

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique



PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté à

L'UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID-TLEMCCEN

Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre de l'univers

DEPARTEMENT DE AGRONOMIE

Pour obtenir

LE DIPLÔME DE MASTER

Filière

Agronomie

Spécialité

Production animale et Transformation laitière

Par

KHELIFAOUI DJAZAIRI Abdelaziz

ÉLABORATION DES FROMAGES À PARTIR DES SOUS
PRODUITS LAITIERS (LACTOSÉRUM /BABEURRE)

Soutenu le 25 juin 2025. devant les membres du jury :

BENYOUB Noureddine	MCB	Univ. Tlemcen	Président
TEFLANI Choukri	Professeur	Univ. Tlemcen	Encadrant
AZZI Noureddine	MAA	Univ. Tlemcen	Examineur

Résumé

Dans un contexte où la durabilité et la réduction des déchets agroalimentaires deviennent essentielles, ce mémoire s'intéresse à la valorisation de deux sous-produits de l'industrie laitière : le lactosérum et le babeurre. L'objectif principal est de démontrer qu'ils peuvent être transformés en fromages consommables, contribuant ainsi à limiter le gaspillage tout en créant de la valeur ajoutée. Deux types de fromages ont été élaborés : une ricotta à base de lactosérum, obtenue par chauffage et acidification, et un fromage à pâte pressée non cuite, issu du babeurre fermenté.

Des analyses physico-chimiques ont révélé des teneurs intéressantes en protéines, matières grasses et extrait sec, confirmant la richesse nutritionnelle de ces coproduits. Les résultats microbiologiques ont montré l'absence de germes pathogènes, attestant de la qualité sanitaire des produits finis. L'analyse sensorielle, menée auprès de vingt participants, a mis en évidence une forte appréciation des deux fromages, avec des moyennes supérieures à 8/10 pour la satisfaction globale et le goût.

Le rendement fromager, bien que plus faible pour la ricotta (1,5 %) que pour le fromage de babeurre (10 %), reste prometteur pour une valorisation à plus grande échelle.

Ce travail démontre ainsi qu'une réutilisation efficace des sous-produits laitiers est possible, à travers des procédés simples, économiques et respectueux de l'environnement. Ces approches pourraient être intégrées dans les unités de transformation laitière pour répondre aux enjeux actuels de durabilité, d'innovation alimentaire et de rentabilité.

Mots-clés

Lactosérum, babeurre, fromage, valorisation, analyse sensorielle.

Abstract

In a context where sustainability and reduction of agri-food waste are becoming crucial, this thesis focuses on the valorization of two dairy industry by-products: whey and buttermilk. The main objective is to demonstrate that they can be transformed into consumable cheeses, thus contributing to waste reduction while creating added value. Two types of cheeses were developed: ricotta made from whey, obtained through heating and acidification, and a pressed, uncooked cheese derived from fermented buttermilk.

Physicochemical analyses revealed significant levels of proteins, fats, and dry extract, confirming the nutritional richness of these by-products. Microbiological results indicated the absence of pathogenic microorganisms, ensuring the sanitary quality of the final products. A sensory analysis involving twenty participants showed strong appreciation for both cheeses, with average scores exceeding 8/10 for overall satisfaction and taste.

Although cheese yield was lower for ricotta (1.5%) compared to buttermilk cheese (10%), the results remain promising for large-scale valorization.

This study demonstrates that effective reuse of dairy by-products is possible through simple, economical, and environmentally friendly processes. These approaches could be integrated into dairy processing units to meet current challenges related to sustainability, food innovation, and profitability.

Keywords: Whey, buttermilk, cheese, valorization, sensory analysis.

ملخص

في ظل تزايد أهمية الاستدامة وتقليل نفايات الصناعات الغذائية، يتناول هذا البحث موضوع تثمين منتجين فرعيين من صناعة الألبان: مصّل الحليب ومخيض اللبّن. يهدف البحث إلى إثبات إمكانية تحويلهما إلى أنواع من الجبن الصالح للاستهلاك، مما يساهم في تقليل الهدر الغذائي مع تحقيق قيمة مضافة. تم تصنيع نوعين من الجبن: الريكوتا من مصّل الحليب عبر التسخين والحموضة، وجبن مضغوط غير مطبوخ من مخيض اللبّن المتخمر.

أظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية نسبةً عالية من البروتينات والدهون والمستخلص الجاف، مما يؤكد القيمة الغذائية لهذه المنتجات الفرعية. كما أثبتت التحاليل الميكروبيولوجية خلو المنتجات من الجراثيم الممرضة، مما يضمن سلامتها الصحية. وبيّنت اختبارات التذوق بمشاركة عشرين شخصاً تقييماً مرتفعاً للمنتجين، حيث تجاوز متوسط الرضا العام والطعم 8/10.

رغم أن مردود الجبن كان منخفضاً في حالة الريكوتا (1.5%) مقارنةً بجبن مخيض اللبّن (10%)، إلا أن النتائج واعدة للتوسع في الإنتاج على نطاق أوسع.

يثبت هذا العمل إمكانية إعادة استخدام فعالة لمخلفات صناعة الألبان عبر تقنيات بسيطة، اقتصادية، وصديقة للبيئة، مع إمكانية دمجها في وحدات تصنيع الألبان لمواجهة تحديات الاستدامة، الابتكار الغذائي، والربحية.

الكلمات المفتاحية: مصّل الحليب، مخيض اللبّن، الجبن، التثمين، التحليل الحسي.

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation. Leur soutien et leur précieuse collaboration ont été essentiels pour mener à bien ce projet.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers ma famille qui m'a soutenu et encouragé tout au long de cette aventure académique. Leur soutien moral et leur compréhension ont été d'une importance capitale pour mener à bien ce travail de recherche.

Je souhaite remercier mon encadrant, Pr TEFIANI CHAOUKI, pour ses conseils éclairés, son encadrement attentif et son soutien constant tout au long de ce projet. Son expertise et sa disponibilité ont grandement contribué à l'avancement de mes travaux.

Je tiens à remercier également Dr BENYOUB Noureddine qui me fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, Dr AZZI Noureddine qui a bien accepté d'en être l'examineur. Je les remercie pour leur présence, pour leur lecture attentive de mon mémoire ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront lors de la soutenance afin d'améliorer mon travail.

Un grand merci à mes enseignants de L'agronomie à Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre de l'univers et aux professionnels de l'industrie agroalimentaire aux GIP-LAIT SAIDA qui m'ont fait profiter de leurs connaissances et de leur expertise. Leur expérience, leurs connaissances et leurs publications ont été, pour moi, une source d'inspiration et de référence précieuse pour ce mémoire.

Je tiens, aussi, à exprimer ma reconnaissance envers mes collègues et amis de Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et du GIP-LAIT de Saida, ainsi que tous les participants qui ont accepté de prendre part à l'analyse sensorielle de ce produit. Leur implication et leur collaboration ont été essentielles pour obtenir des résultats significatifs et représentatifs.

Mes sincères remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire. Leur inestimable implication et collaboration ont grandement contribué à la réussite de ce projet.

.Abdelaziz

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract	ii
ملخص	iii
<i>Remerciements</i>	iv
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures	viii
Liste des abréviations	ix
INTRODUCTION	1
I. Synthèse bibliographique	2
I.1. Les sous-produits dans les industries laitières.....	2
I.1.1. Lactosérum.....	3
I.1.1.1. Composition et types de lactosérum	3
I.1.1.2. L'utilisation de lactosérum.....	4
I.1.2. Babeurre	5
I.1.2.1. Les types de babeurre	7
I.1.2.2. La composition de babeurre	7
I.2. Valorisation des sous-produits laitiers (lactosérum et babeurre).....	8
I.2.1. Les fromages de lactosérum type Ricotta.....	8
I.2.1.1. Composition.....	8
I.2.1.2. Fabrication du fromage type Ricotta	9
I.2.1.3. Valeur nutritionnelle et bienfaits du fromage ricotta	12
I.2.2. Valorisation de babeurre	13
II. Matériel et Méthodes.....	15
II.1. Les analyses physique chimique des matières premières (babeurre et lactosérum).....	15
II.2. Élaboration de fromage de lactosérum (Ricotta)	17
II.2.1. Récolte de lactosérum.....	17
II.2.2. Processus de fabrication de fromage de lactosérum.....	18
II.3. Élaboration de fromage de babeurre (type pate pressé)	22
II.3.1. Processus de fabrication de fromage de babeurre.....	22
II.4. Les analyses physiques/chimiques des produits finis	28

