

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Département Biochimie-Microbiologie



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Mémoire de fin d'études

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

Option : Biochimie de la nutrition

Thème :

**Essai de valorisation du lactosérum brut dans le
fromage fondu fabriqué par la fromagerie ONALAIT-
TASSILI**

Présenté par :

M^{elle} : AIT BEN YUCEF Cylia

M^{elle} : AKIL Horia

Soutenu devant le jury composé de :

Président : Mr HOUALI K. Professeur

Promoteur : Mr SEBBANE H. Maitre de conférences classe (B) à L'UMMTO

Examineur : Mr MSELA A. Maitre de conférences classe (B) à L'UMMTO

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Un mémoire, tant nominatif soit-il, est un travail de réflexion collective.

A ce terme, il nous est à la fois un plaisir et un devoir de remercier sincèrement toutes les personnes qui ont participé à sa réalisation.

Avant tout, nous remercions le BON DIEU le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage, la volonté et la patience afin d'achever ce modeste travail.

Nos sincères remerciements et profonde gratitude s'adressent particulièrement à notre encadreur Mr SEBBANE H. qui a accepté de nous encadrer, on le remercie infiniment aussi pour sa grande patience, ses encouragements, son aide précieuse et ses conseils judicieux, durant la réalisation du présent travail.

Nous remercions très respectueusement les membres de jurys Monsieur le président HOUALI K. et l'examineur Monsieur MSELA A. pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

D'autre part, on veut exprimer aussi notre respect à la responsable de production à la laiterie DBK : Mme SAHNOUNE S. et à tout le personnel du laboratoire pour leur disponibilité et leur bienveillance durant notre stage pratique.

On tient à témoigner toute notre reconnaissance à nos très chères familles pour leurs aides inconditionnelles et leurs soutiens constant durant nos études.

On remercie profondément l'ensemble de la promotion Biochimie de la nutrition 2020/2021.

Enfin, on adresse nos plus sincères remerciements à tous nos proches, tous nos amis et toutes les personnes qui ont contribués de près et de loin.



Dédicace :

A ma chère maman

Qui m'a toujours soutenu et encouragé pendant ces années d'études qui n'a jamais cessé de prier pour moi celle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour infini a fait de moi ce que je suis aujourd'hui quoi que je dise et quoi que je fasse je ne saurais jamais te remercier comme il se doit.

A la mémoire de mon père disparu très tôt.

A mes frères et sœurs qui m'ont entouré d'amour, affection et bienveillance.

A mes nièces qui me donnent toujours le sourire et les bons conseils, qui sont des sœurs pour moi et l'exemple que j'ai toujours suivi.

A mes neveux ma source de force pour leur appui et encouragement.

A tout ma famille : mes cousins et cousines

A mes amis (Sonia, Lydia, Thanina, saida, Shams, Hassan) pour leur soutien moral la bonne humeur et l'énergie qu'ils m'apportent

A mon binôme et amie Horia et sa famille

A Melle Lamia et Mr. Madjid pour leur aide

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

Et à tous mes amis de la section master 2 (biochimie de la nutrition) 2020/2021

Cylia...

Dédicace :

« Comment définir ce que l'on veut infinir »

Océan, Jean-Louis AUBERT

Je dédie ce mémoire à :

A la mémoire de mon grand-père AKIL M.A et ma tante Horia, partis très tôt,

Mon défunt grand-père : NAIT BELKACEM I. Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanents venus de toi, ton manque est inconsolable.

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, ses prières, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

Mon père, qui a cru en moi et qui m'a donné les moyens d'aller aussi loin. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

Mes frères Arezki, Tarik et ma chère sœur Cylia, rien n'aurait été pareil sans votre présence indéfectible et inestimable. Merci pour votre soutien, l'attention que vous me portez, et votre stimulante fierté.

Ma très chère tante Tounsia, qui peut trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et privations pour m'aider à avancer dans la vie et finir à bon mes études.

Mes deux grands-mères, longues vies à vous, mes sources de tendresse et d'amour.

Toutes mes tantes et oncles ainsi que leurs petites familles, recevez à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mes cousins et cousines, qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes amies d'enfance Yasmine et Ania ainsi que leurs adorables familles, je vous aime.

Tous mes amis et amies, les mots sont faibles pour exprimer la force de mes sentiments et la reconnaissance que je vous porte.

Mon aimable amie Cylia, avec laquelle j'ai réalisé ce travail, et toute sa famille.

Mes enseignants qui m'ont accompagné tout au long de mon cursus d'études, et qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis, plus particulièrement mon professeur et promoteur M.SEBBANE H. Merci pour tout.

A toutes les personnes ayant intervenues dans ma vie de près ou de loin et qui par un mot m'ont donné la force de continuer, trouvez ici un mot de reconnaissance.

Horia...

Résumé :

Le rejet du lactosérum considéré comme un sous-produit laitier riche en éléments nutritifs, dans les effluents constitue une perte économique énorme. En outre, bien que le lactosérum soit une source d'une variété de nutriments, il peut être incorporé dans divers produits, et de ce fait réduire les pertes causées par son rejet. L'objectif de cette étude vise à mettre à profit les valeurs de ce sous-produit dans l'industrie-agroalimentaire en valorisant le lactosérum doux brut comme substituant total de l'eau dans la fabrication du fromage fondu. Les proportions du lactosérum et les ingrédients, nécessaires à cette fabrication, sont calculés à l'aide d'un modèle de simulation sur Excel. Des analyses physico-chimiques, dont les résultats étaient conformes aux normes AFNOR ont été effectuées sur les matières premières, les produits finis et le lactosérum afin de mettre en évidence sa valeur nutritive. Les résultats physicochimiques des produits obtenus, correspondent aux estimations théoriques, ce qui a permis de valider ce modèle de simulation sur Excel. Le test de dégustation (couleur, odeur, goût acide, amertume, texture en bouche et description finale du fromage) réalisé avec un panel non entraîné a révélé une acceptabilité du fromage fondu au lactosérum par rapport au fromage fondu avant la valorisation. Au vu des résultats encourageants obtenus, il apparaît clairement que l'aboutissement de ce travail apportera quelques réponses positives sur le plan écologique, économique et nutritionnel. En effet, la valorisation du lactosérum permettra de diminuer le coût de production ainsi que la réduction de la pollution de l'environnement et la préservation des ressources hydriques par la substitution de l'eau de process utilisée dans la recette standard à base d'eau en la remplaçant par le lactosérum.

Mots clés : Analyses, Eau, Excel, Ecologique, Economique, Dégustation, Fromage fondu, Lactosérum, Modèle de simulation, Nutritionnel, Valorisation.

Abstract :

The discharge of whey considered as a nutrient-rich dairy by-product, in effluents constitutes a huge economic loss, moreover, although whey is a source of a variety of nutrients, it can be incorporated in various products, and thus reduce the losses caused by its discharge. The objective of this study is to capitalize on the values of this by-product in the food industry by valorizing raw sweet whey as a total substitute for water in the manufacture of processed cheese. The proportions of whey and the ingredients, necessary for this manufacture, are calculated with the help of a simulation model on Excel. Physico-chemical analysis, the results of which were in accordance with AFNOR standards, were carried out on the raw materials, the finished products and the whey -in order to highlight its nutritional value-. The physicochemical results of the products obtained correspond to the theoretical estimates, and this allowed the simulation to be validated. The tasting test (color, smell, acid taste, bitterness, texture in mouth and final description of the cheese) carried out with an untrained panel revealed an acceptability of the cheese processed with whey compared to the cheese processed before the valorization. In view of the encouraging results obtained, it is clear that the outcome of this work will provide some positive answers on the ecological, economic and nutritional levels. Indeed, the valorization of whey will allow to decrease the production cost as well as the reduction of the environmental pollution and the preservation of the water resources by the substitution of the process water used in the standard recipe based on water by replacing it by whey.

Key words: Analysis, Water, Excel, Ecological, Economic, Tasting, Processed cheese, Whey, Simulation model, Nutritional, Valorization.

Table des matières

Résumé		
Abstract		
Liste des abréviations.....	(i)	
Liste des tableaux.....	(ii)	
Liste des figures.....	(iii)	
Introduction	•	
<i>Partie I: synthèse bibliographique</i>		
<i>Chapitre I. Lactosérum</i>		•
I.1. Historique.....	3	
I.2. Définition et caractéristiques	3	
I.3. Les différents types du lactosérum.....	4	
I.3.1. Lactosérum doux	4	
I.3.2. Lactosérum acide.....	5	
I.3.3. Autres types de lactosérum.....	5	
I.4. Sources industrielles de lactosérum	6	
I.5. Composition du lactosérum	7	
I.5.1. L'eau.....	8	
I.5.2. Le lactose.....	8	
I.5.3. Les protéines	8	
I.5.4. Les éléments minéraux	10	
I.5.5. La matière grasse.....	11	
I.5.6. Les vitamines.....	11	
I.6. Valorisation du lactosérum	12	
I.6.1. Propriétés fonctionnelles et nutritionnelles	12	
I.7. Utilisation du lactosérum et de ses constituants.....	14	
I.7.1 Usage agricole	15	
I.7.2. Usage en biotechnologie	15	
I.7.3. Usage alimentaire	15	
I.8. Problématique du lactosérum.....	17	
<i>Chapitre II. Le fromage</i>		
II.1. Historique	19	
II.2. Définition et caractéristiques	19	

II.3. Classification des fromages	20
II.4. La valeur nutritionnelle du fromage	21
II.5. Fromage fondu.....	22
II.5.1. Historique.....	22
II.5.2. Définition	24
II.5.3. Classification.....	24
II.5.4. Valeur nutritionnelle et composition du fromage fondu	26
II.5.5. Les matières premières utilisées pour la fabrication du fromage fondu	27
II.5.6. Procédé de fabrication du fromage fondu	30
II.5.7. Les défauts de fabrication	35
<i>Partie II. Étude expérimentale</i>	
<i>Présentation de l'entreprise d'accueil</i>	37
<i>Chapitre I. Matériel et Méthodes</i>	39
I.1. Matériels	39
I.2. Méthodes	40
I.2.1. Méthode de simulation de la valorisation du lactosérum.....	40
I.2.1.1. Principe du calcul en mode Excel	40
I.2.1.2. Modèle mathématique adopté	40
I.2.2. Diagramme de fabrication du fromage fondu	45
I.2.3. La stérilisation du matériel de prélèvement	45
I.2.4. Analyses physico-chimiques	46
I.2.4.1. Analyses physico-chimiques des matières premières utilisées dans la fabrication du fromage fondu et des produits finis	46
I.2.4.2. Détermination des paramètres physico-chimiques des matières premières utilisées et des produits finis	46
I.2.5. Analyses sensorielles	50
<i>Chapitre II. Résultats et discussions</i>	51
II.1. Résultats physico-chimiques	51
II.1.1. Résultats des analyses physico-chimiques de la matière première	52
II.2. Résultats de la simulation	55
II.2.1. Résultats de la simulation mathématique des quantités de matières premières dans le produit fini de la nouvelle recette	55
II.2.2. Etude comparative des résultats physico-chimiques (théoriques et pratiques) des deux produits finis	56

II.2.3. Résultats technico-commerciaux	57
II.2.4. Aspect environnemental.....	59
II.3. Résultats de l'analyse sensorielle	61
<i>Conclusion et perspectives</i>	63
<i>Références bibliographiques</i>	
<i>Annexes</i>	

Liste des abréviations :

°D : Degré Doronic

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

AT : Acidité titrable

BPF : Bonnes Pratiques de Fabrication

DA : Dinar Algérien

DBK : Draa Ben Khedda

DBO : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EST : Extrait Sec Total

FAO : L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

F-E : Fabrication avec Eau

F-L : Fabrication avec Lactosérum

H : Humidité

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

Kda : Kilo daltons

MG : Matière Grasse

MS : Matière sèche

OMS : Organisation mondiale de la santé

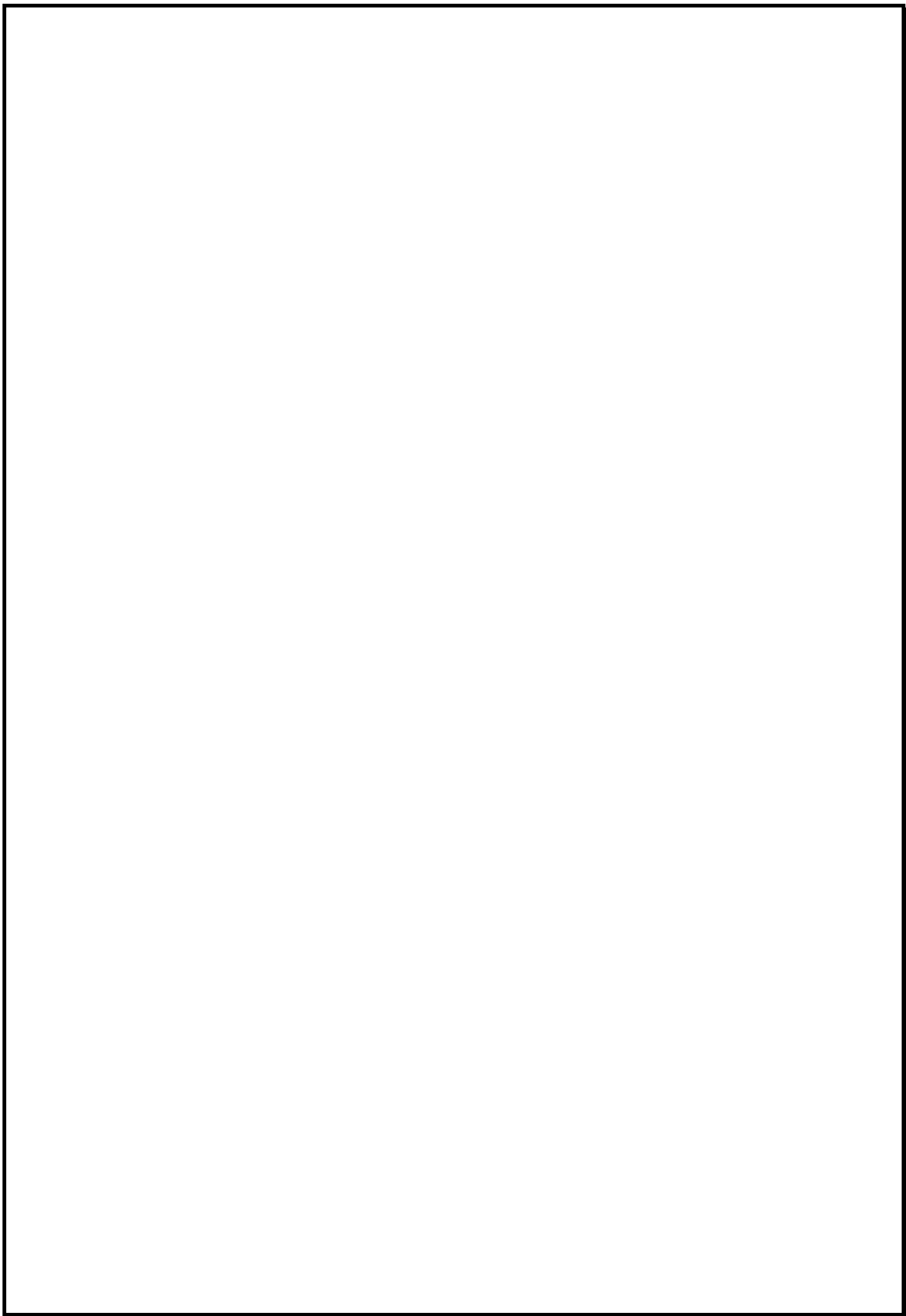
Liste des figures :

Figure 1 : Schéma technologique d'obtention des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait	6.
Figure 2: Cycle de valorisation du lactosérum	13.
Figure 3: Utilisations du lactosérum dans les différents produits alimentaires selon leurs importances	15.
Figure 4: Représentation simplifiée de l'effet d'un sel de fonte	29.
Figure 5: Schéma de fabrication du fromage fondu	31.
Figure 6: Schéma d'organisation de l'entreprise d'accueil DBK.....	38.
Figure 7: Diagramme de fabrication du fromage fondu au niveau de la laiterie DBK	45.
Figure 8: Capture d'écran des résultats de la simulation physico-chimique des deux produits fini obtenu par le modèle de simulation sur Excel	56.
Figure 09 : Photo du produit fini : fromage fondu avec l'eau et le fromage fondu avec lactosérum.....	
Figure 10 : Photo du produit fini : fromage fondu avec l'eau et le fromage fondu avec lactosérum.....	
Figure 11 : Photo du déroulement de la dégustation.....	
Figure 12 : Photo du déroulement de la dégustation.....	
Figure 13 : Photos de l'appareillage et verrerie.....	
Figure 14 : Capture d'écran des Coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum obtenus par modèle de simulation par Excel.....	
Figure 15 : Capture d'écran de l'estimation du pourcentage d'économie de matière première utile (MPU) obtenu par Excel.....	
Figure 16 : Capture d'écran de l'estimation des quantités annuelles produites de lactosérums obtenus par Excel.....	
Figure 17 : Capture d'écran des quantités élémentaires annuelles régénérées par lactosérum (tonnes) obtenus par Excel.....	

Liste des tableaux

Tableau I : Les différents types du lactosérum	4.
Tableau II : Composition des différents types de lactosérum	7.
Tableau III : Les bienfaits des protéines sériques du lactosérum.....	9.
Tableau IV : Composition en minéraux d'un litre de lactosérum(en mg/l)	12.
Tableau V : Teneur en vitamines dans le lactosérum.....	12.
Tableau VI: Les propriétés fonctionnelles du lactosérum.....	13
Tableau VII: Classification du fromage en fonction de la consistance, de la teneur en matière grasse et des principales caractéristiques d'affinage	20.
Tableau VIII: Les valeurs typiques de la composition des principaux groupes du fromage ..	21.
Tableau IX : La production mondiale de la spécialité fromagère entre 1995 et 2000	23.
Tableau X: Classification des fromages fondus selon la teneur en MG	24.
Tableau XI: Composition du fromage fondu	26.
Tableau XII: Exemples d'additifs alimentaires utilisés dans la fabrication du fromage fondu	29.
Tableau XIII: Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager	35.
Tableau XIV: Les différents produits, réactifs et appareils utilisés	39.
Tableau XV: Quantités des matières premières de la recette de base en kg	40.
Tableau XVI: Analyses physico-chimiques des produits finis et des matières premières.....	46.
Tableau XVII : résultats des analyses physico-chimiques des matières premières	51.
Tableau XVIII : Résultats des analyses physico-chimiques du fromage de fonte « cheddar »	53
Tableau XIX: Résultats des analyses physico-chimiques du fromage de fonte « camembert »	54.
Tableau XX: Résultats des analyses physico-chimiques des poudres de lait « P 26 » et « P 0 »	54.
Tableau XXI: Résultats des analyses physico-chimiques du beurre.....	55.
Tableau XXII: Résultats des analyses physico-chimiques du lactosérum	56.
Tableau XXIII: Quantités exactes des matières premières à utiliser dans la formule lactosérum en kg	57.

Tableau XXIV: Résultats des analyses et de la simulation physico-chimiques des deux produits finis.....	58.
Tableau XXV: Coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum.....	59.
Tableau XXVI: Estimation du pourcentage d'économie de matière première utile (MPU) ...	60.



Introduction

Le secteur industriel mondial a connu des évolutions très importantes, qui ont eu un impact négatif sur l'environnement et la santé publique. L'industrie laitière, en particulier l'industrie fromagère, est l'une des industries les plus polluantes, et la grande quantité de lactosérum rejetée a détruit l'écosystème aquatique (Agnes, 1986).

