

# REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Alimentaires



Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme de Master en  
Sciences Alimentaires

Option : Agroalimentaire et contrôle de qualité

## Thème

Valorisation du lactosérum dans la fabrication  
d'un fromage fondu

**Présenté par**

Mr. KADI Ayoub

**Soutenu devant le jury composé de :**

Président : Mr. SADOUDI R. Maitre de conférences classe (A) à L'UMMTO

Examinatrice : Mme. BEN MALLEM EPS REMANE Y. Maitre de conférences classe (B) à L'UMMTO

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

**Année universitaire : 2023/2024**

# Remerciements

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude envers Monsieur SADOUDI Rabah, président du jury, pour son expertise, ses conseils avisés et sa bienveillance tout au long de l'évaluation de ce mémoire. Sa rigueur académique et son dévouement à l'enseignement ont été des sources d'inspiration et de motivation pour moi.

Je remercie également chaleureusement Madame REMANE Yakout, examinatrice, pour son soutien constant, ses remarques constructives et ses encouragements précieux. Sa disponibilité et son engagement envers l'amélioration de mon travail ont été déterminants dans la finalisation de ce mémoire.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance sincère à mon promoteur, Monsieur MSELA Amine, pour son encadrement exceptionnel, ses conseils éclairés et son soutien indéfectible. Sa patience, sa pédagogie et son expertise ont grandement contribué à la réussite de ce travail de recherche.

À chacun de vous, je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères pour votre implication et votre contribution inestimable. Ce mémoire n'aurait pas pu voir le jour sans votre soutien et vos encouragements.

## **Dédicace**

Je tiens à exprimer ma gratitude la plus sincère à mon père, Kadi Saïd, ainsi qu'à tous les membres de ma famille, y compris ma sœur aînée Asma, son époux et leurs enfants, pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours académique et professionnel.

Je souhaite également remercier chaleureusement Madame Chahed, chef du département d'analyse, Monsieur Hmed Riyad, chef du département de pâte pressée, Monsieur Abdeslam, chef du département de fromage fondu, et Monsieur Islam, responsable commercial du lait, pour leur expertise et leur collaboration précieuse au sein de la Laiterie Fromagerie Boudouaou (LFB).

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers les ingénieurs du laboratoire, Amine, Rachid, Amina, ainsi qu'à toute l'équipe de la LFB, pour leur engagement et leur dévouement, qui ont été des éléments essentiels de nos réussites communes.

Je n'oublie pas le personnel administratif de notre faculté, en particulier le chef du département, Monsieur Sadoudi Rabah, la responsable du mastère, Madame Remane, ainsi que l'ensemble des enseignants, notamment le professeur Amrouche et le professeur Bouacem Khelifa, pour leur implication et leur contribution à notre réussite académique.

Mes remerciements vont également aux contributeurs externes, notamment Monsieur Moukah et toute l'équipe de l'entreprise HACHIM, pour leur collaboration fructueuse et leur soutien précieux dans nos projets.

Grâce à l'appui indéfectible de ma famille et au travail acharné de chacun d'entre vous, nous avons pu atteindre nos objectifs et mener à bien nos projets avec succès.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à mon cher coéquipier Mehdi Belmihoub, ainsi qu'à mes amis du parcours universitaire, Yacine, Samy, Mheni, Arab, Aimade, Nordine, Yanis, Sarah, Imane, Amale, Radia, Warda, Samia, Melissa, et à tous mes camarades de classe, Amer, Sofiane, Gulissa, Cosmo, Ghilas, Yasmine, Siham, Amina, Amira, Khadija, ainsi qu'à tous les autres camarades. Votre amitié, votre soutien constant et notre collaboration enrichissante ont été déterminants pour la qualité de notre expérience universitaire et professionnelle.

Je n'oublie pas non plus mon associé Mehaddi Youcef, ainsi que mes amis Hemza, Anis, Zahir, Zohir, Philips, Yanis, Lamine, Makhloufe, Lhadi, Wassim, Sofiane, le chef de quai Slimane, Nabil, les contrôleurs Yanis, Tihi, Hssen, ainsi que les chauffeurs Ammer, Vavou, Malik, Ali, Djigou. Votre dévouement, votre travail acharné et votre collaboration ont été des éléments clés de notre réussite collective.

Votre amitié et votre soutien ont été inestimables, et je suis profondément reconnaissant d'avoir pu évoluer à vos côtés.

Merci d'avoir partagé cette aventure avec moi.

## Résumé

Le rejet du lactosérum, un sous-produit laitier riche en éléments nutritifs, constitue une perte économique et environnementale. Ce mémoire explore la valorisation du lactosérum doux brut en le substituant intégralement à l'eau (100%) dans la fabrication du fromage fondu, méthode différente de l'industrie. Des analyses physicochimiques et microbiologiques ont été effectuées pour garantir la qualité et la sécurité du produit final, respectant les normes de la laiterie fromagerie de Boudouaou. Les principaux résultats montrent que :

Les analyses physicochimiques confirment que les matières premières ainsi que le produit fini respectent les normes établies, en termes de teneur en matières grasses, d'extrait sec total et de pH. Les contrôles microbiologiques valident que le produit fini est exempt de contaminants pathogènes, assurant ainsi sa sécurité sanitaire. Les tests sensoriels révèlent une acceptabilité positive de la part des dégustateurs, démontrant la qualité gustative du fromage fondu. Enfin, l'incorporation du lactosérum dans la recette permet de réduire significativement les coûts de production.

En conclusion, cette étude démontre la faisabilité et les avantages économiques et environnementaux de la valorisation du lactosérum dans l'industrie laitière, tout en garantissant un produit final de qualité conforme aux standards.

**Mots clés :** Economique, Dégustation, Fromage fondu, Lactosérum, Valorisation.

## ملخص

تستكشف هذه الأطروحة استعادة مصّل اللبن الحلو الخام عن طريق استبداله بالكامل بالماء (100%) في تصنيع الجبن المطبوخ، وهي طريقة مختلفة عن تلك المستخدمة في الصناعة. تم إجراء تحاليل فيزيائية كيميائية وميكروبيولوجية لضمان جودة وسلامة المنتج النهائي، بما يتوافق مع معايير ألبان جبن بودواو. أظهرت النتائج الرئيسية ما يلي:

تؤكد التحاليل الفيزيائية والكيميائية أن المواد الخام والمنتج النهائي تتوافق مع المعايير المعمول بها من حيث محتوى الدهون والمستخلص الجاف الكلي ودرجة الحموضة. تؤكد الضوابط الميكروبيولوجية أن المنتج النهائي خالٍ من الملوثات المسببة للأمراض، وبالتالي ضمان سلامته الصحية. تكشف الاختبارات الحسية عن قبول إيجابي من قبل المتذوقين، مما يدل على جودة مذاق الجبن المعالج. وأخيرًا، أدى دمج مصّل اللبن في الوصفة إلى خفض تكاليف الإنتاج بشكل كبير.

وفي الختام، توضح هذه الدراسة الجدوى والمزايا الاقتصادية والبيئية لاستخدام شرش اللبن في صناعة الألبان، مع ضمان منتج نهائي بجودة قياسية.

الكلمات الرئيسية: ، اقتصادي، مذاق، الجبن المطبوخ، مصّل اللبن، القيم

## **Abstract**

The rejection of whey, a nutrient-rich dairy by-product, represents an economic and environmental loss. This thesis explores the valorization of raw sweet whey by substituting it entirely for water (100%) in the manufacture of processed cheese, a method different from that used in industry. Physicochemical and microbiological analyses were carried out to guarantee the quality and safety of the final product, in compliance with the standards of the Boudouaou cheese dairy. The main results show that :

Physicochemical analyses confirm that both the raw materials and the finished product comply with established standards, in terms of fat content, total dry extract and pH. Microbiological controls validate that the finished product is free from pathogenic contaminants, thus ensuring its safety. Sensory tests reveal positive acceptability on the part of tasters, demonstrating the taste quality of processed cheese. Finally, incorporating whey into the recipe significantly reduced production costs.

In conclusion, this study demonstrates the feasibility and economic and environmental benefits of using whey in the dairy industry, while guaranteeing a final product of standard quality.

Key words: Ecological, Economic, Tasting, Processed cheese, Whey, Valorization.

# TABLE DES MATIERE

Introduction.....	1
Chapitre I. Lactosérum.....	4
I.1 Définition.....	4
I.2 Caractéristiques.....	4
I.3 Les différents types du lactosérum.....	4
I.3.1 Le lactosérum doux.....	4
I.3.2 Le lactosérum acide.....	5
I.4 Sources industrielles de lactosérum.....	5
I.4.1 La fromagerie.....	5
I.4.2 La beurrerie.....	5
I.4.3 Autres types de lactosérum.....	5
I.4.3.1 Perméat de lactosérum.....	5
I.4.3.2 Lactosérum déprotéiné.....	6
I.4.3.3 Lactosérum écrémé.....	6
I.5 Composition du lactosérum.....	7
I.6 Composition biochimique du lactosérum.....	8
I.6.1 L'eau.....	8
I.6.2 Le lactose.....	8
I.6.3 Les protéines.....	8
I.6.3.1 $\beta$ -Lactoglobuline.....	8
I.6.3.2 $\alpha$ -Lactalbumine.....	8
I.6.3.3 Minéraux.....	9
I.6.3.4 Vitamines.....	9
I.6.3.5 La matière grasse.....	10
I.6.4 Qualité microbiologique.....	10
I.6.4.1 Bactéries lactiques.....	10
I.6.4.2 Levures.....	10
I.6.4.3 Valorisation du lactosérum.....	10
I.6.4.4 Propriétés fonctionnelles et nutritionnelles.....	11
I.6.4.5 Propriétés fonctionnelles.....	11
I.6.4.6 Propriétés biologiques.....	12
I.6.5 Nécessité de valorisation du lactosérum.....	13

I.6.5.1	Lactosérum agent polluant .....	13
I.6.5.2	Lactosérum produit noble .....	13
I.6.6	Intérêt économique .....	13
I.6.7	Utilisation du lactosérum et des ces constituions .....	14
I.6.8	Utilisation du lactosérum.....	14
I.6.8.1	Dans l'alimentation animale .....	14
I.6.8.2	Usage alimentaire.....	15
I.6.8.3	Industrie laitière .....	15
I.6.8.4	En fromagerie .....	15
I.6.8.5	Industrie des boissons .....	15
I.6.8.6	Dans les crèmes glacées .....	15
I.6.8.7	En boulangerie .....	16
I.6.8.8	En pâtisserie.....	16
I.6.8.9	En confiserie .....	16
I.6.8.10	Dans la viande et produits carnés .....	16
I.6.8.11	. Dans les produits diététiques et infantiles.....	16
I.6.8.12	Autres utilisations.....	16
Chapitre II.	Fromage.....	17
II.1	Généralité sur le fromage : .....	17
II.2	Définition : .....	17
II.3	Classification des fromages.....	17
II.4	La valeur nutritionnelle du fromage .....	17
II.5	Fromage fondu .....	19
II.5.1	Définition .....	19
II.5.2	Classifications.....	19
II.5.2.1	Classification selon contenance en matière grasse .....	19
II.5.3	Classification selon le type.....	20
II.5.3.1	Fromage fondu type « bloc » .....	20
II.5.3.2	Fromage fondu type « coupe » .....	20
II.5.3.3	Fromage fondu tartinable .....	20
II.5.3.4	Fromage fondu toastable (pour refonte).....	20
II.5.3.5	Fromage fondu thermostable (résistant à la chaleur) .....	20
II.5.4	Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus .....	21

II.5.4.1	Composition.....	21
II.5.4.2	Valeurs nutritionnelles .....	21
II.6	. Les matières premières utilisées pour la fabrication du fromage fondu .....	22
II.6.1	Matière premières laitières .....	22
II.6.1.1	Fromage.....	22
II.6.1.2	Pré-fonte .....	23
II.6.1.3	Poudre de lait .....	23
II.6.1.4	Autres matières premières laitières .....	23
II.6.1	Produit non laitiers utilisés.....	24
II.6.1.1	L'eau de process .....	24
II.6.1.2	Sel de fonte .....	24
II.6.1.3	Additifs alimentaires .....	25
II.6.2	Processus de fabrication du fromage fondu .....	26
II.6.2.1	Nettoyage de la surface des fromages .....	26
II.6.2.2	Écroutage, découpage et broyage des fromages .....	27
II.6.2.3	Le pesage et mélange des matières premières .....	27
II.6.2.4	Cuisson et pasteurisation .....	27
II.6.2.5	Conditionnement.....	28
II.6.2.6	Refroidissement .....	28
II.6.2.7	Stockage et Conservation .....	28
II.6.2.8	Contrôle de qualité .....	29
II.6.2.9	Les défauts de fabrication.....	29
Chapitre III.	Partie expérimentale .....	31
III.1	Présentation du lieu du stage .....	31
III.2	Objectif.....	32
III.3	Méthodologie .....	33
III.4	Contrôle de la matière première.....	33
III.4.1	Échantillonnage .....	33
III.4.2	Analyse physicochimique .....	35
III.4.2.1	Lactosérum.....	35
III.4.2.1.1	Teneur en Matières Grasses (MG).....	35
III.4.2.1.2	pH.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III.4.2.1.3	Extrait Sec Total (EST).....	36

III.4.2.2	Poudre de lait.....	36
III.4.2.2.1	Matières grasses.....	37
III.4.2.2.2	Extrait Sec Total (EST) :.....	37
III.4.2.3	Bloc.....	37
III.4.2.3.1	Matière Grasse.....	37
III.4.2.3.2	pH :.....	38
III.4.2.3.3	Extrait Sec Total.....	38
III.5	Incorporation du lactosérum.....	39
III.5.1	Etape de préparation.....	39
III.6	Contrôle du produit fini.....	40
III.6.1	Analyse physicochimie.....	40
III.6.1.1	La Matière Grasse (MG).....	40
III.6.1.2	Mesure du pH.....	41
III.6.1.3	Détermination de l'Extrait Sec Total (EST).....	41
III.6.1.4	Calcul du rapport graisse/sec.....	42
III.6.2	Analyses microbiologiques.....	42
III.6.2.1	<i>Staphylococcus aureus</i> dans le fromage fondu.....	43
III.6.2.2	Analyse de <i>Salmonella</i> dans le fromage fondu.....	43
III.6.2.3	Analyse des coliformes fécaux dans le fromage fondu.....	43
III.6.3	Analyse sensorielle.....	44
III.7	Amortissement.....	44
Chapitre IV	Résultas.....	45
IV.1	Résultas de contrôle de la matière première.....	45
IV.2	Résultas de contrôle du produit finie.....	45
IV.2.1	Résultas des analyse physicochimie.....	45
IV.2.2	Résultats des analyses microbiologique.....	46
IV.2.3	Résultats d'analyse sensorielles.....	46
IV.2.3.1	Couleur.....	47
IV.2.3.2	Texture.....	47
IV.2.3.3	Odeur.....	48
IV.2.3.4	Goût acide.....	48
IV.2.3.5	Goût d'amertume.....	49
IV.2.3.6	Préférence.....	49

IV.3 Résultats d'Amortissement .....	50
Chapitre V. Discussion des résultats .....	51
V.1 Résultats de contrôle de la matière premier .....	51
V.1.1 Lactosérum.....	51
V.1.2 Poudre de lait.....	51
V.1.3 Bloc.....	51
V.2 Résultats du produit finie.....	51
V.2.1 Analyse physicochimique .....	51
V.2.2 Analyses microbiologiques des produits finis.....	52
V.2.3 Analyse sensorielle .....	53
V.2.4 Résultats d'amortissement .....	53
Conclusion .....	54
Référence bibliographique .....	56
Annexes.....	60

## **LISTE DES ABREVIATIONS :**

**°D** : Degré Doronic

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

**AT** : Acidité titrable

**BPF** : Bonnes Pratiques de Fabrication

**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

**JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne

**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 : Utilisations du lactosérum dans les différents produits alimentaires selon leurs importances .....	14
Figure 3 : principales voies de fabrication de fromage fondu .....	26
Figure 4 : Poudre de lit.....	34
Figure 5 : Boc .....	34
Figure 6 : Diagramme de fabrication du fromage fondu .....	39
Figure 7 : Annonce du questionnaire .....	44
Figure 8 : Journée de dégustation .....	46
Figure 9 : Histogramme relatifs au paramètre couleur .....	47
Figure 10 : Histogramme relatifs au paramètre texture. ....	47
Figure 11 : Histogramme relatif au paramètre odeur.....	48
Figure 12 : Histogramme relatifs au paramètre gout acide. ....	48
Figure 13 : Histogramme relatifs au paramètre gout d'amertume.....	49
Figure 14 : Histogramme relatifs au paramètre préférence.....	49

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition des différents types de lactosérum .....	7
Tableau 2 : Composition en minéraux d'un litre de lactosérum.....	9
Tableau 3 : Teneur en vitamines du lactosérum.....	9
Tableau 4 : Les propriétés fonctionnelles du lactosérum.....	11
Tableau 5 : Propriétés biologiques des protéines de lactosérum .....	12
Tableau 6 : Les valeurs typiques de la composition des principaux groupes du fromage (pour 100g du fromage) ..	18
Tableau 7 : Classification des fromages fondus selon la teneur en MG .....	19
Tableau 8 : Composition moyenne du 100g de fromage fondu .....	21
Tableau 9 : Composition de 100 g du fromage fondu. ....	22
Tableau 10 : Exemples d'additifs alimentaires utilisés dans la fabrication du fromage fondu .....	25
Tableau 11 : Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager.....	30
Tableau 12 : Norme des analyses physicochimie.....	35
Tableau 13 : Composition des ingrédients pour la fabrication du fromage fondu .....	39
Tableau 14 : Norme exigé par l'industrie .....	42
Tableau 15 : Résultats de des analyses physicochimies des matières premières .....	45
Tableau 16 : Résulta des analyses physicochimie du produit finie .....	45
Tableau 17 : Résulta des analyses physicochimie du produit finie .....	46

# Introduction

# Introduction

Le secteur industriel a connu un développement majeur à l'échelle mondiale, mais cela s'accompagne de risques et d'effets néfastes pour l'environnement et la santé publique. En réponse, les écologistes et les biologistes se sont depuis longtemps penchés sur des procédés et techniques visant à réduire la pollution générée par les activités industrielles.

Le lactosérum a été découvert il y a plus de 3000 ans avant notre ère par des Bédouins transportant du lait. L'acidification et la coagulation sous l'effet de la chaleur entraînent la formation d'une phase liquide au-dessus du caillé de lait (De Witt, 1981).

Le lactosérum est riche en nutriments tels que le lactose, les protéines solubles, les vitamines hydrosolubles, les minéraux et les matières grasses, ce qui en fait un excellent milieu de culture pour les microorganismes. Cependant, il pose un problème majeur en tant que l'un des rejets industriels les plus polluants en raison de la fermentation organique qui peut s'y produire. Sa charge organique est extrêmement élevée, avec une demande biologique en oxygène (DBO) avoisinant les 40 000 mg/L<sup>-1</sup>, alors que la norme de rejet pour une entreprise traitant ses effluents de manière autonome est de 30 mg/L<sup>-1</sup> (Agnes, 1986).

