le tube de 10 ml de Rapport Vassiliadis ;
- 10 ml pour le flacon de 100 ml de Sélénite-Cystéiné.

Cette opération doit être effectuée en double, une série est incubée à 37°C, l'autre à 42°C ; pendant 24 h.

Jour3 : Isolement

Chaque tube et chaque flacon fera l'objet d'un isolement sur le milieu gélosé Hektoen.

- Toutes les boites ainsiensemencées seront incubées à 37°C pendant 24h.

Jour4 : Lecture des boites et identification

Les salmonella se présentent de la façon suivante :

- colonies le plus souvent bleues-vertes à centre noir.

- *Listeria monocytogenes*

Enrichissement primaire en milieu sélectif liquide

Prise d'essai de 25 gr ou 25 ml d'échantillon dans le milieu sélectif Fraser (1/2). Incubation à 30°C pendant 18 à 24 h

Enrichissement secondaire

Après la période d'incubation procéder à l'enrichissement secondaire dans le milieu Fraser en tubes à raison de 0,1 ml de la solution obtenue de l'enrichissement primaire.

Lecture

Examiner le tube pour vérifier la présence de pellicule bleue en surface, qui indique la présence de *Listeria monocytogenes*.

- **Entérobactéries**

Dénombrement

Cette étape est réalisée par ensemencement de 1 ml de solution mère sur milieu VRBG, milieu sélectif solide. La dégradation du glucose se traduisant par un virage du rouge au rose de l'indicateur de pH.

Incubation

Incuber à 37°C pendant 24 heures.

Lecture

Seront considérées comme positives, les boîtes contenant des colonies caractéristiques à savoir des colonies roses-rouges.

- *Escherichia coli*

Ensemencement

A partir des dilutions décimales, porter aseptiquement 0.1 ml de chaque dilution réparti dans les boîtes contenant le milieu gélosé ECC, puis réaliser un étalement en commençant par les boîtes de plus forte dilution.

Incubation

Mettre à incuber à 37°C pendant 24 heures.

Lecture

Seront considérées comme positives, les boîtes contenant des colonies caractéristiques à savoir des colonies bleues.

5. Analyse sensorielle

- *Le principe*

L'analyse sensorielle a été effectuée par la méthode hédonique, en faisant appel à un panel non expérimenté. Le résultat de ce test exprime le degré d'appréciation de l'échantillon par attribution de chiffres (Stone et Sidel, 2004).

• *La réalisation de la dégustation*

Cette partie a été réalisée au niveau de la salle de dégustation de l'unité de Pâturages d'Algérie. L'essai a été effectué après 3 jours de stockage réfrigéré.

Le fromage à tartiner sur le pain (Figure 7) est présenté à un groupe de dégustateurs composé de 15 personnes âgées entre 21-58 ans, des deux sexes (hommes et femmes) de l'unité de pâturage d'Algérie. Afin de donner leurs appréciations, un questionnaire a été élaboré (voir l'annexe 4) en évaluant les différents critères (la couleur, l'odeur, le goût acide, l'épice, l'amertume, la texture en bouche et la description finale) de l'échantillon. A défaut de la non disponibilité du fromage à base d'eau, l'analyse sensorielle a été effectuée uniquement sur le fromage à base de lactosérum.



Figure 7 : présentation de l'échantillon et déroulement du test sensoriel

1. Résultats des analyses physicochimiques et microbiologiques des matières premières

1.1. Résultats des analyses physicochimiques

Les résultats des différents tests effectués sont comparés à des normes officielles **AFNOR 1986**.

Les résultats des analyses physico-chimiques des différentes matières premières sont représentés dans le tableau XI.

1.1.1. pH

Les valeurs du pH des différentes matières premières analysées répondent aux normes exigées par **AFNOR (1986)**

1.1.2. L'extrait sec total (EST) et humidité

L'extrait sec et l'humidité des échantillons analysés se situe parfaitement dans l'intervalle des normes, exception faite pour le cheddar qui a un extrait sec de 58.27% inférieur de 61% fixé comme seuil minimum et donc une humidité supérieur au seuil maximal, cela est peut être dû à plusieurs raisons, soit la réduction du temps d'affinage, ou bien la diminution de la température au cours de l'affinage mais aussi par le degré d'égouttage (égouttage non forcé).

1.1.3. La matière grasse

Toutes les matières premières analysées présentent des valeurs en parfaite concordance avec les normes **AFNOR (1986)** sauf pour le lactosérum qui présente une valeur inférieur de celle rapportée par **Sottiez (1985)**. La raison principale de la pauvreté du lactosérum en MG est probablement liée aux procédés de séparation du lactosérum, et aussi au fait que la quasi totalité de la MG du lait est retenue dans le caillé (**Fauquant et al., 1985**).

1.1.4. Le rapport MG/EST

La teneur en matière grasse dans l'extrait sec total des matières premières est satisfaisante, à part celui du lactosérum qui est supérieur à la valeur donnée par **Sottiez (1985)** par sa valeur de 7.77% et qui s'explique par la diminution du taux de la matière grasse et donc diminution du rapport MG/EST.

Tableau XI : Résultats des analyses physico-chimiques des matières premières.

	Cheddar		Poudre de lait			Beurre		Lactosérum		Eau de process		Sels de fonte	
	Echantillon	Normes AFNOR (1986)	26%	0%	Normes AFNOR (1986)	Echantillon	Normes AFNOR (1986)	Echantillon	Normes (Sottiez, 1985)	Echantillon	Normes AFNOR (1985)	Echantillon	Norme
pH	5,5	5,1-5,5	6,67	6,67	6,5-6,75	4,54	6 max	6,61	6,5-6,7	8,29	6,5-8,5	10,63	10,8
Densité	/	/	/	/	/	/	/	1,021	/	/	/	/	/
EST (%)	58,27	61-69%	97,7	96,86	≥96%	87,41	84% min	6,43	5-6,5%	/	/	/	/
H (%)	41,71	39% max	2,3	3,14	≤4	12,59	16% max	93,57	93,5- 95%	/	/	/	/
MG (%)	29	30-38%	26	/	0-30%	86	80% min	0,5	1%	/	/	/	/
MG/EST (%)	49,76	48-55%	26,6 1	0	0-30%	98,38	95% min	7,77	5-6,5%	/	/	/	/
AT (°D)	/	/	15	17	15-18 °D	/	/	13	>12 Woo, 2002)	/	/	/	/
Protéines %	25	25,5%	26	31,25	26-28% (P26) 34% min (P0)	0,85	0,9	0,9	1,2-1,35 %	/	/	/	/
TA (mg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	40 mg/l	/	/
TAC (mg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	237	<500 mg/l	/	/
TH(°F)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2	<60 °F	/	/

1.1.5. L'acidité titrable

L'acidité titrable seulement effectuée pour les deux types de poudres de lait et le lactosérum, est située dans l'intervalle des normes respectives.