Le lactosérum est un produit découvert il y a plus de 3000 ans avant Jésus-Christ, par des Bédouins lors du transport du lait : l'acidification et la coagulation par la chaleur, provoquent la formation d'une phase liquide au-dessus d'un caillé du lait (De Witt, 1981).

Le lactosérum est un élément riche en éléments nutritifs tels que le lactose, les protéines solubles, les vitamines hydrosolubles, les éléments minéraux et la matière grasse, constituent un excellent milieu de culture pour les microorganismes). Il présente un problème majeur comme étant l'un des rejets industriels les plus polluants à cause de la fermentation organique qui peut avoir lieu. Sa charge organique est très élevée et sa BDO (demande biologique en oxygène) oscille aux environs de 40 000 mg.L⁻¹ alors que la norme de rejet pour une entreprise traitant ses effluents de façon autonome est de 30 mg.L⁻¹ (Agnes, 1986).

Selon Baldasso *et al* (2011), seulement la moitié du lactosérum est valorisé dans le monde ce qui exige de trouver des solutions simples et économiques pour la valorisation de ce coproduit.

Le fromage est l'un des dérivés du lait qui a toujours été une valeur sûre pour l'alimentation humaine de part sa richesse nutritive. C'est le résultat d'une transformation de lait très ancienne puisque des écrits témoignent de sa fabrication datant de trois mille ans avant notre ère, en basse Mésopotamie. Source précieuse de protéines, le fromage a été l'un des premiers moyens de conservation du lait, matière première rapidement périssable (Lambert, 1988).

Le fromage fondu est une préparation qui a permis une stabilisation bien plus poussée des protéines laitières, tout en conservant plus ou moins au produit fini l'aspect d'un fromage (Meyer, 1973).

L'Algérie est le premier consommateur du lait et des produits laitiers au Maghreb et ce place ainsi en troisième rang mondial en matière d'importation du lait et produit laitiers après l'Italie et le Mexique. Malgré l'immense diversification des types de fromage dans le marché, les fromages fondu en portion ressorte avec une meilleur prédilection du consommateur

Introduction

algérien au dépend des autres types du fromage qui sont considérés comme des produits de luxe (Chemache, 2011).

Depuis 2013, la production algérienne de fromage était de 1540 tonnes, ce qui se traduit par une production d'environ 14 millions de litres de lactosérum (FAO-ONU, 2017). Ces quantités massives font de la gestion du lactosérum un enjeu à la fois économique et écologique (De Witt, 1981).

Le problème qui se pose en Algérie est d'allier la rentabilité économique et augmenter le taux d'intégration du lactosérum brut dans divers aliments en Algérie sans recourir à l'importation de la poudre de lactosérum.

C'est dans ce contexte que cette étude qui vise à valoriser le lactosérum brut, le produit de fromage à pâte molle, dans la formulation de pâtes fondue. Ce travail est une réponse à la problématique posée au-dessus, qui peuvent constituer une nouvelle approche et perspective pour l'industrie agro-alimentaire algérienne et réduire l'importation de poudre de lactosérum.

Pour cela, nous structurerons ce document de la manière suivante :

La première partie est dédiée à la recherche bibliographique sur les matières premières (lactosérum, fromage, fromage fondu).

La deuxième partie est dédiée à la partie pratique, qui comprend :

- 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, pour remplacer la quantité d'eau utilisée dans la recette standard.
- Valider le modèle en comparant les rapports MG/MS des deux fromages : le fromage fondu de référence et le fromage fondu à base du lactosérum ;
- Suivre la stabilité physico-chimique et microbiologique des fromages au cours de leurs conservations.

I.1. Historique

Le lactosérum est un produit découvert il y a plus de 3000 ans avant Jésus-Christ, par des Bédouins lors du transport du lait : l'acidification et la coagulation par la chaleur provoquaient la formation d'une phase liquide au-dessus d'un caillé de lait (De Wit *et al.*, 1983).

En 460 ans avant Jésus-Christ, Hippocrate prescrivait du lactosérum à ses patients pour améliorer leur système immunitaire, et pour guérir des maladies gastro-intestinales et cutanées. La consommation du lactosérum est devenue une habitude à la mode à partir du XVII^{ème} siècle en Europe (Susli, 1956 ; Holsinger, 1978 et Heffernan, 2015).

Au début du XX^{ème} siècle, l'augmentation de la production fromagère et des caséines a conduit à la production de fortes quantités de lactosérum. Le rejet de ce dernier dans les rivières a causé des dégâts environnementaux ce qui est devenu un problème pour les industriels. La concentration ou le séchage du lactosérum liquide pour le conserver ou faciliter son transport étaient les premières tentatives pour valorisation du lactosérum (Guo, 2019).

La 1^{ère} réussite était en 1908, quand Merel a réussi à obtenir de la poudre du lactosérum doux par atomisation (Merel, 1911).

Dues au manque de moyens technologiques de récupération et de purification des protéines du lactosérum, les utilisations de ce sous-produit étaient limitées en alimentation animale et dans la formulation d'aliments infantiles (pour sa teneur élevée en lactose) mais aussi dans la boulangerie et confiserie (Berry, 1923).

Le développement du procédé de filtration membranaire en 1970, a permis une meilleure extraction des différents constituants (Guo, 2019).

I.2. Définition et caractéristiques

Traditionnellement, l'opération qui suit l'étape de coagulation consiste à séparer la phase coagulée du reste du lait au cours d'une opération d'égouttage. La fraction liquide ainsi recueillie s'appelle le lactosérum. Ce dernier est un sous-produit de la fromagerie obtenu suite à la coagulation des caséines sous l'action de la présure (lactosérum doux), ou suite à l'acidification du lait (lactosérum acide). Il représente près de 90% du lait mis en œuvre (Kosikowski et Wzorek, 1979 ; Mereo, 1980 ; Morr, 1989).

Le lactosérum est un liquide jaune verdâtre, contenant une quantité importante de protéines de lait environ 20% et riche en éléments nutritifs : contient environ 50 % des nutriments du lait de départ : protéines solubles, lactose, vitamines et minéraux. Il est très fermentescible et fragile et représente 85 à 90% du volume de lait utilisé (Guidini *et al.*, 1984 ; Muller et Bernard, 2003).

I.3. Les différents types du 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 l'acidité et le pH, le lactosérum peut être divisé en deux types : lactosérum doux et lactosérum acide (Tableau I) (Linden et Lorient, 1994).

Tableau I : Les différents types du lactosérum (Adrian *et al* ; 1991).

Degré d'acidité	Types	pH	Production
<18D°	Lactosérum doux	6,5 - 6,7	Fromage à pâte pressée. Fromage à pâte cuite. Caséinerie présure.
>18D°	Lactosérum acide	4,5 - 5,5	Fromagerie à pâte fraîche. Fromagerie à pâte molle. Caséinerie acide

I.3.1. Lactosérum doux

Le lactosérum doux est obtenu après la coagulation de la caséine sous l'action de la présure sans acidification préalable (Lorient et Linden, 1994) 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).

Lorsque le lactosérum de fromagerie n'est pas traité avec toutes les précautions nécessaires, la poursuite de la fermentation naturelle augmente son acidité (Morr et Hal, 1993).

Le lactosérum doux est issu de la fabrication de fromage à pâte pressée cuite ou non cuite avec un pH variant entre 6.5 et 6.7 et un degré d'acidité inférieur à 18°D (Tableau I) (Adrian *et al.*, 1991).

I.3.2. Lactosérum acide

Le lactosérum acide est le produit laitier liquide obtenu durant la fabrication du fromage, de la caséine ou de produits similaires par séparation du caillé après coagulation du lait et/ou des produits dérivés du lait (Codex alimentarius, 2002).

Lorsque la protéine « caséine » est combinée à des sels de calcium, l'acidification entraîne sa déminéralisation qui fait passer dans le sérum une part importante d'élément minéraux, notamment le calcium et le phosphore (Sottiez, 1990). Ce qui fait que ce type de lactosérum est plus riche que le lactosérum doux en minéraux notamment, le calcium et le phosphore (Boudier et Luquet, 1989).

Les teneurs élevées en acide lactique et en minéraux posent des difficultés pour la déshydratation, aussi les lactosérums acides sont souvent utilisés à l'état liquide alors que les sérums doux sont généralement déshydratés (Moletta, 2002).

Le lactosérum acide est issu de la fabrication de fromage à pâte fraîche et à pâte molle le pH de ce lactosérum peut aller de 4,4 à 5,5 et son degré d'acidité est supérieur à 18°D (Tableau I) (Adrian *et al.*, 1991).

I.3.3. 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 (90 C°) 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, comme le montre la figure 01, le perméat

d'ultrafiltration, caractérisé par une haute teneur en lactose et en sels minéraux, peut être valorisé après déminéralisation (Chagnon, 1997 ; 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 01 :

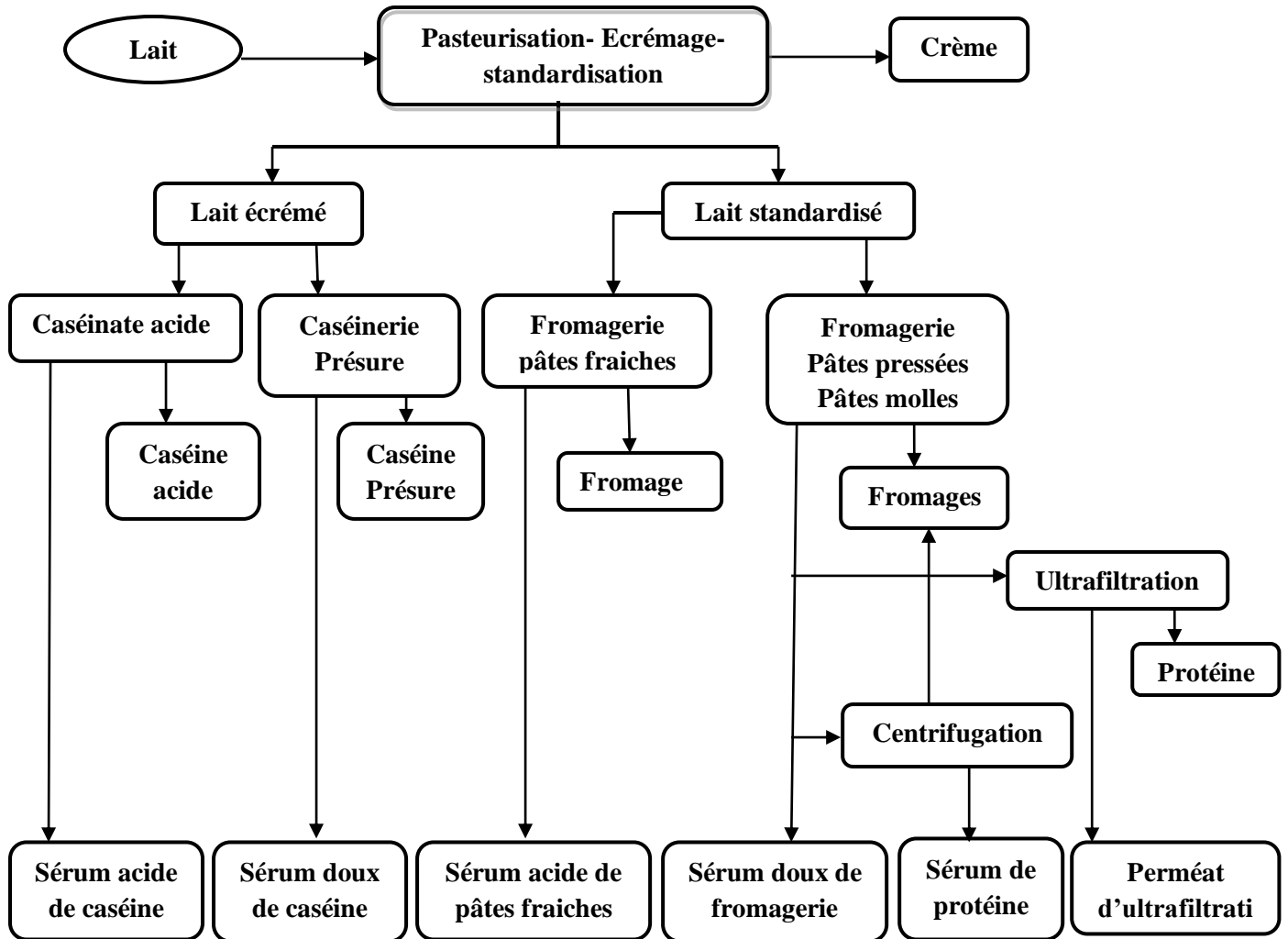


Figure 01 : Schéma technologique d'obtention des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait (Luquet, 1990).

I.4.Sources industrielles de lactosérum➤ **La fromagerie**

C'est l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication des fromages à partir du lait nature, ce dernier subit les processus de coagulation et de synérèse, aboutissant d'une part à une phase solide le « fromage », d'une part à une phase liquide «le lactosérum» (Laplanche, 2004).

➤ **La beurrerie**

C'est l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication du beurre à partir du lait nature. Après écrémage total de ce dernier suivi d'une extraction de la caséine par précipitation on obtient du « lactosérum écrémé » (Laplanche, 2004).

I.5. Composition du lactosérum**Tableau II** : 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

Les caractéristiques des différents types de sérum dépendent de la qualité du lait mis en œuvre, de la technologie fromagère utilisée et des traitements subis par le sérum après séparation, ainsi que des conditions de collecte, de stockage et de transport (Chaput, 1981).

Le tableau II ci-dessous présente la composition moyenne des lactosérums doux et acide.

I.5.1. L'eau

Le lactosérum se caractérise par une très grande dilution, il contient en moyenne 94% d'eau (Morr et Ha, 1993 ; Linden et Lorient, 1994).

I.5.2. Le lactose

Le lactose est le principal constituant du lactosérum (76 g/l). Il représente l'essentiel de la matière sèche du sérum, c'est un diholoside constitué par l'union d'une molécule de α ou β -D- glucose et d'une molécule de β -D-galactose par une liaison osidique 1-4 (Luquet et François, 1990 ; Sottiez, 1990).

Le lactose est caractérisé par : Une solubilité limitée, Un pouvoir sucrant faible. Sa seule source importante dans la nature est le lait et les produits laitiers (Visser, 1988).

I.5.3. Les protéines

Les protéines du lactosérum présentent plusieurs propriétés qui sont capables de prévenir plusieurs maladies et d'améliorer l'immunité comme le démontre le tableau III:

Tableau III : Les bienfaits des protéines sériques du lactosérum (Marshall, 2004).

Les protéines du lactosérum	La teneur (%)	Les bienfaits
β-lactoglobuline	50-55	Source d'acides aminés essentiels et d'acides aminés à chaîne ramifiée
α-Lactalbumine	20-25	Principale protéines du lait humain Source d'acides aminés essentiels et d'acides aminés à chaîne ramifiée
Immunoglobulines	10-15	Principale protéines du colostrum Responsable de l'immunité
Lactoferrine	1-2	Antioxydant-antibactérien antiviral-antifongique, Permet le développement de bactéries bénéfiques.
Lactoperoxydase	0.50	Inhibe le développement des bactéries
BSA	5-10	Source d'acides aminés
GMP	10-15	Source d'acides aminés à chaîne ramifiée

Ces molécules ne forment pas la fraction la plus abondante du lactosérum (13,5 g/l), mais elles sont les plus intéressantes sur le plan économique et nutritionnel. Il s'est avéré que la valeur nutritionnelle des protéines sériques du lait est supérieure à celle des protéines du blanc d'œuf prises comme protéines de référence (Sottiez, 1990 ; Eugenia, 2006).

Les protéines du lactosérum sont composées de plusieurs types de protéines qui diffèrent significativement dans leurs propriétés moléculaires, physiques et fonctionnelles. Cependant ces protéines possèdent certaines similitudes comme leur structure globulaire et leur solubilité à pH 4.6 (De Wit et Hontelez-Backx, 1981).

I.5.3.1. β -lactoglobuline

La β -lactoglobuline (β -LG) est la plus abondante des protéines du lactosérum, elle représente 50% (Tableau III) des protéines totales du lactosérum (Eugenia *et al.*, 2006; Roufik *et al.*, 2007).

Il s'agit d'une protéine globulaire de structure compacte, composée de 162 résidus d'acide aminés et dont la masse moléculaire relative est de 18,3 kDa. Jusqu'à présent, 9 variantes génétiques ont été identifiées dans cette protéine (Uchida *et al.*, 1996 ; Eugenia *et al.*, 2006 ; Roufik *et al.*, 2007).

Bien que le rôle physiologique de la β -lactoglobuline est encore mal défini, cette protéine est d'une très grande qualité nutritive grâce à son contenu élevé en acides aminés essentiels, notamment la leucine et la lysine. De plus, elle est riche en méthionine et en cystéine qui sont les principales sources de soufre (Morr, 1989 ; Harmbling *et al.*, 1992).

I.5.3.2. α -Lactalbumine

Après la β -lactoglobuline, la protéine la plus importante dans le lactosérum est l' α -Lactalbumine, L'une des plus petites de toutes les protéines avec 123 résidus d'acides aminés. Son poids moléculaire est de 14 kDa et représente 20% (Tableau III) des protéines totales du lactosérum ((De Wit et Hontelez-Backx, 1981 ; Morr et Ha, 1993).

L' α - lactalbumine est une autre protéine fonctionnelle très intéressante de part sa richesse en tryptophane, qui en fait une base de fabrication de peptides très utilisée par l'alimentation diététique ou alicamenteus (Bergel et Feron, 2004).

I.5.3.3. Immunoglobulines

Ce sont des glycoprotéines qui représentent 10 à 15 % (Tableau III) des protéines totales du lactosérum de haut poids moléculaire 150 à 1000 kDa, responsables de l'immunité.

On distingue trois grandes classes d'immunoglobulines : IgG, IgA, IgM. Elles sont les protéines du lactosérum les plus sensibles à la dénaturation thermique (Thapon, 2005).

I.5.3.4. Lactoferrine

La lactoferrine, une glycoprotéine liant le fer, est un antioxydant non enzymatique présent dans le lactosérum du lait ainsi que dans le colostrum. La lactoferrine représente 1 à 2 % (Tableau III) des protéines du lactosérum et est constituée de 691 résidus d'acides aminés avec un poids moléculaire de 77 kDa (Pierce *et al.*, 1991).

Quand elle est appauvrie de fer (contenant moins de 5 % de fer), est appelée Apolactoferrine. Cette dernière est présente dans le lait maternel (Steijns et Van Hooijdonk, 2000).

I.5.3.5. Lactoperoxydase

Elle appartient au groupe des glycoprotéines. Elle possède un atome de fer par molécule. Sa teneur est faible soit 0.5 % (Tableau III) des protéines du lactosérum avec un poids moléculaire de 78 kDa, cette protéine possède un pouvoir bactéricide sur les Grams négatifs (Jouan, 2002).

I.5.3.6. Sérum albumine bovine (BSA)

Sérum albumine bovine représente 5 à 10 % des protéines du lactosérum (Tableau III), il est constitué de 582 résidus d'acides aminés ce qui fait de lui une source importante de ces derniers. Les liaisons des acides gras stabilisent la molécule de protéine contre la dénaturation par la chaleur. Il est soluble jusqu'à 35% à température de 3 °C dans l'eau distillée, mais subit une précipitation extensive à la température ambiante dans la gamme de 40 à 45 °C (Morr *et al.*, 1993).