II.4.1. Matériel et consommables de laboratoire	28
II.4.2. Modes opératoires.....	29
II.5. Les analyses microbiologiques des produits finis (Fromage de lactosérum)	
32	
II.5.1. Matériel de laboratoire	33
II.5.2. Méthode d'analyse:.....	34
II.6. Les analyses organoleptiques des produits finis	36
II.6.1. Méthodologie	36
II.6.1.1 Préparation des échantillons	36
II.6.1.2 Élaboration de la fiche d'évaluation sensorielle :.....	36
II.6.1.3 Lieux des épreuves et Recrutement des participants :	36
II.6.1.4 Procédure d'évaluation sensorielle :.....	36
III. Résultat et discussion.....	38
III.1. Résultat des analyses physique chimique des matières premières (babeurre et lactosérum).....	38
III.2. Fromage de lactosérum (Ricotta).....	39
III.2.1. Rendement fromagère	39
III.2.2. Description visuel	39
III.2.3. Description sensorielle	40
III.3. Fromage de babeurre.....	40
III.3.1. rendement fromagère	40
III.3.2. Description visuel	40
III.3.3. Description sensorielle	40
III.4. Résultat des analyses physique/chimique des produits finis	41
III.5. Résultat des analyses microbiologique des produits finis (Fromage de lactosérum).....	42
III.6. Résultat des analyses organoleptique	43
III.6.1. Fromage de babeurre	43
III.6.2. Fromage de lactosérum (Ricotta)	44
Discussion	45
CONCLUSION.....	48
Liste des Références.....	50

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Caractéristiques de la composition du lactosérum doux et acide. (Chatzipaschali et Stamatis, 2012).....</i>	<i>4</i>
<i>Tableau 2 : Composition chimique du babeurre et du lait écrémé (Vanderghem et al., 2010)</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 3 : Composition et ph de ricotta à base de lait de vache artisanale/industrielle (Mangione et al., 2023).....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 4 : La norme microbiologique pour les fromages (JORAD, 2016)</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 5 : Résultat des analyses physique chimique des matières premières (babeurre et lactosérum).....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 6 : Résultat des analyses physique/chimique des produits finis.....</i>	<i>41</i>

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de valorisation de lactosérum (Yadav et al., 2015).....	5
Figure 2 : Les étapes de fabrication de beurre et babeurre (Ali, 2019).....	6
Figure 3 : Schéma de fabrication traditionnelle de Ricotta (Mangione et al., 2023).....	10
Figure 4 : Les étapes de fabrication du ricotta a l'échelle industrielle (Mangione et al., 2023)....	12
Figure 5 : lactoscan utilisée pour la détermination du l'EST et MG (Photo originale)	15
Figure 6 : Récupération du lactosérum (Photo originale)	17
Figure 7 : Cuve de chauffage utilisée dans la fabrication de la Ricotta (Photo originale)	18
Figure 8 : Egouttage de ricotta dans les sacs d'égouttage (Photo originale).....	19
Figure 9 : Schéma de fabrication de ricotta.....	21
Figure 10 : Evacuation du babeurre (Photo originale).....	22
Figure 11 : Egouttage de caillé de fromage de babeurre dans les sacs (Photo originale).....	24
Figure 12 : La machine de conservation sous-vidage de fromage de babeurre (Photo originale). 25	
Figure 13 : Schéma de fabrication de fromage de babeurre (Photo originale).	27
Figure 14 : Dessiccateur automatique (Photo originale).....	30
Figure 15 : Centrifugeuse (Photo originale).....	31
Figure 16 : Butyromètre a fin de la centrifugation (Photo originale).....	32
Figure 17 : Lieu d'évaluation sensoriel des produits finis (Photo originale).....	37
Figure 18 : Apparence du fromage de lactosérum (Photo originale)	39
Figure 19 : Apparence de fromage de babeurre obtenu (Photo originale).....	40
Figure 20 : Résultat des analyses microbiologiques montrant de boites de Pétri sans aucune colonie	42
Figure 21 : Histogramme relative a indice de satisfaction et goût personnel obtenue dans les résultat des analyses organoleptique du fromage de babeurre.....	43
Figure 22 : Histogramme relative a indice de satisfaction et goût personnel obtenue dans les résultat des analyses organoleptique du fromage de lactosérum Ricotta	44