1.1.6. Le taux de protéines

D'après les résultats obtenus, la teneur en protéines des différents échantillons répond aux normes. Dans le lactosérum elle est de 9 g/l elle est supérieur a celle trouvé par **Proot (2001)** qui est de 7 g/l, et inférieur à celles décrites par **Sottiez (1985)**, mais inclus dans les valeurs rapportées par **Alias et Linden (2004)** (4,8-10,5 g/l).

1.1.7. Eau de process

D'après les résultats, on remarque que le pH, le taux alcalimétrique (TA), le titre hydrométrique (TH) et le taux alcalimétrique total (TAC) de l'eau présentent des valeurs conformes aux normes établies par **AFNOR (1986)**.

1.2. Résultats des analyses microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques des différentes matières premières sont représentés dans le tableau XII, et comparés à des normes officielles **JORADP (2017)**.

Les résultats mentionnés dans le tableau XII, montrent que les matières premières utilisées pour la fabrication de nos fromages sont conformes aux normes exigées par le journal officiel (2017), donc elles sont de qualité microbiologique et hygiénique satisfaisante;

Cheddar :

Présence d'un nombre assez réduit d'*E. coli* par rapport aux mêmes normes.

Selon **Bourgeois et Leveau (1991)**, les indices de contaminations fécales sont des microorganismes vivant normalement dans les intestins de l'homme et des animaux et par conséquent leur présence dans le cheddar analysé se traduit par une contamination fécale récente.

Poudre de lait :

Les résultats peuvent être justifiés par le bon traitement thermique et la nature déshydratée qui ne favorise pas la multiplication de tout type de germe pathogène, ces résultats concordent avec ceux de **Traore (2002)**.

Tableau XII : résultats des analyses microbiologiques des matières premières

Echantillon	Cheddar		Poudre 0%		Poudre 26%		Beurre		Lactosérum	
Germe										
<i>S. aureus</i>	Abs									
Normes	10 ²	10 ³	10	10 ²						
<i>Salmonella</i>	Abs									
Normes	Absence dans 25 g									
<i>Listeria monocytogenes</i>	Abs		/		/		Abs		/	
Normes	100						100			
Entérobactéries	/		00		00		25		00	
Normes			10	10 ²						
<i>E. coli</i>	55		/		/		/		/	
Normes	10 ²	10 ³								

Beurre :

Une légère présence des entérobactéries nous amène à dire que le beurre utilisé est de qualité microbiologique satisfaisante, toutefois nous n'avons pas noté ni d'odeur de rancissement, ni de changement de couleur ; ce qui aurait été un signe d'oxydation.

Lactosérum :

Le résultat satisfaisant obtenu nous amène à dire que le lactosérum a subi un bon traitement thermique.

2. Résultats de la simulation

2.1. Résultats de la simulation mathématique de la nouvelle recette

Selon l'équation n° 1 décrite dans la partie matériel et méthodes, les différentes quantités utilisées dans la fabrication du fromage fondu à base de lactosérum ont été obtenus. Le tableau XIII ci-dessous représente la recette suivie dans la formulation du fromage fondu à base de lactosérum.

Tableau XIII: Quantités exactes des matières premières à utiliser dans la formule-lactosérum.

Ingrédients	Quantité (kg)
Cheddar	9,972
Poudre de lait 0%	2,997
Poudre de lait 26%	4,498
Beurre	6,446
Lactosérum	10
Sels de fonte	0,82
Sel de table	0,13
Ail et fines herbes	0,1
Total	34,963

2.2. Etude comparative des résultats physico-chimiques (théoriques et pratiques) des deux produits finis

Les résultats physico-chimiques des deux recettes sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau XIV : Résultats des analyses et de la simulation physico-chimiques des deux produits finis

Paramètres	Recette standard		Recette à base de lactosérum		Normes (AFNOR 1986)
	Simulation	Pratique	Simulation	Pratique	
pH	-	5,84	-	5,59	5,6-5,85
EST (%)	54,03918083	53,5	54,0392988	53,13	≥40
H (%)	45,95488408	46,5	45,9549844	46,87	50 max
MG (%)	27,00772798	25,9	26,1689633	25,1	22,5 min
MG/EST (%)	49,97804844	48,41	48,42580101	47,24	40 min
Protéines (%)	13,86391036	13,24	13,63221357	12,96	10-17 (Richonnet, 2016)

Les valeurs obtenues par les analyses effectuées à savoir : le pH, l'EST, l'humidité, la matière grasse, le rapport MG/EST ainsi que les protéines des produits des deux recettes sont conformes à leurs normes respectives, ainsi pour les valeurs obtenues par la simulation.

Par ailleurs les valeurs d'EST obtenues concordent à certaines valeurs citées par la littérature : **Favier et al. (1986)** dans le cadre d'une étude sur la composition du lait et des produits laitiers, ont rapporté des teneurs variant de 34 à 37% pour les fromages fondus à 25% de taux MG/EST et des teneurs variant de 43 à 57 % pour les fromages fondus à 40-50 % de taux MG/EST.

Les teneurs en matière grasse restent supérieures à celles indiquées par **Richonnet (2016)** qui varient de 21 à 22% de fromage fondu et à la valeur rapportée par **Fox et al. (2017)** qui est de 23,3% pour les fromages fondus en bloc.

Les résultats du ratio MG/EST que nous avons obtenus sont proches par rapport à ceux obtenus par **Roustel et Boutonnier (2015)** qui, dans le cadre de contrôle qualité des fromages fondus ont trouvé des ratios variant de 50 à 55%. Nos résultats sont également plus élevés

que ceux trouvés par **Boutonnier (2000)** qui rapporte un ratio de 40%. Le **Codex Alimentarius (1978)** préconise un taux de G/S variant de 10 à 65% pour les fromages fondus à tartiner et les fromages fondu en bloc.