I.5.3.7. Glycomacropéptide (GMP)

Le GMP représente 10 à 15 % (Tableau III) des protéines du lactosérum et c'est un fragment correspondant aux (106-109) de la caséine k obtenu suite à l'hydrolyse de celle-ci après emprésurage du lait par la chymosine. Le GMP est très soluble dans l'eau à cause de sa nature très hydrophile et demeure dans le lactosérum après coagulation du lait (Cayot et Lorient, 1998 ; Zydney, 1998).

I.5.4. Les éléments minéraux

Dans certains procédés de fabrication des fromages, il y a l'étape de salage où il y a addition de sels, qui avec toutes les matières minérales en solution dans le lait se retrouvent dans le lactosérum. Les 8 à 10% des matières salines de l'extrait sec du sérum sont constitués

de chlorures de sodium et de potassium (50%) et le reste de différents sels de calcium, principalement sous forme de phosphate de calcium (Vrignaud, 1983).

D'après (Méreo, 1971), ces sels minéraux constituent en quelques sortes les éléments indésirables « du sérum ». En effet, il semblerait qu'une quantité relativement élevée constitue un obstacle à l'utilisation de lactosérum dans l'alimentation humaine et infantile. Elle est également un écueil pour les traitements technologiques, notamment en vue de préparation de lactose pur et des protéines. Il est donc avantageux de déminéraliser le sérum partiellement grâce à des techniques physico-chimique, telle que l'électrodialyse (Linden *et al*, 1994), le tableau IV représente la composition en minéraux d'un litre du lactosérum.

Tableau IV: Composition en minéraux d'un litre de lactosérum (en mg/l) (Berrocal, 2000).

Minéraux	Lactosérum doux	Lactosérum acide
Calcium	400	1200
Phosphore	360	680
Chlorures	1100	1500
Magnésium	80	90
Sodium	500	500
Potassium	1400	1400

I.5.5. La matière grasse

Une certaine quantité de lipide du lait est entraînée dans le lactosérum brut, cependant cette quantité est faible elle est estimée à un taux de 1,00 g/l, du fait de son extrême pauvreté en corps gras, le lactosérum a un faible apport calorique (26 Calories/ dL) (Sottiez, 1990).

Le plus souvent, dans les traitements industriels le lactosérum est écrémé; la matière grasse ainsi récupérée est utilisée dans la fabrication d'un beurre de second choix (Boudier *et al*, 1989).

I.5.6. Les vitamines

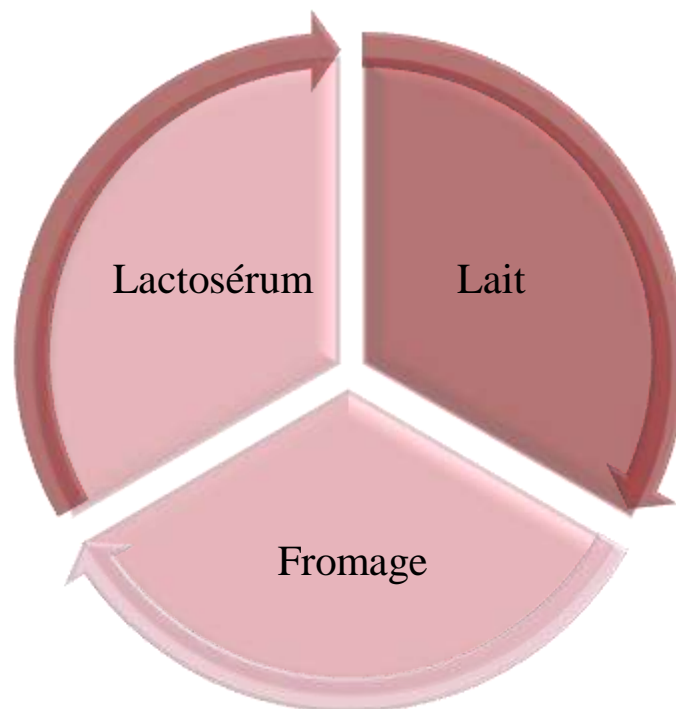
Le lactosérum contient la majeure partie des vitamines hydrosolubles présentes dans le lait, il est particulièrement riche en riboflavine (qui lui donne la couleur jaune verdâtre), d'acide pantothénique (B5), thiamine (B1), de pyridoxine (B6) et l'acide ascorbique (Woo, 2002) (Tableau V).

Tableau V : Teneur en vitamines dans le lactosérum (Vrignaud, 1983).

Vitamines	Concentrations (mg/100g)
Thiamine (B1)	4
Riboflavine (B2)	43
Acide nicotinique (B3)	0.85
Acide pantothénique (B5)	45
Pyridoxine (B6)	5.3
Cobalamine (B12)	0.159
Acide ascorbique (C)	2.2

I.6. Valorisation du lactosérum

Le lactosérum présente plusieurs avantages grâce à ses propriétés techno-fonctionnelles et nutritionnelles. Il constitue pour l'industriel un enjeu économique et écologique, son cycle de valorisation est représenté sur la figure 02 :

**Figure 02** : Cycle de valorisation du lactosérum (Travail personnel).

I.6.1. Propriétés fonctionnelles et nutritionnelles

Les propriétés fonctionnelles et nutritionnelles du lactosérum sont liées au lactose et aux protéines (Lupin, 1998).

I.6.1.1. Propriétés fonctionnelles

Les protéines sériques présentent d'excellentes propriétés fonctionnelles telles que la gélification, stabilité vis-à-vis des traitements thermiques, formation de mousse et émulsification (Ramos *et al.*, 2016).

Le lactose est un facteur favorable aux réactions de caramélisations et réaction de Maillard, c'est un très bon support d'arôme et un bon substrat de culture pour les ferments de maturation (Sottiez, 1985).

Le tableau VI ci-dessous, résume les propriétés fonctionnelles du lactosérum.

Tableau VI : Les propriétés fonctionnelles du lactosérum (Woo, 2002).

Propriétés fonctionnelles	Modes d'action	Produits alimentaires
Solubilité/hydratation	Les protéines lient/retiennent l'eau	Viandes, boissons, pain, gâteaux, saucisses
Gélification/viscosité	Formation matricielle des protéines et l'épaississement	Vinaigrettes, soupes, fromage épais, aliments faits au four, sauces, viandes
Pouvoir émulsifiant	Les protéines stabilisent les émulsions de matière grasse	Saucisses, soupes, gâteaux, vinaigrette
Pouvoir moussant/fouettant	Les protéines forment une pellicule stable	Gâteaux, desserts
Brunissement Couleur/saveur	Le lactose subit une réaction de caramélisation	Confiserie, viandes, sauces, soupes

I.6.1.2. Propriétés nutritionnelles

Le lactosérum est un produit intéressant par ses teneurs en protéines riches en acides aminés indispensables tels que la lysine, la tryptophane, la cystéine et les acides aminés à chaîne ramifiée : leucine, isoleucine et valine ; nécessaires à la régénération des muscles (Gryson *et al.*, 2008).

La consommation de protéines de lactosérum avant un repas pourrait contribuer à améliorer le contrôle glycémique chez des patients atteints de diabète de type 2. Les protéines sériques abaissent : la pression artérielle chez les personnes hypertendus, permettent de contrôler le poids corporel en réduisant l'appétit, la prise alimentaire et de ce fait l'apport énergétique (Fluegel *et al.*, 2010 ; Zafar, 2013 ; Jakubowicz *et al.*, 2014).

Le lactose permet la stabilisation du pH intestinal d'où une utilisation digestive du calcium et évite l'installation de flores putréfiantes. C'est un constituant essentiel des cérébrosides composant les tissus nerveux (Sottiez, 1990 ; Gerard et Debry, 2001).

I.6.1.3. Intérêt économique

La valorisation du lactosérum en différents produits réduira la dépendance des pays vis-à-vis des importations, ce qui conduira à d'importants gains économiques, de nouvelles perspectives et de nouveaux investissements, De plus, il permet la création d'emplois et la fabrication de produits à haute valeur ajoutée (Bardy *et al.*, 2016 ; Srinath et Swaroopa, 2017).

I.7. Utilisation du lactosérum et de ses constituants

La figure 03 résume l'ensemble des catégories d'aliments dans lesquelles le lactosérum et ses produits sont utilisés.

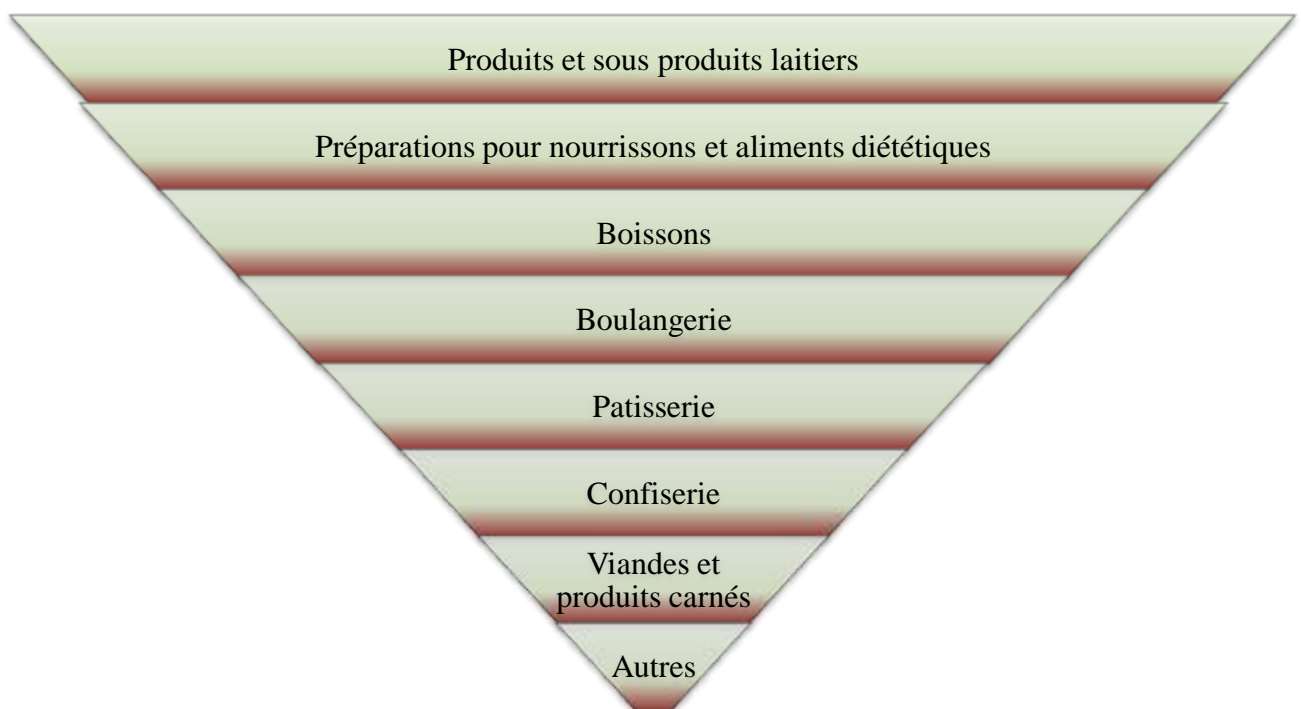


Figure 03: Utilisations du lactosérum dans les différents produits alimentaires selon leurs importances (Travail personnel).

L'industrie laitière génère des quantités importantes de lactosérum, qui devraient être gérées de manière adéquate, non seulement pour répondre aux préoccupations environnementales, mais aussi pour élaborer des produits à valeur ajoutée (Brandelli *et al.*, 2015).

I.7.1 Usage agricole

Le lactosérum animal et la fertilisation des sols sont les façons les plus simples de disposer de lactosérum sous sa forme liquide (Macwan *et al.*, 2016).

Néanmoins, ce produit possède un contenu nutritionnel élevé et un intérêt zootechnique important pour les éleveurs de porcs et de bovins (Alonso *et al.*, 2012).

L'ultra filtrat du lactosérum à l'état liquide et 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 (Boudier et Luquet, 1989).

I.7.2. Usage en biotechnologie

Le lactosérum peut être utilisé comme substrat de fermentation dans la production d'une gamme de bioproduits en raison de sa composition riche en macro et micronutriments (lactose, protéines, matière grasse, vitamines et minéraux) qui favorisent la croissance microbienne (Delghan *et al.*, 2016).

I.7.3. Usage alimentaire

Les applications alimentaires des ingrédients du lactosérum, comprennent les produits laitiers, les boissons, en boulangerie, biscuiterie et pâtisserie, en confiserie, les produits de nutrition sportive, les aliments fonctionnels, les préparations pour nourrissons, les produits de nutrition clinique, les desserts, les sauces, les soupes et les viandes transformées (Harper, 1992 ; Bansal et Bhandari, 2016).

I.7.3.1. Industrie laitière

Le lactosérum est très utilisé pour fabriquer des laits maternisés en poudre. Cela a pratiquement été l'une des premières utilisations de lactosérum doux. 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 (Apria, 1973 ; Boudier et Luquet, 1989).

I.7.3.2. En fromagerie

Les fromages secondaires sont fabriqués à partir du lactosérum s'écoulant lors de la fabrication du fromage primaire. Le plus connu est la Ricotta Italienne (Apria, 1973).

Le lactosérum et les protéines de lactosérum sont utilisés comme matières premières dans la fabrication du fromage fondu car ils améliorent la tartinabilité et la stabilité du fromage fondu mais ne doivent pas être utilisés en quantité trop importante sous peine d'affecter la consistance du produit ou d'être à l'origine de la réaction de Maillard (Chambre et Draurekkes, 1997).

I.7.3.3. Industrie des boissons

La production de boissons à base de lactosérum. Elles ont une grande valeur diététique et une digestion facile et rapide. Elles sont désaltérantes et très agréables à boire n raison de leur solubilité à Ph acide, les CPL peuvent être utilisés jusqu'à 3% pour fortifier les boissons et jus de fruits en protéines. Le produit reste clair et stable (De Boer et al, 1977 ; Morr, 1989).

I.7.3.4. Dans les 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 (Apria, 1973).

I.7.3.5. En boulangerie

Le lactosérum doux est utilisé comme moyen de conservation grâce à la combinaison du lactose avec les matières azotées (réaction de Maillard) qui donnent des complexes stables et constituent donc un moyen de défense naturel contre le rancissement, amélioration du goût, de l'arôme du pain et des caractéristiques internes et externes : affinage de la coloration, pate plus tendre et augmentation du rendement (Apria, 1980).

I.7.3.6. En pâtisserie

Production de meringues identiques à celles obtenues à partir du blanc d'œuf (De Boer et al, 1977 ; De Wit et al, 1983).

Dans les gâteaux de type génoise, le sérum masque un peu le goût de l'œuf et on obtient une grande régularité dans les produits et leur consistance est très moelleuse (Apria, 1973).

I.7.3.7. En confiserie

Le lactosérum a d'importantes utilisations dans la fabrication de certains bonbons et chocolats les ingrédients du lactosérum sont utilisés dans les différents produits de confiserie (bonbons, chocolat, caramel...) pour améliorer la couleur et la saveur ainsi que l'enrichissement en protéines du produit fini (Vignaud, 1983).

I.7.3.8. Dans la viande et produits carnés

Les propriétés gélifiantes, épaississantes, émulsifiantes et de rétention d'eau des CPL sont exploitées dans les produits carnés. Le lactosérum peut remplacer le lait dans les salaisons dans certains types de charcuterie ou du blanc d'œuf dans le saucisson cuit et comme agent de liaison (Morr, 1989).

I.7.3.9 Dans les produits diététiques et infantiles

La production de formules lactées pour nourrissons en raison de la composition en protéines sériques qui sont facilement digérés et assimilés. Elles présentent une forte proportion en acide aminés essentiels (Apria, 1973).

I.7.4. Autres utilisations

Le lactose est utilisé comme exhausteur de goût, rétenteur d'arômes. Il peut être introduit dans un grand nombre de préparations : soupes, sauces de salades. Les protéines du lactosérum sont utilisées dans les préparations pour les desserts (Apria, 1973).

I.8. Problématique du lactosérum

Le lactosérum présente une forte demande biochimique en oxygène (DBO) et une forte demande chimique en oxygène (DCO) environ 50g.l^{-1} et 80g.l^{-1} respectivement, ce qui cause un sérieux problème environnemental (Jorge *et al.*, 2006).

Selon la FAO (2011), la production mondiale de fromage a été estimée à 19670 kT en 2010, ce qui a engendré environ 177028 kT de lactosérum en tant que sous-produit. Le taux de croissance annuelle est estimé à 1.64%, ce qui entraîne environ 211500 kT de lactosérum en 2020.

Le perméat du lactosérum représente aussi un problème environnemental majeur puisqu'il retient la partie majeure de lactose et 70% des solides totaux de lactosérum. Le rejet de 100 tonnes de lactosérum correspondrait à une charge organique équivalente à celle rejetée par une ville comptant 55000 habitants (Sienkiewicz et Riedel, 1990).

Le transport du lactosérum n'est pas rentable en raison de sa forte teneur en eau. Le séchage du lactosérum nécessite un important investissement en capital, consomme beaucoup d'énergie et n'est pas économiquement rentable (Bernstein et Everson, 1973 ; Keller et Gerhardt, 1975).

Généralités sur le fromage

II.1. Historique

Le nom fromage dérivant du mot latin « formaticus », signifie former ou mouler. La première occurrence de l'utilisation du fromage comme aliment est inconnue, les ethnologues tiennent preuve que l'homme a connu depuis longtemps le phénomène de coagulation du lait depuis la découverte sur les rives du lac Neuchâtel (en Suisse) des moules à caillé datant de 5000 ans av J-C (Gelais *et al.*, 2002 ; Katz et Weaver, 2003).

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 (AbiAzar, 2007).

Les premières tentatives de stabilisation thermique des fromages ont été réalisées autour de 1890 en Allemagne, où trois sociétés ont appliqué le procédé d'appertisation de fromages à pâte molle. Ces fromages de type camembert en boîtes de conserve furent l'objet à l'époque d'exportations massives Outre-mer. Quelque temps après aux Pays-Bas, ce procédé était étendu à des fromages à pâte pressée non cuite (brevet déposé le 18 mars 1899), ce qui a permis d'exporter plus d'un million de boîtes de 300 g à partir de 1900 (Roustel, 2014).

II.2. Définition et caractéristiques

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 (Jeant *et al.*, 2007).

Le fromage est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi dure, dure ou extra-dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum /caséine ne dépasse pas celui du lait, et qui est obtenu selon Codex Standard 283-1978 par :

- ✓ Coagulation complète ou partielle des protéines du lait, du lait écrémé, du lait partiellement écrémé, de la crème 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, tout en respectant le principe selon lequel la fabrication du fromage entraîne la concentration des protéines

du lait (notamment de la caséine), la teneur en protéines du fromage étant par conséquent nettement plus élevée que la teneur en protéines du mélange des matières premières ci-dessus qui a servi à la fabrication du fromage .

- ✓ L'emploi des 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 de bonnes caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques.

II.3. Classification des fromages

Vu la variété et les différentes caractéristiques du fromage on peut avoir plusieurs classifications résumé dans le tableau VII (Voir aussi annexe 01). Elle est complétée par des normes individuelles précisant les caractéristiques particulières de divers fromages selon la norme FAO /OMS n° A-6 (1978).