Parmi les industries, celle des produits laitiers est particulièrement polluante en raison des importantes quantités de lactosérum rejetées. La production mondiale de lactosérum dépasse les 160 millions de tonnes par an, soit environ neuf fois la production de fromage, avec un taux de croissance annuel de 1 à 2 % (Guimarães et al., 2010). Environ 70 % du lactosérum est transformé en divers produits, tandis que 30 % sont encore utilisés pour l'alimentation animale, dispersés sur les terres agricoles comme engrais ou même déversés dans les rivières et les océans. Le lactosérum est considéré comme l'un des flux de sous-produits alimentaires les plus polluants. Il est estimé que 4 000 litres de lactosérum peuvent causer des dommages environnementaux équivalents à ceux des déchets fécaux produits par 1 900 personnes. Ces rejets constituent une menace réelle pour l'environnement en raison de la richesse du lactosérum en matière organique, contenant environ 50 % des constituants du lait, principalement du lactose (~70 %). Dans ce contexte, il est devenu essentiel de recycler le lactosérum pour éviter cette menace polluante, à condition que son traitement soit économiquement viable (Juliano et Clarke, 2013; Božanić et al., 2014).

L'Algérie est le principal consommateur de lait et de produits laitiers au Maghreb et se classe ainsi au troisième rang mondial pour l'importation de lait et de produits laitiers, après l'Italie et le Mexique. Malgré la grande diversité des types de fromages sur le marché, les fromages fondus en portion sont les préférés des consommateurs algériens, contrairement aux autres types de fromages 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 défi en Algérie consiste à combiner rentabilité économique et augmentation du taux d'intégration du lactosérum brut dans divers aliments, sans recourir à l'importation de poudre de lactosérum.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation du lactosérum brut, un sous-produit de la fabrication du fromage à pâte pressée, pour la formulation de fromages fondus. Ce travail répond à la problématique de l'augmentation du taux d'intégration du lactosérum brut dans les aliments en Algérie, offrant ainsi une nouvelle approche pour l'industrie agroalimentaire algérienne et réduisant la dépendance à l'importation de poudre de lactosérum.

Le document sera structuré comme suit :

1. **Recherche bibliographique** : Cette section traite des matières premières utilisées, notamment le lactosérum, le fromage et le fromage fondu.
2. **Partie pratique** : Cette section comprend :
  - Le contrôle des matières premières avec des analyses physicochimiques du lactosérum, de la poudre de lait et du bloc de fromage Edam.
  - Le contrôle du produit fini, incluant des analyses physicochimiques, microbiologiques et sensorielles du fromage fondu avec lactosérum et du fromage fondu standard de référence.

# **CHAPITRE I**

# **LACTOSERUM**

## Chapitre I. Lactosérum

### I.1 Définition

Le lactosérum, également connu sous les noms de petit-lait ou sérum, est un sous-produit essentiellement issu de la fabrication du fromage (Jouan, 2002). Il se présente sous la forme d'un liquide jaune-verdâtre, composé d'environ 94 % d'eau, de sucre (lactose), de protéines et de très peu de matières grasses. Traditionnellement, le lait subit un processus de coagulation, soit par l'ajout de présure, soit par l'action acidifiante de bactéries lactiques, voire par acidification chimique. Cette coagulation entraîne l'agrégation des micelles de caséine présentes dans le lait, formant ainsi un gel appelé *coagulum*. La phase aqueuse résultante, au début du processus de fabrication du fromage, est ce que l'on appelle le lactosérum, et elle est séparée du caillé. Le lactosérum est hautement fermentescible et fragile. Il représente 85 à 90 % du volume de lait utilisé et contient une quantité importante de protéines laitières (environ 20 %), ainsi que des éléments nutritifs tels que le lactose, les vitamines et les minéraux. L'industrie laitière produit d'importantes quantités de lactosérum chaque année, obtenant environ 9 litres de lactosérum et 1 kg de fromage à partir de 10 litres de lait (Moletta, 2002).

### I.2 Caractéristiques

Le lactosérum est un liquide jaune verdâtre qui constitue 85 à 95 % du volume de lait. Il possède une valeur nutritionnelle élevée, car il retient environ 55 % des éléments nutritifs du lait et environ 20 % de la teneur totale en protéines. Ce liquide contient une quantité significative de protéines de lait, soit environ 20 % (6 g/l), et il est également riche en éléments nutritifs (Ahn et al., 2001).

### I.3 Les différents types du lactosérum

Le lactosérum devrait être envisagé comme un produit dérivé plutôt que comme un sous-produit de la fabrication des fromages ou de la caséine. En fonction de l'acidité et du pH, le lactosérum peut être classé en deux types distincts (Linden et Lorient, 1994).

#### I.3.1 Le lactosérum doux

Le lactosérum doux résulte de la coagulation de la caséine par la présure, sans préalable acidification. Il se caractérise par sa faible teneur en sels minéraux et son abondance en lactose et en protéines (Lorient et Linden, 1994). Outre les protéines solubles du lait, ce type de lactosérum renferme une glycoprotéine issue de l'hydrolyse de la caséine Kappa par la présure. Cependant, lorsque le lactosérum de fromagerie n'est pas traité avec les précautions nécessaires, la fermentation naturelle persistante entraîne une augmentation de son acidité (Sottiez, 1990).

Le lactosérum doux provient de la fabrication de fromages à pâte pressée cuite ou non cuite, avec un pH oscillant entre 6,5 et 6,7, et un degré d'acidité inférieur à 18°D. (Morr et Hal, 1993).

### **I.3.2 Le lactosérum acide**

Le lactosérum acide, obtenu lors de la fabrication du fromage, de la caséine ou de produits similaires, résulte de la séparation du caillé après coagulation du lait et/ou de ses dérivés (Codex alimentarius, 2002). Lorsque la protéine de caséine se lie à des sels de calcium, l'acidification entraîne sa déminéralisation, libérant ainsi une quantité significative d'éléments minéraux, notamment le calcium et le phosphore (Sottiez, 1990). C'est pourquoi ce type de lactosérum est plus riche en minéraux que le lactosérum doux (Boudier et Luquet, 1989).

Cependant, les teneurs élevées en acide lactique et en minéraux posent des défis pour la déshydratation. Par conséquent, les lactosérums acides sont généralement utilisés à l'état liquide, tandis que les sérums doux sont fréquemment déshydratés. Le lactosérum acide provient de la fabrication de fromages à pâte fraîche et à pâte molle, avec un pH variant entre 4,4 et 5,5, et un degré d'acidité supérieur à 18°D (Adrian et al., 1991).

## **I.4 Sources industrielles de lactosérum**

### **I.4.1 La fromagerie**

La fromagerie désigne l'ensemble des procédés qui permettent la fabrication des fromages à partir du lait nature. Au cours de ce processus, le lait subit les étapes de coagulation et de synérèse, aboutissant d'une part à la formation de la phase solide, c'est-à-dire le fromage, et d'autre part à la phase liquide, appelée lactosérum (**Laplanche, 2004**).

### **I.4.2 La beurrerie**

La beurrerie englobe l'ensemble des procédés qui permettent la fabrication du beurre à partir du lait nature. Après l'écémage du lait, suivi de l'extraction de la caséine par précipitation, on obtient ce que l'on appelle le lactosérum écrémé. (**Laplanche, 2004**).

### **I.4.3 Autres types de lactosérum**

L'émergence de nouvelles technologies de fractionnement et de concentration, telles que l'ultrafiltration, a ouvert la voie à de nouvelles dérivées en plus des deux catégories de lactosérum mentionnées précédemment. Cependant, ces dérivés restent associés aux lactosérums doux et acides. (Cylia & Horia, 2021).

#### **I.4.3.1 Perméat de lactosérum**

Le perméat, issu de la fabrication de concentrés protéiques de sérum par ultrafiltration, peut être considéré comme un sous-produit. Sa composition est similaire à celle du lactosérum, à l'exception des protéines. La figure 01 illustre cette comparaison. Le perméat se caractérise par une haute teneur en lactose et en sels minéraux. Il peut être valorisé après déminéralisation (**Luquet, 1985**).

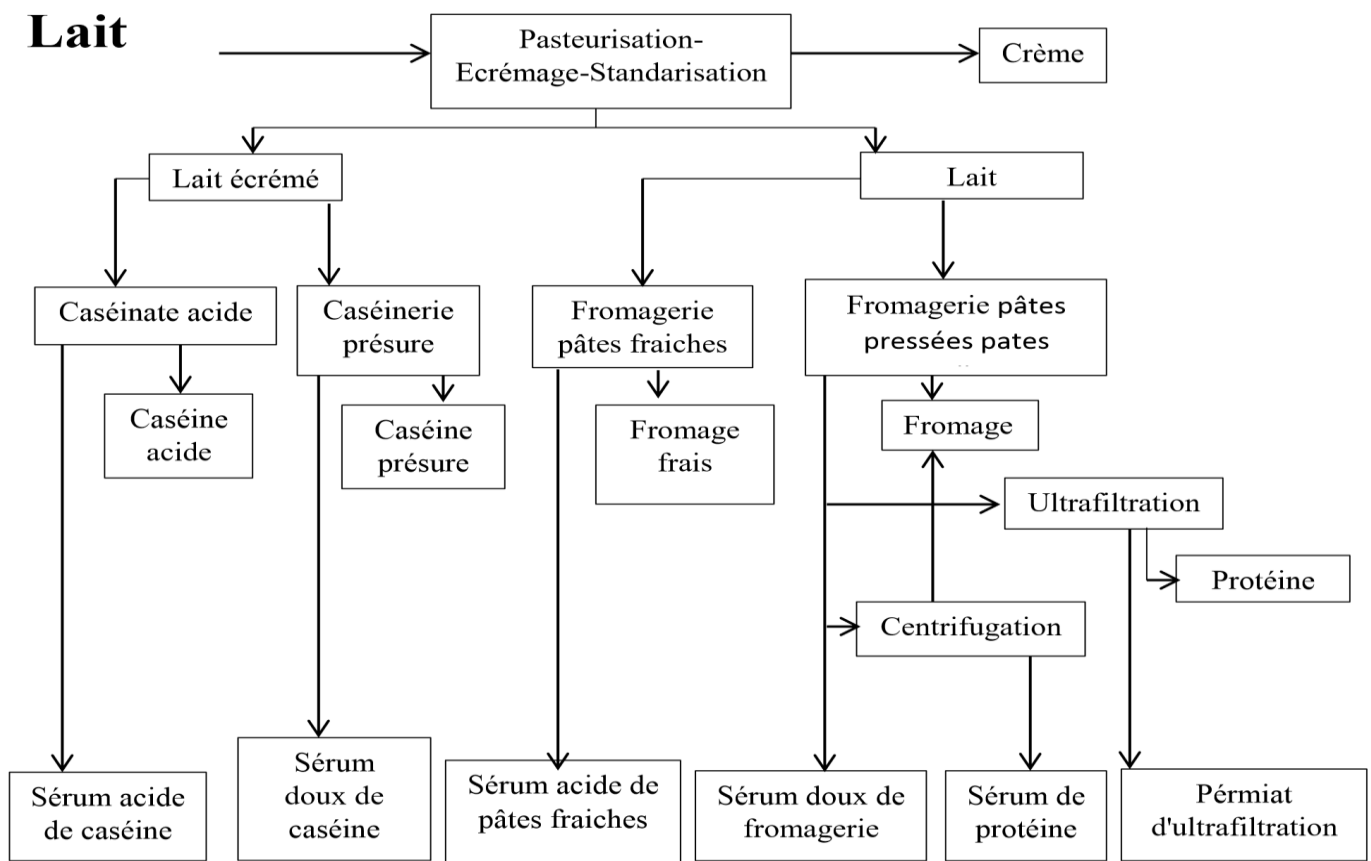
### I.4.3.2 Lactosérum déprotéiné

Le lactosérum déprotéiné est obtenu par certaines fromageries grâce à une opération de déprotéinisation partielle de leurs sérums doux ou acides. Cette opération intervient après la coagulation à chaud (à environ 90°C). L'objectif est de réincorporer des protéines sériques dans le lait, ce qui améliore le rendement fromager (Chagnon, 1997 ; Bourgogne, 2001).

### I.4.3.3 Lactosérum écrémé

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

Les principaux procédés d'obtention du lactosérum sont résumés dans la figure 01



**Figure 1 : Schéma technologique d'obtention des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait.**

### I.5 Composition du lactosérum

Les propriétés spécifiques des divers types de sérum sont influencées par la qualité du lait utilisé, la méthode de fabrication du fromage, ainsi que les traitements appliqués au sérum après sa séparation. De plus, les conditions de collecte, de stockage et de transport jouent également un rôle essentiel (Chaput, 1981).

**Tableau 1 : Composition des différents types de lactosérum .**

	Lactosérum doux		Lactosérum acide		
	Pâte pressée cuite (Emmental)	Pâte pressée non cuite (Edam)	Pâte fraîche	Caséine	Camembert
<b>Teneur en eau (%)</b>	93.5	95	94	94	93.5
<b>Extrait sec (%)</b>	6.5	5	6	6	6.5
<b>pH</b>	6.7	6.5	6	4.6	6.1
<b>Composition g/l</b>					
<b>Lactose</b>	76	75	65.5	74	75
<b>Protéines</b>	13.5	13.5	12	12	12
<b>Cendres</b>	8	8	9	12	8.25
<b>Lactique</b>	1.8	2.8	10	1.8	2.2
<b>Matière grasse</b>	1	1	0.5	0.5	1
<b>Matière minérale</b>					
<b>Ca en %</b>	0.6	0.65	1.9	1.8	0.7
<b>P en %</b>	0.6	0.65	1.5	1.5	0.7
<b>Chlorure (NaCl) %</b>	2.5	2.5	2.5	7.5	2.5

De manière similaire, le lactosérum acide présente une teneur plus basse en lactose par rapport au lactosérum doux. Cette différence est due au processus de fabrication, qui inclut une fermentation avant la coagulation. Pendant cette fermentation, une partie du lactose est convertie en acide lactique. En revanche, le lactosérum doux possède une teneur plus élevée en protéines que le lactosérum acide (Chaput, 1981).

## **I.6 Composition biochimique du lactosérum**

### **I.6.1 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.6.2 Le lactose**

Le lactose, présent dans l'extrait sec du lactosérum, constitue son élément majeur. De plus, le lactosérum doux contient davantage de lactose que le lactosérum acide. En effet, dans ce dernier, une partie du lactose a été transformée en acide lactique (**Sottiez, 1990**).

### **I.6.3 Les protéines**

Les protéines de lactosérum se présentent sous forme de protéines globulaires et renferment un grand nombre de modèles d'hélices  $\alpha$ . Ces hélices  $\alpha$  sont constituées d'une chaîne polypeptidique enroulée en une structure hélicoïdale, où chaque groupe N-H d'un acide aminé forme une liaison hydrogène avec le groupe C=O d'un autre acide aminé. Le long de leur chaîne, on trouve des acides aminés hydrophiles et hydrophobes, ainsi que des acides et des basiques. (**Sottiez, 1990 ; Eugenia, 2006**)

#### **I.6.3.1 $\beta$ -Lactoglobuline**

La  $\beta$ -lactoglobuline ( $\beta$ -LG) est la plus abondante des protéines du lactosérum, elle représente 50% 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. Bien que le rôle physiologique de la  $\beta$ -lactoglobuline soit 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 ; Harmbing et al., 1992).

#### **I.6.3.2 $\alpha$ -Lactalbumine**

Après la  $\beta$ -lactoglobuline, la protéine la plus abondante dans le lactosérum est l' $\alpha$ -Lactalbumine. Cette dernière est l'une des plus petites protéines, composée de 123 résidus d'acides aminés. Son poids

moléculaire est de 14 kDa, et elle représente environ 20 % des protéines totales du lactosérum. L' $\alpha$ -lactalbumine est également une protéine fonctionnelle très intéressante en raison de sa richesse en tryptophane, ce qui en fait une base essentielle pour la fabrication de peptides largement utilisés dans l'alimentation diététique et les compléments alimentaires (Bergel et Feron, 2004).

### I.6.3.3 Minéraux

Les matières salines de l'extrait sec du lactosérum sont principalement composées de plus de 50 % de chlorures de sodium et de potassium. Le reste est constitué de divers sels de calcium, principalement sous forme de phosphate de calcium. De plus, selon certaines méthodes fromagères, on peut ajouter du sel de calcium (Vrignaud, 1983).

**Tableau 2 : Composition en minéraux d'un litre de lactosérum (en mg/l) .**

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

### I.6.3.4 Vitamines

Le lactosérum contient des vitamines essentielles pour notre organisme, notamment les vitamines B2, B5, B12, B6 et C. Ces vitamines sont utilisées dans l'industrie pharmaceutique et alimentaire (Ryan et Walsh, 2016).

**Tableau 3 : Teneur en vitamines du lactosérum.**

<b>Les minéraux</b>	<b>Lactosérum doux (%)</b>	<b>Lactosérum acide (%)</b>
<b>Potassium</b>	0.13	0.15
<b>Sodium</b>	0.07	0.06
<b>Calcium</b>	0.05	0.13
<b>Phosphore</b>	0.06	0.09

### **I.6.3.5 La matière grasse**

Le lactosérum contient une quantité limitée de lipides provenant du lait. Cette quantité est estimée à environ 1,00 g/l. En raison de sa faible teneur en matières grasses, le lactosérum a une faible valeur calorique. Dans les procédés industriels, le lactosérum est souvent écrémé, et la matière grasse récupérée est utilisée pour fabriquer un beurre de qualité inférieure (**Leghlimi, 2004**).

### **I.6.4 Qualité microbiologique**

Le lactosérum est un liquide riche en microorganisme qui peut être entraînés après séparation du caillé. Ces derniers sont représentés par les bactéries lactiques et les levures (Cylia & Horia, 2021).

#### **I.6.4.1 . Bactéries lactiques**

Ces bactéries font partie d'un groupe essentiel pour l'homme. Leur importance ne se limite pas à l'aspect économique, car elles jouent également un rôle crucial dans le maintien et l'amélioration de la santé humaine (Dolexres, 2003). L'auteur souligne que la multiplication de ces bactéries dans le lait et les fromages remplit deux fonctions essentielles :

- Abaissement du pH : Elles transforment le lactose en acide lactique, acide acétique et éthanol, ce qui favorise la coagulation du lait.
- Libération d'enzymes : Elles participent aux principaux processus d'affinage des caillés, contribuant ainsi aux caractéristiques organoleptiques des fromages.

#### **I.6.4.2 Levures**

Le lactosérum est un excellent milieu de culture pour le développement des levures. Ces levures utilisent le lactose comme source de carbone. Parmi elles, les souches de *Kluyveromyces lactis* sont celles qui offrent le meilleur rendement (**Canu et al, 2000**).