Comme l'exige l'objectif de notre étude, la comparaison des résultats (pratiques entre eux et théoriques entre eux) obtenus des deux produits, nous permet d'observer l'approchement très satisfaisant des valeurs, on a réussi à garder les mêmes valeurs du rapport MG/EST. Ainsi la comparaison de chaque valeur pratique à sa valeur respective obtenue par simulation nous laisse dire que nos résultats sont fiables. Les légères divergences peuvent s'expliquer par la non exactitude du pesage des matières premières ou une perte de matières utiles lors des différentes étapes du processus de fabrication.

2.3.Résultats technico-commerciaux

Les coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau XV: Coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum

Unité/Kg	Prix (DA)	Coût F-E	Coût F-L
Cheddar	700	6720	6472,8292
P0%	370	814	784,05996
P26%	470	2444	2354,1063
Beurre	850	4547,5	4380,2367
Sels de fonte	450	369	369
Sels de table	40	5,2	5,2
Coût de revient		14899,7	14365,432
Coût de reviens annuelle (900 tonnes)		402694594,6	387093302
Economie annuelle (DA)		14395620	

Légende : formule à base d'eau (F-E) ; formule à base de lactosérum (F-L).

Le tableau montre clairement qu'en remplaçant l'eau par le lactosérum, l'entreprise peut dégager un bénéfice annuel de l'ordre de **14395620 DA**, ce qui représente un amortissement de charges d'environ 3,87%.

On constate une diminution du coût de revient de la production en utilisant le lactosérum par rapport à l'eau de 534,268 DA, et ce pour les mêmes quantités de production que l'eau. Le

lactosérum pourra donc améliorer le chiffre d'affaire des industries laitières et concevoir une nouvelle politique visant à utiliser moins d'eau, une ressource qui n'est pas toujours offerte.

La valorisation du lactosérum dans ce genre de produit, peut offrir de nouvelles approches pour les industriels algériens en diminuant l'utilisation d'eau en industrie fromagère. Effectivement, les ressources hydriques, le gaspillage en eau et le réchauffement climatique sont au centre des préoccupations du gouvernement algérien.

Le tableau ci-dessous montre le pourcentage d'économisations de la matière première utile.

Tableau XVI: Estimation du pourcentage d'économie de matière première utile (MPU).

Recette F-E	22,35
Recette F-L	21,52793632
% économies MPU	3,678137249
Economisations MPU (tonne/an)	33,1033524

Les résultats de ce tableau montrent clairement que l'utilisation du lactosérum ne fera pas seulement diminuer le coût de revient, mais aussi les quantités de MPU utilisées comme le cheddar, poudre de lait et beurre, soit 33,1033524 tonne/an un pourcentage de 3,678137249% par rapport à la formule de fabrication avec l'eau (F-E).

2.4.Aspect environnemental

Le tableau ci-dessous montre les quantités annuelles produites de lactosérum

Tableau XVII: Estimation des quantités annuelles produites de lactosérum

Rendement fromager (%)	10
Quantité du cheddar produite annuelle (tn)	1500
Quantité du lactosérum générée (tn)	13500
Quantité du lactosérum utilisé pour la production de 900tn de fromage fondu (tn)	269,4616476

Le tableau ci-dessus montre que l'industrie génère une quantité de 13500 tonnes de lactosérum par an, et en sachant que 900 litres de lactosérum rejeté dans la nature crée une

pollution de 945 EH (1EH= 63g/l), et donc annuellement une pollution de 12757500000 EH. Notre étude nous a permis d'estimer la quantité du lactosérum qui peut être valorisée dans la production du fromage fondu au lieu d'être rejetée dans la nature, et qui est d'environ 269,4616476 tonnes et donc de réduire la pollution d'équivalent habitant estimée à 254641256,982.

En plus de la diminution de la pollution, l'étude nous permet aussi de valoriser les éléments biochimiques contenu dans le lactosérum à savoir la matière grasse et sèche ainsi que les protéines et qui peuvent être utilisés dans d'autres secteurs. Le tableau suivant illustre leurs quantités annuelles.

Tableau XVIII: Quantités élémentaires annuelle régénérées par lactosérum (tn).

MG	67,5
EST	868,05
Protéines	121,5

D'après les résultats des caractéristiques physicochimiques du lactosérum utilisé, on peut estimer les quantités élémentaires régénérées par ce lactosérum, le tableau XVIII nous illustre les valeurs. Le lactosérum utilisé nous offre jusqu'à 67,5 tonnes de matière grasse annuellement, 868,05 tonnes de matière sèche et 121,5 tonnes de protéines et qui sont des quantités très importantes qui avant finissaient dans la nature à la polluer.

On conclut donc que la valorisation du lactosérum nous permettra d'accroître notre production de fromage fondu et diminuer les coûts de revient pour les mêmes quantités que la formule à base d'eau ; ainsi que d'ouvrir de nouvelles horizons dans l'intégration du lactosérum dans ce genre de produits. Les industries laitières pourront revoir totalement leurs coûts, changer grâce à cette nouvelle formule et augmenter le taux de rentabilité pour chaque quantité produite.

3. Résultats des analyses microbiologiques des produits finis

Les résultats des analyses microbiologiques des produits finis élaborés sont représentés dans le tableau suivant

Tableau XIX: résultats des analyses microbiologiques des produits finis

Echantillons Germes recherchés	Fromage avec lactosérum	Fromage avec eau	JORADP 2017 (ufc/g)	
			M	M
<i>S. aureus</i> /g	Abs	Abs	10	10 ³
<i>Salmonella</i>	Abs	Abs	Absence dans 25g	
<i>Listeria monocytogenes</i>	Abs	Abs	100	
<i>E .coli</i>	00	00	10	10 ³

D'après nos résultats, on note une absence totale des germes pathogènes recherchés conformément aux normes exigées par le journal officiel Algérien (2017). Les résultats des analyses microbiologiques soulignent de ce fait, que le produit fini présente une qualité microbiologique satisfaisante, reflétant les bonnes pratiques de fabrication ainsi que l'efficacité des traitements thermiques. Les mêmes résultats trouvés par **Zaim Edine et Zerouali (2015)** concernant le fromage à base d'eau.

4. Résultats de l'analyse sensorielle

Les résultats de l'analyse sensorielle effectuée par le panel de dégustation sont représentés dans le tableau suivant.