Liste des abréviations

BCAA. : *acides aminés à chaîne ramifiée*

BSA. : *Bovine Serum Albumin*

EST. : *Extraits secs totaux*

MG. : *matière grasse*

MGGL. : *la membrane des globules gras du lait*

TP. : *protéines totales*

VRBG. : *Violet Red Bile Glucose Agar*

α -LA. : *l'alpha-lactalbumine*

β -LG. : *Beta-Lactoglobulin*

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Dans un contexte où les enjeux environnementaux, la gestion durable des ressources et la réduction de l'impact écologique de l'industrie agroalimentaire sont devenus prioritaires, la valorisation des sous-produits issus de l'industrie laitière prend une importance croissante. Chaque année, des volumes significatifs de coproduits tels que le lactosérum dérivé de la fabrication du fromage et le babeurre issu du barattage de la crème sont générés à l'échelle mondiale (**Ahmad et al., 2019; Ali, 2019**). Traditionnellement perçus comme des déchets ou orientés vers des usages secondaires (alimentation animale, épandage agricole), ces coproduits présentent pourtant une composition nutritionnelle et fonctionnelle particulièrement intéressante. Le lactosérum est riche en lactose, protéines solubles, minéraux et vitamines hydrosolubles (**Ahmad et al., 2019**), tandis que le babeurre se distingue par sa teneur en lipides polaires, membranes des globules gras du lait (MGGL), protéines, lactose et phospholipides bioactifs (**Ali, 2019**).

Dans ce contexte, diverses stratégies de valorisation sont actuellement explorées afin de transformer ces coproduits en ingrédients ou produits alimentaires à forte valeur ajoutée. Parmi celles-ci, la production de fromages frais, comme la ricotta, constitue une solution simple, peu coûteuse et accessible, permettant à la fois de limiter le gaspillage alimentaire et de répondre aux attentes des consommateurs pour des produits naturels et riches en nutriments (**Scatassa et al., 2018**). C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude, visant à explorer le potentiel de transformation du lactosérum et du babeurre en fromages à consommation directe.

Notre démarche repose sur deux volets complémentaires : une revue de la littérature, afin de synthétiser les connaissances actuelles sur la composition et les propriétés fonctionnelles de ces coproduits, et une phase expérimentale, incluant la fabrication de fromages tels que la ricotta à base de lactosérum et des fromages frais élaborés à partir de babeurre. Ces produits finis ont ensuite été soumis à des analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles pour évaluer leur qualité, leur stabilité et leur acceptabilité par les consommateurs. Par cette étude, nous souhaitons démontrer que le lactosérum et le babeurre peuvent être considérés non comme de simples résidus, mais comme des ressources valorisables au service d'une industrie laitière plus durable et circulaire.

Synthèse bibliographique

I. Synthèse bibliographique

I.1. Les sous-produits dans les industries laitières

L'industrie laitière produit une grande variété de produits transformés, tels que le lait pasteurisé, le fromage, le yaourt et le beurre, en traitant le lait brut. Lors du processus de production, des sous-produits et des déchets sont générés. On distingue les sous-produits comestibles (comme le lactosérum, la crème, le fromage ou le beurre) et les déchets non comestibles (produits périmés, contaminés ou altérés) (**Ahmad et al., 2019**).

D'un autre côté, l'industrie laitière génère aussi des eaux usées, principalement issues du nettoyage des équipements (cuves, bouteilles, machines). De plus, des pertes alimentaires surviennent en raison de dates de péremption dépassées ou de mauvaises conditions de production, de transport ou de stockage (**Sar et al., 2022**).

Parmi les sous-produits, on retrouve notamment le lactosérum, qui est un résidu liquide issu de la fabrication du fromage. Sa composition varie selon le type de lait (vache, chèvre, brebis) et le procédé de fabrication. Le lactosérum peut être transformé en poudre ou en protéines de lactosérum pour une utilisation alimentaire (**Sar et al., 2022**).

Le babeurre est un sous-produit obtenu lors du barattage de la crème dans le processus de fabrication du beurre. Il s'agit de la phase liquide restante, contenant de l'eau et des composants hydrosolubles de la crème. Sa composition globale est très similaire à celle du lait écrémé, et il contient du lactose, des protéines (caséine et protéines sériques) ainsi que des minéraux (**Szkolnicka et al., 2020**).