#### **I.6.4.3 Valorisation du lactosérum**

Le lactosérum est un sous-produit abondant dans l'industrie laitière, souvent considéré comme encombrant. En Algérie, l'industrie fromagère rejette quotidiennement 6000 litres de lactosérum par jour, soit 4 à 12 kg pour chaque kilogramme de fromage produit. Cependant, il est possible de valoriser le

lactosérum en utilisant des produits dérivés qui ont une valeur économique. Cette valorisation est essentielle pour réduire les coûts de transformation ou d'élimination du lactosérum

#### I.6.4.4 Propriétés fonctionnelles et nutritionnelles

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

#### I.6.4.5 Propriétés fonctionnelles

Les protéines sériques possèdent d'excellentes propriétés fonctionnelles, notamment la gélification, la stabilité vis-à-vis des traitements thermiques, la formation de mousse et l'émulsification. Quant au lactose, il favorise les réactions de caramélisation et la réaction de Maillard. De plus, il sert de support d'arôme et constitue un bon substrat de culture pour les ferments de maturation (**Ramos et al., 2016**).

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

**Tableau 4 : Les propriétés fonctionnelles du lactosérum .**

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

### I.6.4.6 Propriétés biologiques

Les protéines de lactosérum sont commercialisées sous différentes formes, notamment les concentrés, les isolats et les hydrolysats de protéines de lactosérum (partiellement dégradés par digestion).

Ces dérivés présentent un large éventail de fonctions biologiques (Gryson et al, 2008).

**Tableau 5 : Propriétés biologiques des protéines de lactosérum.**

<b>Protéines</b>	<b>Activités biologiques</b>
<b><math>\beta</math>Lg</b>	Source de peptides bioactifs. Liaison et transport de substances hydrophobes (vitamine A et E, AG libres) Source d'aa essentiels et à chaînes ramifiées. Facilite la digestion Stimulation de la lipolyse Activité anti-oxydante Effets antibactériens, antiviraux et hypocholestérolémiques.
<b>GMP</b>	Effet antiadhésif contre les bactéries pathogènes. Source d'aa à chaînes ramifiées. Source rare d'aa que les patients atteints de phénylcétonurie peuvent tolérer, car il ne contient pas de phénylalanine. Favorisent la croissance bifidobactérienne et modulent le système immunitaire. Facilite la digestion.
<b><math>\alpha</math>La</b>	Effet antiadhésif contre les bactéries pathogènes. Source d'aa essentiels à chaînes ramifiée. Réduit le stress oxydatif grâce à ses propriétés de chélation du fer. Anti cancérigène. Régule la biosynthèse du lactose ; porteur de calcium ; immunomodulateur. Favorise l'absorption de minéraux.
<b>Ig</b>	Prestations immunitaires modulantes.
<b>LF</b>	Activité antimicrobienne (propriétés de fixation du fer). Activité anti-oxydante. Favorise la croissance des bactéries bénéfiques. Antinflammatoire. Immunomodulateur, anti cancérigène ; antimétastatique. Activité antivirale et agit comme facteur de croissance des cellules
<b>LP</b>	Activité antimicrobienne (élimination des peroxydes).

<b>BSA</b>	Propriétés anticancéreuses. Source d'aa essentiels. Contrôle la pression osmotique du sang. Transporte : les hormones, les acides gras, de la bilirubine, et divers ions métalliques. Fixe le calcium et tamponne le pH. Activité anti-oxydante
------------	---

## **I.6.5 Nécessité de valorisation du lactosérum**

### **I.6.5.1 Lactosérum agent polluant**

Le lactosérum est un sous-produit abondant dans l'industrie agroalimentaire depuis de nombreuses années. Autrefois considéré comme un déchet, il était souvent épandu dans les champs ou rejeté dans les rivières et les cours d'eau (Essadaoui, 2012). Cependant, cette pratique posait un sérieux problème environnemental pour les raisons suivantes:

Demande biologique en oxygène (DBO) élevée : Le lactosérum a une DBO de 40 000 à 60 000 mg/L et une DCO de 50 000 à 80 000 mg/L. En d'autres termes, un litre de lactosérum nécessite environ 60 g d'oxygène pour que ses matières organiques soient dégradées par oxydation microbienne (Papademas et Kotsaki, 2019).

Volumes considérables générés : Pour produire 1 kg de fromage, environ 9 L de lactosérum sont obtenus à partir de 10 L de lait. L'industrie fromagère mondiale produit environ 115 millions de tonnes de lactosérum chaque année, dont 47 % sont directement évacués dans les égouts. (Papademas et Kotsaki, 2019).

### **I.6.5.2 Lactosérum produit noble**

Le rejet du lactosérum dans les cours d'eau, bien que regrettable, représente avant tout une perte pour les industriels. En effet, cette substance est une matière précieuse et riche. Selon les relevés, les 4,2 milliards de litres de sérum correspondent à 290 000 tonnes de matières sèches, dont environ 38 000 tonnes de protéines et 218 000 tonnes de lactose (Apria, 1973). Il est également important de mentionner que ces quantités incluent des vitamines et certains sels minéraux, qui sont utiles dans l'alimentation. (Lupin, 1998)

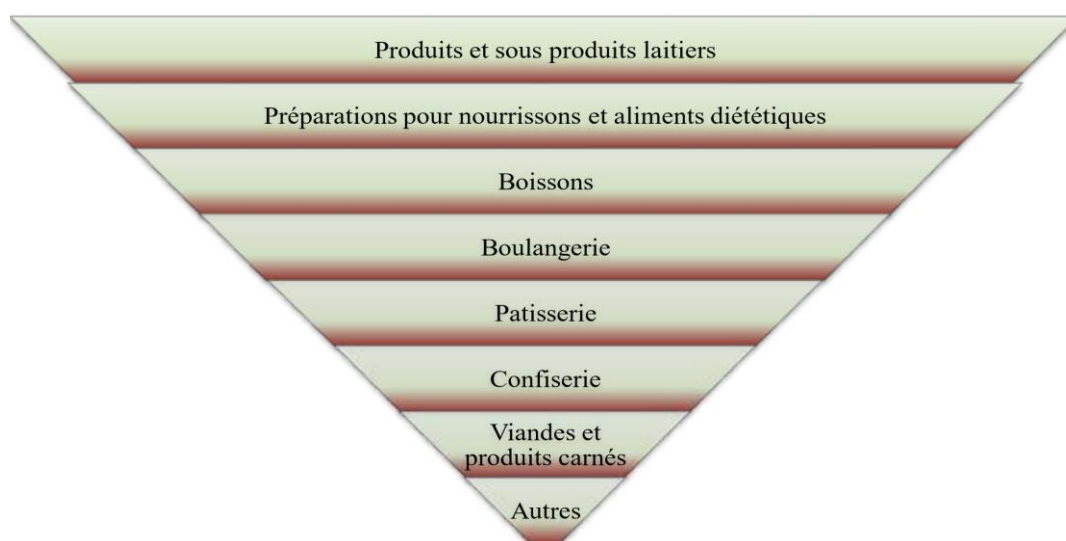
## **I.6.6 Intérêt économique**

La valorisation du lactosérum en différents produits contribuera à réduire la dépendance des pays vis-à-vis des importations. Cela entraînera d'importants gains économiques, ouvrira de nouvelles perspectives et

encouragera de nouveaux investissements. De plus, cette valorisation favorisera la création d'emplois et la fabrication de produits à haute valeur ajoutée (Bardy et al., 2016).

### I.6.7 Utilisation du lactosérum et des ces constituions

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



**Figure 2 : Utilisations du lactosérum dans les différents produits alimentaires selon leurs importances**

### I.6.8 Utilisation du lactosérum

Le lactosérum est une source abondante de composants nutritifs, et ses composants biologiques ont démontré leur efficacité dans le traitement de diverses maladies chroniques, telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et le VIH. En raison de sa richesse nutritionnelle, il peut également être utilisé dans la fabrication d'aliments pour nourrissons, personnes âgées et athlètes. Cette polyvalence fait du lactosérum un atout précieux dans le domaine de la santé et de la nutrition (Macwan et al, 2016).

#### I.6.8.1 Dans l'alimentation animale

Le lactosérum est utilisé dans l'alimentation animale, offrant divers avantages pour les animaux :

Bétail laitier :

- La consommation de lactosérum liquide par les vaches pendant la période de lactation réduit la quantité de foin et de céréales consommée, sans affecter la production laitière.
- Veau :

- L'ultrafiltrat du lactosérum à l'état liquide est bien toléré par les veaux après le 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.
- Le lactosérum peut également être utilisé pour d'autres animaux tels que les volailles et les ovins (**Luquet et Boudier, 1984**).

#### **I.6.8.2 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.6.8.3 Industrie laitière**

Le lactosérum est largement utilisé dans la fabrication des laits maternisés en poudre. En effet, il s'agit d'une des premières applications du lactosérum doux. La poudre de lactosérum acide peut être utilisée pour remplacer la poudre de lait écrémé dans des proportions précises lors de la fabrication de yaourts, sans altérer leur qualité ni leur arôme (**Apria, 1973 ; Boudier et Luquet, 1989**).

#### **I.6.8.4 En fromagerie**

Les fromages secondaires sont fabriqués à partir du lactosérum qui s'écoule lors de la fabrication du fromage primaire. L'un des plus connus 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. Cependant, il est essentiel de ne pas les utiliser en quantité excessive, car cela pourrait affecter la consistance du produit ou être à l'origine de la réaction de Maillard (Chambre et Draurekkes, 1997).

#### **I.6.8.5 Industrie des boissons**

Le lactosérum est utilisé pour fabriquer des boissons à base de lactosérum. Ces boissons ont une grande valeur diététique et sont facilement digestibles. Elles sont désaltérantes et agréables à boire. En raison de leur solubilité à pH acide, les protéines de lactosérum (CPL) peuvent être utilisées jusqu'à 3 % pour renforcer les boissons et les jus de fruits en protéines. Le produit final reste clair et stable (**De Boer et al, 1977 ; Morr, 1989**).

#### **I.6.8.6 Dans les crèmes glacées**

La poudre de lactosérum doux peut remplacer jusqu'à 25 % de la quantité de lait écrémé. Quant au lactosérum acide, il peut être utilisé pour remplacer une partie du sucre dans la fabrication de sorbets de

bonne qualité. Cette substitution permet d'ajouter de la valeur nutritionnelle tout en préservant la texture et le goût des produits finis (Apria, 1973).

#### **I.6.8.7 En boulangerie**

Le lactosérum doux est utilisé comme moyen de conservation grâce à la combinaison du lactose avec les matières azotées, ce qui entraîne la réaction de Maillard. Cette réaction forme des complexes stables et constitue un moyen de défense naturel contre le rancissement. De plus, elle améliore le goût, l'arôme du pain et les caractéristiques internes et externes. Par exemple, elle favorise l'affinage de la coloration, rend la pâte plus tendre et augmente le rendement (Apria, 1980).

#### **I.6.8.8 En pâtisserie**

Le lactosérum peut être utilisé pour produire des meringues, qui seront identiques à celles obtenues à partir du blanc d'œuf. Dans les gâteaux de type génois, le lactosérum masque légèrement le goût de l'œuf, tout en assurant une grande régularité dans les produits et une consistance très moelleuse (Apria, 1973).

#### **I.6.8.9 En confiserie**

Le lactosérum est utilisé dans la fabrication de certains bonbons et chocolats. Les ingrédients du lactosérum sont incorporés dans divers produits de confiserie tels que les bonbons, le chocolat et le caramel. Ils servent à améliorer la couleur, la saveur et l'enrichissement en protéines du produit fini (Vignaud, 1983).

#### **I.6.8.10 Dans la viande et produits carnés**

Les protéines de lactosérum (CPL) sont largement utilisées dans l'industrie des produits carnés. Le lactosérum peut remplacer le lait dans les salaisons pour certains types de charcuterie, ou encore le blanc d'œuf dans le saucisson cuit, agissant comme un agent de liaison (Morr, 1989).

#### **I.6.8.11 . Dans les produits diététiques et infantiles**

Lactosérum est utilisé dans la fabrication de formules lactées pour nourrissons en raison de sa composition riche en protéines sériques, qui sont facilement digérées et assimilées. Ces formules présentent une forte proportion en acides aminés essentiels, contribuant ainsi à la croissance et au développement harmonieux des bébés et des tout-petits (Apria, 1973).

#### **I.6.8.12 Autres utilisations**

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

# **CHAPITRE II**

## **FROMAGE**

## Chapitre II. Fromage

### II.1 Généralité sur le fromage :

Le lait peut être consommé à l'état nature ou après avoir subi diverses transformations biologiques. Ces processus contribuent grandement à améliorer ses qualités sensorielles et nutritionnelles. L'un des produits dérivés de ces transformations est le fromage (Mahaut et al., 2000).

Le nom "fromage" dérive du mot latin "formaticus", signifiant "former" ou "mouler". L'utilisation du fromage comme aliment remonte à des temps anciens, bien que la première occurrence précise reste inconnue. Les ethnologues ont des preuves que l'homme connaissait depuis longtemps le processus de coagulation du lait. Des moules à caillé datant de 5000 ans avant J.-C. ont été découverts sur les rives du lac Neuchâtel, en Suisse (Gelais et al., 2002 ; Katz et Weaver, 2003).

### II.2 Définition :

Selon la norme internationale N°A-6 de Codex alimentarius, le fromage est un produit qui peut être affiné ou non, et qui peut avoir différentes consistances : molle, semi-dure, dure ou extra-dure (Vignola, 2002). Il est fabriqué à partir de lait écrémé ou lait partiellement écrémé, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés. Ensuite, par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation, on obtient le produit final. Les techniques de fabrication utilisées entraînent la coagulation du lait et/ou des produits laitiers, permettant d'obtenir un fromage avec des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques acceptables. Les fromages sont ainsi une forme de conservation des éléments nutritifs du lait sur une période plus ou moins longue (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002).

### II.3 Classification des fromages

La classification des fromages peut être basée sur le mode de fabrication, la nature de la pâte ou d'autres facteurs. En fonction des différentes opérations technologiques, on distingue quatre classes de fromages (Guiraud, 1998):

- Fromage frais ou à pâte fraîche
- Fromage à pâte molle
- Fromage à pâte pressée cuite ou non cuite
- Fromage fondu

### II.4 La valeur nutritionnelle du fromage

Le fromage, en plus d'être délicieux, est un aliment précieux sur le plan nutritionnel. Il joue un rôle essentiel dans notre alimentation. Voici quelques points importants concernant les fromages :

Richesse en Calcium et Phosphore :

- Les fromages sont riches en calcium et phosphore.
- Des études suggèrent que ces minéraux contribuent à la prévention des caries dentaires.
- Le calcium et le phosphore affectent la solidité et la santé des dents en favorisant la minéralisation et en renforçant l'émail dentaire (Walter et al., 2008).

Les valeurs typiques de la composition des principaux groupes du fromage pour 100g du fromage sont représentées dans le tableau 6.

**Tableau 6 : Les valeurs typiques de la composition des principaux groupes du fromage (pour 100g du fromage).**

Fromages Composants	Parmesan Cheddar	Cheddar	Edam	feta	Fromage fondu
<b>Eau(g)</b>	18.4	36	43.8	58	42.31
<b>Protéines(g)</b>	39.4	25.2	6.0	20	24.73
<b>Lipides(g)</b>	32.7	34.4	25.4	21	25.01
<b>Cholestérol (µg)</b>	100	100	80	70	85
<b>Energie (kal)</b>	452	412	33	250	334
<b>Vitamine A</b>	345	325	175	-	-
<b>Vitamine D</b>	0.25	0.26	0.19	0.03	0.5
<b>Vitamine E</b>	700	480	480	80	370
<b>Sodium</b>	090	670	1020	380	1440
<b>Potassium</b>	110	77	97	89	95
<b>Calcium</b>	1200	720	7.70	37	360
<b>Magnésium</b>	45	25	39	9	20
<b>Phosphore Zinc</b>	810	490	530	160	280
<b>Sulfure</b>	5.3	2.3	2.2	0.6	0.9
<b>Chlorides</b>	250	230	-	-	-
	182	1030	1570	550	2350

## II.5 Fromage fondu

### II.5.1 Définition

Le fromage fondu est un produit obtenu en mélangeant des fromages de différentes origines et à différents stades d'affinage. On y ajoute des sels de fonte, ainsi que d'autres produits laitiers tels que le lait (liquide ou en poudre), la crème, le beurre, la caséine et le lactosérum. Parfois, des aromates sont également incorporés. Ce mélange est ensuite broyé et chauffé sous vide partiel, tout en étant constamment agité, jusqu'à obtenir une masse homogène. Enfin, le fromage fondu est conditionné dans un emballage protecteur (CODEX STAN 283-1978).

### II.5.2 Classifications

Les fromages fondus peuvent avoir plusieurs classifications :

#### II.5.2.1 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 suivant :

**Tableau 7 : Classification des fromages fondus selon la teneur en MG.**

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 Classification selon le type**

#### **II.5.3.1 Fromage fondu type « bloc »**

Le traitement thermique appliqué est modéré afin de préserver au produit final une élasticité marquée et une bonne tranchabilité, similaires à celles d'un fromage classique. Pour garantir sa stabilité, le fromage a une teneur élevée en matière sèche et est partiellement ou totalement fondu à partir de citrate de sodium. L'objectif est de retrouver l'apparence d'un fromage à pâte pressée, même s'il a été soumis à un processus de chauffage (Roustel, 2014).

#### **II.5.3.2 Fromage fondu type « coupe »**

Le fromage fondu de type "coupe" est moins ferme que le bloc, mais il n'est pas tartinable. Sa teneur en matière sèche est légèrement inférieure (trois à quatre points de moins) par rapport au fromage fondu de type "bloc". Cette caractéristique le rend plus agréable à la dégustation. Cependant, l'élasticité, bien qu'elle puisse être recherchée, n'est pas toujours souhaitable en raison de la formation de fils qui compliquent le conditionnement sur les machines classiques (Richonnet, 2002; Roustel, 2014).

#### **II.5.3.3 Fromage fondu tartinable**

La consistance de ce fromage est déterminée par le processus de crémage, ce qui lui confère une certaine tartinabilité. Cette catégorie de fromage représente la majorité du marché français. Ces produits peuvent être aromatisés et conditionnés dans des emballages souples (portions) ou rigides (pots, barquettes, tubes). Ils se présentent principalement sous trois formes (Boutonnier, 2000 ; Roustel, 2014) :

- Portion en aluminium (la plus courante).
- Présentation en barquette (ou en verrine).
- Présentation en tube, bien que cette dernière soit plus rare

#### **II.5.3.4 Fromage fondu toastable (pour refonte)**

Ce fromage se présente généralement sous forme de tranches, spécialement adaptées pour être utilisées dans les cheeseburgers. Sa particularité réside dans sa capacité à refondre rapidement, similairement à une tranche d'emmental. Cette caractéristique exige une préservation minutieuse de la structure protéique des matières premières (Roustel, 2014).