- **Formule 01** : classification des fromages selon le pourcentage de la teneur en eau dans les fromages digressé qui varie de <51 pour la pâte extra dure à >67 pour la pâte molle
- **Formule 02** : classification des fromages selon le pourcentage la matière grasse dans l'extrait qui varie de >60 pour les fromages extra gras à <10 pour le fromage maigre
- **Formule 03** : représente classification des fromages selon l'affinage C'est la phase ultime de la fabrication des fromages caillés qui lui permet d'acquérir sa saveur caractéristique. l'affinage est en fait la résultante de trois actions : La dégradation des protéines, l'hydrolyse de la matière grasse, la fermentation du lactose (Mietton, 1995 ; Majdi, 2009)

De nombreux pays possèdent une réglementation propre concernant notamment, la définition et la composition des produits (Norme Algérienne : NA N°10.96.25., 2013).

Tableau VII: Classification du fromage en fonction de la consistance, de la teneur en matière grasse et des principales caractéristiques d'affinage selon la norme (Codex Stan A-6- 1078).

Formule 01		Formule 02		Formule 03
TEFD*(%)	Premier élément de dénomination	MGES**(%)	Second élément de détermination	Détermination d'après les principales caractéristiques d'affinage
<51	Pate extra dure	>60	Extra gras	1. Affiné
<51 – 56	Pâte dure	45 – 60	Tout gras	a. Principalement en surface
56 – 63	Pate demi dure	25 – 45	Mi gras	b. Principalement dans la masse
63 -67	Pate demi molle	10 – 25	Quart gras	
>67	Pâte molle	<10	Maigre	1. Affiné aux moisissures : a. Principalement en surface b. Principalement dans la masse 2. Frais

*TEFD = pourcentage de la teneur en eau dans le fromage dégraissé

**MGES= pourcentage de la matière grasse dans l'extrait

II.4. La valeur nutritionnelle du fromage

Le fromage est un produit précieux avec une haute valeur nutritionnelle, un bon goût et une nutrition riche. Il joue un rôle important dans la nutrition humaine.

Les fromages sont riches en calcium et en phosphore : il existe de nombreuses études qui suggèrent que les fromages contre les caries dentaires grâce à sa richesse en phosphore et en calcium qui affecte la disposition et l'extraction des minéraux des dents (Walter *et al.*, 2008).

Les valeurs typiques de la composition des principaux groupes du fromage pour 100g du fromage sont représentées dans le tableau VIII.

Tableau VIII: Les valeurs typiques de la composition des principaux groupes du fromage (pour 100g du fromage) (Scotte *et al.*, 1998).

Fromages		Parmesan	Cheddar	Edam	feta	Fromage fondu
Composants						
Eau(g)		18.4	36	43.8	58	42.31
Protéines(g)		39.4	25.2	6.0	20	24.73
Lipides(g)		32.7	34.4	25.4	21	25.01
Cholestérol (µg)		100	100	80	70	85
Energie (kal)		452	412	33	250	334
Vitamine	Vitamine A	345	325	175	-	-
	Vitamine D	0.25	0.26	0.19	0.03	0.5
	Vitamine E	700	480	480	80	370
Minéraux	Sodium	1090	670	1020	380	1440
	Potassium	110	77	97	89	95
	Calcium	1200	720	7.70	37	360
	Magnésium	45	25	39	9	20
	Phosphore	810	490	530	160	280
	Zinc	5.3	2.3	2.2	0.6	0.9
	Sulfure	250	230	-	-	-
	Chlorides	1820	1030	1570	550	2350

II.5. Fromage fondu

II.5.1. Historique

La possibilité de produire le fromage fondu a été traitée pour la première fois vers la fin du 19^{ème} siècle. Les sels de fonte n'étaient pas utilisés et le produit n'a pas réussi, c'étaient des produits liés à la récupération ou la valorisation de restes de fromages « passés » (trop faits, trop durs) ou accidentés. Après avoir coupé et broyé de vieux morceaux de fromage immangeables, on les trempait dans un liquide (fromage frais, lait...Etc.) afin d'enclencher une seconde fermentation (Evette, 1975).

Le premier fromage fondu réussi, dans lequel les sels de fonte ont été utilisés fut introduit en Europe 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) et aux USA en 1916 par Kraft (Meyer, 1973).

En 1917, l'entreprise KRAFT basée à Chicago a commercialisé le premier fromage fondu de cheddar en portion de 5 livres, fabriqué pour ravitailler l'armée américaine. Après 1930, le fromage fondu a pris son envol sur les marchés européens grâce à l'utilisation des poly phosphates, comme sels de fonte émulsifiants (Eck *et al.*, 1997).

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).

En Algérie le fromage le plus consommé est le fromage fondu. Les Algériens en consomment plus de 20 000 tonnes l'année. Ce qui explique cette tendance à la consommation, c'est le facteur de conservation de longue durée du fromage fondu qui n'a pas besoin d'une chaîne de froid. Et il reste également le moins cher. L'Algérie est un pays importateur des fromages. L'évolution des importations des fromages a enregistré un taux de 75 % entre 1995 et 1998. Ceci montre que la production des fromages en Algérie était faible et n'arrivait pas à satisfaire les besoins du marché algérien (Padilla et Gherzi, 2001)

La production de la spécialité fromagère dans différents pays est illustrée dans le tableau IX. La production globale est estimée à une quantité de 2 millions de tonnes/an, qui est l'équivalent de 13 % du total des fromages (Guinee *et al.*, 2004).

Tableau IX : La production mondiale de la spécialité fromagère entre 1995 et 2000 (en milliers de tonnes (Guinee *et al.*, 2004).

Pays	1996	2000	Evolution 1996/2000 (%)
France	126	134	+1.5
Allemagne	157	171	+2.2
Italie	20	20	+0.1
Belgique	54	55	+0.8
Espagne	39	37	-1.3
USA	1081	/	/

II.5.2. Définition

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 émulsifiassions du mélange, sous l'action de la chaleur et par utilisation de sel émulsifiants (ou de fonte) dans un mélange homogène, pour produire une émulsifiant homogène, lise et stable de type huile-dans-eau (CODEX STAN 283-1978).

La teneur minimale en matière sèche est de 40g pour 100g de produit. Ce dernier est obtenu par des techniques de traitement qui incluent la fonte et conduisent à l'émulsifiassions des matières premières et doit avoir subi, au cours de sa fabrication, une température d'au moins 70°C pendant 30 secondes ou toute autre combinaison de durée et de température d'effet équivalent (J.O.R.A., 2007).

II.5.3. Classification

Les fromages fondus peuvent avoir plusieurs classifications :

II.5.3.1. Classification selon contenance en matière grasse

Selon la teneur en matière grasse de l'extrait sec (MG/ES), les fromages fondus peuvent se diviser en sept catégories présenter dans le tableau X suivant :

Tableau X: Classification des fromages fondus selon la teneur en MG (D.F.I., 2009).

Catégories selon la teneur en MG	Teneur minimale MG/ES (g/kg)	Fromage fondu ES minimal (g/kg)	Fromage fondu à tartiner ES minimal (g/kg)
Double crème	650	530	450
Crème	550	500	450
Gras	450	500	400
Trois quarts gras	350	450	400
Demi gras	250	400	300
Quart gras	150	400	300
Maigre	Moins de 1	400	300

II.5.3.2. Classification selon la forme

II.5.3.2.1. Fromage fondu type « bloc »

Le traitement thermique subi est modéré de manière à conserver au produit fini une élasticité marquée et une bonne tranchabilité, comparable à celle d'un fromage classique. Pour assurer sa stabilité, sa teneur en matière sèche est élevée et il est fondu partiellement ou totalement à partir de citrate de sodium. L'objectif est de retrouver l'aspect d'un fromage à pâte pressée, bien que celui-ci ait fait l'objet d'un chauffage (Roustel, 2014).

II.5.3.2.2. Fromage fondu type « coupe »

Moins ferme que le bloc, il n'en est pas pour autant tartinable. Il contient 3 à 4 points 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 (Richonnet, 2002; Roustel, 2014).

II.5.3.2.3. Fromage fondu tartinable

Sa consistance est réglée par le processus de crémage lui conférant une certaine tartinabilité. Cette famille représente la majeure partie du marché français. Ces produits peuvent être aromatisés et conditionnés en emballages souples (portions) ou rigides (pots, barquettes, tubes). Ils existent principalement sous trois formes : la portion aluminium (la plus répandue), la présentation en barquette (ou en verrine) et, plus marginale, la présentation en tube (Boutonnier, 2000 ; Roustel, 2014).

II.5.3.2.4. Fromage fondu toastable (pour refonte)

Originaire d'Amérique du Nord, il se présente généralement sous forme de tranches adaptées à une utilisation dans les cheeseburgers, les croque-monsieur... Ce produit doit refondre rapidement sans carbonisation superficielle, comme une tranche d'emmental par exemple. 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 hydrocolloïde (carraghénanes en général) (Roustel, 2014).

II.5.3.2.5. 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 02, 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).

II.5.4. Valeur nutritionnelle et composition du fromage fondu

La spécialité fromagère comporte toutes les caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui le composent. Elle apporte à l'organisme la majorité des nutriments essentiels à un bon équilibre alimentaire comme le démontre le tableau ci-dessous. Ne nécessitant aucune préparation, c'est un excellent moyen d'apporter à notre corps les éléments énergétiques et bâtisseurs nécessaires à son fonctionnement (lipides, glucides, protéines, minéraux, vitamines...Etc.) (Meyer, 1973).

Le tableau XI suivant résume la composition du fromage et la valeur nutritionnelle apporté par chaque composant :

Tableau XI: 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 %
MG	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
Acide folique	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

II.5.5. Les matières premières utilisées pour la fabrication du fromage fondu

II.5.5.1. Les produits d'origine laitière

II.5.5.1.1. Fromage de fonte

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).

Le choix des fromages utilisés se fait entre le Cheddar, l'Emmental, le Gruyère, la Mozzarella et d'autres fromages à pâte pressée (Chambre et Daurelles, 1997).

➤ Parmi les fromages les plus utilisés :

- **Le cheddar**

Le cheddar est un fromage d'origine anglaise, il est fabriqué à partir de lait cru pasteuriser. Il se conserve pendant une durée allant de six semaines à trois mois (Luquet, 1985).

C'est un fromage à pâte ferme 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, 1978). Le cheddar constitue la source protéique majeure, riche en protéines natives, qui sont des agents émulsifiants, texturants, elles assurent l'aspect textural du fromage et donnent une pâte homogène (Boutonnier, 2001).

II.5.5.1.2. Beurre

Le beurre contient la matière grasse qui assure l'aspect onctueux. Il doit être de bonne qualité organoleptique et ne pas présenter de défaut d'oxydation et de rancissement, défaut qui se retrouverait alors dans le fromage fondu. Il est conditionné en bloc dans un film plastique et dans des cartons, le bloc de beurre est de 25kg, stocké dans des chambres froides à + 4°C (Gaucheron, 2004).

II.5.5.1.3. Poudre de lait

C'est un produit laitier obtenu à partir d'un lait cru ayant subi une déshydratation par la chaleur (180°C) permettant ainsi une longue conservation, la durée de conservation est d'environ 3 ans pour la poudre de lait écrémé, tandis qu'elle est de 6 mois maximum pour la poudre de lait entier. Les poudres de lait sont réparties en trois groupes : la poudre de lait

entier (26 % de matière grasse), la poudre de lait demi-entier (22 % de matière grasse), et enfin la poudre de lait écrémé (0 % de matière grasse) (Carole et Vignola, 2002).

II.5.5.2. Produits non laitiers utilisés

II.5.5.2.1. 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 la matière grasse. Cette eau doit être exempte de micro-organismes et de contaminants chimiques, tel que le nitrate (German, 1976).

II.5.5.2.2. Pré-fonte

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. La pré-fonte doit être de bonne qualité texturale, c'est-à-dire «crémeuse» et non sur crémée, son rôle est d'accélérer le crémage et stabiliser l'émulsion, c'est un catalyseur (Eck *et al.*, 1997 ; Boutonnier, 2000).

II.5.2.3. Les sels de fonte

Ce sont des additifs de base de nature sodique employés dans la fabrication des fromages fondus. Le sel échangeur anionique doit avoir la propriété de lier fortement les ions Ca^{++} , c'est-à-dire de maintenir à un faible niveau les concentrations en ions Ca^{++} libres afin de favoriser la réaction de conversion du caséinate de calcium. Ce sel doit avoir par ailleurs la propriété d'être hydrosoluble et posséder un faible poids moléculaire afin de pénétrer facilement la structure micellaire des caséines. Étant donné la relation entre le pH et la dissociation des sels, l'effet de l'échangeur d'ions est par conséquent dépendant du pH (3.4). Ils permettent d'avoir un produit fini ayant une texture homogène et coulante. Leur absence entraîne après arrêt du brassage la séparation de la caséine (Luquet, 1985; Roustel, 2014).

Les sels de fonte utilisés dans la fabrication de fromage fondu sont : les sels de sodium, de l'acide phosphorique et l'acide citrique (Eck, 1987).

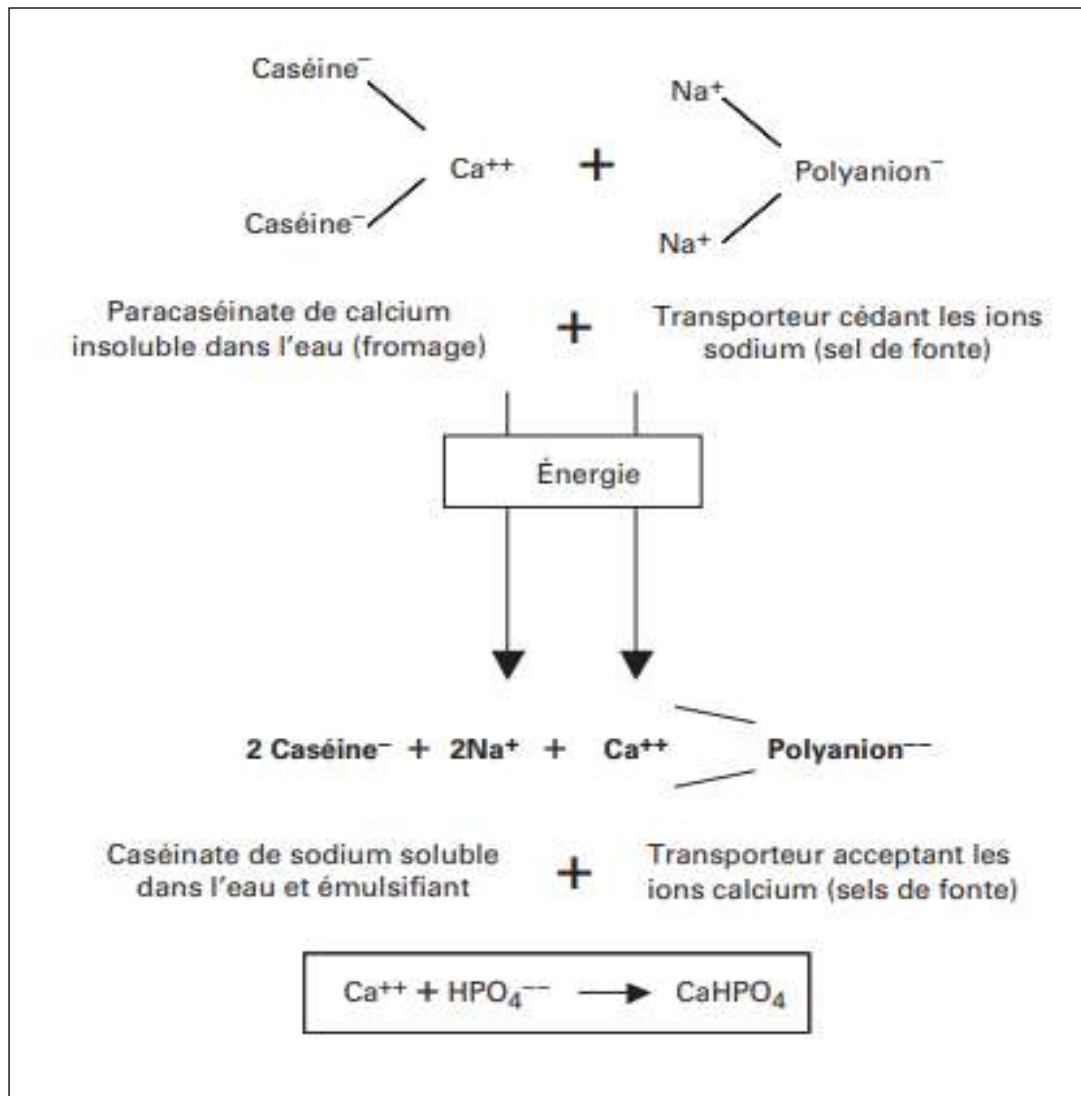


Figure 04 : Représentation simplifiée de l'effet d'un sel de fonte (Roustel, 2014).

II.5.2.4. 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 XII) (Boutonnier, 2000).

Tableau XII: 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

II.5.6. Procédé de fabrication du fromage fondu

Selon le type du fromage fondu fabriqué, du matériel et les matières premières différentes utilisés, la figure 05 suivante représente le procédé de fabrication du fromage fondu et les différentes matières premières utilisées :

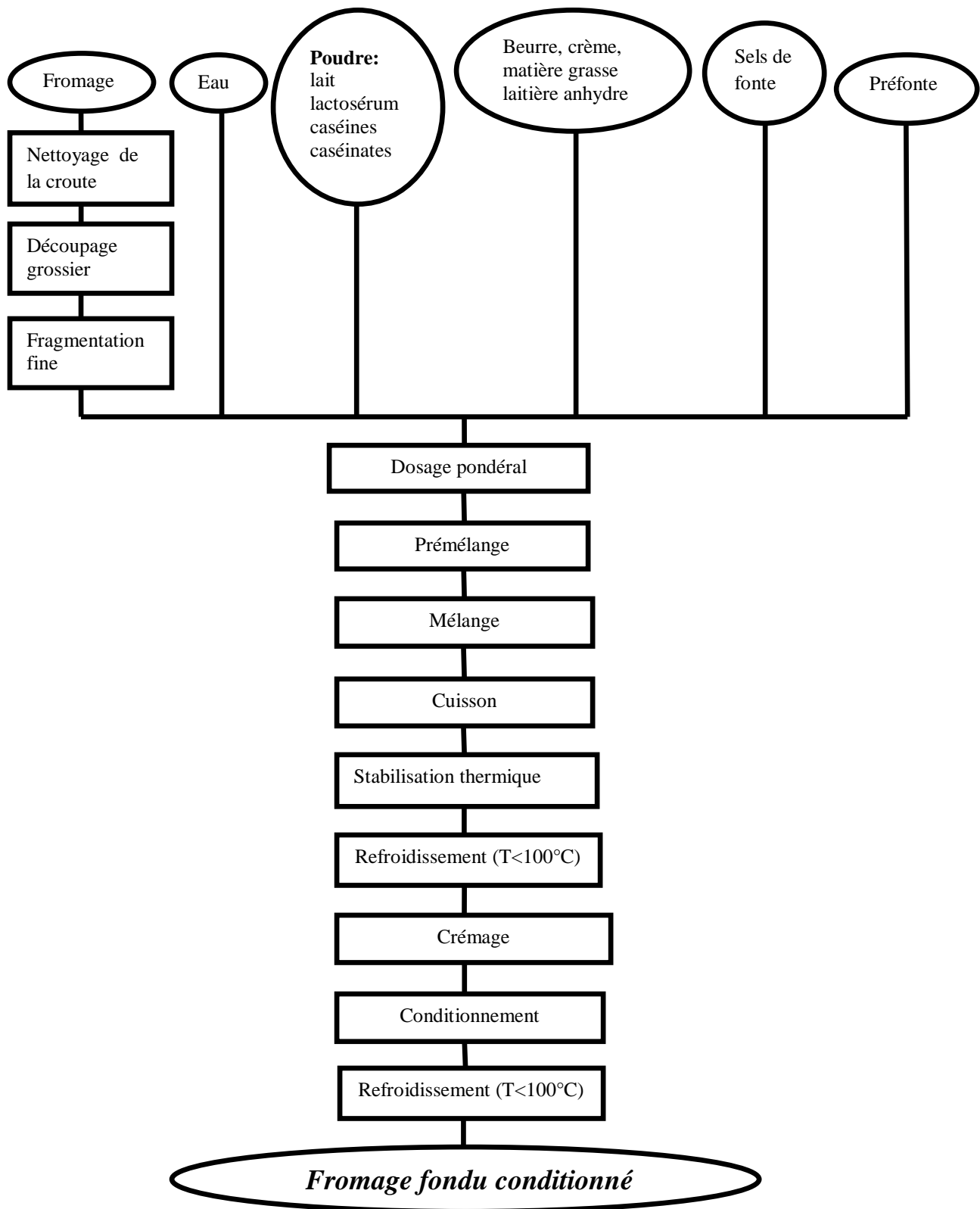


Figure 05 : Schéma de fabrication du fromage fondu (Boutonnier, 2000).