L'élimination des déchets laitiers est un enjeu environnemental en raison de leur forte charge organique. Un rejet direct dans les réseaux d'assainissement peut provoquer des problèmes de pollution. Divers traitements existent, notamment mécaniques (séparation des solides), chimiques (coagulation et floculation) et biologiques (traitements aérobies et anaérobies). Les traitements biologiques sont souvent privilégiés car ils sont plus efficaces pour les déchets riches en composés organiques solubles et moins coûteux que les traitements physico-chimiques (**Asunis et al., 2020**).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Selon la FAO, environ un tiers des aliments produits sont gaspillés, dont près de 18 % de la production de lait. Il est donc essentiel d'optimiser la valorisation des sous-produits laitiers pour limiter l'impact environnemental et favoriser une économie circulaire (**Chang et al., 2018**)

I .1.1. Lactosérum

Le lactosérum est un sous-produit résultant du processus de fabrication du fromage. Il s'agit de la fraction liquide du lait qui subsiste après la coagulation et la séparation du caillé. Sa composition varie en fonction du type de lait utilisé (vache, chèvre, brebis) et du procédé de fabrication du fromage. Il représente entre 85 et 95 % du volume total du lait transformé et conserve environ 55 % des éléments nutritifs initiaux, notamment des protéines solubles (comme les protéines sériques), du lactose, des minéraux et des vitamines hydrosolubles. Grâce à sa richesse nutritionnelle, il peut être valorisé dans divers secteurs, notamment l'alimentation humaine et animale, ainsi que dans des applications biotechnologiques et environnementales. (**Guimarães et al., 2010**)

I .1.1.1. Composition et types de lactosérum

Le type et la composition du lactosérum sont principalement déterminés par le mode de coagulation des caséines du lait. On distingue deux catégories principales : le lactosérum doux et le lactosérum acide. Le lactosérum doux est le plus couramment rencontré et provient de la fabrication de fromages obtenus par coagulation enzymatique à l'aide de présure. Ce processus se déroule à un Potentiel hydrogène pH d'environ 6,5, ce qui permet d'obtenir un lactosérum au goût plus neutre et aux caractéristiques spécifiques adaptées à diverses applications alimentaires et industrielles (**Chatzipaschali et Stamatis, 2012**).

Le lactosérum acide constitue le second type de lactosérum, caractérisé par un pH inférieur à 5. Il est obtenu par l'ajout d'acides organiques ou de chymosine pour induire la coagulation de la caséine (**Chatzipaschali et Stamatis, 2012**). La distinction majeure entre le lactosérum doux et le lactosérum acide réside dans leur composition minérale, notamment en calcium et en phosphates, ainsi que dans leur niveau d'acidité (pH). Malgré ces différences, le lactose demeure le principal composant des deux types de lactosérum, représentant environ 63 à 73 % de la matière sèche totale

Tableau 1 : Caractéristiques de la composition du lactosérum doux et acide. (Chatzipaschali et Stamatis, 2012)

Composition (g/L)	Lactosérum doux	Lactosérum acide
Solides Totaux	63,00 - 70,00	63,00 - 70,00
Lactose	46,00 - 52,00	44,00 - 46,00
Protéine	6,00 - 10,00	6,00 - 8,00
Acide lactique	2,00	6,40
Matière grasse	1,00	0,50
Calcium	0,40 - 0,60	1,20 - 1,60
Phosphates	1,00 - 3,00	2,00 - 4,50
Chlorures	1,10	1,10
pH	6,5	4,5

I.1.1.2. L'utilisation de lactosérum

Environ 50 % du lactosérum produit dans le monde est traité et transformé en divers produits alimentaires. Parmi ceux-ci, environ 45 % sont utilisés sous forme liquide, 30 % sont convertis en poudre de lactosérum, 15 % en lactose et autres sous-produits, tandis que le reste est transformé en concentrés de protéines de lactosérum (Arevalo, 2017).

L'utilisation la plus simple du lactosérum liquide consiste à l'incorporer dans l'alimentation animale ou à l'utiliser comme fertilisant pour les sols. En raison de sa richesse nutritionnelle, il constitue un aliment de choix pour l'élevage porcin et bovin, présentant un fort intérêt zootechnique. Par ailleurs, l'industrie pharmaceutique et agroalimentaire l'exploite dans la fabrication de préparations pour nourrissons, en raison des propriétés fonctionnelles de ses protéines (Arevalo, 2017).

Plusieurs procédés permettent de valoriser le lactosérum. Il peut être transformé en poudre, sous différentes variantes telles que le lactosérum déminéralisé, déprotéiné ou délactosé. De plus, il peut être utilisé pour produire des concentrés de protéines, des isolats de protéines sériques, du lactose ou d'autres fractions spécifiques **Figure 1** (Arevalo, 2017).