#### **II.5.3.5 Fromage fondu thermostable (résistant à la chaleur)**

Ce type de fromage fondu, issu d'une demande extrême-orientale, ne doit pas fondre lorsqu'on le soumet à une nouvelle source de chaleur. Pour atteindre cette caractéristique, il subit un crémage très poussé. De plus, il conserve son goût et sa valeur nutritionnelle inchangés après la cuisson. Les blocs obtenus sont découpés puis incorporés généralement dans des plats asiatiques. Ces préparations peuvent également être apertisées, et les cubes de fromage fondu doivent rester intacts après la stérilisation (Roustel, 2014).

## II.5.4 Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus

### II.5.4.1 Composition

La composition moyenne des éléments constitutifs pour 100 g de fromage fondu en portions (25% MG/MS) est représentée dans le tableau 08 (HACHI, 2012).

**Tableau 8 : Composition moyenne du 100g de fromage fondu.**

<b>Eléments constitutif du fromage fondu</b>	<b>Composition moyenne</b>
<b>Eau (g)</b>	68,3
<b>Glucides (g)</b>	2,7
<b>Protéines (g)</b>	15
<b>Lipides (g)</b>	7,9
<b>Apport énergétique (Kcal)</b>	146

Apport calorique journalier : 7%

### II.5.4.2 Valeurs nutritionnelles

La spécialité fromagère rassemble toutes les caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui la composent. Elle fournit à l'organisme la majorité des nutriments essentiels pour un bon équilibre alimentaire, comme le montre le tableau ci-dessous. Étant prête à consommer sans préparation, elle constitue un excellent moyen d'apporter à notre corps les éléments énergétiques et constructeurs nécessaires à son fonctionnement (lipides, glucides, protéines, minéraux, vitamines, etc.) (Meyer, 1973).

Le tableau suivant résume la composition du fromage et la valeur nutritionnelle apporté par chaque composant (Meyer, 1973). :

**Tableau 9 : Composition de 100 g du fromage fondu**

<b>Composants</b>	<b>45 % MG dans ES</b>	<b>60 % MG dans ES</b>
<b>Eau</b>	51,3 %	50,6 %
<b>MG</b>	23,6 %	30,4 %
<b>Protéines</b>	14,4 %	13,2 %
<b>Sodium</b>	1,26 mg	1,01 mg
<b>Potassium</b>	65,0 mg	108 mg
<b>Calcium</b>	547,0 mg	355,0 mg
<b>Phosphore</b>	944,0 mg	795,0 mg
<b>Vitamine A</b>	0,30 mg	/
<b>Vitamine D</b>	3,13 µg	/
<b>Vitamine B1</b>	34,0 µg	/
<b>Vitamine B2</b>	0,38 mg	/
<b>Vitamine B6</b>	70,0 µg	80,0 µg
<b>Acide folique</b>	3,46 µg	3,40 µg
<b>Vitamine B12</b>	0,25 µg	0,25 µg
<b>Vitamine C</b>	Traces	Traces
<b>Valeur énergétique</b> <b>(KJ/Kcal)</b>	1178/282	1490/339

## **II.6 . Les matières premières utilisées pour la fabrication du fromage fondu**

### **II.6.1 Matière premières laitières**

Les matières premières d'origine laitière représentent la majeure partie des matières premières utilisées en fonte.

#### **II.6.1.1 Fromage**

Le fromage fondu est généralement fabriqué à partir d'un mélange de différentes variétés de fromages, chacune ayant ses propres caractéristiques d'affinage. Les critères de sélection incluent le type, la saveur, la maturité, la consistance, la texture et l'acidité. Cette sélection est primordiale pour garantir la fabrication d'un fromage fondu de qualité, parmi les plus utilisés, on cite : Le cheddar, Le gruyère et l'emmental (C.C.A, 2004).

### II.6.1.2 Pré-fonte

Il s'agit d'un fromage déjà fondu qui provient de la récupération de la pâte contenue dans divers endroits du circuit de production, notamment au niveau du conditionnement en fin de processus. La pré-fonte doit présenter une texture de qualité, c'est-à-dire qu'elle doit être crémeuse et non sur-crémeuse. Son rôle est d'accélérer le crémage et de stabiliser l'émulsion. En somme, elle agit comme un catalyseur dans le processus de fabrication du fromage fondu (Eck et al., 1997 ; Boutonnier, 2000).

### II.6.1.3 Poudre de lait

La poudre de lait est un produit obtenu à partir du lait qui a subi une déshydratation par la chaleur, réduisant ainsi son volume et permettant une longue conservation. Les poudres de lait sont classées en trois catégories (Sottiez 1990) :

- Poudre de lait entier (26 % de matières grasses).
- Poudre de lait demi-écrémé (1,5 à 1,8 % de matières grasses).
- Poudre de lait écrémé (0 % de matières grasses)

### II.6.1.4 Autres matières premières laitières

D'autres matières premières d'origine laitière sont utilisées pour la fabrication du fromage fondu. Parmi celles-ci, on peut citer (Boutonnier, 2000) :

- Le lactosérum
- Les caséines-caséinates
- Les protéines du sérum

Ces ingrédients apportent des constituants protéiques non dégradés. Le lactosérum doux, issu de la fabrication de pâtes pressées cuites, est fréquemment utilisé. Cependant, il est préférable de le déminéraliser au préalable pour éviter une présence de goût salin trop prononcé. Par ailleurs, le lactose joue un rôle favorable dans la plastification et la structuration du gel, ce qui favorise la tartinabilité du fromage fondu. Il est essentiel de ne pas incorporer un taux trop élevé de lactose pour éviter l'apparition d'un goût sucré et de réactions de Maillard, voire de cristallisation (Chambre et Daurelles, 2006).

L'incorporation de matière grasse laitière (MG) est courante pour ajuster la teneur finale en matières grasses du produit et lui conférer des qualités organoleptiques agréables, notamment au niveau des arômes. La présence de MG diminue considérablement la viscosité du fromage fondu. Cette incorporation peut se faire sous forme de beurre, de crème ou de matière grasse laitière anhydre. La qualité des matières grasses utilisées est essentielle pour éviter l'apparition de défauts liés à l'oxydation (Chambre et Daurelles, 2006).

## II.6.1 Produit non laitiers utilisés

### II.6.1.1 L'eau de process

L'humidité intervient comme matière première et joue un rôle déterminant dans la fabrication de tous les produits alimentaires. Dans le cas des fromages, l'humidité est généralement faible en raison de l'ajout de poudres. Cependant, l'eau présente va solubiliser et disperser les protéines tout en émulsionnant la matière grasse. Il est essentiel que cette eau soit exempte de micro-organismes et de contaminants chimiques, tels que le nitrate (**German, 1976**).

### II.6.1.2 Sel de fonte

Les sels de fonte sont des additifs essentiels dans la fabrication des fromages fondus. Ils agissent comme émulsifiants, permettant de donner au produit fini une texture homogène. Sans eux, les différents composants tels que la caséine, la matière grasse et l'eau se sépareraient après l'arrêt du brassage (**Luquet, 1990**).

Voici les rôles clés des sels de fonte :

- Solubilisation des protéines et séquestration du calcium : Leur capacité à solubiliser la caséine dépend essentiellement de leur aptitude à échanger le calcium du produit laitier contre le sodium qu'ils contiennent initialement.
- Ajustement du pH : Le pH est réglé dans une gamme allant de 5,4 à 5,8, en fonction des propriétés recherchées.

Fonctions antimicrobiennes : Ils ne détruisent pas directement les micro-organismes (ce ne sont pas des bactéricides), mais plutôt des bactériostatiques. De plus, les phosphates sont reconnus comme de bons inhibiteurs de la germination des spores. Ils empêchent également la production des toxines botuliques (**Berger et al., 1989**).

### II.6.1.3 Additifs alimentaires

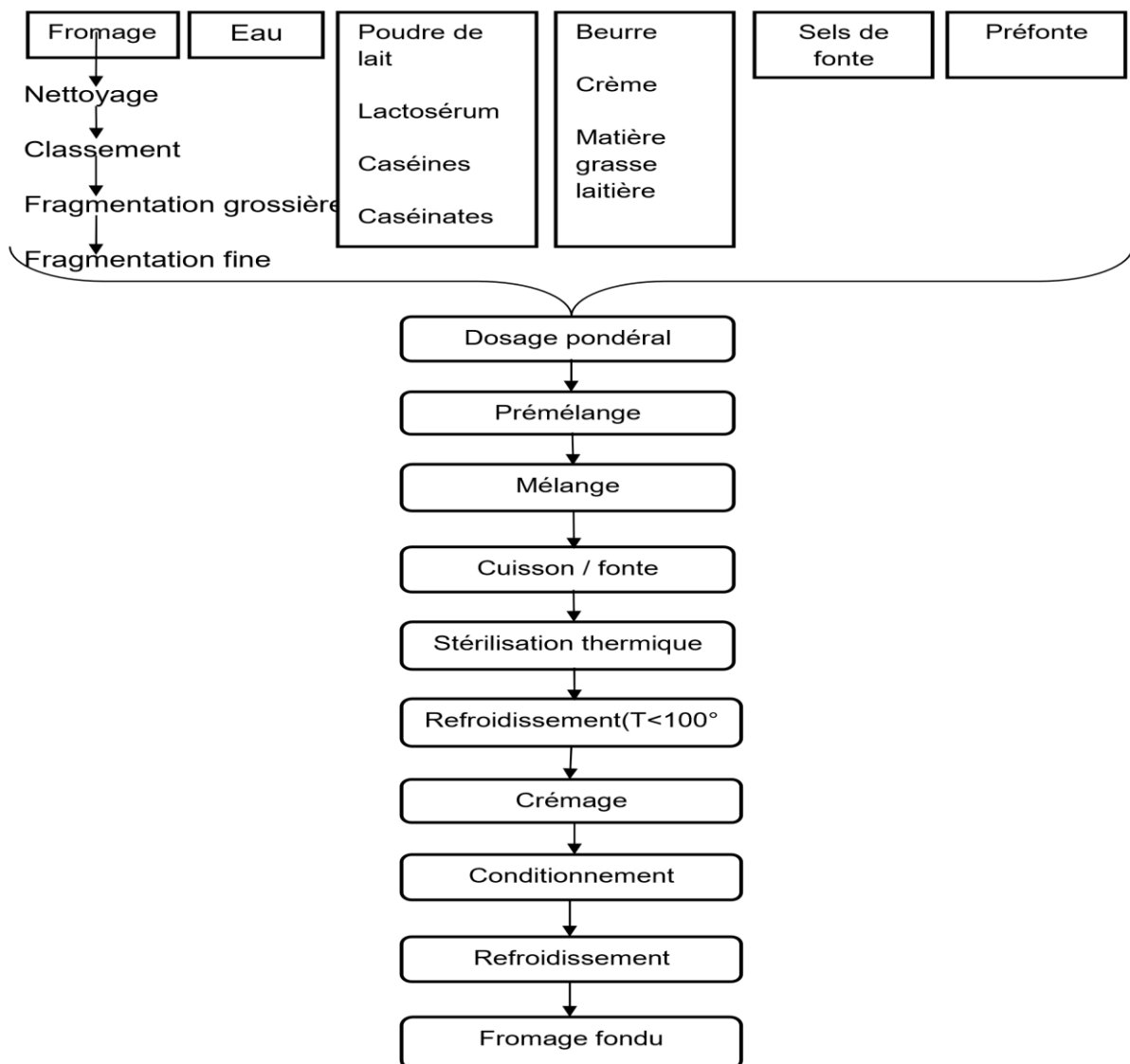
Ce sont des agents de sapidité, colorants, agent de texture, conservateurs...etc. Utilisés de manière limitée, selon le type de fromage fondu (Commission du Codex Alimentarius, 2015) (Tableau 09) :

**Tableau 10 : Exemples d'additifs alimentaires utilisés dans la fabrication du fromage fondu**

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

### II.6.2 Processus de fabrication du fromage fondu

Les mécanismes mis en œuvre lors de la fabrication des fromages fondu sont nombreux et complexes et on peut les présenter dans la figure suivante (Boutonnier, 2000) :



**Figure 3 : principales voies de fabrication de fromage fondu**

Les principales étapes de fabrication du fromage fondu sont :

#### II.6.2.1 Nettoyage de la surface des fromages

Le déshabillage du fromage est une étape qui consiste à retirer le film plastique qui l'entoure, puis à éliminer les moisissures qui peuvent apparaître à la surface. Pour ce faire, on utilise un couteau ou un

grattoir. De nos jours, de nouvelles techniques émergent, comme l'utilisation de jets d'eau chaude sous pression, qui permettent un nettoyage plus efficace (Boutonnier, 2000 ; Eck et Gillis, 2006).

### II.6.2.2 Écroutage, découpage et broyage des fromages

L'écroutage du fromage est traditionnellement réalisé par raclage ou brossage. Cependant, de nouvelles techniques émergent, telles que l'utilisation de jets d'eau chaude sous pression. Le broyage est une étape essentielle du traitement des matières premières, car il est indispensable pour obtenir un fromage homogène (Eck et Gillis, 1997).

### II.6.2.3 Le pesage et mélange des matières premières

Pour assurer une production uniforme, les quantités de matières premières destinées au mélangeur sont soigneusement pesées. Chaque variété de fromage et autres produits laitiers ou non laitiers est incorporée avec les sels de fonte. Ensuite, un pré-broyage de l'ensemble est effectué pendant quelques minutes pour obtenir un mélange prêt pour la cuisson (Luquet, 1990 ; Eck et al., 1997; Gaucheron, 2004).

### II.6.2.4 Cuisson et pasteurisation

La cuisson du fromage est un processus complexe qui engendre plusieurs phénomènes physico-chimiques. Voici les étapes clés de la cuisson du fromage (Eck et Gillis, 1997) :

- Préchauffage et pression du vide : Le mélange passe dans le bac de lancement, puis arrive à la cuve de préchauffage à une température de 60-65 °C. Là, il est soumis à une pression du vide pour atteindre 80-85 °C.
- Stérilisation : Grâce à une deuxième pompe, le produit est stérilisé entre 135-140 °C par injection de vapeur.
- Refroidissement : Après la stérilisation, le produit est refroidi jusqu'à 95 °C avant d'être renvoyé au bac de crémage.
- Pendant la cuisson, deux phénomènes importants se produisent :
- Peptisation : Les fromages sont constitués de granules de caillé. La zone externe du granule est principalement composée de substances protéiques, tandis que la zone interne contient une proportion plus importante de matière grasse. Lorsque les matières premières du fromage sont finement broyées et mises en contact avec l'eau et les sels de fonte, commence l'étape de destruction.

Les sels de fonte chélatent le calcium lié aux protéines et transforment le paracaséinate de calcium insoluble en paracaseinate de sodium soluble.

- Crémage : Le crémage est caractérisé par l'absorption d'une quantité d'eau au niveau de chaque particule protéique. Cela provoque l'épaississement de la pâte et donne naissance à de nouvelles interactions inter-intra protéiques. L'importance du crémage a une influence primordiale sur la texture finale du produit. La constitution du réseau protéique se fait d'autant plus rapidement lorsque l'on incorpore de la refonte, ce qui accélère la cinétique de la structuration.

#### **II.6.2.5 Conditionnement**

La production de fromage fondu est un processus complexe qui s'effectue actuellement à l'aide de machines automatiques fonctionnant à des cadences très rapides. Pour les fromages fondus en portion, des machines de plus en plus sophistiquées permettent de produire 20, 80, 100, 400 et 800 portions par minute (**Boutonnier, 2000**).

Le conditionnement des fromages en portions à tartiner se fait dans une feuille d'aluminium vernie sur les deux faces. Cette feuille est préformée par pression sur la machine, prenant la forme d'une coquille. Après le remplissage avec la pâte fondue, la coquille reçoit un couvercle avant d'être scellée entre 60 et 70°C. Cette méthode permet d'utiliser la chaleur du fromage fondu comme énergie de scellage (**Boutonnier, 2000**).

#### **II.6.2.6 Refroidissement**

Le refroidissement doit être rapide pour éviter le risque de développement de réactions de Maillard. Cette vitesse varie selon le type de produit ; il doit être particulièrement rapide pour les fromages fondus à tartiner (**Chambre et Daurelles, 2006**).

#### **II.6.2.7 Stockage et Conservation**

Le fromage fondu est un produit à longue conservation (jusqu'à 1 an), rendu possible grâce au traitement thermique et à la présence de sels de fonte (**Gaucheron, 2004**).

Selon Luquet (1985) voici quelques précautions élémentaires à prendre pour la conservation, le transport et la distribution du fromage fondu, notamment dans les pays chauds :

- Éviter l'écrasement par surcharge et mouillage, surtout lorsqu'il s'agit des boîtes en carton.
- Éviter l'exposition au soleil et le stockage à une température supérieure à 12 °C.

- Éviter les brusques changements de température, notamment le passage brutal du froid au chaud. Ces variations provoquent des condensations qui peuvent détériorer particulièrement les emballages en carton.

Ces mesures garantissent la qualité et la durabilité du fromage fondu, même dans des conditions climatiques difficiles.

#### II.6.2.8 Contrôle de qualité

Le fromage fondu emballé est soumis à un contrôle rigoureux pour garantir sa qualité. Voici les principaux aspects vérifiés (**Boutonnier, 2000**):

- Emballage :
  - Aspect : Nous examinons l'apparence de l'emballage, sa brillance, sa couleur et son étanchéité.
  - Produit débarrassé de son emballage :
    - Aspect externe : Nous vérifions l'absence de trous, de cristaux, de particules infondues et d'exsudation grasse.
    - Texture : Nous évaluons la consistance du fromage par analyse pénétrométrique et sa tartinabilité.
- Flaveur :
  - Nous utilisons l'olfaction, la rétro-olfaction et la gustation pour évaluer la saveur du fromage.
- Tests de fonctionnalité :
  - Nous vérifions la stabilité à la chaleur et l'aptitude à la fonte dans différentes conditions, telles que le four à air chaud ou le four à micro-ondes.

Il est important de noter que cette liste n'est pas exhaustive, car d'autres contrôles spécifiques à chaque type de fromage fondu ainsi que des contrôles quantitatifs sont également effectués.

#### II.6.2.9 Les défauts de fabrication

La fabrication du fromage fondu est un processus complexe qui dépend de plusieurs facteurs, notamment la nature de la matière première et le choix des autres ingrédients. Même un léger écart par rapport aux normes peut entraîner des défauts qui deviennent visibles à différents stades de la chaîne de fabrication. Il est donc essentiel de maintenir des standards de qualité stricts pour garantir un produit final irréprochable (**Berger et al, 1989**).