II.5.6.1. Nettoyage de la surface des fromages

Cette opération consiste à déshabiller les/le fromage de son film plastique puis le débarrasser à l'aide d'un couteau ou grattoir des moisissures pouvant se manifester sur la surface, des techniques nouvelles apparaissent telles que les jets d'eau chaude sous pression par exemple (Boutonnier, 2000 ; Eck et Gillis, 2006).

II.5.6.2. Découpage et broyage du fromage de fonte

Après la préparation des/du fromage, ce dernier est découpé en morceaux plus petits, à l'aide d'une machine ou d'un autre outil selon les moyens disponibles de l'entreprise. Les fromages, particulièrement ceux à pâte dure ou demi dure, sont soumis à un broyage qui est une étape importante du traitement des matières premières, car il est important de fragmenter les fromages pour obtenir un fromage fondu homogène (Luquet, 1985 ; Eck et Gillis, 2006).

II.5.6.3. Le pesage et mélange des matières premières

Pour une production uniforme les quantités des matières destinées au mélangeur sont pesées très exactement une par une les différentes variétés de fromage et autres produits laitiers ou non laitiers incorporés avec les sels de fonte, pour un pré-broyage de l'ensemble effectué pendant quelques minutes pour obtenir un mélange destiné à la cuisson (Luquet, 1990 ; Eck *et al.*, 1997; Gaucheron, 2004).

II.5.6.4. La cuisson

C'est l'opération clef de la fabrication du fromage fondu, elle consiste à introduire les ingrédients dans les cuiseurs où il subit une cuisson et brassage simultané, la cuisson est réalisée grâce à l'injection directe de vapeur sous vide pendant 5 à 10 minutes à une température de (85°-90°C) et pour une simple pasteurisation (90-95 °C) . Les traitements thermiques sont généralement suffisants pour éliminer toutes formes végétatives (Warburton *et al.*, 1986 ; Fox *et al.*, 2000).

II.5.6.5. Crémage

Le crémage est un phénomène physico-chimique caractérisé par une modification de plus en plus rapide de la viscosité de la fonte. Les réseaux formés par les micelles de caséine qui se sont regroupées se dissolvent sous l'action des sels de fonte et sont décomposés en particules dont la taille est voisine de celles des submicelles de caséine, autrement dit c'est une absorption d'une quantité d'eau au niveau de chaque particule protéiques, ce qui provoque le gonflement et l'épaississement de la pâte et provoque aussi une modification des liaisons

chimiques où a lieu pendant le chauffage (Étienne, 1992 ; Boutonnier, 2000 ; Gaucheron, 2004).

Au cours du crémage trois phénomènes peuvent être observés:

- **Hydratation** : est expliquée par la fixation des anions polyvalents des sels de fonte sur les substances protéiques au cours de **la peptisation** augmentant ainsi leur caractère hydrophile, donc d'autres liaisons se forment en présence des molécules qui grossissent, en absorbant des quantités importantes des protéines en fait augmenter leur solubilité (Gaucheron, 2004).
- **La peptisation** : 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 liés aux protéines et transforment ainsi le paracaséinate de calcium insoluble en paracaséinate de sodium soluble. 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 (Lee *et al.*, 1979 ; Schäffer *et al.*, 2001).
- **Emulsification** : Lorsque les protéines sont suffisamment solubilisées sous l'effet des sels de fonte et du cisaillement exercé pendant la phase de cuisson, l'émulsification de la phase grasse se met en place. Cette phase est d'autant plus importante que les fromages fondus intègrent souvent plusieurs sources de matière grasse laitière dont les états différents dispersion de gouttelettes d'eau dans une phase continue grasse dans le cas du beurre. Il résulte de cette émulsification une modification importante de la viscosité du produit (Roustel, 2014).

II.5.6.6. Conditionnement

Le conditionnement est un processus très complexe. Il est réalisé actuellement au moyen des machines automatiques à des cadences très rapides. Pour les fromages fondus en portion, des machines de plus en plus sophistiquées, elles permettent de produire 20, 80, 100, 400, et 800 portions à la minute (Boutonnier, 2000).

Le conditionnement des fromages en portion à tartiner s'effectue dans une feuille d'aluminium vernie sur les deux faces, la feuille est préformée par pression sur la machine sous forme d'une coquille qui après remplissage avec la pâte fondue reçoit un couvercle avant l'accomplissement du scellage se suit entre 60 et 70°C ce qui permet d'utiliser la seule chaleur du fromage fondu comme énergie de scellage (Boutonnier, 2000).

II.5.6.7. Le refroidissement

Le fromage fondu conditionné à chaud doit être refroidi rapidement afin d'éviter les risques de brunissement enzymatique de la pâte, Le crémage n'est stoppé complètement que lorsque la température du fromage atteint 20°C dans la masse (Eck et Gillis, 2006).

Dans le cas du fromage fondu tartinable, un refroidissement rapide s'impose de manière à interrompre le processus de crémage plus au moins intenses et conserver au produit une structure courte indispensable à l'obtention des produits sur des tapis à l'air ambiant mais les meilleurs résultats sont obtenus dans des tunnels de refroidissement (Boutonnier, 2000).

II.5.6.8. L'étiquetage

L'étiquetage est collé sur la portion par point de colle, il doit contenir (Boutonnier, 2000):

- ✓ La teneur en matière grasse dans l'extrait sec,
- ✓ 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).

II.5.6.9. La conservation du fromage fondu

Est apparenté aux conserves et aux semi-conserves, sa durée de vie est de plusieurs mois à basse température et de 90 à 180 jours environ à température ambiante, afin de prévenir la possibilité d'altération de la matière grasse (Eck *et al.*, 1987).

II.5.6.10. Stockage et commercialisation

Les produits 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 (Eck *et al.*, 1997 ; Guinee *et al.*, 2004 ; Bunka *et al.*, 2008).

II.5.6.11. Contrôle de qualité

- Présentation du fromage fondu emballé (contrôle général),
- Emballage : aspect, étanchéité,
- Produit débarrassé de son emballage :
 - Aspect externe : brillance, couleur, absence de trous, de cristaux, de particules infondues, d'exsudation grasse...
 - Texture : consistance par analyse pénétrométrique, tartinabilité,

- Flaveur : olfaction, rétro-olfaction et gustation.
- Tests de fonctionnalité : stabilité à la chaleur, aptitude à la refonte dans différentes conditions (four à air chaud, four à micro-ondes...). Cette liste n'est pas exhaustive, seuls les principaux contrôles qualitatifs ont été mentionnés. D'autres contrôles sont pratiqués, notamment ceux spécifiques à chaque type de fromage fondu ainsi que tous les contrôles quantitatifs (Boutonnier, 2000).

II.5.7. Les défauts de fabrication

La fabrication du fromage fondu est influencée par de nombreux facteurs tels que la nature de la matière, le choix des autres ingrédients. Ainsi, un très léger écart par rapport aux normes peut engendrer des défauts que l'on peut observer au cours de différents stades de la chaîne de fabrication (Berger *et al.*, 1989).

Le tableau XIII suivant résume les origines des défauts et les solutions :

Tableau XIII: Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager

(Berger *et al.*, 1993).

Aspect de la pâte	Le défaut	La solution
La pâte n'est pas homogène	Le pH est faible et sa valeur dépend de la matière première employée (ex emmental nécessite un pH plus élevé que le cheddar) La teneur de sel de fonte est faible Le temps de cuisson étant court	Augmenter le pH Augmenter la dose Augmenter le temps
Le Fromage	La matière première utilisée	Mélanger la matière première
Fondu liquide	N'est pas affinée, n'arrive pas à crémier ou à l'inverse, est trop vieille et ne gonfle pas Les sels de fonte employés n'étaient pas crémants Le mélange contient une quantité élevée d'eau	Jeune avec une autre affinée Mettre un sel de fonte crémant Vérifier la qualité d'eau
La pâte forme des fils	L'emploi des sels n'est pas adéquat Temps de fonte court Dose de sels de fonte n'est pas exacte Brasseur d'une vitesse faible	Augmenter le temps Augmenter la dose de sels Augmenter la vitesse des brassoires

A l'ouverture des pétrins la pâte est trop molle	pH élevé	Diminuer le pH
A l'ouverture du pétrin la pâte est relativement épaisse	pH faible	Augmenter le pH
Un gout prononcé de fromage	Cela tient dans la plupart des cas, à un emploi élevé du fromage trop vieux où une valeur élevée du Ph	Si c'est possible de mélanger la matière première à un fromage plus jeune Réduire la quantité des sels de fonte en remplaçant la différence par le citrate de sodium qui masque le gout indésirable

Présentation de l'entreprise d'accueil

La laiterie-fromagerie Draa Ben Khedda est une société par action qui a pour fonction la production et la distribution des produits laitiers fut créée en 1971, dans le cadre de l'Office National Algérien du lait et des produits laitiers (ONALAIT).

Par le décret n° 81/335 du 19 octobre 1981, l'ONALAIT s'est éclaté en trois offices régionaux comme suit :

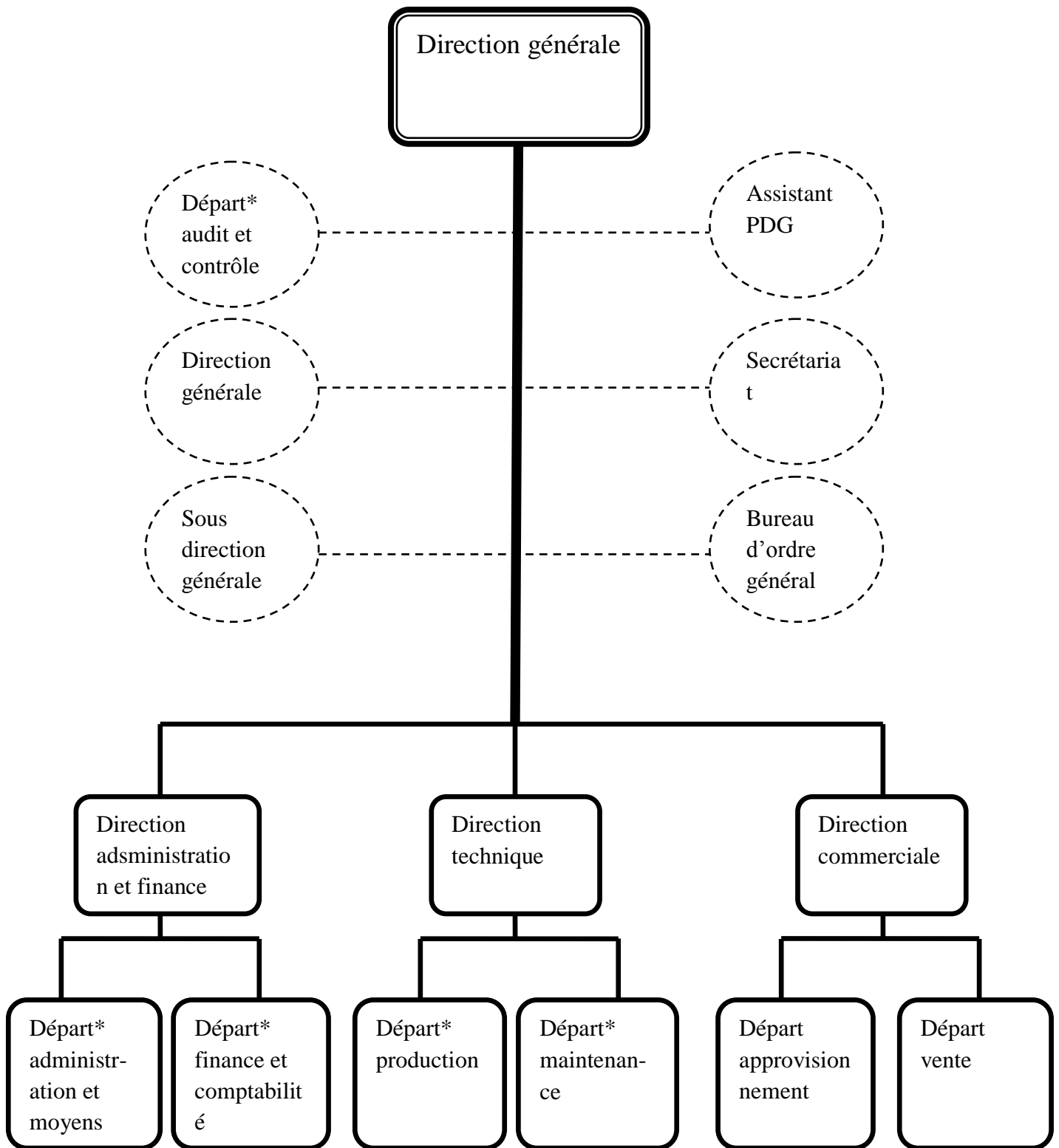
- L'office Régional de l'Est (ORELAIT)
- L'Office Régional du centre (ORLAC)
- L'Office Régional de l'Ouest (OROLAIT)

A partir de juin 2008 l'entreprise connaît un tournant dans son développement suite à sa privatisation (par décision du CPE en date du 28/11/2006) et son rachat par un professionnel de l'agroalimentaire et ancien directeur technique de l'entreprise : **M. Ali AIRED**

L'usine est située à DRAA BEN-KHÉDA sur l'axe routier Alger-Tizi-Ouzou distante d'environ 11 KM du chef-lieu de la wilaya.

Gamme de produit :

- ✓ Lait pasteurisé de consommation,
- ✓ Lait fermenté (L'ben),
- ✓ Crème fraîche
- ✓ Les boissons : jus et lait chocolaté
- ✓ Yaourt à boire
- ✓ une variété de fromage : fromage à pâte molle type camembert (tel que le Tassili), fromage frais (régime) et le fromage fondu.



Source : département commercial Laiterie DBK

Figure 06: Schéma d'organisation de l'entreprise d'accueil DBK

Objectif :

L'objectif de cette étude consiste à valoriser le lactosérum brut par la substitution totale de l'eau utilisée dans la formule standard de fabrication du fromage fondu, tout en gardant les mêmes caractéristiques physico-chimiques à savoir la teneur de la MG et MS. Cela est réalisé grâce à un modèle mathématique sur Excel. La substitution totale de l'eau de process va entraîner la préservation des ressources hydriques, ensuite cette incorporation du lactosérum dans le produit fini pourrait être également une solution palliative à l'importation de poudre de lactosérum et à la diminution de la pollution due au lactosérum liquide d'une part, et à faire des économies en terme d'amortissement du coût de revient du produit fini qui intéresserait les industriels algériens d'une autre part.

I.1. Matériel

Les différents produits, réactifs ainsi que les appareils utilisés pour fabriquer nos deux produits sont démontrés dans le tableau XIV (Voir aussi annexe 05).

Tableau XIV: Les différents produits, réactifs et appareils utilisés.

Produits et réactifs :	Appareillage :
<ul style="list-style-type: none"> - Acide sulfurique - Alcool iso-amylique - Phénophtaléine - d'hydroxyde de sodium (9/N) 	<ul style="list-style-type: none"> - Thermo mix - pH mètre - Dessiccateur infra rouge - Butyromètre (Gerber) - Butyromètre (Roeder) - Butyromètre (Van Gulik) - Centrifugeuse Gerber - Balance de précis - Bain marie. - Thermo-lactodensimètre. - Eprouvette. - Bécher - Burette - Pipette - Coupelle - Mortier et pilon - Spatule

I.2. Méthodes

I.2.1. Méthode de simulation de la valorisation du lactosérum

I.2.1.1. Principe du calcul en mode Excel

La modélisation en mode Excel est basée sur la quantification des teneurs en matières premières utiles (Cheddar, camembert, beurre, lactosérum et la poudre de lait) qui doivent être apportées de façon à garder la même quantité en MS dans le produit de référence (fromage fondu à base d'eau), tout en remplaçant l'eau de la recette standard par son équivalent en quantité de lactosérum. Autrement dit le produit fini à base du lactosérum doit garder la même quantité en MS issue de cette incorporation que celui obtenu dans le produit à base d'eau.

I.2.1.2. Modèle mathématique adopté

I.2.1.2.1. Détermination des quantités des matières premières à utiliser dans la formule-lactosérum

Les différentes équations adoptées dans cette étude sont basées sur la recette standard du fromage fondu dont le choix a été effectué suite à de nombreuses recherches et différents travaux et c'est ce qui est présenté dans le tableau XV ci-dessous

Tableau XV: Quantités des matières premières de la recette de base en kg

Ingrédients	Quantités (kg)
Poudre de lait 26%	0.078
Poudre de lait 0%	0.033
Fromage total	0.141
Beurre	0.080
Eau	0.151
Sels de fonte	0.012
Sel de table	0.001
Total (kg)	0.5

Fromage total = cheddar + camembert

➤ Détermination des quantités élémentaires apportées par chaque matière première en Kg

Les matières élémentaires (EST, MG, humidité) apportées par chaque matière première en kg ont été obtenus en suivant l'équation n°1 :

$$Q_{E\text{mp}} \text{ (kg)} = [\%_{E\text{mp}} * Q_{\text{mp}} \text{ (kg)}] / 100$$

1

Avec :

$Q_{E\text{mp}} \text{ (kg)}$: Quantité élémentaire de la matière première en Kg que l'on veut calculer.

$\%_{E\text{mp}}$: Pourcentage élémentaire de la même matière première.

$Q_{\text{mp}} \text{ (kg)}$: Quantité de la matière première dans la recette.

Les quantités élémentaires apportées par chaque matière première ainsi obtenues par l'équation n°1, vont permettre de calculer les quantités élémentaires totales dans le produit fini à base d'eau, ce qui est montré dans l'équation n°2 ci-dessous.

➤ **Détermination des quantités élémentaires totales dans le produit fini à base d'eau**

Le total pour chaque paramètre sera calculé par une simple addition en suivant l'équation n°2 et qui donne la quantité de ce paramètre dans le produit fini formule-eau:

$$Q_{E\text{PF}} \text{ (Kg)} = \sum Q_{E\text{mp}}$$

2

Avec :

$Q_{E\text{PF}} \text{ (Kg)}$: Quantités élémentaires totales du produit fini (MG, EST et humidité)

$\sum Q_{E\text{mp}}$: Ensemble de quantités élémentaires de la matière première (cheddar+ poudre de lait+ beurre).