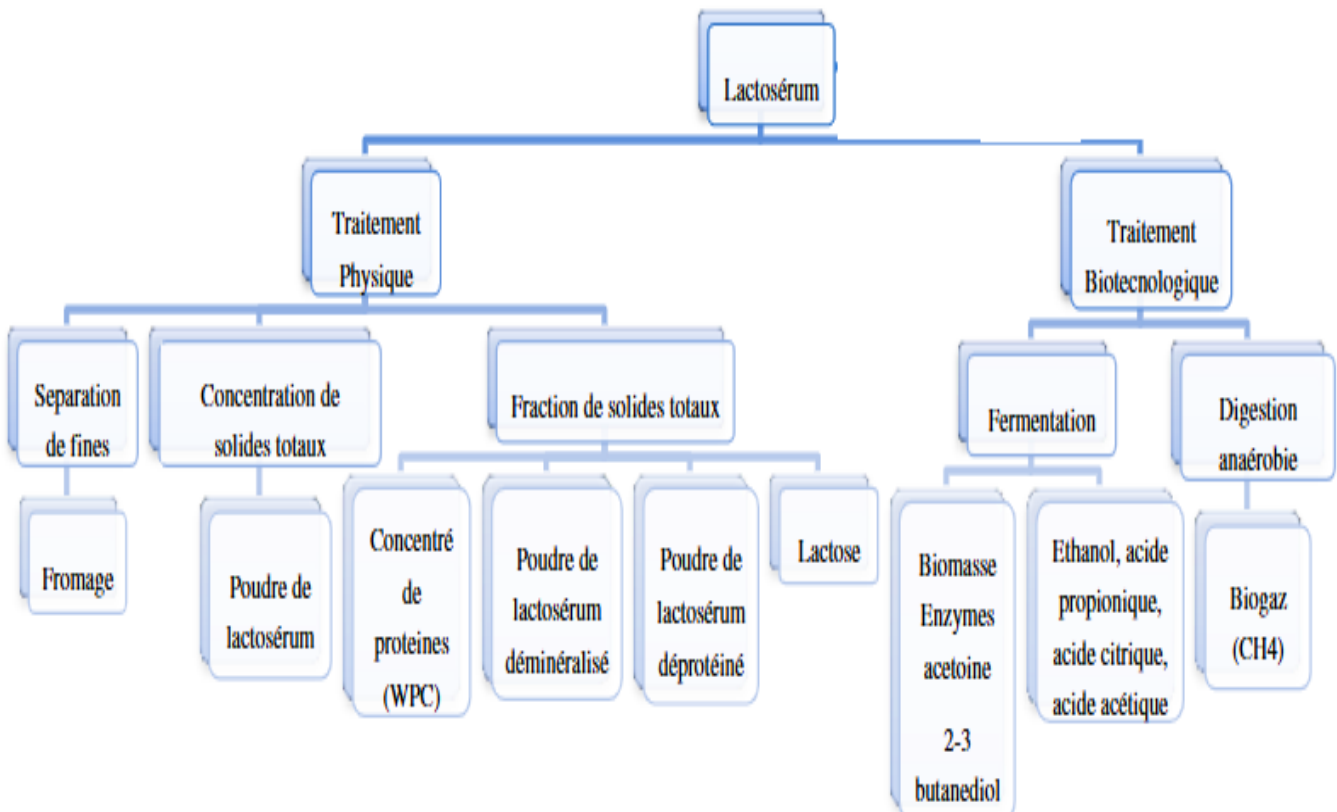


Figure 1 : Schéma de valorisation de lactosérum (Yadav et al., 2015).

I .1.2. Babeurre

Le babeurre conventionnel est en réalité le liquide aqueux libéré lors de la fabrication du beurre par barattage de la crème aigre (**Figure 2**). Ce babeurre possède des caractéristiques distinctives en raison de la présence d'arômes de beurre (principalement le diacétyle) et d'une partie de la membrane naturelle des globules gras, qui se détache pendant le barattage (**Walstra et al., 2006**)