Le tableau suivant résume les origines des défauts et les solutions (Berger et al., 1989) :

**Tableau 11 : Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager**

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 Brassoir d'une vitesse faible Augmenter le temps	Augmenter le temps Augmenter la dose de sels Augmenter la vitesse des brassoirs
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

**CHAPITRE III**  
**PARTIE EXPERIMENTALE**

## Chapitre III. Partie expérimentale

### III.1 Présentation du lieu du stage

La Laiterie Fromagerie Boudouaou (LFB) est une unité de production de produits laitiers appartenant à la Office Régional Central de Lait et Produits Laitiers (OROLAC). Située à l'entrée de la ville de Boudouaou, dans la wilaya de Boumerdès en Algérie, la LFB a une superficie de 80 000 m<sup>2</sup>. Fondée dans les années 70 sous le nom d'entreprise quesera Mitidja "SOFROMI", spécialisée à l'origine dans la fabrication de fromages, la LFB est devenue une unité de production laitière après sa nationalisation en 1975 et son intégration dans le patrimoine de ONALAIT.

La LFB se distingue par ses activités de production et de commercialisation de lait et de dérivés laitiers. Elle dispose d'un laboratoire d'analyse comprenant deux services : l'analyse physico-chimique et l'analyse microbiologique, où sont réalisées l'ensemble des analyses nécessaires au contrôle de qualité des produits. Ses principaux produits incluent le lait pasteurisé en sacs d'un litre, les fermentés en sachets d'un litre, le lait instantané en poudre en sachets de 25 g et 19 g, le fromage fondu pasteurisé en boîtes de seize portions, la fondue stérilisée en boîtes métalliques et le fromage EDAM.

La LFB dispose également de locaux pour le stockage des matières premières, une salle de préparation des emballages, un laboratoire d'analyse et de contrôle de la qualité, ainsi qu'une chambre froide. Son adresse est Cité Benadjel 35 000 Boudouaou-Boumerdes, avec un numéro de téléphone 024.84.32.34 et un fax 024.84.42.92, et l'adresse e-mail est [www.lfb092005@Yahoo.fr](mailto:www.lfb092005@Yahoo.fr). La LFB fait partie de la politique de restructuration d'ONALAIT et appartient à la région Centre de l'OROLAC, avec une capacité de traitement de 1 850 000 litres de lait par jour.

### III.2 Objectif

La production de fromage fondu dans la laiterie fromagerie de Boudouaou est confrontée à deux défis majeurs : la gestion inefficace des sous-produits, en particulier le lactosérum, et le coût élevé de la production. Actuellement, cette laiterie jette quotidiennement plus de 8 100 litres de lactosérum. Ce sous-produit, riche en nutriments, est largement sous-utilisé, entraînant une perte économique significative et contribuant à des problèmes environnementaux liés à la gestion des déchets. De plus, les coûts de production élevés du fromage fondu posent un défi important pour les industriels, limitant leur compétitivité sur le marché.

Le lactosérum, souvent considéré comme un déchet, représente un gaspillage de ressources précieuses. La gestion de ce sous-produit est coûteuse et présente des défis environnementaux, notamment en termes de pollution et de traitement des déchets. Parallèlement, la dépendance à l'importation de poudres de lactosérum pour les formulations standard de fromage fondu accroît les coûts de production, exacerbant les défis financiers auxquels la laiterie est confrontée.

Cette étude vise à valoriser le lactosérum brut en le substituant intégralement à l'eau utilisée dans la formulation standard de fabrication du fromage fondu. L'objectif est de maintenir les caractéristiques physico-chimiques essentielles du produit final, telles que la teneur en matières grasses (MG), l'extrait sec total (EST), le pH et le rapport graisse/extrait sec (G/ES). La substitution de l'eau par le lactosérum dans le processus de fabrication présente plusieurs avantages potentiels :

- **Conservation des Ressources Hydriques** : En remplaçant l'eau par le lactosérum, la laiterie peut réduire sa consommation d'eau, une ressource précieuse et parfois limitée.
- **Valorisation d'une matière première sous-utilisée** : Le lactosérum, souvent considéré comme un déchet, est réintégré dans le produit fini, maximisant ainsi l'utilisation des ressources disponibles.
- **Réduction des Coûts de Production** : En diminuant la dépendance à l'importation de poudre de lactosérum, la laiterie peut réduire ses dépenses, rendant le processus de production plus économique.
- **Réduction de la Pollution** : En valorisant le lactosérum liquide, la laiterie réduit les problèmes de pollution associés à la gestion de ce sous-produit.
- **Avantages pour les Industriels Algériens** : Une approche plus durable et économique renforce la compétitivité des industriels algériens sur le marché international.

En intégrant le lactosérum dans la fabrication du fromage fondu, la laiterie fromagerie de Boudouaou pourrait non seulement réduire ses coûts de production, mais aussi adopter une gestion plus durable et responsable de ses ressources. La valorisation du lactosérum représente une opportunité pour transformer un

déchet en une ressource précieuse, favorisant ainsi l'innovation et la compétitivité de l'industrie fromagère algérienne.

### III.3 Méthodologie

Afin de produire un fromage fondu conforme aux normes industrielles et aux exigences du cahier des charges, tout en atteignant les objectifs de cette étude, les étapes méthodologiques suivantes ont été adoptées :

- **Contrôle de la matière première** : Un échantillonnage et des analyses physicochimiques ont été réalisés sur le lactosérum, la poudre de lait et le fromage à pâte pressée de type Edam bloc. Ces analyses comprennent la mesure de la teneur en matières grasses (MG), du pH, et de l'extrait sec total (EST).
- **Incorporation du Lactosérum** : Le lactosérum a été incorporé dans la fabrication du fromage fondu afin de substituer intégralement l'eau utilisée dans la formulation standard.
- **Contrôle du produit Fini** : Des analyses physicochimiques, microbiologiques et sensorielles ont été effectuées sur le produit fini pour évaluer ses caractéristiques et sa conformité aux normes établies.
- **Calcul du Pourcentage d'Amortissement** : Le pourcentage d'amortissement de la nouvelle recette a été calculé pour évaluer les économies réalisées et l'efficacité économique de l'incorporation du lactosérum.

Ces étapes méthodologiques visent à garantir la qualité et la conformité du fromage fondu produit, tout en explorant les bénéfices économiques et environnementaux de l'utilisation du lactosérum.

### III.4 Contrôle de la matière première

#### III.4.1 Échantillonnage

Nous avons prélevé toutes les matières premières pour les analyses physico-chimiques à partir du même lot.

Cette approche garantit que les paramètres restent constants tout au long de nos essais. Pour assurer le bon déroulement de cette opération, nous avons utilisé un matériel propre et sec pour les analyses physico-chimiques et sensorielles.

- **Lactosérum** : Le lactosérum doux est un sous-produit agro-industriel provenant de l'unité LFB de fabrication des produits laitiers. Il est issu de la production de fromage à pâte pressée de type « Bloc », une des spécialités de l'unité.
- **Poudre de lait** : Il s'agit d'une poudre de lait entier contenant 26 % de matières grasses, obtenue par déshydratation par la chaleur. Cette méthode permet une longue conservation. La poudre est conditionnée dans des sacs en polyéthylène de 25 kg, doublés de sacs en papier.



**Figure 4 : Poudre de lit**

- **Bloc** : Le bloc est un fromage à pâte pressée que nous faisons fondre pour obtenir du fromage fondu. L'échantillonnage a été réalisé dans la chambre froide.



**Figure 5 : Boc**

### III.4.2 Analyse physicochimique

Pour caractériser les matières premières utilisées dans cette étude, nous avons réalisé les tests suivants : teneur en matières grasses (MG), pH et extrait sec total (EST). Ces tests ont permis de comparer les résultats obtenus aux normes détaillées dans le tableau 12 afin de garantir la conformité et la qualité des ingrédients utilisés.

**Tableau 12 : Normes des analyses physicochimie**

Paramètre	Norme de Lactosérum	Norme de Poudre de lait	Norme de bloc
MG (g/l)	≤ 0,5% à 0,7% (Fox & McSweeney, 1998)	26% et 28%. (Codex Alimentarius Commission, 1999)	40%. (Codex Alimentarius Commission, 2006)
pH	6,0 à 6,5 (Tamime, 2009)	/	5,0 et 5,4. (Normes internes des producteurs de fromage et publications techniques)
EST (%)	5,5% à 6,5% (Walstra, Wouters, & Geurts, 2006)	96% et 98%. (Codex Alimentarius Commission, 1999)	54-55%. (Codex Alimentarius Commission, 2006)

#### III.4.2.1 Lactosérum

Ces analyses (voir l'annexe 01) permettent de garantir que le lactosérum utilisé répond aux normes de qualité et aux exigences de production de la laiterie fromagerie Boudouaou, assurant ainsi la qualité du produit.

##### III.4.2.1.1 Teneur en Matières Grasses (MG)

L'objectif est de mesurer précisément la quantité de matières grasses présentes dans le lactosérum, ce qui constitue un indicateur essentiel de sa qualité et de sa valeur nutritionnelle. Pour ce faire, nous utilisons la

méthode de Gerber, reconnue pour sa capacité à séparer efficacement et à mesurer les matières grasses dans le lactosérum.

- **Étapes du Mode Opérateur :**

1. Prélever un échantillon de lactosérum.
2. Ajouter de l'acide sulfurique pour dissoudre les protéines et libérer les matières grasses.
3. Centrifuger l'échantillon pour séparer les matières grasses.
4. Mesurer le volume de matières grasses séparées.

#### **III.4.2.1.2 pH**

La mesure de l'acidité du lactosérum revêt une importance cruciale pour garantir sa stabilité microbologique et ses propriétés fonctionnelles. À cet effet, nous utilisons un pH-mètre calibré pour mesurer le pH, permettant ainsi d'évaluer avec précision le niveau d'acidité du lactosérum et d'assurer sa conformité aux normes de qualité et de sécurité alimentaire.

- **Étapes du Mode Opérateur :**

1. Calibrer le pH-mètre avec des solutions tampons standard.
2. Prélever un échantillon de lactosérum.
3. Immerger l'électrode du pH-mètre dans l'échantillon.
4. Lire et enregistrer la valeur du pH.

#### **III.4.2.1.3 Extrait Sec Total (EST)**

L'objectif est de mesurer la fraction solide du lactosérum après évaporation de l'eau, incluant les protéines, les glucides, les minéraux et autres résidus secs. Pour cela, le lactosérum est soumis à un processus de séchage dans un dessiccateur infrarouge réglé à 95°C, permettant une évaporation complète de l'eau. Cette méthode assure une estimation précise de la composition des solides présents dans le lactosérum.

- **Étapes du Mode Opérateur :**

1. Prélever un échantillon de lactosérum.
2. Sécher l'échantillon à une température contrôlée 95°C jusqu'à évaporation complète de l'eau.
3. Lecture de l'extrait sec total.

#### **III.4.2.2 Poudre de lait**

Le protocole détaillé des analyses physicochimiques de la poudre de lait est disponible dans l'annexe 02.

### III.4.2.2.1 Matières grasses

La mesure de la teneur en matières grasses dans la poudre de lait est réalisée à travers la méthode de Gerber. Cette méthode se base sur la séparation des matières grasses par l'acidification de l'échantillon et l'ajout d'une solution de sulfate de cuivre. Par la suite, les matières grasses sont isolées et quantifiées.

#### Étapes principales :

1. Préparation de l'échantillon de poudre de lait.
2. Ajouter de l'acide sulfurique pour dissoudre les protéines et libérer les matières grasses.
3. Centrifuger l'échantillon pour séparer les matières grasses.
4. Mesurer le volume de matières grasses séparées.

### III.4.2.2.2 Extrait Sec Total (EST) :

Pour déterminer la quantité totale de solides présents dans la poudre de lait, on utilise la méthode du dessiccateur infrarouge. Cette méthode implique de peser la poudre de lait, de la chauffer dans un dessiccateur infrarouge pour évaporer l'eau, puis de peser à nouveau pour calculer la quantité d'eau évaporée. En soustrayant cette quantité d'eau évaporée du poids initial, on obtient l'extrait sec total, qui représente la quantité totale de solides présents dans la poudre de lait.

#### Étapes principales :

1. Prélever un échantillon de lactosérum.
2. Sécher l'échantillon à une température contrôlée 95°C jusqu'à évaporation complète de l'eau.
3. Lecture de l'extrait sec total.

### III.4.2.3 Bloc

Le protocole détaillé des analyses physicochimies du bloc de lait est disponible dans l'annexe 03.

#### III.4.2.3.1 Matière Grasse

Mesurer la teneur en matières grasses dans le fromage Edam bloc pur cela La méthode de Gerber implique la séparation des matières grasses du fromage par acidification de l'échantillon et ajout de solution de sulfate de cuivre. Les matières grasses sont ensuite isolées et quantifiées.

**Étapes principales :**

1. Préparation de l'échantillon de fromage Edam bloc.
2. Acidification de l'échantillon avec de l'acide sulfurique.
3. Placer le butyromètre dans un bain-marie à 70°C
4. Centrifugation pour séparer les matières grasses.
5. Lecture et calcul de la teneur en matières grasses.

**III.4.2.3.2 pH :**

Pour évaluer l'acidité ou la basicité du fromage Edam bloc, le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné. Cette mesure permet de déterminer précisément le niveau d'acidité ou de basicité du fromage.

**Étapes principales :**

1. Préparation d'une solution de fromage Edam bloc.
2. Utilisation d'un pH-mètre étalonné pour mesurer le pH de la solution.

**III.4.2.3.3 Extrait Sec Total**

Pour déterminer la quantité totale de solides présents dans le fromage Edam bloc, on utilise une méthode impliquant plusieurs étapes. Tout d'abord, le fromage est pesé. Ensuite, il est chauffé dans un dessiccateur infrarouge afin d'évaporer toute l'eau qu'il contient. Enfin, le fromage est de nouveau pesé pour calculer la quantité d'eau évaporée, permettant ainsi de déterminer l'extrait sec total.

**Étapes principales :**

1. Prélever un échantillon de fromage Edam bloc
2. Sécher l'échantillon à une température contrôlée 95°C jusqu'à évaporation complète de l'eau.
3. Lecture de l'extrait sec total.

### III.5 Incorporation du lactosérum

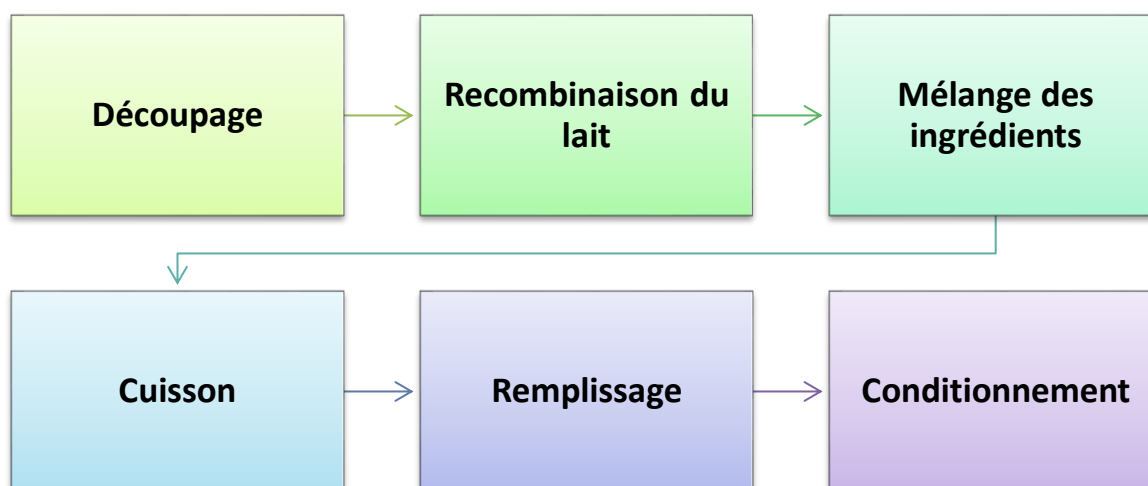
Ce tableau détaille les ingrédients utilisés dans les deux recettes de fromage fondu, mettant en évidence les différentes substances utilisées pour obtenir les propriétés spécifiques du produit final.

**Tableau 13 : Composition des ingrédients pour la fabrication du fromage fondu**

Recette standard	Recette avec lactosérum
Bloc	Bloc
Eau de process	Lactosérum
Poudre de lait 26 %	Poudre de lait 26 %
Sel de table	Sel de table
Sel de font	Sel de font

#### III.5.1 Etape de préparation

Dans le cadre de notre étude, nous avons élaboré deux recettes de fromage fondu dans des conditions identiques, en suivant une méthodologie rigoureuse conforme aux normes de l'industrie agroalimentaire. Cette démarche est illustrée de manière détaillée dans le schéma ci-dessous :



**Figure 6 : Diagramme de fabrication du fromage fondu**

- **Découpe du bloc** : Le bloc de fromage a été finement râpé pour obtenir des morceaux de taille uniforme, favorisant ainsi une distribution homogène lors du processus de fusion.
- **Recombinaison du lait** : La poudre de lait a été minutieusement dissoute dans de l'eau, générant ainsi une solution aqueuse dans un bécher. Ce processus a été réalisé sous l'influence d'un champ magnétique, garantissant une dissolution complète et uniforme.
- **Mélange des ingrédients** : Les différents ingrédients nécessaires à la recette ont été méticuleusement mélangés dans une casserole. Cette étape a été réalisée avec précision afin d'assurer une répartition équilibrée des composants.
- **Cuisson** : La fusion homogène des ingrédients s'est déroulée dans une casserole préalablement immergée dans un bain-marie réglé à une température constante de 100°C. Un soin particulier a été apporté au mélange continu à l'aide d'une spatule, le processus de cuisson s'étendant sur une durée précise de 15 minutes.
- **Remplissage** : Une fois la fusion achevée, le fromage fondu a été transféré dans des moules préalablement recouverts d'aluminium. Cette étape revêt une importance capitale pour garantir la protection du produit final et maintenir sa qualité pendant la phase de durcissement ultérieure.
- **Conditionnement** : Les barres de fromage fondu ont ensuite été refroidies dans un environnement contrôlé, à une température constante de 4°C, dans un réfrigérateur spécialisé. Cette phase de conditionnement a pour objectif d'assurer la conservation optimale du produit et de préserver ses caractéristiques organoleptiques.

### III.6 Contrôle du produit fini

Dans cette étape, nous avons réalisé trois types d'analyses sur les deux fromages fondus : l'analyse physicochimique, microbiologique et sensorielle. Ces analyses ont été effectuées conformément aux normes de l'industrie agroalimentaire afin de comparer les résultats obtenus avec ces normes.

#### III.6.1 Analyse physicochimie

On a effectué des analyses physicochimiques (Le protocole détaillé des analyses physicochimies de la poudre de lait est disponible dans l'annexe 02) approfondies sur un produit fini, conformément aux normes de l'industrie agroalimentaire. Chaque paramètre a été mesuré avec rigueur selon les méthodes recommandées par les standards en vigueur.