Le profil organoleptique qui découle de cette étude est satisfaisant avec la prédominance d'une couleur jaune, d'absence de (goût acide, odeur et amertume), caractérisation du mélange des épices, prédominance d'une texture en bouche homogène et d'une description finale très agréable.

A travers ces résultats, on a démontré que la valorisation du lactosérum n'a pas porté atteinte à la qualité du fromage.

Tableau XX : tableau regroupant les réponses des dégustateurs

Couleur	Odeur		Goût acide		Caractérisation de l'épice		Amertume		Texture en bouche		Description finale			
	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n				
Blanche	2	Absente	3	Absent	1	Estragon	0	Absente	13	Homogène	15	Très désagréable	0	
Beige	2	Faible	2	Faible	1	Ail	13	Faible	2					
Jaune	11	Moyenne	8	Moyen	2	Persil	4	Moyenne	0	Acceptable	0	Désagréable	0	
Vert clair	0	Forte	2	Fort	0	Ciboulette	6	Forte	0			Agréable	5	
Bleu-vert	0	Très forte	0	Très fort	0	Mélange	14	Très forte	0	Hétérogène	0	Très agréable	1	
Dominance	73,33%= jaune		53,33= moyenne		80%= absent		93,33= mélange		86,67%= absente		100%= homogène		66,67%= très agréable	

n : nombre de personnes

Les effluents des unités de production du lait et de fromages sont parmi les rejets les plus polluants pour l'environnement, en raison de leur composition organique et minérale. Le lactosérum est l'un des principaux rejets de ces unités, il se compose principalement d'eau et de lactose, en plus de protéines, matière grasse et minéraux.

L'objectif de la présente étude est l'utilisation du lactosérum doux, issu de la fabrication du fromage de type cheddar sous forme brute, comme substituant total de l'eau dans la fabrication d'une spécialité fromagère de type « fromage fondu épicé » à base de « lactosérum », en développant un modèle mathématique sur Excel pour définir les taux d'incorporation du lactosérum dans la formule de base du fromage fondu ; ainsi que l'étude de ses caractéristiques physicochimiques, microbiologiques et sensorielles. A cet effet deux formulations ont été préparées.

Les résultats des analyses physicochimiques réalisées sur le lactosérum nous ont permis de montrer que c'est un produit à valeur nutritionnelle élevée. En effet, il renferme 0,5% de matière grasse, 6,43% d'extrait sec total, 0,9% de protéines, et son humidité est de 93,57%.

Les résultats de l'étude ont montré qu'en remplaçant totalement l'eau par le lactosérum doux, il est possible d'obtenir un produit avec des caractéristiques similaires au fromage fondu standard, sans que leurs propriétés aient influencées par la composition du lactosérum.

Les résultats physicochimiques du produit fini obtenus nous ont permis de valider le modèle Excel vu l'obtention du même ensemble H+MS qui est de 32,34808 Kg dans les deux formules, et une divergence non significative du rapport MG/MS qui est de 49,97804844 % et 48,42580101 % dans le fromage fondu de référence et dans le fromage fondu à base de lactosérum, respectivement.

Les résultats obtenus après l'analyse microbiologique ont démontré que le produit ne présente aucun danger pour la consommation.

L'analyse sensorielle du produit fini a démontré que la recette à base de lactosérum est satisfaisante.

Les résultats technico-commerciaux montrent un bénéfice annuel de 14395620 DA

L'étude de l'aspect environnemental nous a permis d'estimer la quantité de lactosérum à régénérer annuellement, cette quantité est de 269,4616476 tonnes, par conséquent, on réduit une charge polluante d'équivalent habitant estimée à 254641256,982.

D'après les résultats encourageants obtenus, il paraît clairement que l'aboutissement de ce travail apportera des solutions prometteuses aussi bien sur le plan écologique, économique et nutritionnel à ces rejets de lactosérum, qui posent de sérieux problèmes pour l'environnement et permettra également aux industriels de la filière fromagère d'améliorer et d'élargir leurs gammes de produits.

Comme perspectives de ce travail, nous proposons de :

- ✓ Suivre l'évolution du produit au cours du stockage.
- ✓ Il serait intéressant d'évaluer l'effet bénéfique (activité antioxydante et antimicrobienne) de l'association du lactosérum à l'ail et aux fines herbes, avec une analyse statistique sur quatre fromages fondus de formulations différentes, à savoir :
 - Une formulation à base d'eau
 - Une formulation à base d'eau à l'ail et aux fines herbes
 - Une formulation à base de lactosérum
 - Une formulation à base de lactosérum à l'ail et aux fines herbes
- ✓ Essayer de remplacer l'eau par le lactosérum dans la fabrication d'autres types de fromages et de produits laitiers.
- ✓ Utiliser le lactosérum acide dans une étude similaire et faire une comparaison avec le lactosérum doux.

A

Abi azar, R. *Complication des protéines laitières par les extraits de gousses vertes de caroubier Propriétés technologiques des coagulums obtenus.* Thèse de doctorat. AgroParisTech: Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, **2007**, 197p.

Achezegag, F. Z ., Zerarka, F et Merided, F. *Analyse microbiologique des produits laitiers (Le yaourt)* .Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'études supérieures en biologie. Université d'Ouargla, **2008**, 48p.

Adrian, J ., Legrand, G et Frangne, R. *Dictionnaire de biochimie alimentaire et de nutrition.* 3^{ème} édition. Tec et doc- Lavoisier,Paris, **1991**, 116p.

AFNOR. *Association française de normalisation recueil des normes français, contrôle de la qualité des produits laitiers.*3^{ème} édition, **1986**, p 647-651.

Agnes, N. *Production des protéines à partir de lactosérum brut.* Thèse de 3^{ème} cycle, université de Lyon, France, **1986**.

Akbas, M. Y., Sar, T et Ozelik, B. Improved ethanol production from cheese whey, whey powder, and sugar beet molasses by “Vitreoscilla hemoglobin expressing” Escherichia coli .*Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry.* **2014**, 78(4), p 687–94. Disponible sur : <http://doi.org/10.1080/09168451.2014.896734>

Alias, C et Linden,G. *Biochimie Alimentaire.* 5^{ème} Ed.. Paris : Lavoisier, **2004**, 520p (162-164).