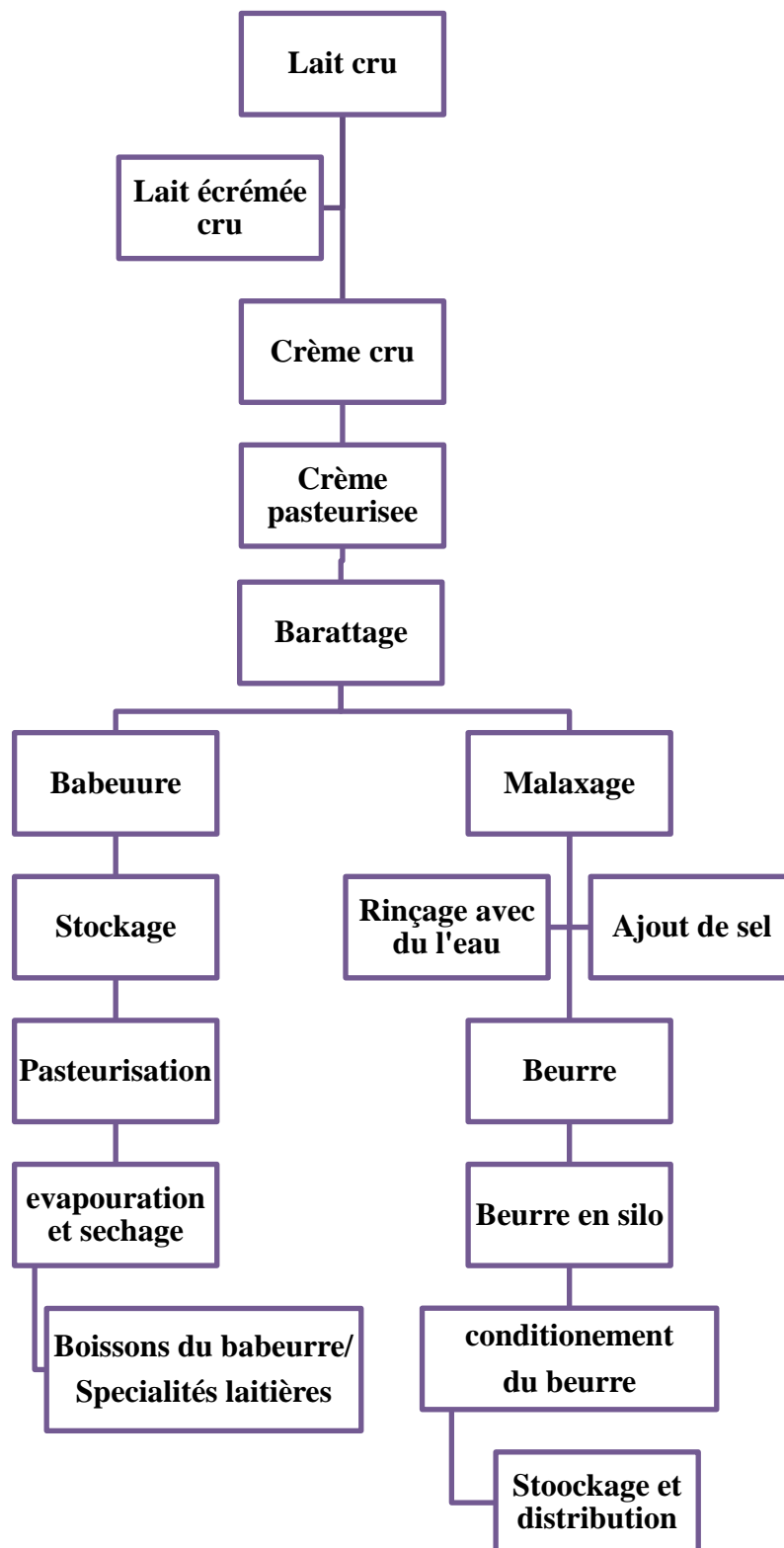


Figure 2 : Les étapes de fabrication de beurre et babeurre (Ali, 2019).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Cette particularité entraîne une concentration relativement élevée en phospholipides, d'autant plus importante que la teneur en matières grasses de la crème est élevée. Ces phospholipides sont très sensibles à l'auto-oxydation en raison de leur forte teneur en résidus d'acides gras polyinsaturés. Par conséquent, le babeurre développe rapidement un goût désagréable, souvent qualifié de métallique, qui peut devenir très prononcé (Walstra et al., 2006).

Ainsi, le babeurre issu d'une crème riche en matières grasses a une durée de conservation très courte, d'environ deux jours, même avec l'ajout d'acide ascorbique comme antioxydant (Walstra et al., 2006).

I .1.2.1. Les types de babeurre

Il existe plusieurs types de babeurre, dont le babeurre doux issu du barattage de la crème non fermentée, le babeurre aigre provenant de la crème fermentée, et le babeurre de lactosérum obtenu lors de la fabrication du beurre de lactosérum. Bien que le babeurre de lactosérum soit produit en quantités plus faibles que le babeurre doux, son potentiel commercial est important en raison des volumes considérables de lactosérum générés chaque année (Lisak Jakopović et al., 2019 ; Sodini et al., 2006).