➤ **Détermination de la quantité du lactosérum dans la recette complémentaire**

La quantité de lactosérum à utiliser dans la formule complémentaire en substituant l'eau utilisée dans la formule de base est obtenue suivant l'équation n°3 :

$$Q_{\text{Lact}} \text{ (g)} = (Q_{\text{ERS}} \times 100) / H_{\text{Lac}(\%)} Q_{\text{EL}}$$

3

$Q_{\text{Lact}} \text{ (g)}$: Quantité lactosérum à utiliser.

Q_{ERS} : Quantité d'eau dans la recette standard.

$H_{Lac(\%)}$: Pourcentage humidité du lactosérum.

➤ **Détermination des quantités élémentaires totales de la formule complémentaire**

Les quantités élémentaires de la formule complémentaire (Q_{EFC}) sont calculées par la soustraction entre leurs équivalents dans la recette standard et celles apportées par le lactosérum, selon l'équation n°4 :

$$Q_{EFC} (Kg) = Q_{EFE} - Q_{EL} \quad \rightarrow \quad 4$$

Avec :

Q_{EFC} : Quantité élémentaire totale qui doit être ramenée par les ingrédients dans la formule complémentaire.

Q_{EFE} : Quantité élémentaire totale dans la formule à base d'eau.

Q_{EL} : Quantité élémentaire apportée par le lactosérum.

➤ **Détermination des pourcentages de l'EST élémentaires dans la formule standard**

Le % EST de chaque ingrédients est calculé par rapport à la totalité de l'EST apporté dans la formule de base, comme suit :

$$\%EST_{E\ mp} = Q_{EST\ mp} (Kg) * 100 / \%_{EST\ mp} \quad \rightarrow \quad 5$$

Avec :

$\%EST_{E\ mp}$: Pourcentage de l'EST élémentaire dans la matière première dans la formule standard.

$Q_{EST\ mp} (Kg)$: Quantité de l'EST dans la matière première en Kg.

$\%_{EST\ mp}$: Pourcentage de l'EST dans la matière première.

En vu de l'objectif de notre étude qui est de valoriser le lactosérum dans l'élaboration d'un fromage fondu en gardant les mêmes caractéristiques physico-chimiques du produit à base d'eau à savoir l'EST (dont les quantités sont calculées suivant l'équation n°5 décrite en

dessus) : les quantités de matière première utilisée dans la formule complémentaire (à base de lactosérum) sont calculées suivant l'équation n°6.

➤ **Détermination des quantités de matière première dans la formule complémentaire**

En gardant le même % $EST_{E_{mp}}$, l'équivalent massique représente la quantité de la matière première dans la recette finale qui sera déterminée selon l'équation n°6 :

$$Q_{E_{mp}FC}(\text{kg}) = \%EST_{E_{mp}} * Q_{EST\ FCT}(\text{Kg}) / 100$$

6

Avec :

$Q_{E_{mp}FC}(\text{kg})$: Quantité élémentaire de matière première dans la formule complémentaire.

$\%EST_{E_{mp}}$: Pourcentage de l'EST élémentaire dans la matière première.

$Q_{EST\ FCT}(\text{Kg})$: Quantité de l'EST dans la formule complémentaire totale.

I.2.1.3. Etude technico-commerciale

L'étude techno-commerciale comprend l'évaluation du coût de revient annuel en matières premières utilisées dans les deux formulations : à base d'eau et à base de lactosérum, ceci permet de déterminer les bénéfices de la valorisation dans l'élaboration du fromage fondu. 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.

$$B = A * D / C$$

7

Avec : A et B les prix (Da) de la matière première dans la recette standard et optimisée, respectivement ;

C et D les teneurs (Kg) de la matière première, dans les recettes standards et optimisées, respectivement.

I.2.1.4. Estimation de l'effet environnemental de la valorisation du lactosérum

En plus de l'intérêt économique, cette valorisation de lactosérum va nous permettre d'évaluer la réduction de la pollution en se référant à l'équivalente pollution fournie par

chaque habitant. Mais il est également possible de quantifier les substrats utiles à savoir : MG, protéine, MS, qui peuvent être récupérés et réutilisés dans divers domaines. L'impacte environnemental positif de cette valorisation est estimé en déterminant la quantité annuelle de lactosérum qui peut être directement récupérée par les industries alimentaires et incorporée dans le produit fini au lieu d'être rejetée dans les eaux usées.

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

En prenant en considération le rendement fromager (R.F 10%) du Camembert ou du Cheddar ; les quantités annuelles du lactosérum régénérées pour la production annuelle de fromage de cheddar ou de production annuelle du fromage camembert se calculent selon l'équation n°8 :

$$QL An (Kg) = 90 * QFCAn/10 \quad \text{---} \rightarrow \textcircled{8}$$

$QL An (Kg)$: Quantité du lactosérum annuelle.

$QFCAn$: Quantité du fromage cheddar ou camembert annuelle.

➤ **Estimation de la quantité de l'eau de process annuelle à économiser par l'entreprise**

La valorisation du lactosérum a aussi comme avantage d'économiser l'eau de process utilisée pour la fabrication du fromage fondu avec la formulation de base, sa quantité annuelle est calculée selon la quantité du fromage que l'on veut produire, et le nombre de litres d'eau à utiliser dans la formulation.

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

La multiplication de $QL An$ par son équivalent en pollution humaine, qui est de 800 EH/litres 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 par la quantité annuelle en lactosérum (*QL An*).

I.2.2. Diagramme de fabrication du fromage fondu

Le fromage fondu a été fabriqué selon deux formules, l'une à base de l'eau (standard) et l'autre à base de lactosérum au niveau de la laiterie DBK. Selon le diagramme représenté dans la figure 07 ci-dessous :

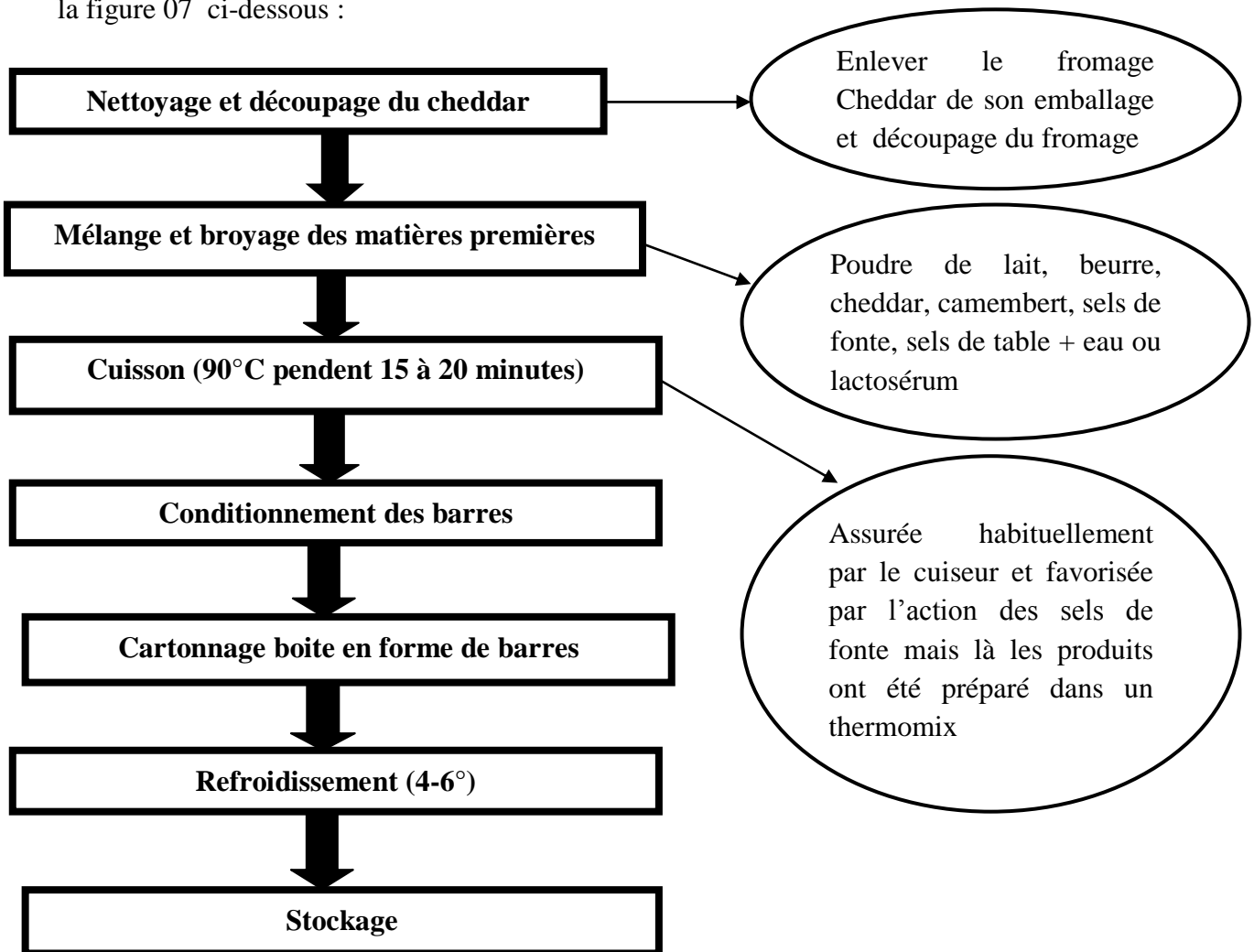


Figure 07 : Diagramme de fabrication du fromage fondu au niveau de la laiterie DBK

I.2.3. La stérilisation du matériel de prélèvement

Tout le matériel de prélèvement des échantillons doit être parfaitement propre et stérile, afin d'éviter son influence sur les propriétés physico-chimiques, micro-biologiques et sur la composition du produit analysé. Pour cela le matériel doit être :

- ✓ Laver à l'eau courante pour éliminer les traces des précédents prélèvements
- ✓ Puis brosser, laver à l'eau contenant une solution détergente (hypochlorite de sodium),
- ✓ Rincer à l'eau de robinet et finalement par l'eau distillée,
- ✓ Après séchage le matériel sera stérilisé dans un autoclave à l'air humide à 120° C

I.2.4. Analyses physicochimiques

I.2.4.1. Analyses physico-chimiques des matières premières utilisées dans la fabrication du fromage fondu et des produits finis

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au niveau du laboratoire de la laiterie DBK, elles permettent de déterminer les paramètres physico-chimiques des matières premières utilisées et des produits obtenus, selon les techniques standards officielles, décrites dans l'ouvrage de référence AFNOR, édition 1986.

Les analyses physico-chimiques effectuées ; et pour les matières premières et pour les produits finis sont résumées dans le tableau XVI ci-dessous :

Tableau XVI: Analyses physico-chimiques des produits finis et des matières premières.

	Cheddar	Camembert	Beurre	Poudre 0%, 26%	Sel de fonte	Eau de process	Lactosérum	Produits finis
pH	X	X	X	X	X	X	X	X
MG %	X	X	X	X	/	/	X	X
EST %	X	X	X	X	/	/	X	X
H %	X	X	X	X	/	/	X	X
AT (D°)	/	/	/	/	/	/	X	/

I.2.4.2. Détermination des paramètres physico-chimiques des matières premières utilisées et des produits finis

I.2.4.2.1. Détermination du pH (AFNOR, 1986)

➤ Principe

La mesure du pH se fait à l'aide du pH mètre. Le Ph nous renseigne sur l'état de fraîcheur des produits, c'est une mesure des ions H^+ dans une solution dont le but est de déterminer quantitativement l'acidité ou la basicité de celle-ci (AFNOR, 1980).

➤ 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.

I.2.4.2.2. 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 (Amargilios, 1986).

La teneur en humidité est un paramètre physico-chimique qui renseigne sur la consistance du fromage, il est inversement proportionnel avec la dureté du fromage (Amargilios, 1986).

Le taux d'humidité est calculé selon la formule après la détermination de l'extrait sec total à l'aide d'un dessiccateur (AFNOR, 1980), selon la formule suivante : $H (\%) = 100 - EST(\%)$.

➤ **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.

$$EST (\%) = 100 - H (\%)$$

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

$$H (\%) = 100 - EST(\%)$$

I.2.4.2.3. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode acido-butyromètre

➤ **Principe**

La teneur en matière grasse est déterminée par la méthode acido-butyrométrique. Le principe de cette méthode est basé sur la dissolution du produit à doser (excepté la matière grasse) par l'acide sulfurique, sous l'influence d'une force centrifuge et grâce à l'adjonction de l'alcool iso-amylque, la matière grasse se sépare en couche claire dont la graduation du butyromètre révèle le taux (notant qu'il existe plusieurs types de butyromètres, exemples : Van Gulik pour les fromages, Roeder pour le beurre).

➤ **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-amylique.
- Compléter par l'acide sulfurique (H₂SO₄) 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, chaque graduation correspond à 1% de matière grasse.

I.2.4.2.4. Détermination de l'acidité titrable (AFNOR, 1986)

➤ **Principe**

Par un titrage volumique avec une solution alcaline en présence d'un indicateur coloré. La mesure de l'acidité se fait par hydrolyse de sodium en présence de phénophtaléine comme indicateur coloré de la limite de neutralisation (AFNOR, 1980).

➤ **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.

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

Avec :

AT : Acidité titrable

V : Chute de la burette (en ml)

1°D = 0.1 g/l d'acide lactique

I.2.5. Analyses sensorielles

Après préparation de notre fromage à base de lactosérum et à base d'eau (Annexe 02), nous avons organisé une journée de dégustation au niveau de notre faculté et avons fait appel à 16 personnes non entraînés, qui ont différents âges et différents niveaux intellectuel.

La journée de dégustation des fromages fondus (fromage fondu à base de lactosérum et fromage fondu à base d'eau) nous a permis de faire ressortir les principales caractéristiques sensorielles (couleur, odeur, goût acide, texture en bouche, et amertume) de chaque fromage fondu étudié et aussi de faire une description finale sur les deux produits testés, son déroulement est illustré dans l'annexe 04 et pour ceci nous avons élaboré un questionnaire (Annexe 03) auquel ont répondu les dégustateurs et donné leurs appréciations.

II.1. Résultats physico chimique

Les résultats physico-chimiques obtenus sont résumés dans le tableau XVII ci-dessous :

Tableau XVII : Résultats des analyses physico-chimiques des matières premières

Paramètres MP	Cheddar		Camembert		La poudre de lait P0		Poudre de lait P26		Beurre		Lactosérum	
	Résultats	Normes	Résultats	Normes	résultats	Normes	Résultats	Normes	Résultats	Normes	Résultats	Normes
pH (%)	5.6	5.1 -5.6	4.96	4.90 -7.45	6.62	6.5 -6.75	6.65	6.5 – 6.75	5.69	6 max	6.57	6.5 – 6.7
EST (%)	63.32	61 -69	50.17	45 -47	97.15	<95	95.88	<95	87.12	84 min	7.37	5 – 6.5
H (%)	36.68	39 min	49.83	52 – 53	2.85	<4	3.12	<4	12.59	16 max	92.63	93.5 - 95
MG(%)	24.5.	30 – 38	19	18 -20	26.5	26 – 30	0	0	86	80 min	2	1
MG/EST (%)	38.69	50 min	37.87	45 - 47	/	/	/	/	98.38	90 min	26.42	5 – 6.5
AT (°D)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11	<12

II.1.1. Résultats des analyses physico-chimiques de la matière première

II.1.1.1 Fromage de fonte « cheddar »

Les résultats des analyses physico-chimiques du fromage de fonte (cheddar) sont représentés dans le tableau XVIII ci-dessous.

Tableau XVIII : Résultats des analyses physico-chimiques du fromage de fonte « cheddar » :

Paramètre	Cheddar	Normes AFNOR(1986)
pH(%)	5.6	5.1-5.6
EST(%)	63.32	61%-69%
H(%)	36.68	39 min
MG(%)	24.5	30% - 38%
MG/EST(%)	38.69	50 min

D'après les résultats obtenus, on observe que le pH du cheddar est de 5.6%, valeur conforme aux normes AFNOR (1986). De même, les valeurs d'analyses de l'extrait sec total et de l'humidité du cheddar rentrent dans les limites d'acceptabilité exigées pour le contrôle d'analyse physico-chimique du cheddar soit 63.32% et 36.68 respectivement. Le rapport MG/MS du fromage de fonte analysé n'est pas conforme à la norme AFNOR (1986) à cause de la valeur de la matière grasse qui est de 24.5% qui n'est pas conforme aux normes AFNOR (1986) selon (Fox et McSweeney, 2003). Le lait utilisé pour la fabrication du cheddar peut être standardisé selon un ratio caséines/gras avoisinant 0,70 afin d'obtenir une valeur de matières grasses sur base sèche d'au moins 38 %.

II.1.1.2. Fromage de fonte « camembert »

Les résultats des analyses physico-chimiques du fromage de fonte (camembert) sont représentés dans le tableau XIX ci-dessous :

Tableau XIX: Résultats des analyses physico-chimiques du fromage de fonte « camembert ».

Paramètre	Camembert	Normes de l'entreprise
pH(%)	4.95	4.90-7.45
EST(%)	50.17	47-45%
H(%)	49.83	52-53%
MG(%)	19	18-20%
MG/EST(%)	37.87	45-47%

D'après les résultats obtenus le pH qui est de 4.95% correspond aux normes fixées par l'entreprise tandis que l'EST et l'H qui ont respectivement les valeurs de 50.17% et 49.82% ne rentrent pas dans les normes ce qui est expliqué par l'utilisation d'un camembert non emballé et qui a provoqué le dessèchement du produit : diminution de l'humidité et augmentation de l'EST, par conséquent un rapport MG/EST non conforme aux normes avec une valeur de 19% pour la MG, celle-ci est dans les normes de l'entreprise .

II.1.1.3. La poudre de lait

Les résultats des analyses physico-chimiques des deux types de poudre de lait à 26% et 0% sont résumés dans le tableau XX :

Tableau XX: Résultats des analyses physico-chimiques des poudres de lait « P 26 » et « P 0 ».

Paramètre	P26	P0	Normes AFNOR(1986)
pH(%)	6.65	6.62	6.5% - 6.75%
MG(%)	26.5	0	26% - 30%
EST(%)	97.15	95.88	<95%
H(%)	2.85	3.12	< 4 %

Les résultats du pH obtenus pour les deux types de poudre de lait (26%) et (0%) est de 6,65 et 6,62 respectivement sont conformes aux normes AFNOR (1986). D'après (Debry, 2001), le pH du lait est lié à sa richesse en matière sèche.

Les valeurs de l'extrait sec total et de la teneur en matière grasse qui sont respectivement de 25,9% et 97.15% pour la poudre de lait à 26% et de 95.88% pour celle à 0% sont aussi conformes à la norme fixée par AFNOR (1986). De même, les taux d'humidité de 2.85% et 3.12% répondent au seuil limite toléré pour la fabrication du fromage fondu.

A noter que la réglementation algérienne exige que la teneur en eau doive être au maximum de 4% dans la poudre de lait. Cheftel *et al* (1984) suggèrent que la croissance des microorganismes est sous la dépendance de l'activité de l'eau, et ils ajoutent que la croissance de certains microorganismes ne peut se faire qu'à l'occasion d'une reprise d'humidité. La valeur obtenue dans notre cas est inférieure à 4% reflétant ainsi, les bonnes conditions de stockage de la poudre de lait utilisée dans notre étude.

II.1.1.4. Le beurre

Les résultats des analyses physico-chimiques du beurre sont représentés dans le tableau XXI ci-dessous.