Alves, M. P., Moreira, R. de O., Júnior, P. H. R., Martins, M. C. de F., Perrone, Í. T et Carvalho, A.F. Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos .*Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes.* **2014**, 69(3), p 212–226. Disponible sur : <http://doi.org/10.14295/2238-6416.v69i3.341>

Amargilios. *Contrôle de la qualité des produits laitiers. Analyses physicochimiques.* Edition AFNOR, 3^{ème} édition.. Paris : Lavoisier, **1986**.

Anonyme 1. *Manuel de transformation du lait.* chapitre 15 : le traitement de sérum de fromage, **2002**.

Anonyme 2. Québec Amérique *.Le guide des aliments, Indispensables à tout amateur de cuisine.*Canada : Québec Amérique Inc, **1999**, 219p.

Anonyme 3. Bienvenus dans le monde de KASOMEL et des fromages fondus. Europhos, **1989**, 73p.

Association pour la promotion industrie agriculture (APRIA). Les lactosérums traitement et utilisation, association pour la promotion industrie agriculture. Paris, **1973**, p 3-132.

Association pour la promotion industrie agriculture (APRIA) *.Utilisation de lactosérum en alimentation humaine et animal,* Actualités scientifiques et techniques en industries agro-alimentaires. Paris, **1980**, p 136.

B

Benaissa, M. *Valorisation Du Lactosérum Par Les Bactéries Lactiques.* Thèse De doctorat En sciences spécialité: Biotechnologie option Ecosystèmes Microbiens Complexes. Université D'Oran Ahmed Ben Bella Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie département De Biotechnologie, **2018**.

Benaouida, K. *Etude de l'alpha amylase de levures isolées d'un écosystème extrême et cultivées sur un milieu à base de lactosérum.* Mém. Microb. Appliquée : Université Mentouri Constantine, **2008**, 104p.

Bergel, D., Feron, A et Mollica. CRESO -- UMR 6590 CNRS n° 21. Université De Caen Eso, **2004**.

Berger, W. H. Cours aux étudiants de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, **1988**, 42p.

Berger, W., Klostermeyer, H., Merkenich, k., et al. *Processed cheese manufacture-A. JOHA Guide, 1993, 93p.*

Bourgeois, C.M et leveau, J.Y. *Techniques d'analyses et de contrôle dans des industries agro-alimentaires.* Paris : Techniques et documentation-Lavoisier, **1991.**

Bourgogne. *Technologie propre appliquée aux industries agroalimentaire ;* Dijon France 26, **2001.**

Boutonnier, J.L. *Fabrication du fromage fondu. Techniques de l'ingénieur, 2000, F6310: 1-14.*

C

Carrillo-Reyes, J., Celis, L. B., Alatrisme-Mondragón, F et Razo-Flores, E. *Decreasing methane production in hydrogenogenic UASB reactors fed with cheese whey. Biomass and Bioenergy.* **2014**,63,p101–108. Disponible sur : <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.050>

Chagnon, N. *Développement d'un bio réacteur à écoulement radial pour la production d'acide propionique ;* canada 156, **1997.**

Chambre, M et Daurelles, J. *Le fromage fondu.* In: **Eck, A. et Gillis, J.C.** *Le fromage.* Ed. Tec et doc, Lavoisier, **1997**, p.691-708.

Cheryan, M. *Ultrafiltration and microfiltration handbook, thechnomic publishing company.* Lancaster, PA, **1998.**

CODEX STAN 283. Norme codex pour le fromage fondu et le fromage fondu pour tartine portant un nom de variété (Codex Stan A-08 (a)-1978), et norme codex pour les préparations à base de fromage fondu (processed cheese food and processed cheese spread), **1978.**

Commission du Codex Alimentarius. *Projet de norme générale pour le fromage fondu (étape 6),* CL 2015/34-MMP décembre **2015.**

CODEX STAN 283. Norme Generale Codex Pour le Fromage . Adoptée en 1973. Révisée en 1999. Amendée en (2006, 2008, 2013, 2018), **1973**.

CODEX STAN 283. Norme Generale Codex Pour le Fromage : *Lait et produits laitiers*, **1978**, 1p.

Commission du Codex Alimentarius. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires comite du codex sur le lait et les produits laitiers quatrième session Wellington (Nouvelle-Zélande), 28 février - 3 mars 2000. Avant-projet de normes et avant-projet de normes révisées à l'étape 4, **1999**.

Commission Codex Alimentarius (C.C.A.). Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires comité du codex sur le lait et les produits laitiers. Sixième Session, Auckland Nouvelle-Zélande. Avant-projet de norme pour le fromage fondu observations à l'étape 3, **2004**, 3 p.

D

Dantas cavalcante, A.B. *Influence des facteurs de composition sur les propriétés texturales d'un fromage fondu de "TYPE REQUEIJAO"*, **1995**, 9p.

De La Fuente, M.A., Hemar, Y., Tamehana, M., Munro, P.A et Singh, H. *Process Induced changes in whey proteins during the manufacture of whey protein Concentrates.* *International dairy journal* 12, **2002**, p 361-369.

Département Fédéral de l'Intérieur (DFI). *Ordonnance sur les denrées alimentaires d'origine animale*, **2009**, 48 p.

Diniz, R. H. S., Rodrigues, M. Q. R. B., Fietto, L. G., Passos, F. M. L et Silveira, W. B. *Optimizing and validating the production of ethanol from cheese whey permeate by Kluyveromyces marxianus UFV-3. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology.* **2014**, 3(2), p 111–117. Disponible sur : <http://doi.org/10.1016/j.bcab.2013.09.002>

E

Eck, A et Gillis, J.C. *Le fromage*. 2ème édition, 3ème édition. Paris : Techniques et documentation-Lavoisier. **1997**.

Eck, A et Gillis, J. C. *le fromage*. De la science à l'assurance qualité. 3ème Ed. Paris : Tec et Doc-Lavoisier, **2006**, p : 356, 691, 692-703, 715, 729-730 , 891.

Eckner, K.F., Dustman, W.A et Rys-rodriguez, A.A. *Contribution of composition, physicochemical characteristics and polyphosphates to the microbial safety of pasteurized cheese spreads*. Journal of Food Protein, **1994**, vol. 57, p. 295–300.

Esterle, L. *Calcium et santé osseuse chez l'enfant et l'adolescent*. *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*.**2010**, **23** :65-69 p.

Evette, J.L. *La fromagerie*.- Paris : Presses universitaires de France, **1975**, 140 p.