##### III.6.1.1 La Matière Grasse (MG)

Pour mesurer la teneur en matière grasse du fromage fondu, nous utilisons la méthode de Gerber. Cette méthode repose sur la séparation de la matière grasse du reste du produit grâce à l'action combinée

d'un acide sulfurique concentré et d'une solution alcaline. Ensuite, la matière grasse ainsi isolée est mesurée avec précision à l'aide d'un butyromètre

**Étapes principales :**

1. Préparation de l'échantillon de fromage Edam bloc
2. Acidification de l'échantillon avec de l'acide sulfurique.
3. Placer le butyromètre dans un bain-marie à 70°C
4. Centrifugation pour séparer les matières grasses.
5. Lecture et calcul de la teneur en matières grasses.

### III.6.1.2 Mesure du pH

Pour déterminer l'acidité du fromage fondu, nous utilisons la mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre. Ce dispositif permet de quantifier l'activité des ions hydrogène présents dans la solution du fromage fondu, ce qui nous donne une indication précise de son niveau d'acidité.

• **Étapes principales :**

1. Préparation de la solution du fromage fondu à analyser.
2. Étalonnage du pH-mètre avec des solutions tampons de pH connu.
3. Plongée de l'électrode du pH-mètre dans la solution et lecture du pH.

### III.6.1.3 Détermination de l'Extrait Sec Total (EST)

Pour mesurer la quantité totale de matière sèche dans le fromage fondu, nous utilisons la méthode de détermination de l'Extrait Sec Total (EST). Cette méthode implique de peser le fromage fondu avant et après dessiccation, c'est-à-dire après avoir éliminé toute l'eau contenue dans le fromage.

• **Étapes principales :**

1. Prélever un échantillon de fromage Edam bloc
2. Sécher l'échantillon à une température contrôlée 95°C jusqu'à évaporation complète de l'eau.
3. Lecture de l'extrait sec total.

### III.6.1.4 Calcul du rapport graisse/sec

Pour évaluer la proportion de matière grasse par rapport à la matière sèche dans le fromage fondu, nous calculons le rapport graisse/sec. Ce calcul se fait en divisant la teneur en matière grasse par la teneur en matière sèche, exprimées en pourcentage.

- **Étapes principales :**

1. Utilisation des valeurs obtenues pour la teneur en matière grasse et en matière sèche.
2. Calcul du rapport graisse/sec à l'aide de la formule :

$$\text{Rapport graisse/sec (\%)} = (\text{Teneur en matière grasse} / \text{Teneur en matière sèche}) \times 100.$$

Toutes ces analyses ont été réalisées dans des conditions contrôlées et en respectant les bonnes pratiques de laboratoire. Les normes ont été consignés de manière claire et détaillée dans un tableau 13, offrant une vision globale et précise des caractéristiques physicochimiques du produit fini.

Ces données constituent une base solide pour évaluer la conformité du produit aux normes de qualité requises par l'industrie agroalimentaire, ainsi que pour orienter d'éventuelles optimisations ou ajustements dans le processus de production.

**Tableau 14 : Norme exigé par l'industrie**

Paramètre	Norme
MG (g/l)	20% à 30%. (Commission du Codex Alimentarius, 1978)
PH	5,5 et 6,5. (Fox et McSweeney, 1998)
EST (%)	50% à 65%. (Commission du Codex Alimentarius, 2003)
G/S (%)	40 %

### III.6.2 Analyses microbiologiques

Dans le cadre de notre étude, des analyses microbiologiques ont été réalisées conformément aux normes établies dans le Journal Officiel de la République Algérienne. (2017, 2 juillet). ANNEXE I : Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires. Ces analyses ont visé à détecter la présence de *Staphylococcus aureus*, de *Salmonella* et de coliformes fécaux dans deux produits finis différents. Les

échantillons ont été prélevés et analysés à des intervalles de 1, 7 et 15 jours pour évaluer l'évolution de la contamination microbiologique au fil du temps.

Le mode opératoire suivi pour ces analyses microbiologiques (voire l'annexe 05,06 et 07) a respecté les directives spécifiques du Journal Officiel Algérien (voir l'annexe), garantissant ainsi la fiabilité et la reproductibilité des résultats obtenus.

#### **III.6.2.1 *Staphylococcus aureus* dans le fromage fondu**

Pour détecter la présence et évaluer la quantité de *Staphylococcus aureus*, une bactérie pathogène couramment associée aux produits laitiers, nous utilisons des techniques spécialisées telles que la culture sur milieu sélectif et la confirmation par des tests biochimiques spécifiques à cette espèce

- **Étapes principales du mode opératoire :**

1. Préparation de l'échantillon de fromage fondu pour l'analyse microbiologique.
2. Incubation de l'échantillon sur un milieu sélectif spécifique aux *Staphylococcus aureus*.
3. Identification et comptage des colonies typiques de *Staphylococcus aureus*.

#### **III.6.2.2 Analyse de *Salmonella* dans le fromage fondu**

Pour vérifier la présence de *Salmonella*, une bactérie pathogène fréquemment impliquée dans les contaminations alimentaires, nous utilisons des méthodes d'analyse incluant la culture sur milieux sélectifs et des tests de confirmation spécifiques à cette bactérie.

- **Étapes principales du mode opératoire :**

1. Préparation de l'échantillon de fromage fondu pour l'analyse microbiologique.
2. Incubation de l'échantillon sur un milieu sélectif favorable à la croissance de *Salmonella*.
3. Observation et identification des colonies caractéristiques de *Salmonella*.

#### **III.6.2.3 Analyse des coliformes fécaux dans le fromage fondu**

Pour évaluer la présence de coliformes fécaux, des indicateurs potentiels de contamination fécale et de qualité sanitaire, nous utilisons des techniques d'analyse incluant la culture sur milieux spécifiques et des tests de détection des enzymes caractéristiques de ces bactéries.

- **Étapes principales du mode opératoire :**

1. Préparation de l'échantillon de fromage fondu pour l'analyse microbiologique.
2. Incubation de l'échantillon sur un milieu sélectif pour les coliformes fécaux.
3. Détection et comptage des colonies de coliformes fécaux.

### III.6.3 Analyse sensorielle

Nous avons organisé une journée de dégustation au sein de notre département, une démarche essentielle pour évaluer la qualité sensorielle de nos produits. En utilisant la plateforme Google Forms (voire l'annexe 08), nous avons mené une enquête approfondie basée sur une évaluation rigoureuse des paramètres de goût, couleur, texture, odeur et préférence.

Cette méthodologie nous a permis d'obtenir des données précises et fiables sur les réactions des dégustateurs vis-à-vis des produits évalués. Les résultats ont été présentés sous forme d'histogrammes, offrant ainsi un aperçu complet de leur perception sensorielle.

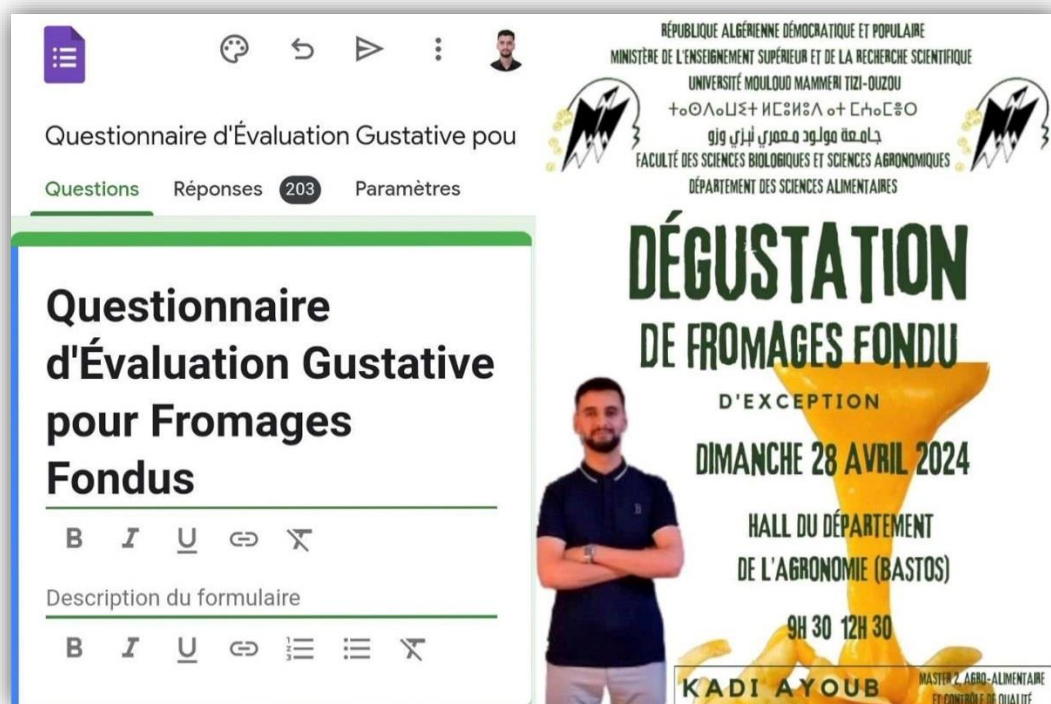


Figure 7 : Annonce du questionnaire

### III.7 Amortissement

Le pourcentage d'amortissement d'une recette de fromage fondu avec lactosérum par rapport à la recette standard se calcule en comparant les coûts de production de chaque recette.

Cette mesure est essentielle pour évaluer l'efficacité économique de l'utilisation du lactosérum dans la fabrication du fromage fondu. La formule utilisée pour calculer ce pourcentage est la suivante :

Pourcentage d'amortissement=

$$\left( \frac{\text{Cout de la recette standard} - \text{Cout de la recette avec lactosérum}}{\text{Cout de la recette standard}} \right) \times 100$$

# **CAPITRE IV**

# **RESULTAS**

## Chapitre IV. Résultats

### IV.1 Résultats de contrôle de la matière première

Les résultats des analyses physicochimiques des matières premières, notamment la teneur en matières grasses (MG), l'extrait sec total (EST) et le pH, sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 15 : Résultats de des analyses physicochimies des matières premières**

Echantillon	Matière grasse (g/l)	Extrait sec total (%)	Potentiel hydrogène (pH)
<b>Bloc</b>	30	61.25	5.60
<b>Lactosérum</b>	4	6.63	6.4
<b>Poudre de lait</b>	33	97.37	-

### IV.2 Résultats de contrôle du produit finie

Dans notre étude, nous avons fabriqué deux types de fromage fondu en utilisant les mêmes conditions de production. Le premier est le fromage fondu standard, simplement appelé "fromage fondu standard " dans notre contexte. Le deuxième est le fromage fondu avec lactosérum, que nous nommons le "fromage fondu avec lactosérum" pour le différencier du premier.

#### IV.2.1 Résultats des analyse physicochimie

Les résultats obtenus ont été consignés de manière claire et détaillée dans un tableau 16 offrant une vision globale et précise des caractéristiques physicochimiques du produit fini.

**Tableau 16 : Résultats des analyses physicochimie du produit finie**

Paramètres	Standard	Lactosérum
<b>EST (%)</b>	48	50
<b>MG(%)</b>	19.5	20
<b>pH</b>	5.75	5.70
<b>G/S(%)</b>	40	40

### IV.2.2 Résultat des analyses microbiologique

Les résultats des analyses microbiologiques ont été consignés de manière claire et détaillée dans le tableau 17, offrant une vision globale et précise des caractéristiques microbiologiques du produit.

**Tableau 17 : Résulta des analyses physicochimie du produit finie**

Jour	Standard			Lactosérum		
	<i>staphylococcus aureus</i>	<i>salmonelle</i>	<i>coliformes fécaux</i>	<i>staphylococcus aureus</i>	<i>salmonelle</i>	<i>coliformes fécaux</i>
1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0

### IV.2.3 Résultat d'analyse sensorielles

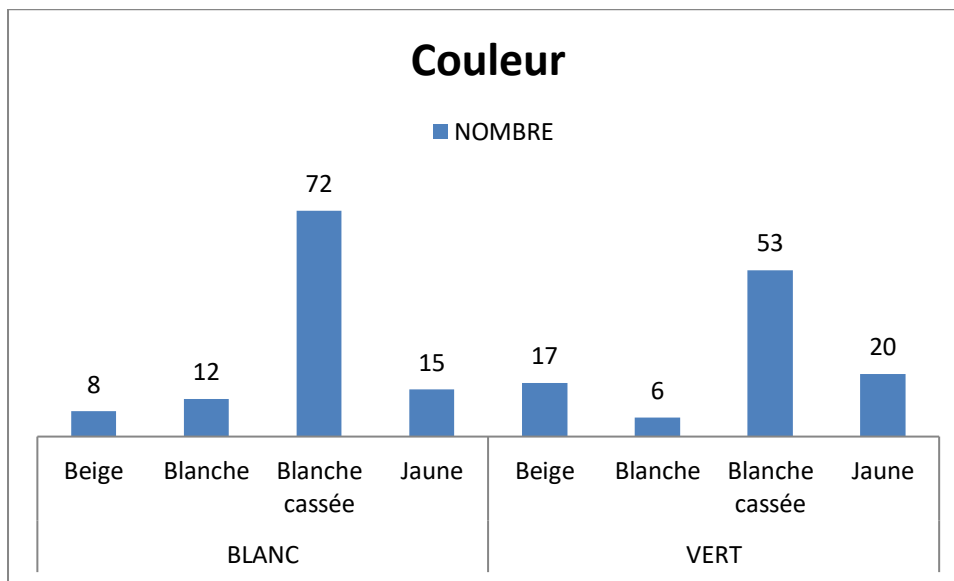
Lors d'une journée de dégustation organisée au sein de notre département, nous avons les évaluations de 102 dégustateurs. Les résultats ont été présentés sous forme d'histogrammes, offrant une analyse claire et visuelle des préférences. L'histogramme intitulé « échantillon blanc » représente le fromage fondu avec lactosérum, tandis que l'histogramme intitulé « échantillon vert » correspond au fromage fondu standard.



**Figure 8 : Journée de dégustation**

### IV.2.3.1 Couleur

Les résultats relatifs au paramètre couleur sont présentés dans la figure 5 suivante

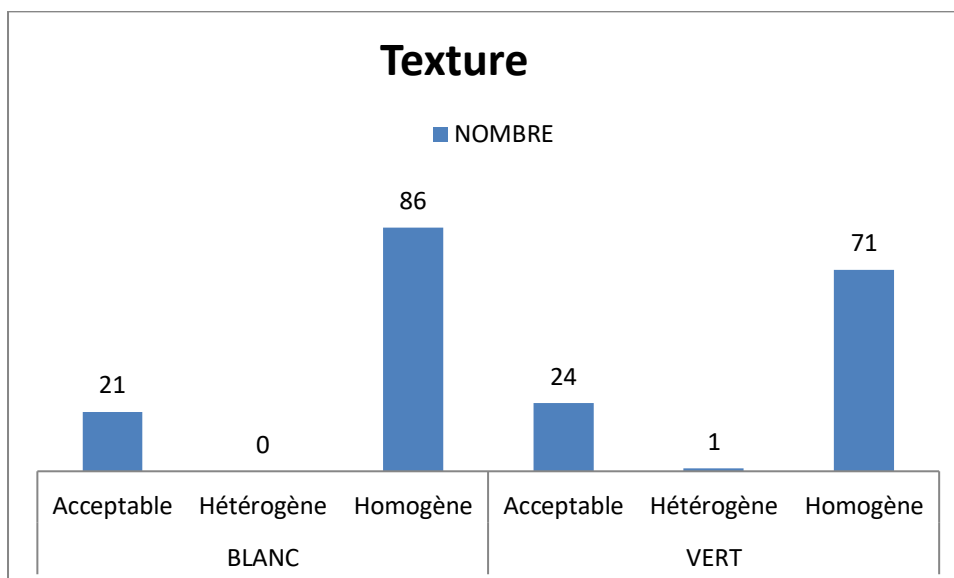


**Figure 9 : Histogramme relatifs au paramètre couleur**

Pour l'échantillon Blanc, 72 personnes ont caractérisé la couleur comme blanc cassée. Pour l'échantillon Vert, 53 personnes ont également caractérisé la couleur comme blanc cassée.

### IV.2.3.2 Texture

Les résultats relatifs au paramètre texture sont présentés dans la figure 6 suivante

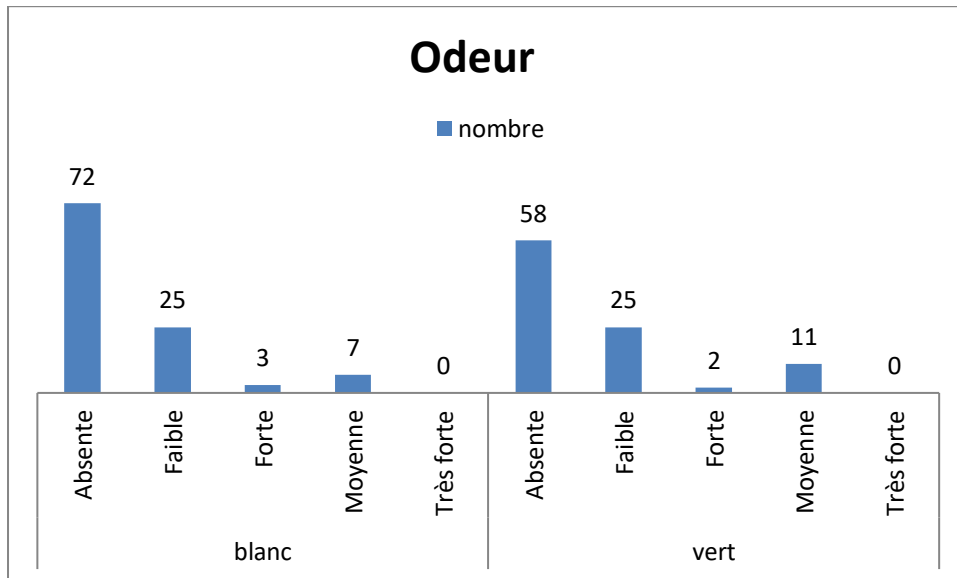


**Figure 10 : Histogramme relatifs au paramètre texture.**

Pour l'échantillon blanc, la caractérisation la plus fréquente est "homogène", avec un total de 86 personnes l'ayant choisi. En ce qui concerne l'échantillon vert, la caractérisation prédominante est également "homogène", avec 71 personnes ayant fait ce choix.

**IV.2.3.3 Odeur**

Les résultats relatifs au paramètre odeur sont présentés dans la figure 7 suivante.