Tableau XXI: Résultats des analyses physico-chimiques du beurre

Paramètre	Beurre	Normes
pH(%)	5.69	6 max
EST(%)	87.41	84% min
H(%)	12.59	16% max
MG(%)	86	80% min
MG/EST(%)	98.38	90% min

D'après les résultats obtenus, on observe que le pH du beurre est de 5.69%, valeur conforme à la norme AFNOR (1986). De même, les valeurs d'analyses de l'extrait sec total d'humidité et de la matière grasse du beurre rentrent dans les limites d'acceptabilité exigées pour le contrôle d'analyse physico-chimique du beurre soit 87.41%, 12.59% et 86% respectivement.

II.1.1.5. Lactosérum

Les résultats des analyses physico-chimiques du lactosérum sont représentés dans le tableau ci-dessous

Tableau XXII: Résultats des analyses physico-chimiques du lactosérum

Paramètre	Lactosérum	Normes
pH(%)	6.57	6.5% - 6.7%
EST(%)	7.37	5% - 6.5%
H(%)	92.63	93.5% - 95%
MG(%)	2	1%
MG/EST(%)	26.42	5% - 6.5%
AT (°D)	11	<12% (Woo 2002)

D'après les résultats obtenus, on observe que le pH du lactosérum est de 6.57%, valeur conforme à la norme (Sottier, 1985), par contre il présente une valeur de matière grasse et extrait sec total supérieur de celle rapportée par (Sottiez, 1985). La raison principale de la richesse du lactosérum en MG qui est de 2% est probablement liée aux procédés de séparation du lactosérum et aussi au fait qu'une quantité importante de la MG du lait est retenue dans le lactosérum. La mauvaise séparation du caillé explique le taux élevé de l'EST 7.37% (Fauquant *et al.*, 1985). Donc augmentation du rapport MG/EST qui est de 26.42 %. Enfin la valeur de l'acidité titrable est conforme à la norme (Woo, 2002) avec une valeur de 11°D.

II.2. Résultats de la simulation**II.2.1. Résultats de la simulation mathématique des quantités de matières premières dans le produit fini de la nouvelle recette**

Selon les équations n° 1, 2, 3, 4, 5 et 6 décrites dans la partie expérimentale : matériel et méthodes, les différentes quantités utilisées dans la fabrication du fromage fondu à base de lactosérum ont été obtenus. Le tableau XXIII ci-dessus représente la recette suivie dans la formulation du fromage fondu à base de lactosérum.

Tableau XXIII: Quantités exactes des matières premières à utiliser dans la formule lactosérum en kg

Ingrédients	Quantités (kg)
Poudre de lait 26%	0,075072434
Poudre de lait 0%	0,03161263
Fromage total	0,134497227
Beurre	0,076876168
Lactosérum	0,163946033
Sels de fonte	0,012401698
Sel de table	0,001966123
Total (kg)	0.5

Fromage total = cheddar + camembert

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

Recette à base d'eau		Recette à base de lactosérum	
EST%	54,54773783	EST(%)	54,54773783
H%	45,45226217	H(%)	45,45226217
MG%	24,25277791	MG(%)	23,82350159
MG/MS	44,46156501	MG/MS	43,67455914

Figure 08 : Capture d'écran des résultats de la simulation physico-chimique des deux produits fini obtenu par le modèle de simulation sur Excel.

Les résultats de la simulation des paramètres physico-chimiques selon la figure 09 montrent qu'ils sont proches de ceux obtenus pratiquement, tableau XXIV :

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

Paramètres	Recette standard avec eau	Recette à base de lactosérum	Les normes
------------	---------------------------	------------------------------	------------

	Simulation	Pratique	Simulation	Pratique	(AFNOR 1986)
EST (%)	54.547773783	51.54	54,54773783	51.37	≥40
H(%)	45,45226217	48.46	45,45226217	48.63	50 max
MG (%)	24,25277791	26	23,82350159	25	22.5 min
MG/EST(%)	44.461565	50.44	43,67459135	48.66	40 min

D'après les résultats physico-chimiques des deux fromages fondus, nous avons constaté une conformité entre les valeurs : MG est entre (26-25%), EST (51.37-51.54%), par rapport aux normes exigées, cela indique une bonne qualité physico-chimique des deux fromages.

L'augmentation de la teneur en humidité des fromages facilite le processus d'échange d'ions et conduit à une augmentation du coefficient de « peptisation ». Les caséines sont hydratées, plus leur structure est ouverte, ce qui permet aux sels de fonte de pénétrer plus facilement les molécules des caséines et d'améliorer la « peptisation ». Cette propriété est également dépendante de la minéralisation des fromages (Roustel, 2014).

La matière grasse diminue considérablement la viscosité du fromage fondu. Dans certains produits, une quantité importante de matière grasse à émulsionner doit être stabilisée par un apport accru en caséine intacte (Boutonnier, 2014).

Le résultat du rapport MG/EST obtenu en pratique est proche de la valeur théorique et reste dans les normes AFNOR(1986) indique une bonne qualité physicochimique du fromage fondu.

Les analyses montrent qu'il n'existe pas une différence significative entre les deux fromages par rapport à l'EST, l'humidité, et la MG cela est dû au respect des propriétés physico-chimiques et les concentrations en remplaçant l'eau par le lactosérum brut dans la formulation. Comme l'exige l'objectif de notre étude, la comparaison des résultats pratiques entre eux et théoriques entre eux obtenus des deux fromages, nous permet d'observer l'approchement des valeurs, donc on a réussi à garder les mêmes caractéristiques physico-chimique du produit de référence ce qui confirme l'efficacité du model de simulation adopté.

II.2.3. Résultats technico-commerciaux (Voir annexes 06 et 07)

L'utilisation du lactosérum dans la fabrication du fromage fondu permet de dégager un bénéfice annuel assez important pour l'entreprise par le biais des coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum ; ces derniers sont représentés dans le tableau XXV :

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

Unité/Kg	Prix (DA)	Coût F-E	Coût F-L
Camembert	600	84.936414	81.078142
Cheddar	1100	155,7167591	148.6432606
P0%	450	14.972781	14.292636
P26%	400	31.457965	30.028974
Beurre	950	68.776488	65.652287
Sels de fonte	650	6.6969167	6.6969167
Sels de table	35	0.0688143	0.0688143
Coût de revient		277.689724	265.382889
Coût de reviens annuelle (900 tonnes)		499841503.2	477689200.2
Economie annuelle (DA)		22152302.94	

Ce qui est clairement montré par biais de ce tableau : c'est qu'en remplaçant l'eau par le lactosérum, l'entreprise peut dégager un bénéfice annuel de l'ordre de 22152302.94 DA (Tableau XXV et annexe 06), ce qui représente un amortissement de charge d'environ 4.54% (Annexe 07).

On constate que la valorisation du lactosérum doux brut pourra donc améliorer le chiffre d'affaire des industries alimentaires et adopter une nouvelle politique visant à utiliser moins d'eau afin de l'économiser, ce qui va fournir aussi des denrées alimentaires de bonnes qualités.

L'intérêt économique de cette étude peut être adopté par les entreprises alimentaires algériennes à l'aide des exigences de la mise en valeur du lactosérum par des réglementations strictes qui impliquent l'interdiction du rejet de ce produit dans la nature.

L'utilisation du lactosérum au lieu de l'eau dans la fabrication du fromage fondu fera non seulement baisser significativement le coût de revient (comme montré précédemment dans le tableau XXV) mais aussi diminuer les quantités de matières premières utilisées c'est ce qui est montré dans le tableau XXVI suivant :

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

Recette F-E	0.3343
Recette F-L	0.3192
% économisassions MPU	4.542541557
Economisassions MPU (tonne/an)	40.88287401

D'après ce tableau on constate que l'utilisation du lactosérum au lieu de l'eau fera non seulement baisser significativement le coût de revient (comme si bien montré dans le tableau ci-dessus), mais également aussi diminuer les quantités de matières premières utilisées comme le camembert, le cheddar, la poudre de lait et le beurre, soit 40.88287401 tonne/an avec un pourcentage estimé de 4.542541557% par rapport à la formule de fabrication avec l'eau (F-E).

II.2.4. Aspect environnemental : (Voir annexe 08 et 09)

La quantité de lactosérum utilisé pour la production de 900tn de fromage fondu par l'entreprise d'accueil annuellement est représenté dans le tableau XXVII suivant :

Tableau XXVII: Estimation des quantités annuelles produites de lactosérum

Rendement fromager (%)	10
Quantité camembert produites annuelle (tonnes)	19812
Quantité lactosérum (tonnes)	178308
Quantité de lactosérum utilisé pour la production de 900tn de fromage fondu (tonnes)	293.8922458

Le tableau XXVII ci-dessus montre que la quantité du lactosérum à valoriser annuellement est de 178308 tonnes.

La quantité du lactosérum rejetée dans la nature annuellement par l'entreprise d'accueil (Laiterie DBK) est de 2 640 000 litres, sachant qu' 1 litre de lactosérum rejeté est l'équivalent de pollution causée par 800 habitants, on déduit alors une pollution estimée de 2112000000 habitants/an. Dans l'objectif de notre étude cette quantité du lactosérum au lieu d'être rejetée dans la nature et en revanche causée une gigantesque pollution, peut être incorporée dans le fromage fondu ce qui ne fera que l'enrichir en terme de valeur nutritionnelle vu sa richesse.

La quantité d'eau de process qui peut être économisée par l'entreprise annuellement en la remplaçant par le lactosérum est estimée de 278 100 litres : en tenant compte d'une production annuelle de fromage de 900 tonnes. De ce fait, les ressources hydriques vont être ainsi préservées grâce à l'incorporation de lactosérum et ce pour le même type de produit fini.

Des quantités élémentaires annuelles importantes sont régénérées par l'utilisation du lactosérum dans la fabrication du fromage fondu qui avant finissaient dans la nature ce qui causait sa pollution, ces éléments biochimiques peuvent être utilisés soit à l'état brut ou après une lyophilisation et leurs quantités sont représentées dans le tableau XXVIII ci –dessous :

Tableau XXVIII: Quantités élémentaires annuelles régénérées par lactosérum (tonnes)

MG	3566.16
EST	13141.2996

Le tableau nous montre que le lactosérum peut nous offrir jusqu'à 3566.16 tonnes de matière grasse et 13141.2996 tonnes de matière sèche annuellement qui sont des quantités très importantes qui peuvent être incorporées dans des nouvelles formulations par les industries alimentaires.

Par conséquent, nous pouvons conclure qu'en utilisant la même quantité que la formule standard à base d'eau, la valorisation du lactosérum nous permettra d'augmenter la production de fromage fondu, de réduire les coûts de production, de lutter contre la pollution causée par le rejet du lactosérum dans la nature et de préserver les ressources hydriques en économisant l'eau de process utilisée habituellement dans la fabrication du fromage fondu. L'intégration du lactosérum dans de tels produits ouvre de nouveaux horizons et l'industrie laitière pourra revoir entièrement ses coûts, apporter des changements grâce à cette nouvelle formule et augmenter le taux de rendement par quantité de production.

II.3. Résultats de l'analyse sensorielle

Le panel de dégustation est composé de 16 personnes. Ce test a permis de révéler que la valorisation du lactosérum dans l'élaboration d'un fromage fondu n'a pas porté atteinte à la qualité organoleptique du produit de référence comme l'exige l'objectif de notre étude, en effet la comparaison des résultats des critères organoleptiques entre les deux fromages fondus nous a permis d'observer la similarité de ces deux produits et la satisfaction des dégustateurs concernant le produit à base de lactosérum, comme ils ont témoigné aussi que la tartinabilité de celui-ci est très satisfaisante.

Les réponses des participants concernant la couleur, l'odeur, le goût acide, l'amertume, la texture en bouche et la description finale du fromage, sont représentées dans le tableau XXIX ci-dessous notant qu'E1 et E2 correspondent respectivement aux fromages avec eau et lactosérum.

Tableau XXIX : Résultats de l'analyse sensorielle.

	Couleur		Odeur			Gout acide			Texture en bouche			Amertume			Description finale			
		E1	E2		E1	E2		E1	E2		E1	E2		E1	E2		E1	E2
	Blanche	7	1	Absente	4	0	Absente	7	11	Homogène	9	14	Absente	11	15	Très désagréable	0	0
	Blanche cassée	5	5	Faible	5	4	Forte	2	1	Acceptable	7	2	Faible	5	1	désagréable	0	0
	Jaune	4	10	Moyenne	6	11	Moyenne	6	3	Hétérogène	0	0	Moyenne	0	0	Agréable	6	2
	Beige	0	0	Forte	1	2	Forte	1	1				Forte	0	0	Très agréable	10	14
				Très forte	0	0	Très forte	0	0				Très forte	0	0			
Dominance	BC* = E1	43.75	62.5	Moyenne	37.5	68.57	Absente	43.75	68.75	Moyenne	56.25	87.5	Absente	68.75	93.75	Très agréable	37.5	62.5
	J**=E2	%	%		%	%		%	%		%	%		%	%		%	%

BC*= Blanche cassée

J**= Jaune

Conclusion et perspectives

Conclusion

En général, le fromage fondu demeure le principal produit issu de la seconde transformation du lait. Connu comme aliment de valeur nutritionnelle non négligeable et comme source de plaisir gustatif, des études scientifiques confirment de plus en plus, que c'est un excellent produit alimentaire.

Du fait de son importance alimentaire et économique on s'est proposé de formuler un fromage fondu en remplaçant l'eau utilisée habituellement dans la fabrication de celui-ci par le lactosérum qui est un coproduit de l'industrie laitière. En effet, il est devenu une source intéressante de composés actifs et de nutriments spécifiques, présentant des propriétés incomparables, tant sur le plan nutritionnel que sur le plan techno-fonctionnel.

La présente étude s'est intéressée à la valorisation du lactosérum du type doux issu de la fabrication du fromage du type camembert, dans une formulation d'un fromage fondu, en remplaçant totalement l'eau utilisée dans la formulation standard : comme décrit ci-dessus après une simulation mathématique sur Excel pour définir les taux d'incorporation du lactosérum ; ce qui implique la diminution des quantités de matières premières utilisées dans la recette de base.

Les résultats de ses analyses nous ont permis de montrer que c'est un produit à valeur nutritionnelle élevée. En effet, il renferme 2% de matière grasse, 7,57% d'extrait sec total, et son humidité est de 92,63%.

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, bien que leurs propriétés aient influencées par la composition du lactosérum.

Les résultats physico-chimiques du produit fini obtenus nous ont permis de valider le modèle Excel vu l'obtention des presque mêmes quantités en MG et MS (avec des petites différences entre les valeurs théoriques et pratiques liés sans doute au mode de cuisson des deux produits).

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 22152302.94 DA.

Conclusion et perspectives

L'étude de l'aspect environnemental nous a permis d'estimer une quantité de lactosérum annuelle régénérée par l'entreprise qui est de 293.8922458 tonnes, en revanche, on réduit une charge polluante d'équivalent habitant estimée à 2112000000 EH.

Au vu des résultats encourageants obtenus, il apparaît clairement que l'aboutissement de ce travail apportera quelques réponses positives sur le plan écologique, économique et nutritionnel. Effectivement, le développement de nouvelles technologies pour la valorisation du lactosérum est nécessaire, surtout que les quantités produites par les fromageries ne cessent d'augmenter au fil des années. Cela va servir d'une part à limiter le problème de pollution environnementale engendrée par ce sous-produit, d'autre part à synthétiser une large gamme de produits qui trouvent différentes utilisations.

Comme perspectives de ce travail, nous proposons de :

- ✓ Suivre l'évolution du produit au cours du stockage.
- ✓ 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.
- ✓ Etude comparative des activités biologiques (anti-oxydantes et anti-microbiologiques) entre le fromage à base d'eau et à base de lactosérum.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

Agnes N. (1986). Production des protéines à partir de lactosérum brut. Thèse de 3eme Cycle, université de Lyon, France, 37-45.

Abiazar R. (2007). 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, 197.

Adrian J., Legrand G. et Frangne R. (1991). Dictionnaire de biochimie alimentaire et de nutrition. tec et doc. lavoisier. 3ème édition : 116.

AFNOR. (1980). Recueil de norme française lait et les produits laitiers. ed. Paris.

AFNOR. (1986). Association française de normalisation recueil des normes français, contrôle de la qualité des produits laitiers. 3ème édition, 647-651.

Alonso-Fauste I., Andrés M., Iturrald M., Lampreave F., Gallart J. et Álava M. (2012). Proteomic characterization by 2-DE in bovine serum and whey from healthy and mastitis affected farm animals. Journal of Proteomics, 75(10), 3015-3030.

Amargillos. (1986). Contrôle de la qualité des produits laitiers. Analyses physicochimiques. Edition AFNOR, 3ème édition.. Paris : Lavoisier, 55.

Anonyme 01. (1989). Bienvenus dans le monde de KASOMEL et des fromages fondus. Europhos, 73.

Anonyme 02. (1995). Manuel de transformation du lait, suède : 442.

Anonyme 03. (1999). Québec Amérique .Le guide des aliments, Indispensables à tout amateur de cuisine. Canada : Québec Amérique Inc, 219.

Anonyme 04. (2002):«Manuel de transformation du lait», chapitre 15: le traitement de sérum de fromage.cd rom 2000.

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

APRIA. (1980). Utilisation de lactosérum en alimentation humaine et animal.

Références bibliographiques

B

- Babu M., Deccaraman M. et Sagadevan E. (2014).** "Production of Single Cell Protein using Kluyveromyces marxianus isolated from paneer whey." International Journal of Biomedical and Advance Research. 5(5). 255-257.
- Baldasso C., Barros C.T.et Tessaro I.C.(2011).** Concentration et purification des protéines du lactosérum par ultrafiltration, dessalement, 278(1-3), 381-386.
- Bansal N.et Bhandari B. (2016).** Functional milk proteins: production and utilization-whey based ingredients. In: McSweeney, PLH, O'Mahony JA (Eds.), Advanced dairy chemistry. Springer, New York, USA, p. 67-98.
- Bardy S., Bentz M., Fontaine L. Gaugler M., Lechat L. et Lengronne O. (2016).** Valorisation du lactosérum. Université de Lyon, France, 37-45.
- Bergel D.et Feron A. (2004).** Créso –université de caen eso -umr 6590 cnrs N° 21.
- Berger W. H. (1988).** Cours aux étudiants de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, 42.
- Berger W., Klostermeyer H., Merkenich K et Uhlmann G. (1989).** La fabrication du fromage fondu. Ed. BK Ladenburg, 233.
- Bernstein S.et Everson T. C. (1973).** Protein production from acid whey via fermentation. In Proceedings of the 4th National Symposium on Food Processing Wastes. Syracuse, NT. 151-165.
- Berrocal R. (2000).** Le lait aliment de santé. Résumés des conférences. Inpl, 1-14.
- Boudier J.F. et Luquet F.M. (1989)** .Utilisation des lactosérums en Alimentation Humaine et Animale. N° 21, LABCODRA, FNSIA, Douai, 1-113.
- Boudier J.F.et Luquet F.M. (1981).** Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale ; apria, paris.2-112.
- Bourgogne. (2001).** Technologie propre appliquée aux industries agroalimentaire ; dijon France 26.
- Boutonnier J.L. (2000).** Fabrication de fromage fondu, éd. des Technique de l'ingénieur,
- Boutonnier J.L. (2001).** Fabrication du fromage fondu. Techniques d'ingénieur,2-14.
- Brandelli A., Daroit D. J. et Corrêa A. (2015).** Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. Food Research International, 73, 149-161.

Références bibliographiques

Bunka F., Stetina J. et Hrabe, J. (2008). The effect of storage temperature and time on the consistency and color of sterilized processed cheese. *European Food Research Technology*, vol. 228, 223–229.