F

Fauquant, J., Vieco, E., Brule, G et Maubois, J. L. *Clarification des lactosérums doux par agrégation thermocalcique de la matière grasse résiduelle*. **1985**, *Le lait*, 65(647-648), 1-20.

Favier, J.C., Luquet, F.M et Bonjean-Lincrowski, Y. *Eléments de composition des fromages*. Laits et produits laitiers : vache, brebis, chèvre, 3, **1986**.

Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan T.M., et al. *Fundamentals of cheese science*. Maryland: Aspen Publishers Inc, **2000**, p. 429–451.

Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., et Mcsweeney, P. L. *Cheese as an ingredient*. In fundamentals of cheese science (Pp. 629-679), **2017**. Springer Us.

G

Garg, S. K et Jain, A. *Fermentative production of 2,3-butanediol: a review*. *Bioresource Technology*, 5(94), **1995**.

Gassi, J.Y, Camier-caudron, B., Schuck, P., et al. *Procédé de Transformation Fromagère* (partie 3). Technique de l'ingénieur, **2002**.

Gelais-St. D., Tirard, C.P., Belonger,G., Couture, R et Drapeau. R. *Fromage*. In Sciences et technologies du lait, transformation de lait. Edition. Vignola C. Ecole polytechnique de Montréal, **2002**, 599p.

Gerard, B et Debry, G. *Lait nutrition et santé*. Ed Tec et Doc, **2001**, p 44-55.

German, L. *Le traitement des eaux*. Edition Technique et Documentation.Paris, **1976**, 147p.

Groupe d'étude des marchés de restauration collective et de nutrition (GEMRCN). Laits et produits laitiers; spécification technique de l'achat public. **2009**, 47p. Spécification technique n° B3-07-09 destinée à l'achat public, approuvée par décision n° 2009-03 du 30 juillet 2009 du comité exécutif de l'OEAP. Disponible sur : http://www.minefe.gouv.fr/directions_services/daj/guide/gpem/table.html

H

Hadiyanto, Ariyanti, D., Aini, A. P et Pinundi, D. S. *Optimization of ethanol production from whey through fed-batch fermentation using kluyveromyces marxianus*. *Energy Procedia*. **2014**, 47, p 108–112. Disponible sur : <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.203>

J

Jeantet, R., Croguennec,T et Brule,P. *Science Des Aliments : Biochimie, Microbiologie, Procédés, Produits*. 2 : 12, 15. Londres-Paris New York: Tec & Doc Lavoisier. L Scienza e Tecnica Lattiero-Casearia, 32, **2007**, 203–221p.

JORADP *Journal Officiel De La République Algérienne Démocratique et Populaire N°39*. Arrêté interministériel du 2 Moharram 1438 correspondant au 4 octobre 2016 fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires, **2017**.

K

Katz, H et Weaver, W.W. *Encyclopedia of food and culture*. New York : Charles Scribner's Sons.. Acceptance to food politics, Vol. 1, **2003**, 718p.

Kosikowski, F. V. *Whey Utilization and Whey Products*1. *Journal of Dairy Science*; vol .62.(7), **1979**, p 1149-1160.

Koushki, M., Jafari, M et Azizi, M. *Comparison of ethanol production from cheese whey permeate by two yeast strains*. *Journal of Food Science and Technology*. **2012**, 49(5), p 614–619. Disponible sur : <http://doi.org/10.1007/s13197-011-0309-0>

L

Lambert-faivre, Y. *Droit des assurances*. 6ème édition. Paris : Dalloz, **1988**, 772p.

Laplanche, J. *Expérimentation d'un traitement de lactosérum par biologie fixée*. Projet de Plan Pichu; travail effectué par le «Syndicat alpagiste de Savoie» en collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, le Conseil général de Savoie et le Conseil régional Rhône-Alpes ; **2004**, p 5.

Laplanche, J. *Système d'épuration du lactosérum d'alpage par culture fixée sur lit de compost*. *Revue suisse Agric.*, 36(5), **2004**, p 220-224.

Lee, B.O., Paquet, D et Alais, C. Etude biochimique de la fonte des fromages. Mesure de la peptisation. Université de Nancy, France, **1979**, p. 589-596

Le Jaouen, J.C. *Guide national des bonnes pratiques en production fromagère fermière*. Paris, 1^è éd.: Institut de l'élevage.145-154. **1993**. FRANCE. Ministère de l'agriculture et de la pêche. *Arrêté ministériel du 30 mars 1994 : critères microbiologiques auxquels doivent satisfaire les laits de consommation et les produits à base de lait lors de leur mise sur le marché*.

Linden, G et Lorient, D. *Biochimie agro industrielle; valorisation alimentaire de la Production agricole*. Masson Paris Milan Barcelone. **1994**.

López-Expósito, I., Amigo, L et Recio, I. *A mini-review on health and nutritional aspects of cheese with a focus on bioactive peptides. Dairy Science and Technology* 92: **2012**, p419-438.

Lupin, D. *Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine.* Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 28 ISBN 92-5-20534-6, **1998**.

Luquet, F. M et Beerens, H. *Guide pratique d'analyse microbiologique des laits et produits laitiers.* Tec. Et Doc., Lavoisier, Paris, **1987**, 269p.

Luquet, F.M et Boudier, J.F. *Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale.* *Apria.*, **21**, **1984**, p : 1-7, 66, 83-90.

Luquet, F.M et Corrieu, G. *Bactéries lactiques et probiotiques.* Edition. Paris : Techniques et Documentation-Lavoisier, **2005**, 307p.

Luquet, F.M. *Lait et produits laitiers, vaches, brebis et chèvres.* Tome 2 , 2^{ème} édition. Paris : Techniques et Documentation-Lavoisier, **1985**, 632p.

Luquet, F.M . *Laits et produits laitiers : vache, brebis et chèvre.* Paris : transformations et Technologies-Lavoisier, **1985**, 637p.

Luquet, F.M. *Lait et produits laitiers, vaches, brebis et chèvre.* Tome 2 ,2^{ème} édition. Edition Techniques et Documentation -Lavoisier, paris, **1986**, 397p et 460p.

Luquet , F.M. *Lait et produits laitiers, vache, brebis, chèvre.* Tome 2. Paris : Techniques et documentation-Lavoisier, **1990**, 621p.