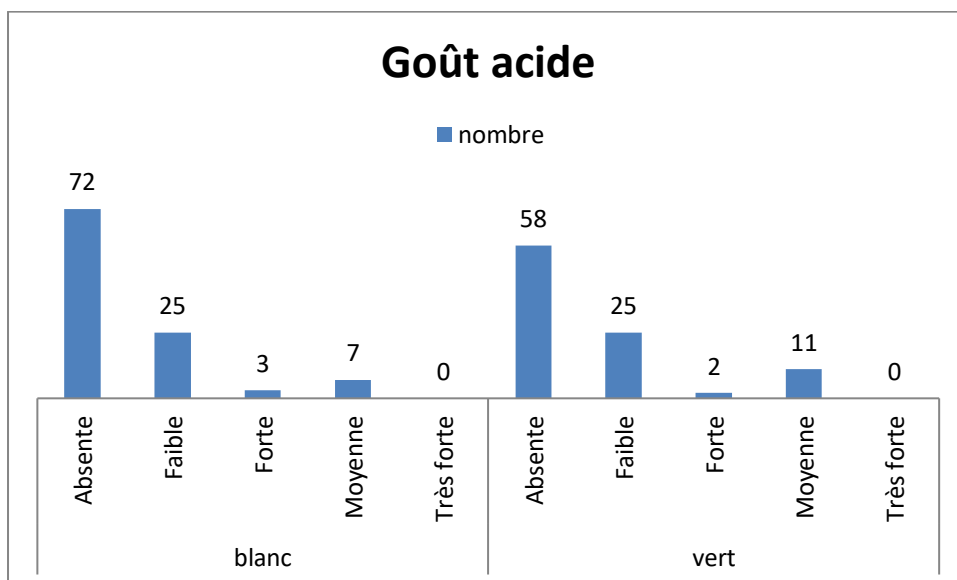


**Figure 11 : Histogramme relatif au paramètre odeur.**

Pour l'échantillon Blanc, 61 personnes ont constaté une absence d'odeur étrange. Pour l'échantillon Vert, 56 personnes ont également déclaré qu'il n'y a pas d'odeur étrange.

**IV.2.3.4 Goût acide**

Les résultats relatifs au paramètre Goût acide sont présentés dans la figure 8 suivante.

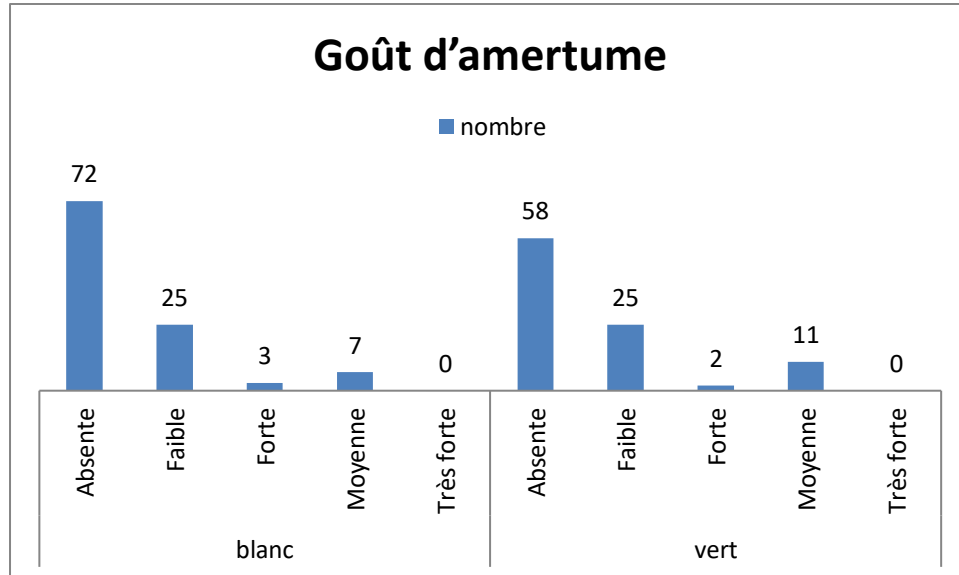


**Figure 12 : Histogramme relatifs au paramètre gout acide.**

Pour l'échantillon blanc, 56 personnes ont trouvé le goût absent, tandis que pour l'échantillon vert, 47 personnes ont déclaré que le goût était absent.

#### IV.2.3.5 Goût d'amertume

Les résultats relatifs au paramètre Goût d'amertume sont présentés dans la figure 9 suivante.

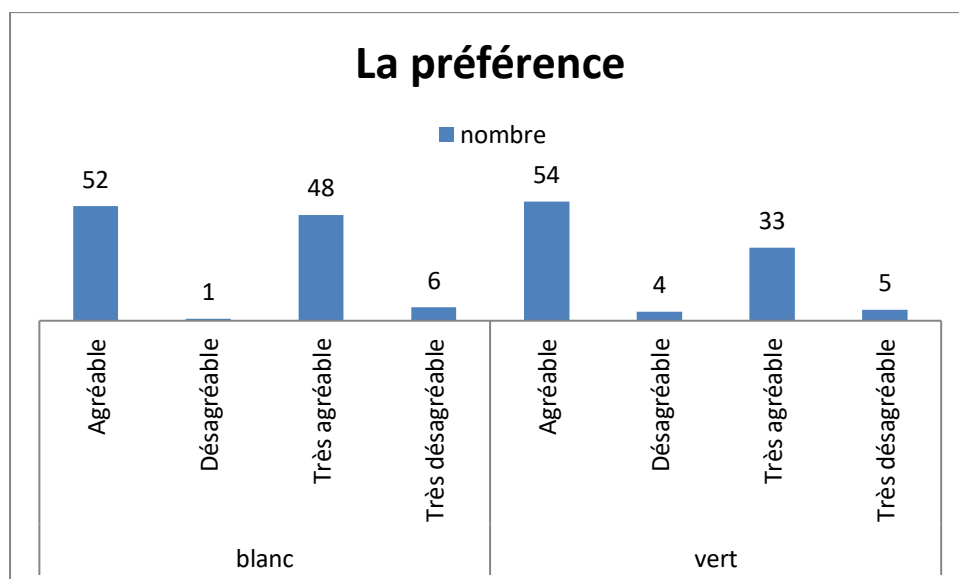


**Figure 13 : Histogramme relatifs au paramètre goût d'amertume.**

Pour l'échantillon blanc, 72 personnes ont noté l'absence de goût amer, tandis que pour l'échantillon vert, 58 personnes ont également observé une absence de goût amer.

#### IV.2.3.6 Préférence

Les résultats relatifs au paramètre préférence sont présentés dans la figure 10 suivante.



**Figure 14 : Histogramme relatifs au paramètre préférence.**

Pour l'échantillon blanc, 52 personnes ont trouvé le produit agréable, tandis que pour l'échantillon vert, 54 personnes ont également jugé le produit agréable.

### **IV.3 Résulta d'Amortissement**

Lors de l'analyse économique des différentes recettes de fromage fondu, nous avons comparé la recette standard avec celle utilisant du lactosérum. Le calcul de l'amortissement des coûts a montré que la recette avec lactosérum permettait de réaliser une économie de 4,5 % par rapport à la recette standard.

**CHAPITRE V**  
**DISCUSSION DES RESULTATS**

## Chapitre V. Discussion des résultats

### V.1 Résultat de contrôle de la matière premier

#### V.1.1 Lactosérum

Les résultats des analyses physicochimiques du lactosérum doux indiquent que la teneur en matière grasse est de 4 g/L, ce qui est conforme aux normes du codex alimentarius qu'elle ne doit pas dépasser 6 g/L. L'extrait sec total (EST), mesuré à 6,63 %, respecte également la norme du codex alimentarius, qui se situe entre 5 % et 6,6 %. De même, le pH mesuré à 6,4 est conforme aux normes du codex alimentarius, comprises entre 5,7 et 6,5. En conclusion, nous pouvons affirmer que la fabrication du bloc a été bien maîtrisée, sans perte, résultant un lactosérum conforme aux normes du codex alimentarius.

#### V.1.2 Poudre de lait

Les résultats des analyses physicochimiques de la poudre de lait révèlent une teneur en matière grasse de 33 g/L, non-conforme aux normes du codex alimentarius mais conforme aux exigences spécifiques de l'industrielles qui exigent l'utilisation d'une poudre de lait riche en matière grasse, supérieure à 24 g/L. De plus, l'extrait sec total (EST) mesuré à 97,37 % respecte également les normes du codex alimentarius.

En conclusion, la qualité physicochimique de la poudre de lait est conforme aux exigences, ce qui nous permet d'atteindre l'objectif de son ajout.

#### V.1.3 Bloc

Les résultats des analyses physicochimiques du bloc de fromage révèlent que la teneur en matière grasse est de 30 g/L, ce qui n'est pas conforme à la norme du codex alimentarius, mais conforme aux normes spécifiques de l'industrie qui est entre 29 g/L et 32 g/L. De plus, l'extrait sec total (EST) mesuré à 61,25 % qui se situe entre 60 % et 65 %. Enfin, le pH observé de 5,20 ce qui n'est pas conforme à la norme du codex alimentarius, mais conforme aux normes spécifiques de l'industrie est également conforme aux normes de l'industrie.

En conclusion, notre bloc de fromage présente des caractéristiques physicochimiques et sensorielles de bonne qualité.

### V.2 Résultat du produit fini

#### V.2.1 Analyse physicochimique

Dans notre étude, le processus de fabrication du fromage fondu diffère de celui de l'industrie, car nous avons utilisé un matériel et une méthode différents. Pour cette raison, nous comparerons les résultats du

produit auquel nous avons ajouté du lactosérum avec ceux du produit préparé selon la recette standard dans les mêmes conditions.

Les résultats des analyses de l'extrait sec total (EST) du fromage avec lactosérum sont de 50 %, ce qui est proche de la valeur standard de 48 %. La teneur en matière grasse (MG) du fromage avec lactosérum est de 20 g/L, comparée à 19,5 g/L pour le fromage standard. Le pH du fromage avec lactosérum est de 5,70, tandis que celui du fromage standard est de 5,75. De plus, les deux fromages présentent un rapport G/S de 40 %.

En conclusion, les valeurs obtenues sont proches et conformes aux normes du codex alimentarius, ce qui confirme que nos résultats sont conformes aux caractéristiques du fromage fondu en barre, qui doit être tranchable, non-collant, avec un rapport G/S de 40 %, conformément aux paramètres analysés.

### V.2.2 Analyses microbiologiques des produits finis

*Staphylococcus aureus* est une bactérie à Gram positif que l'on trouve couramment sur la peau, dans le nez et dans d'autres muqueuses des humains et des animaux (**Centers for Disease Control and Prevention, 2020**). Bien que présente de manière naturelle, cette bactérie peut devenir problématique lorsqu'elle se retrouve dans des aliments, car certaines souches de *Staphylococcus aureus* sont capables de produire des toxines, notamment la *toxine staphylococcique*, qui peut provoquer des intoxications alimentaires (**Food and Drug Administration, 2012**).

Dans le contexte des produits laitiers comme le fromage fondu, la présence de *Staphylococcus aureus* peut résulter d'une contamination lors de la manipulation des ingrédients, de l'environnement de production ou même des équipements utilisés (**Salyers & Whitt, 2002**).

Cependant, grâce à des pratiques de fabrication rigoureuses et à des mesures de contrôle de qualité strictes, il est possible de garantir la sécurité hygiénique des produits alimentaires.

En analysant les résultats du tableau pour les deux types de fromage fondu, nous constatons qu'aucune colonie de *Staphylococcus aureus* n'a pas été détectée aux jours 1, 7 et 15. De même, aucune présence de *Salmonella* ou de coliformes fécaux n'a été trouvée. Ces résultats sont en parfait accord avec les normes établies par le Journal Officiel Algérien, qui fixent des critères stricts en matière de sécurité alimentaire.

En conclusion, la non-détection de *Staphylococcus aureus*, de *Salmonella* et de coliformes fécaux dans les échantillons de fromage fondu témoigne de l'efficacité des mesures de contrôle de qualité mises en place. Cela confirme que les produits répondent aux exigences sanitaires requises, assurant ainsi la sécurité hygiénique et la santé des consommateurs.

### V.2.3 Analyse sensorielle

Les résultats concernant le paramètre de couleur révèlent que la grande majorité des dégustateurs ont attribué la teinte blanc cassé pour les deux types de fromage fondu. Cette couleur correspond à la teinte naturelle du bloc de base, ce qui est conforme aux attentes pour les fromages fondus à base de fromage de type Edam. Cette observation souligne la pertinence de la couleur recherchée dans ce type de produit, ce qui contribue à renforcer l'acceptabilité visuelle auprès des consommateurs.

En ce qui concerne le paramètre de texture, la réponse la plus fréquente des dégustateurs pour les deux fromages fondus était "homogène", ce qui confirme un bon mélange des ingrédients. Quant au paramètre d'odeur, les dégustateurs ont majoritairement choisi la réponse "absent" pour les deux fromages, ce qui indique l'absence d'odeur étrange ou désagréable. Ces observations témoignent de la qualité de la préparation des fromages fondus, tant au niveau de leur texture que de leur odeur, contribuant ainsi à une expérience sensorielle positive pour les consommateurs.

Quant aux paramètres de goût acide et d'amertume, les dégustateurs ont évalué les deux fromages comme étant "absents" en termes de goût acide et d'amertume. Enfin, en ce qui concerne le paramètre de préférence, les deux fromages ont reçu des réponses agréables, mais on observe une préférence plus marquée pour le fromage avec lactosérum, attribuable à l'ajout de lactosérum.

En conclusion, les deux fromages fondus ont satisfait la majorité des dégustateurs, mais le fromage avec lactosérum a été préféré selon les réponses des dégustateurs.

### V.2.4 Résultat d'amortissement

En mettant en évidence les avantages du lactosérum et en l'incorporant dans notre recette, nous constatons qu'en valorisant le lactosérum, nous obtenons un gain de 4,4 % pour chaque 500 grammes par rapport à la recette standard. Cette valorisation du lactosérum représente un avantage significatif en termes de rentabilité et d'utilisation efficace des ressources.

**CONCLUSION**

## Conclusion

Notre étude a démontré que la substitution intégrale de l'eau par le lactosérum dans la fabrication du fromage fondu est non seulement faisable, mais également bénéfique sur plusieurs plans.

En maintenant les caractéristiques physico-chimiques essentielles telles que la teneur en matières grasses (MG), l'extrait sec total (EST), le pH et le rapport graisse/protéine (G/S), nous avons réussi à produire un fromage fondu de haute qualité.

Les analyses physico-chimiques et microbiologiques ont confirmé la conformité du produit aux normes de l'industrie, tandis que les évaluations organoleptiques ont montré une acceptation positive des consommateurs.

Cette approche présente plusieurs avantages notables. Elle permet de préserver les ressources hydriques en substituant intégralement l'eau par du lactosérum brut dans la formulation du fromage fondu, tout en incorporant une matière première souvent sous-utilisée. De plus, cette substitution contribue à réduire la dépendance à l'importation de poudre de lactosérum et à limiter la pollution due au lactosérum liquide.

En outre, cette méthode génère des économies substantielles sur les coûts de production, ce qui est particulièrement bénéfique pour les industriels algériens. Ces économies témoignent de l'efficacité de notre approche artisanale dans la fabrication du fromage fondu. De manière significative, lors des dégustations, le fromage fondu avec lactosérum a été préféré par les dégustateurs, ce qui est reflété par un taux d'amortissement de 4,4 % pour chaque 500 g de fromage.

En conclusion, la valorisation du lactosérum dans la fabrication du fromage fondu présente des avantages économiques, environnementaux et qualitatifs, faisant de cette méthode une alternative viable et bénéfique pour l'industrie agroalimentaire.

## **Perspectives Futures :**

**Utilisation d'un cuiseur :** L'intégration d'un cuiseur dans le processus de production pourrait améliorer l'efficacité thermique et homogénéiser le produit fini. Cela permettrait également de mieux contrôler les paramètres de cuisson, influençant ainsi positivement la qualité et la sécurité du fromage fondu.

**Utilisation du lactosérum acide :** L'exploitation du lactosérum acide, souvent considéré comme un sous-produit de faible valeur, peut ouvrir de nouvelles opportunités pour l'industrie fromagère. En intégrant ce type de lactosérum dans la production de fromage fondu, on peut potentiellement améliorer les caractéristiques nutritionnelles et fonctionnelles du produit tout en réduisant les déchets.

**Valorisation du lactosérum dans les boissons :** Le lactosérum peut être utilisé comme ingrédient clé dans la formulation de boissons nutritives. En valorisant ce sous-produit, non seulement, on crée de nouvelles gammes de produits, mais on contribue également à la diversification de l'offre de l'industrie agroalimentaire, répondant ainsi à la demande croissante pour des boissons fonctionnelles et saines.

**Valorisation du lactosérum en poudre :** La transformation du lactosérum en poudre offre de nombreux avantages, notamment une meilleure conservation, une facilité de transport et une utilisation flexible dans diverses applications alimentaires. En développant des techniques de séchage efficaces, il est possible de produire du lactosérum en poudre de haute qualité, utilisable comme ingrédient dans une multitude de produits alimentaires, allant des produits laitiers aux produits de boulangerie.

# **REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE**

## Référence bibliographique

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

**ADRIAN J., LEGRAND G. et FRANGNE R. (1991).** Dictionnaire de biochimie alimentaire et de nutrition. tec et doc. lavoisier. 3ème édition : 116.

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

**AHN, W. S., PARK, S. J., & LEE, S. Y. (2001).** Production of poly (3-hydroxybutyrate) from whey by cell recycle fed-batch culture of recombinant Escherichia coli. *Biotechnology letters*, **23(3)**, 235-240.

**APRI A. (1980).** Utilisation de lactosérum en alimentation humaine et animal.

**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., KLOSTERMEYER H., MERKENICH K et UHLMANN G. (1989).** La fabrication du fromage fondu. Ed. BK Ladenburg, 233.

**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.

**BOULKOUNE A. et DEBBAH ABDELKADER (2018).** Valorisation du lactosérum pour la production d'une enzyme coagulante du lait (Mémoire). Université Frère Mentouri Constantine 1.

**BOURGOGNE (2001).** Technologie propre appliquée aux industries agroalimentaires ; Dijon France 26.

**BOUTONNIER J.L. (2000).** Fabrication de fromage fondu, éd. Des Technique de l'ingénieur,

**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.

**CANNU G., JOAO. D. N. et CHANIER.A. (2000).** Levure industrie alimentaire. Club informatique. Lycée Jaufré Rudel P. : 1-3. In site : [www.perso.wanadoo.fr](http://www.perso.wanadoo.fr).

**CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. (2020).** *Staphylococcus aureus* in Healthcare Settings. Retrieved from <https://www.cdc.gov/hai/organisms/staph.html>.

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

**CHAMBRE M. et DAURELLES J. (2006)** Le fromage fondu. In « Le fromage : de la science à l'assurance qualité » ed. ECK A. et GILLIS J.C. Technique et Documentation. 3ème Ed. Lavoisier, Paris. P691-707.