C

C.C.A. (Commission codex alimentarius). (2004). 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.

Carole L. Vicnola. (2002). Science et Technologie du lait, 598.

Cayote P. et Lorient D. (1998). Structure et techno-fonctions des protéines du lait. Ed: Tec et Doc, Lavoisier, Paris. 363.

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

Chambre M. et Daurelle J. (1997). Le fromage fondu. Le fromage. Ed. Lavoisier, 691-708.

Chaput G. (1981). Problèmes techniques et économiques posés par le stockage, le transport, la concentration et le séchage du lactosérum, *Tech, Lait*. 952, 25-28.

Cheftel J.C et Cuq J.L. (1985). Modification des protéines. In : Protéines alimentaires. Ed. Lavoisier TEC & DOC Paris , 255-277.

Chemache L. (2011). Qualité de deux spécialités fromagère fabriquer et commercialisé en Algérie mémoire Magistère en Science Alimentaire, (UNIVERSIT2 MENTOURI CONSTANTINE).

Codex stan 283. (1987). Norme generale codex pour le fromage : Lait et produits laitiers, 1.

Codex Alimentaire. (2015). Projet de norme générale pour le fromage fondu (étape 6), CL 2015/34-MMP.

Codex Standard 283. (1978). Norme générale pour le fromage. Lait et produit laitières. 2ème édition.

D

De Boer R., De Wit J.N. et Hiddink J. (1977), Processing of whey by means of membranes and some applications of whey protein concentrate. *J.soc.dairy technol.* 30, 112-120.

Références bibliographiques

De Wit J. N. (1981). Structure and functional behavior of whey proteins. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 35-47.

De Wit J.N., Klarenbeek G. et Hontelez-Backx E. (1983). Evaluation of functional properties of whey protein concentrates and whey isolates 1. Isolation and characterization. *Neth. Milk dairy J.*, 37.37-49.

Debry G. (2001). Lait, nutrition et santé. Editions Tec et Doc, Lavoisier, 566.

Dehghan P. Kherri S, Seyedsaleh M.M. et Emami N. (2016). Whey: Characteristics, Applications and Health Aspects *International Journal of Advanced Biotechnology and Research* 7(2), 1383-1389.

Denameur R. (1965). The hypothalamo neuro physico-system and the milk secretion reflex.

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

Dibley G. (1997). Harnessing the nutritional power of milk. 22(20): 1501-59.

E

Eck A. et Gillis J.C. (1997). Le fromage. 2ème édition, 3ème édition. Paris : Techniques et documentation-Lavoisier. 891.

Eck A. et Gillis J.C. (2006). Le fromage. 3ème Ed. Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 692-703.

Eck A. (1987). Le fromage. 2ème édition. Technique et documentation. Lavoisier, Paris, 390.

Étienne K.M. (1992). Dénaturation thermique et gélification des protéines de lactosérum en solution modèle et dans un aliment complexe, le fromage fondu à tartiner : effets du NaCl, du lactose et du glycérol. Thèse de doctorat, Université Laval Québec, 138.

Eugenia Lucena M., Alvarez S., Menendez C. et Francisco A. (2006). Riera, Alvarez faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie, département des sciences de la nature et de la vie. Alimentation et nutrition. 25-38.

Evette J.L. (1975). La fromagerie : Presses universitaires de France, Paris, 140.

Références bibliographiques

F

FAO/OMS n° A-6-1978. Codex alimentaire : « lait et produit laitiers ». Ed. 2. Rome, FAO/OMS, 136.

FAO-ONU. (2017). Production alimentaire : fromage en Algérie.

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

Fluegel S. M., Shultz T. D., Powers J. R., Clark S., Barbosa-Leiker C., Wright B. R. et Miller A. J. (2010). Whey beverages decrease blood pressure in prehypertensive and hypertensive young men and women. *International dairy Journal*, 20(11), 753-760.

Fox P. et Mcsweeney H. (2003). Cheeses: Manufacture of hard and semi-hard varieties of cheese. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)* (Ed C. Editor-in-Chief: Benjamin), Oxford, 1073-1086.

G

García-Garibay M., Gomez-Ruiz L. et Barzana E. (1987). Studies on the simultaneous production of single cell protein and polygalacturonase from *Kluyveromyces fragilis*, *Biotechnology Letters*. 9(6). 411-416.

Gaucheron F. (2004). Minéraux et produits laitiers. Ed. Technique et documentation, Lavoisier, Paris, 567-569.

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

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

German L. (1976). Le traitement des eaux. Edition Technique et Documentation. Paris, 147.

Gryson C., Walrand S., Guillet C. et Boirie Y. (2008). Protéines fonctionnelles: le nouvel «Eldorado» des aliments santé?. *Médecine des maladies métaboliques*, 2(4), 355-362.

Guidini M., Papillion D., Raphalen D. et Bariori B. (1984). Contribution à la valorisation du lactosérum : utilisation actuel et potentiel, vol.56, Bretagne. 77-88.

Guinee T.P., Caric, M. et Kalab, M. (2004). Pasteurized Processed Cheese and qaSubstitute/Imitation. 65.

Références bibliographiques

Guo M. (2019). Whey Protein Production, Chemistry, Functionality and Applications, 1d. 189.

H

Harmbling S.G., Mcalpine S. et Sawyer L. (1992). B-lactoglobulin. in: advanced dairy chemistry - 1. p.f. fox (ed), elsevier applied science, london and new york, chap. 4 141-179.

Harper W. J. (1992). Lactose and lactose derivatives. In Whey and lactose processing. 317-360.

Heffernan C. (2015). A potted history of whey protein, 57.

Holsinger V. (1978). Fortification of soft drinks with protein from cottage cheese whey : In Nutritional Improvement of Food and Feed Proteins , Springer, Boston, 735-747.

J

Jakubowicz D., Froy O., Ahrén B., Boaz M., Landau Z., Bar-Dayán Y. et Wainstein J. (2014). Incretin, insulinotropic and glucose-lowering effects of whey protein pre-load in type 2 diabetes: a randomised clinical trial. *Diabetologia*, 57(9), 1807-1811.

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

Jiang J. (1993). Identification of flavour volatile compounds produced by *Kluyveromyces lactis*. *Biotechnology Techniques*. 7(12). 863-866.

J.O.R.A. (2007). Journal Officiel de la République Algérienne.. N°35

Jorge M., Joong S. C. Kima D. S. (2006). Production rate of propionic acid in fermentation of cheese whey with enzyme inhibitors, *Environmental Progress*, 25, 3:228-234.

Jouan P. (2002). Lactoprotéines et lactopeptides propriétés biologiques, INRA éditions. Paris.

K

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

Keller A.K. et Gerhardt P. (1975). Continuous lactic acid fermentation of whey to produce a ruminant feed supplement high in crude protein. *Biotechnology and Bioengineering*, 17(7), 997-101.

Kosikowski F. et Wzorek W. (1979). whey wine from concentrates of reconstituted acid whey powder. *journal of dairy science*, 60(12), 1982-1986.

Références bibliographiques

L

Lambert Y. (1988). Droit des assurances, 6ème édition, DALLOZ, Paris, 772.

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

Lee B.O., Paquet, D. et Alais, C. (1979). Etude biochimique de la fonte des fromages. Mesure de la peptisation. Université de Nancy, France, 589-59.

Linden G. et Lorient. (1994). Biochimie agro-industrielle, de valorisation alimentaire de la production agricole, Masson Paris Milan Barcelon, .

Lopez, I., Amigo L. et Recio I. (2012). A mini-review on health and nutritional

Lupin D. (1998). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO : Alimentation et nutrition. 25-38.

Luquet F.M. (1985). Lait et produits laitiers, vaches, brebis et chèvre. Tome 2, 2ème édition. Edition Techniques et Documentation Lavoisier, Paris, 632.

Luquet F.M. (1990). Lait et produits laitiers, vache brebis, chèvre : Transformation et technologie, Ed Tec et Doc. Lavoisier, Paris, Tome 1, 637.

M

Macwan S. R., Dabhi B. K., Parmar S. C. et Aparnathi K. D. (2016). Whey and its utilization. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3(8), 134-155.

Majdi A. (2009). Séminaire sur les fromages AOP et IGP. Ingénieur Agronomie, 72-88.

Marwaha S. S. et Kennedy J. F. (1988). Whey-pollution problem and potential utilization. International journal of food science & technology, 23(4), 323-336.

Mereo M. (1980). Utilisations industrielles de sérums de fromagerie. Indus Aliment Agr

Merrel L. C. (1911). U.S. Patent No. 985.271. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 36.

Meyer A. (1973). Processed Cheese Manufacture, Food Trade Press Ltd., London, 201-329.

Mietton B. (1995). La typologie des fromages, Symposium organisé par la fondation des Gouverneurs et le centre de recherche et de développement sur les aliments d'agriculture et Agroalimentaire, Canada, 245.

Références bibliographiques

Modler H.W. (1985). Functional properties of nonfat dairy ingredients. A review. Modification of lactose and products containing whey proteins. *J. Dairy Sci.* 68, 2206-2214.

Moletta R. (2002). Gestion des problèmes environnementaux dans les iaa. paris : tech et doc; 600.

Morr C. V. (1982). Functional properties of milk proteins and their use as food ingredients. *Developments in dairy chemistry*,197-200.

Morr C. V. (1989). Whey proteins: manufacture. *Developments in dairy chemistry*, 4(6).245-284.

Morr C.V.et Ha E.Y.W. (1993). Whey protein concentrates and isolates: processing and Functional properties. *Critical reviews in food science and nutrition*, pp431-476.

Muller A.et Bernard C. (2003). Prepurification of alpha actalbumine with ceraic membranes from acid casein whey: study of operating conditions .*lait* 83, 111-129.

N

Norme Algérienne : NA N°10.96.25. (2013). Méthode d'analyse pour détermination de la teneur en eau (méthode par étuvage). Ministère du commerce.

O

Oliveira R., Margalho L.P. et Nascimento, J.S. (2016). Processed cheese contamination by spore-forming bacteria: a review of sources, routes, fate during processing and control. *Trends Food Sci Tech*, 57, p.11-19. Doi: 10.1016/J.Tifs.2016.09.008.

P

Padilla M. et Gherzi G. (2001). Le marché international du lait et des produits laitiers. *Options méditerranéennes*, CIHEAM-IAM Montpellier, France, 15.

R

Ramos O. L., Pereira R. N., Rodrigues R. M., Teixeira J. A., Vicente A. A. et Malcata F. X. (2016). Whey and Whey Powders: Production and Uses. *Encyclopedia of Food and Health*, 498-505.

Richonnet C. (2015). Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus. *Cahiers de Nutrition et de diététique. CahNutrDiet*.51(1) :48-56.

Références bibliographiques

Roufik S., Sylvie F., Gauthier Sylvie L., Turgeon . (2007). Physico chemical characterization and in vitro digestibility of β -lg f142-148 complexes. *inter dairy journal* 17,471- 480.

Roustel S. (2014). Fromage fondu : physico-chimie du processus de fonte. *Techniques de*

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

S

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

Scott R., Richard K.R. et Wilbey A. (1998). *Cheese making practice*. 3 ed edition, Springer Ed, 449.

Sienkiewicz T. et Riedel C.L. (1990). *Whey and Whey Utilization: Possibilities for Utilization in Agriculture and Foodstuffs Production*, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchenbuer, Germany.

Sottiez P. (1985). *Produits dérivés des fabrications fromagères. Laits et produits laitiers: vache, brebis, chevre/Societe scientifique d'hygiene alimentaire.*

Sottiez P. (1990). *Produits Dérivés Des Fabrications Fromagères In Lait Et Produits Laitiers: Vache, Brebis, Chèvre*, Ed Lavoisier, Paris, 633.

Susli H. (1956). New type of whey utilization: A lactomineral table beverage, *Prod*, 14th Int, 302.

T

Thapon J. L. (2005). *Science et technologie du lait*. Agrocampus-Rennes, France, 14.77.

U

Uchida Y., Shimatani M.M., Mitsuhashi T. et Koutake M. (1996). Process for preparing a fraction having a high content of α -la from whey and nutritional compositions containing such fractions, us patent 5, 503, 86.

V

Visser R.A. (1988). Lactose and its chemical derivates, *bults of i.d.f*, n°233. 33-44.

Vrignaud Y. (1983). Valorisations du lactosérum, une longue histoire. *revue laitière française* n°422, 41-46.

Références bibliographiques

W

Walther B., Schmid A., Sieber, R. et Wehermuller, K. (2008). Cheese in nutrition and health. A review diarySci.Thechnol Ed, p.88-389-405.

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

Woo A. (2002). La grande diversité du lactosérum. agriculture et agroalimentaire, → canada, 3-13.

Y

Yang S. T., Tang I. C. et Zhu H. (1992). A novel fermentation process for calcium.

Z

Zydney A. L. (1998). Protein separations using membrane filtration: new opportunities for whey fractionation. International Dairy Journal, 8(3), 243-250.

Annexes

Annexe 01 : Les grandes familles du fromage.

Les fromages	Exemples
fromage frais	Fromage frais à double crème, fromage frais à la crème, ricotta, cottage cheese...
Fromage à pâte molle à croûte fleurie	Camembert, Brie, Coulommiers....
Fromage à pâte molle à croûte lavée	Livarot, Epoisses, Maroilles, Munster....
Fromage à pâte molle à croûte persillée	Roquefort, bleu de Gex, Bleu des Causses Stilton...
Fromage à pâte pressé non cuite	Cheddar, Edam, Gouda, Cantal....
Fromage à pâte pressé cuite	Le comté, le gruyère, l'emmental...
Fromage à pâte filée	La mozzarella, Burrata, Girellone...
Fromage à pâte fondu	La vache qui rit, Kiri....
Fromage au lait de chèvre	Bouchon de chèvre...

Annexes

Annexe 02 : Le produit fini : fromage fondu avec l'eau et le fromage fondu avec lactosérum.



Figure 09 : Photo du produit fini : fromage fondu avec l'eau et le fromage fondu avec lactosérum.



Figure 10 : Photo du produit fini : fromage fondu avec l'eau et le fromage fondu avec lactosérum.

Annexes

Annexe 3 : Questionnaire.

Nom:

Date :

Prénom :

Pour les deux échantillons de fromage qui vous seront présentés, il vous est demandé d'évaluer leur couleur, odeur, gout acide, texture en bouche, amertume et d'estimer une description finale des deux produits.

Veuillez cocher la case correspondante à votre choix dans le tableau ci-dessous

Couleur			Odeur			Gout acide			Texture en bouche			Amertume			Description finale		
	E1	E2		E1	E2		E1	E2		E1	E2		E1	E2		E1	E2
Blanche			Absente			Absente			Homogène			Absente			Très désagréable		
Blanche cassée			Faible			Forte			Acceptable			Faible			Désagréable		
Jaune			Moyenne			Moyenne			Hétérogène			Moyenne			Agréable		
Beige			Forte			Forte						Forte			Très agréable		
			Très forte			Très forte						Très forte					

Merci

pour

votre

participation

Annexes

Annexe04 : Déroulement de la dégustation.

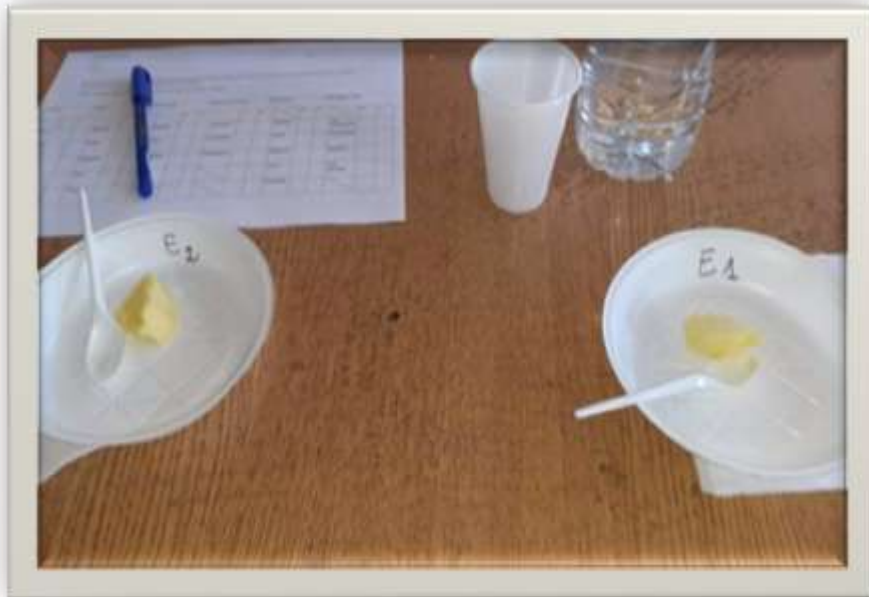


Figure 11 : Photo du déroulement de la dégustation



Figure 12 : Photo du déroulement de la dégustation

Annexes

Annexe 05 : Appareillage et verrerie.



Butyromètre à lait (Gerber)



Butyromètre à beurre (Roeder)



Butyromètre à fromage (Van Gulik)



Thermo-lactodensimètre



Eprouvette



Burette

Annexes






 <p>Dessiccateur infra rouge</p>	 <p>Balance de précision</p>
 <p>Bain marie</p>	 <p>Centrifugeuse Gerber</p>
 <p>Thermo mixe</p>	 <p>pH-mètre</p>

Figure 13 : Photos de l'appareillage et verrerie

Annexes

Annexe 06 : Capture d'écran des Coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum obtenus par modèle de simulation par Excel.

unité/ Kg	prix (Da)	recette F-E	recette F-L
cheddar	1100	155,7167591	148,6432606
P0%	450	14,9727813	14,29263649
P26%	400	31,45796476	30,02897363
beurre	850	68,77648785	65,65228731
sels de fonte	540	6,696916728	6,696916728
sels de table	35	0,068814298	0,068814298
camembert	600	84,93641403	81,07814212
COUT DE REVIENT	Recette F-E	277,689724	
	Recette F-L		265,382889
anneuelle (900 tonnes)	Recette F-E	499841503,2	
	Recette F-L		477689200,2
	Economie annuelle (Da)	22152302,94	

Figure 14 : Capture d'écran des Coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum obtenus par modèle de simulation par Excel

Annexes

Annexe 07 : Capture d'écran de l'estimation du pourcentage d'économie de matière première utile (MPU) obtenu par Excel.

Quantité de matière utile économisée		
Recette F-E	0,334391964	
Recette F-L		0,31920207
% economisation MPU	4,542541557	
Economisation MPU (tonne/an)		
900	40,88287401	

Figure 15 : Capture d'écran de l'estimation du pourcentage d'économie de matière première utile (MPU) obtenu par Excel

Annexes

Annexe 08 : Capture d'écran de l'estimation des quantités annuelles produites de lactosérums obtenus par Excel.

Estimation de quantités annuelles produites lactosérum	
Rendement fromager (10%)	90
Quantité camembert produites annu	1981
Quantité lactosérum (estimation en	178308
quantité de lactosérum nécessaire	293,8922458

Figure 16 : Capture d'écran de l'estimation des quantités annuelles produites de lactosérums obtenus par Excel

Annexes

Annexe 09 : Capture d'écran des quantités élémentaires annuelles régénérées par lactosérum (tonnes) obtenus par Excel.

Quantités élémentaires annuelles régénérées par lactosérum (tn)	
MG	3566,16
EST	13141,2996

Figure 17 : Capture d'écran des quantités élémentaires annuelles régénérées par lactosérum (tonnes) obtenus par Excel