Luquet, F.M. *Lait et produits laitiers, vache brebis, chèvre : Transformation et technologie,* Ed Tec et Doc. Lavoisier, Paris, **1990**, Tome 2 ,637 p.

M

Majdi, A. « séminaire sur les fromages AOP et IGP ». INT. Ingénieur Agronomie, **2009**, 88p.

Mereo, J. *Les utilisations industrielles du sérum*, fromagerie. Paris, *revue Française* n°365, **1980**, 401p.

Meyer, A. *Processed cheese manufacture*. Food Trade Press LTD – London, **1973**, 329p.

Moletta, R. *Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA*. Paris : Tech et Doc, **2002**, 600p.

Morr, C.V. *Whey proteins: manufacture*. In: Development in Dairy Chemistry - 4 P.F. Fox (ed), Elsevier Science Publ., London and New York, chap 6, **1989**, p 245-283.

N

Nagoaka, S-K., Miwa, M-E., Kuzuya, Y., Hori, G et Yamamoto, K. Soy protein peptic hydrolysate with bound phospholipids decreases micellar solubility and cholesterol absorption in rats and caco 2 cells. *Journal of Nutrition* 129, **1999**, p 1725-1730.

Nelson, F et Coll. Whey utilisation in first flavored drinks. *Dairy and food science*14, **1978**.

Nielsen, D. R., Yoon, S. H., Yuan, C. J et Prather, K. L. J. *Metabolic engineering of acetoin and meso-2,3-butanediol biosynthesis in E. coli*. *Biotechnology Journal*. **2010**, 5(3), p274–284. Disponible sur : <http://doi.org/10.1002/biot.200900279>

O

Oliveira, R.B.A., Margalho, L.P., Nascimento, J.S., et al. *Processed cheese contamination by spore-forming bacteria: a review of sources, routes, fate during processing and control*. *Trends Food Sci Tech*, **2016**, 57, p.11-19.

Ozmihci, S et Kargi, F. *Ethanol production from cheese whey powder solution in a packed column bioreactor at different hydraulic residence times.* *Biochemical Engineering Journal.* **2008**, 42(2), p180–185. Disponible sur : <http://doi.org/10.1016/j.bej.2008.06.017>

P

Paquin, P. *Etude du potentiel de marché des ingrédients protéiques laitiers au Canada.* Université Laval. **2004**, p84.

Patart, J.P. *Les fromages fondus.* In : **Eck, A.** *Le fromage* Edition Lavoisier, **1987**, p. 385-398.

Pescuma, M., de Valdez, G. F et Mozzi, F. *Whey-derived valuable products obtained by microbial fermentation.* *Applied Microbiology and Biotechnology.* **2015**, 99 (15), p6183–6196. Disponible sur : <http://doi.org/10.1007/s00253-015-6766-z>

Prazeres, A. R., Carvalho, F et Rivas, J. *Cheese whey management: A review.* *Journal of Environmental Management.* **2012**, p110, 4868. Disponible sur : <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.018>

Proot. *Technologie propre appliquée aux industries agro-alimentaires,* ARIST BOURGOGNE, **2001**.

R

Renane, F et Saadi, C. *Influence de la concentration des sels de fonte sur la qualité physicochimique et organoleptique du fromage fondu.* Mémoire de fin d'études d'ingénieur d'état en technologie alimentaire. Boumerdès : Université M'Hamed Bougarra, **2010**, 96p.

Richonnet, C. *Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus.* Cahiers de nutrition et de diététique. *Cah Nutr Diet.* **2016**, 51 (1) : p.48-56.

Roustel, S. *Fromage fondu : physico-chimie du processus de fonte.* *Techniques de l'ingénieur*, **2014**, f6310: 2: p.1-15.

Roustel, S et Boutonnier, J.L. *Fromage fondu : Technologie de fabrication et contrôle qualité.* Techniques de l'ingénieur, **2015**, F6311, 1-19.

Ryan, M. P et Walsh, G. *The biotechnological potential of whey. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology.* **2016**, 15(3), p479–498. Disponible sur : <http://doi.org/10.1007/s11157-016-9402-1>

S

Schäffer, B., Szakaly, S et Lőrinczy, D. *Processed cheeses made with and without Peptization : Submicroscopic structure and thermodynamic characteristics.* Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, **2001**, vol. 64, p. 671-679.

Schuk, JP., Bouhallab, S., Durupt, D., Varielle, P., Humbert, JP et Mrin, M. *Séchage des lactosérums et dérivés : rôle du lactose et de la dynamique de l'eau.* Dairy science and technologie, 84, **2004**, p243-268.

Sottiez, P. *Produits dérivés des fabrications fromagères. Laits et produits laitiers: vache, brebis, chevre.* Societe scientifique d'hygiene alimentaire; Francois M. Luquet, coordonnateur, assiste de Yvette Bonjean-Linczowski; prefaces de J. Keilling, R. de Wilde, **1985**, p 357-392.

Sottiez, P. *produit dérivés des fabrications fromagères, lait et produits laitiers*, tome 2. Ed. Paris : Lavoisier, **1990**, p357- 392.

Spreer, E. *Milk and Dairy product technology.* (A. Mixa, Ed.) (1st ed.). New York, États Unis: Marcel Dekker, INC, **1998**.

Stone, H et Sidel, J. L. *Sensory Evaluation Practices.* London, U.K.: Elsevier Academic Press, **2004**.

T

Traore, B. *Contribution à l'étude physico-chimique et microbiologique du fromage fondu pasteurisé fabriqué à la laiterie fromagerie de Boudouaou.* Mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en génie biologie. Boumerdes : Université M'hamed Bougerra, **2002**, 79p.

U

USDA commodity requirements. *PCD5 Pasteurized process American cheese for use in domestic programs*, **2007**, 9 p.

V

Veisseyre, R. *Technologie du lait.* 3ème édition. Maison Rustique, **1979**, 714 p.

Venetsaneas, N., Antonopoulou, G., Stamatelatos, K et Kornaros, M. *Using cheese whey for hydrogen and methane generation in a two-stage continuous process with alternative pH controlling approaches.* *Bioresource Technology.* **2009**, 100(15), p3713–3717. Disponible sur : <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.025>

Violleau, V. *Valorisation du lactosérum par électrodialyse.* Thèse de doctorat. Montpellier. **1999.**

Vrignaud, Y. *Valorisation du lactosérum, une longue histoire.* *Revue laitière Française*, (422), **1983**, p41-46.