**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.

**CODEX ALIMENTARIUS, STANDARD FOR EDAM (CODEX STAN 269-1967, REV. 1-2006).**

**CODEX ALIMENTARIUS, STANDARD FOR MILK POWDERS AND CREAM POWDER (CODEX STAN 207-1999).**

**COMMISSION DU CODEX ALIMENTARIUS. (1978).** Norme Codex pour le fromage (CODEX STAN 283-1978).

**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, 112120.

**DE WIT J. N. (1981).** Structure and functional behavior of whey proteins Netherland milk and Dairy journal, 35-47.

**DOLEXRES. Y, 2003.** Production en continu de ferments lactiques probiotiques par la technologie des cellules immobilisées. Thèse de grade de philosophie. Université LAVAL, Québec : p :175.

**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.

**ESSADAoui, M. (2013).** Institut Marocain de l'Information Scientifique et Technique (IMIST). Hegel, (2), 151-154.

- 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.
- FA ET COMMISSION DU CODEX ALIMENTARIUS. (2003).** Norme Codex pour les laits fermentés (CODEX STAN 243-2003) . FAO Edition Techniques et Documentation Lavoisier, Paris, 632.
- FAO-ONU. (2017).** Production alimentaire : fromage en Algérie.
- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. (2012).** Bad Bug Book: Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook (2nd ed.). Retrieved from <https://www.fda.gov/food/foodborne-pathogens/bad-bug-book-second-edition>
- FOX P. F. et MCSWEENEY P. L. H. (1998).** Dairy chemistry and biochemistry. Springer.
- GAUCHERON F. (2004).** minéraux et produits laitiers, Technique et Documentation Lavoisier ; Paris, 206, 295p.
- 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.
- 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.
- GUIMARÃES, P. M., TEIXEIRA, J. A., & DOMINGUES, L. (2010).** Fermentation of lactose to bioethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. Biotechnology advances, 28(3), 375-384.
- GUIRAUD J.P. (1998) :** Microbiologie Alimentaire. Tome 2. Edition Dunod. Paris. P343
- HACHICH A. (2012).** Etude comparative de l'incorporation de deux type de lactosérum (Acide , Doux) dans un fromage fondu.
- 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.

- JELIČIĆ, I., BOŽANIĆ, R., & TRATNIK, L. (2008).** Whey-based beverages-a new generation of dairy products. *Mljekarstvo*, 58(3), 257-274.
- JOUAN P., (2002).** Lactoprotéines et lactipeptides: propriétés biologiques. Ed. INRA. pp.128.
- KATZ H et WEAVER W. (2003).** Encyclopedia of food and culture. New York : Charles Scribner's Sons. Acceptance to foodpolitics, Vol. 1, 718.
- LAPLANCHE J. (2004).** Système d'épuration du lactosérum d'alpage par culture fixée sur lit de compost. *Revue suisse Agric*, 36(5), 220-224.
- LEGLIMI H. (2004).** Optimisation de la production de la cellulase d'*Aspergillus niger* ATCC 16 404 cultivé sur un milieu à base de lactosérum : étude comparative entre *Aspergillus niger* ATCC 16 404 et *Aspergillus niger* O.Z isolée localement. Thèse de Magistère. Université Mentouri. Constantine.
- LINDEN G. et LORIENT (1994).** Biochimie agro-industrielle, d. valorisation alimentaire de la production agricole, masson paris milan barcelon.
- LINDEN G. ET LORIENT D. (1994).** Valorisation des coproduits.la biochimie agroalimentaire ; (valorisation alimentaire de la production agricole). Masson Paris Milan Bar, Noelone. p :183-194.
- 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.
- LUQUET F.M. (1990).** Lait et produits laitiers, vache brebis, chèvre : Transformation et technologie, Ed Tec et Doc. Lavoisier, Paris, Tome 1, 637.
- LUQUET F.M. et BOUDIER J.F. (1984).** Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale. *Apria.*, 21, p : 1-7, 66, 83-90.
- MAHAUT M., JEANTET R. et BRULE G., (2000) :** Initiation à la technologie fromagère. Ed. Technique et Documentation, Lavoisier, paris
- MEYER A. (1973).** Processed Cheese Manufacture, Food Trade Press Ltd., London, 201-329.
- MOLETTA R. (2002).** Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA. Paris : Tech et Doc; pp. 600.
- MORR C. V. (1989).** Whey proteins: manufacture. *Developments in dairy chemistry*, 4(6).245284.

**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.

**NORME INTERNE DES PRODUCTEURS DE FROMAGE ET PUBLICATIONS TECHNIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES DES FROMAGES A PATE PRESSEE.**

**PAPADEMAS, P., & KOTSAKI, P.** (2019). Technological utilization of whey towards sustainable exploitation. J Adv Dairy Res, 7(4), 231.

**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.

**ROUFIK S., SYLVIE F., GAUTHIER SYLVIEL., TURGEON .** (2007). Physico chemical characterization and in vitro digestibility of  $\beta$ -lg f142-148 complexes. Inter Dairy Journal 17,471- 480.

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

**RYAN M. et WALSH G.** (2016). The biotechnological potential of whey. Rev Environ Sci Biotechnol.;15(3):479-98.

**SALYERS A. et WHITT D.** (2002). Microbiologie Médicale de Jawetz, Melnick & Adelberg (22ème éd.). Paris: De Boeck Supérieur.

**SCOTT R., RICHARD K.R. et WILBEY A.** (1998). Cheese making practice. 3 ed edition, Springer Ed, 449.

**SOTTIEZ P.** (1985). Produits dérivés des fabrications fromagères. Lait et produits laitiers: vache, brebis, chèvre/Société scientifique d'hygiène alimentaire.

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

**ST-GELAIS D. et TIRARD-COLLET P.,** (2002) : Le fromage ; in « sciences et technologie du lait : transformation du lait » ed. Carole L ; Vignola, presses internationales polytechnique, Montréal. 349-412.

**TAMIME A. Y.** (2009). Dairy Powders and Concentrated Products. Wiley-Blackwell

---

**VRIGNAUD, Y.** (1983). Valorisation du lactosérum, une longue histoire. *Revue laitière Française*, (422), 41-46.

**WALSTRA, P., WOUTERS, J.T.M. et GEURTS, T.J.** (2006). *Dairy Science and Technology*. CRC Press  
**Tamime, A.Y.** (2009). *Dairy Powders and Concentrated Products*. Wiley-Blackwell.

**WALTHER B., SCHIMID A .SIEBER, R.et WEHERMULLER, K.** (2008). Cheese in nutrition and health. *A review diarySci.Thechnol Ed*, p.88-389-405.

# ANNEXES

## Annexes

- Annexe 01 : **Protocol des analyses physicochimiques du lactosérum doux**

### 1. Analyse de la Matière Grasse (MG)

#### **Méthode de référence : Méthode de Gerber**

##### Matériel et réactifs

- Butyromètre pour lactosérum
- Pipettes
- Centrifugeuse
- Acide sulfurique concentré
- Alcool amylique
- Eau distillée
- Bain-marie

##### Procédure

- Prélever 10 ml d'acide sulfurique concentré avec précaution et le transférer dans un butyromètre adapté.
- Ajouter 10 ml de lactosérum.
- Ajouter 1 ml d'alcool amylique dans le butyromètre.
- Boucher le butyromètre et agiter vigoureusement pour bien mélanger les réactifs avec l'échantillon.
- Centrifuger le butyromètre à 1100-1200 tr/min pendant 5 minutes.
- Lire la teneur en matière grasse directement sur l'échelle graduée du butyromètre.

### 2. Mesure du pH

#### **Méthode de référence : Utilisation d'un pH-mètre étalonné**

##### Matériel et réactifs

- pH-mètre calibré
- Tampons de calibration (pH 4.0, pH 7.0)
- Bécher
- Eau distillée

## Procédure

- Calibrer le pH-mètre avec des tampons de calibration à pH 4.0 et pH 7.0.
- Prélever 10 ml de lactosérum et le placer dans un bécher propre.
- Immerger l'électrode du pH-mètre dans l'échantillon.
- Attendre que la lecture se stabilise et enregistrer la valeur du pH.

### 3. Détermination de l'Extrait Sec Total (EST)

#### **Méthode de référence : Dessiccation**

##### Matériel et réactifs

- Dessiccateur
- Capsules de pesée

##### Procédure

Peser une capsule vide et propre.

- Ajouter environ 1.2 ml à 1.5ml de lactosérum dans la capsule et peser de nouveau.
- Fermer le couvercle du dessiccateur à convection réglé à 95°C.
- Lire le résultat affiché dans l'écran du dessiccateur.

#### **Annexe 02 : Protocol des analyses physicochimiques de la poudre de lait**

##### Analyse de la Matière Grasse (MG)

#### **Méthode de référence : Méthode de Gerber**

##### Matériel et réactifs

- Butyromètre pour lait
- Pipettes
- Centrifugeuse
- Acide sulfurique concentré (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Alcool amylique
- Eau distillée
- Bain-marie

- Bécher
- Échantillon de poudre de lait

Préparation de l'échantillon

### **Reconstitution de la poudre de lait :**

- Dissoudre 10 g de poudre de lait dans 90 ml d'eau distillée pour obtenir une solution à 10% (m/v).
- Agiter vigoureusement jusqu'à dissolution complète de la poudre.

Procédure

- Prélever 10 ml d'acide sulfurique concentré avec précaution et le transférer dans un butyromètre adapté.
- Ajouter 10 ml du lait recombinaé
- Ajouter 1 ml d'alcool amylique dans le butyromètre.
- Boucher le butyromètre et agiter vigoureusement pour bien mélanger les réactifs avec l'échantillon.
- Centrifuger le butyromètre à 1100-1200 tr/min pendant 5 minutes.
- Lire la teneur en matière grasse directement sur l'échelle graduée du butyromètre.

### **Méthode de référence : Dessiccation**

Matériel et réactifs

- Dessiccateur
- Capsules de pesée

Procédure

Peser une capsule vide et propre.

- Ajouter environ 1.2 g à 1.5g de poudre de lait dans la capsule et peser de nouveau.
- Fermer le couvercle du dessiccateur à convection réglé à 95°C.
- Lire le résultat affiché dans l'écran du dessiccateur.

### **Annexe 03 : Protocol des analyses physicochimiques du bloc**

Analyse de la Matière Grasse (MG)

### **Méthode de référence : Méthode de Gerber**

## Matériel et réactifs

- Butyromètre pour fromage
- Pipettes
- Centrifugeuse
- Acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ )
- Alcool amylique
- Eau distillée
- Bain-marie

## Préparation de l'échantillon

### **Préparation de l'échantillon :**

- Râper finement 3 g de fromage Edam et le transférer dans un butyromètre.
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique concentré dans le butyromètre avec précaution. L'acide doit être ajouté lentement pour éviter une réaction violente.
- Boucher le butyromètre et agiter vigoureusement pour bien mélanger les réactifs avec l'échantillon de fromage.
- Placer le butyromètre dans un bain-marie à  $70^\circ C$  pendant 2 heures afin de permettre une dissolution complète du fromage.
- Ajouter ensuite 1 ml d'alcool amylique dans le butyromètre et compléter avec l'acide sulfurique concentré.
- Centrifuger le butyromètre à 1100-1200 tr/min pendant 5 minutes.
- Lire la teneur en matière grasse directement sur l'échelle graduée du butyromètre.

## 2. Mesure du pH

### **Méthode de référence : Utilisation d'un pH-mètre étalonné**

## Matériel et réactifs

- pH-mètre calibré
- Tampons de calibration (pH 4.0, pH 7.0)
- Bécher
- Eau distillée

## Procédure

### **Préparation de l'échantillon :**

- Prélever environ 100 g de fromage Edam.
- Calibrer le pH-mètre avec des tampons de calibration à pH 4.0 et pH 7.0.
- Immerger l'électrode du pH-mètre dans le fromage.
- Attendre que la lecture se stabilise et enregistrer la valeur du pH.

### 3. Détermination de l'Extrait Sec Total (EST)

### **Méthode de référence : Dessiccation**

#### Matériel et réactifs

- Dessiccateur
- Capsules de pesée

#### Procédure

- Peser une capsule vide et propre.
- Ajouter environ 1,2 g à 1,5 g d'Edam coupé en petits morceaux dans la capsule, puis peser de nouveau.
- Fermer le couvercle du dessiccateur à convection réglé à 95°C.
- Lire le résultat affiché dans l'écran du dessiccateur.

## Annexe 04 : Protocole **des analyses physicochimiques du fromage fondu**

### 1. Analyse de la Matière Grasse (MG)

#### Matériel et réactifs

- Butyromètre pour fromage
- Pipettes
- Centrifugeuse
- Acide sulfurique concentré (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Alcool amylique
- Eau distillée
- Bain-marie

## Préparation de l'échantillon

### **Préparation de l'échantillon :**

- Prendre 3 g de fromage fondu et le transférer dans un butyromètre.
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique concentré dans le butyromètre avec précaution. L'acide doit être ajouté lentement pour éviter une réaction violente.
- Boucher le butyromètre et agiter vigoureusement pour bien mélanger les réactifs avec l'échantillon de fromage.
- Placer le butyromètre dans un bain-marie à 70°C pendant 2 heures afin de permettre une dissolution complète du fromage.
- Ajouter ensuite 1 ml d'alcool amylique dans le butyromètre et compléter avec l'acide sulfurique concentré.
- Centrifuger le butyromètre à 1100-1200 tr/min pendant 5 minutes.
- Lire la teneur en matière grasse directement sur l'échelle graduée du butyromètre.

## 2. Mesure du pH

### **Méthode de référence : Utilisation d'un pH-mètre étalonné**

#### Matériel et réactifs

- pH-mètre calibré
- Tampons de calibration (pH 4.0, pH 7.0)
- Bécher
- Eau distillée

#### Procédure

- Prélever environ 100 g de fromage Edam.
- Calibrer le pH-mètre avec des tampons de calibration à pH 4.0 et pH 7.0.
- Immerger l'électrode du pH-mètre dans le fromage.
- Attendre que la lecture se stabilise et enregistrer la valeur du pH.

## 3. Détermination de l'Extrait Sec Total (EST)

### **Méthode de référence : Dessiccation**

## Matériel et réactifs

- Dessiccateur
- Capsules de pesée

## Procédure

- Peser une capsule vide et propre.
- Ajouter environ 1.2 g à 1.5g de fromage fondu dans la capsule et peser de nouveau.
- Fermer le couvercle du dessiccateur à convection réglé à 95°C.
- Lire le résultat affiché dans l'écran du dessiccateur.
- 

## Analyse microbiologique du fromage fondu

### Annexe 05 : Protocole d'Analyse des *Salmonella* pour le Fromage Fondu

#### Matériel requis :

- Milieu de pré-enrichissement non sélectif eau peptone
- Milieu d'enrichissement sélectif SFB
- Milieu de culture sélectif pour *Salmonella* milieu
- Milieu de culture Hektoen Enteric
- Incubateur à température contrôlée (35-37°C).
- Boucles d'inoculation stériles.
- Pipettes stériles.
- Étuve pour la désinfection des instruments.

#### Procédure :

- **Pré-enrichissement :**
  - Prélever 25 g de fromage fondu à l'aide de techniques stériles.
  - Ajouter l'échantillon dans 225 ml de bouillon tamponné peptone water (1:10 dilution).
  - Homogénéiser l'échantillon en agitant doucement.
  - Incuber à 35-37°C pendant 16 à 20 heures.
- **Enrichissement sélectif :**
  - Prélever 0,1 ml de la culture pré-enrichie et l'inoculer dans 10 ml de bouillon Rappaport-Vassiliadis.

- Incuber à 42°C pendant 18 à 24 heures.
- Prélever 1 ml de la culture pré-enrichie et l'inoculer dans 10 ml de bouillon sélénite-cystine.
- Incuber à 35-37°C pendant 18 à 24 heures.
- **Isolement sur milieu sélectif :**
- À l'aide d'une boucle d'inoculation stérile, strier les cultures enrichies sur des plaques de milieu XLD et de milieu Hektoen Enteric.

Incuber les plaques à 35-37°C pendant 18 à 24 heures.

## Annexe 06 : **Protocole d'Analyse des Coliformes Fécaux pour le Fromage Fondu**

### **Matériel requis :**

- Bouillon lauryl sulfate tryptose (LST) pour pré-enrichissement.
- Bouillon d'enrichissement sélectif (EC Escherichia coli broth).
- Milieu de culture sélectif (par exemple, milieu VRBA Violet Red Bile Agar).
- Milieu de culture différentiel (par exemple, milieu EMB Eosin Methylene Blue agar).
- Tubes de fermentation avec Durham pour détection de gaz.
- Incubateur à température contrôlée (35-37°C).
- Boucles d'inoculation stériles.
- Pipettes stériles.
- Étuve pour la désinfection des instruments.

### **Procédure :**

- **Pré-enrichissement :**
- Prélever 25 g de fromage fondu à l'aide de techniques stériles.
- Ajouter l'échantillon dans 225 ml de bouillon lauryl sulfate tryptose (LST) (1:10 dilution).
- Homogénéiser l'échantillon en agitant doucement.
- Incuber à 35-37°C pendant 24 heures.
- **Enrichissement sélectif :**
- Prélever 1 ml de la culture pré-enrichie et l'inoculer dans 10 ml de bouillon EC.
- Placer des tubes de fermentation de Durham dans chaque tube pour la détection de gaz.

- Incuber à 44.5°C pendant 24 heures.
- **Isolement sur milieu sélectif :**
- À l'aide d'une boucle d'inoculation stérile, prélever une boucle de la culture enrichie et strier sur des plaques de milieu VRBA.
- Incuber les plaques à 35-37°C pendant 24 heures.

#### Annexe 07 : **Protocole d'Analyse des Staphylococcus aureus pour le Fromage Fondu**

- **Matériel requis :**
- Milieu de pré-enrichissement (par exemple, bouillon de peptone tamponné).
- Milieu de culture sélectif pour Staphylococcus aureus (par exemple, milieu Baird-Parker avec jaune d'œuf et tellurite).
- Milieu de confirmation (par exemple, gélose au mannitol).
- Milieu de culture différentiel (par exemple, milieu coagulase).
- Incubateur à température contrôlée (37°C).
- Boucles d'inoculation stériles.
- Pipettes stériles.
- Tubes de culture et boîtes de Petri stériles.
- Étuve pour la désinfection des instruments.
- **Procédure :**
- ❖ **Pré-enrichissement :**
- Prélever 25 g de fromage fondu à l'aide de techniques stériles.
- Ajouter l'échantillon dans 225 ml de bouillon de peptone tamponné (1:10 dilution).
- Homogénéiser l'échantillon en agitant doucement.
- Incuber à 37°C pendant 18 à 24 heures.
- ❖ **Isolement sur milieu sélectif :**
- Prélever 0,1 ml de la culture pré-enrichie et l'inoculer sur des plaques de milieu Baird-Parker.
- Étaler uniformément l'échantillon sur la surface du milieu de culture à l'aide d'une boucle d'inoculation stérile.
- Incuber à 37°C pendant 24 à 48 heures.

**MERCI**