W

Warburton, D.W., Peterkin, P.I et Weiss, K.F. *A survey microbiological quality of processed cheese products.* *Journal of Food Protein*, **1986**, vol. 49, p. 229–230.

Woo A. *La grande diversité du lactosérum .* Agriculture et Agro Alimentaire Canada, **2002**, p3 -13.

Z

Zaim Edine, Z et Zerouali, S. *Suivi de la chaine de fabrication et analyses physico-chimiques et microbiologiques du fromage fondu pasteurisé fabriqué en Algérie au niveau de LFB* .Mémoire de fin d'étude en génie biologie. Boumerdes : Université de M'hamed Bougerra, **2015**, 60p.

Annexe 1. Les grandes familles de fromage

Les familles	Exemples
Fromages frais	Petit suisse, Boursin,
Fromages à pâte molle croûte fleurie	Camembert, chaource,
Fromages à pâte molle croûte lavée	Munster, Maroilles, Livarot,...
Fromage à pâte molle croûte persillée	Roquefort, Bleu du Vercors sassenage...
Fromage à pâte pressée non cuite	Reblochon, Edam, Gouda,.....
Fromage à pâte pressée cuite	Gruyère, Beaufort, Comté,....
Fromages à pâte filée	Mozzarella, Provola,.....
Fromage à pâte fondue	La vache qui rit, Rifi, Ramdy,

Annexe 2. Produit fini



Annexe 3. Composition des milieux de culture

Milieu Baird-Parker (BP)	
Tryptone	10 g
Extrait de viande.....	5 g
Extrait de levure.....	1 g
Chlorure de sodium	5 g
Gélose	20 g
Sulphamézathine de sodium à 0,2% (Facultatif)	25 mL
Glycocolle à 12%	10 mL
Pyruvate de sodium à 20%	5 mL
Eau distillée qsp	1000 mL
pH = 7	

Rappaport Vassiliadis (RV)

Peptone de soja	4.5 g
Chlorure de sodium	7.2g
Dihydrogénophosphate de potassium ..	1.26g
Hydrogénophosphate de potassium ...	0.18g
Chlorure de magnésium (anhydre) ...	13.58g
Vert malachite	0.036g

pH = 5,2 ± 0,2

Sélénite au Cystéine (SC)

Tryptone	5g
Lactose	4g
Phosphate disodique	10g
Sélénite acide de sodium	4g
Cystéine	100 mg
Eau distillée qsp	1000 mL

pH = 7

Hektoen

Protéose-Peptone	12 g
Extrait de levure	3g
Désoxycholate de sodium.....	9g
Lactose	12g
Saccharose	12g
Salicine	2g
Bleu de bromothymol	65mg
Fuchsine acide	100mg
Thiosulfate de sodium	5g
Citrate ferrique ammoniacal	1,5g
Chlorure de sodium	5g
Agar	15g
Eau distillée	1000 ml

pH = 7,5

Fraser	Supplément sélectif Fraser ½
Peptone de protéase5g	Chlorhydrate d'acriflavine12.5 mg
Tryptone5g	Acide nalidixique10 mg
Extrait de viande de bœuf5g	Citrate de fer III ammoniacal500 mg
Extrait de levure5g	
NaCl20g	Supplément sélectif Fraser
Na ₂ HPO ₄ ·2H ₂ O12g	Chlorhydrate d'acriflavine25 mg
KH ₂ PO ₄1.35g	Acide nalidixique20 mg
Esculine1g	Citrate de fer III ammoniacal500 mg
Chlorure de lithium3g	
Eau1000 ml	
pH = 7,2	

Violet Red Bile Glucose Agar (VRBG)

Extrait de levure3g
Peptone7g
Chlorure de sodium5g
Sels biliaires1,5g
Glucose10g
Rouge neutre0,03g
Cristal violet0,002g
Agar12g
Eau distillée1000ml
pH = 7,4 ± 0,2

Chromogène Coliformes et E. coli (ECC)

Peptones18,40g
Système tampon5,80g
Activateurs de croissance3,55g
Mélange chromogénique0,44g
Agents sélectifs1,61g
Agar11g
pH = 6,9 ± 0,2.

Annexe 4. Questionnaire d'analyse sensorielle

Sexe :

Date & heure :

Age :

Consommez-vous le fromage ? : Oui

Non

Fréquence : Très souvent Souvent Rarement Jamais

Un échantillon de fromage fondu épicé, vous est présenté. Il vous est demandé d'évaluer différentes caractéristiques et attribuer une appréciation.

NB : Veuillez rincer la bouche avant la dégustation de l'échantillon.

Couleur	n	Odeur	n	Goût acide	n	Caractérisation de l'épice	n	Amertume	n	Texture en bouche	n	Description finale	
													n
Blanche		Absente		Absent		Estragon		Absente		Homogène		Très désagréable	
Beige		Faible		Faible		Ail		Faible					
Jaune		Moyenne		Moyen		Persil		Moyenne		Acceptable		Désagréable	
Vert clair		Forte		Fort		Ciboulette		Forte					Agréable
Bleu-vert		Très forte		Très fort		Mélange		Très forte		Hétérogène		Très agréable	

n : nombre de personnes

Merci pour votre participation

Annexe 5. Appareillage et verrerie



Butyromètre à lait (Gerber)



Butyromètre à beurre (Roeder)



Butyromètre à fromage (Van Gulik)



Thermo-lactodensimètre



Burette



Dessiccateur infra rouge



Milko-scan



Bain marie



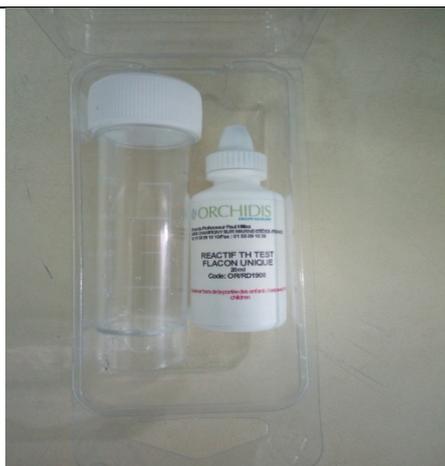
Centrifugeuse



pH-mètre



Balance de précision



Kit d'analyse de TH



Kit d'analyses de TA et TAC