I .1.2.2. La composition de babeurre

Tableau 2 : Composition chimique du babeurre et du lait écrémé (Vanderghem et al., 2010)

Constituants	Babeurre doux	Lait écrémé
Eau (%)	88,2-92	91,2
Solides totaux (%)	8-12	8,8
Protéines totales (%)	2,4-3,5	3,4-3,7
Lipides totaux (%)	0,5-1,5	0,1-0,2
Lactose (%)	3,6-6,7	4,4-4,7
Minéraux (%)	0,6-0,8	0,9

I.2. Valorisation des sous-produits laitiers (lactosérum et babeurre)

I.2.1. Les fromages de lactosérum type Ricotta

La ricotta est un produit laitier traditionnel originaire d'Italie, particulièrement du sud, mais largement consommé en Méditerranée et à l'international (**Nobile et al., 2009**). Son nom vient du latin re-cocta, signifiant « recuit », en référence à son procédé de fabrication. Contrairement aux fromages classiques, la ricotta est considérée par la législation italienne comme un sous-produit de la fabrication fromagère, car elle est obtenue à partir du lactosérum et non du lait; (**Scatassa et al., 2018**). Elle est classée comme un fromage de lactosérum selon le Codex Alimentarius (**Mangione et al., 2023**).

Avec une texture molle et une teneur en humidité élevée (65-75 %), la ricotta est généralement produite à partir du lactosérum de mozzarella, mais aussi d'autres fromages, notamment ceux au lait de brebis, de chèvre, de vache ou de bufflonne. Son processus de fabrication repose sur le chauffage et l'acidification du lactosérum pour coaguler les protéines, formant un caillé qui est ensuite égoutté (**Mangione et al., 2023**).

La ricotta fraîche se distingue par sa texture granuleuse et crémeuse, sa couleur blanc jaunâtre et son goût doux (**Pintado et al., 2001**). Sa saveur délicate la rend idéale pour une consommation directe ou comme ingrédient dans divers plats, tels que les cheesecakes, les pâtes, les pizzas et les sandwiches (**Nobile et al., 2009**)

I.2.1.1. Composition

La ricotta artisanale se caractérise par une forte teneur en eau (78,42 %) et une composition riche en lipides (11,67 %), en protéines (6,63 %) et en minéraux (1,60 %), avec un pH de 6,43. Elle ne contient pas de lactose. La ricotta industrielle, quant à elle, présente une teneur en eau de 75,72 %, avec des solides totaux représentant 24,28 %. Elle est composée de 9,73 % de lipides, 9,12 % de protéines, 3,35 % de lactose et 1,16 % de minéraux, avec un pH de 6,26 (**Tableau 3**) (**Mangione et al., 2023**)

Tableau3 : Composition et ph de ricotta à base de lait de vache artisanale/industrielle
(Mangione et al., 2023)

Paramètre	Ricotta artisanale	Ricotta industrielle
Eau (%)	78,42	75,72
Solides totaux (%)	21,58	24,28
Lipides totales (%)	11,67	9,73
Protéines totaux (%)	6,63	9,12
Lactose (%)	--	3,35
Minéraux (%)	1,60	1,16
pH	6,43	6,26

I.2.1.2. Fabrication du fromage type Ricotta

a. Fabrication traditionnelle

La ricotta est fabriquée à partir du lactosérum issu de la production fromagère. Son procédé repose sur l'agglomération des protéines sous l'effet de l'acidification (pH 6–5,8) et du chauffage (80–90 °C) pendant 10 à 30 minutes. Des acidulant (acide lactique ou citrique, 1,5–2,5 %) peuvent être ajoutés pour favoriser la coagulation, tandis que du lait, de la crème (5–15 %) et du sel (0,5–1,5 %) peuvent enrichir le mélange pour augmenter le rendement(**Figure 3**) (Mancuso et al., 2014).

Le gel de protéines formé, plus léger que la ricotta remonte à la surface avant d'être collecté et égoutté. (Mangione et al., 2023)

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

La haute température renforce la cohésion du caillé et facilite l'évacuation du scotta. La structure finale de la ricotta dépend de la taille des agrégats protéiques et des paramètres de production, tels que l'acidification, le chauffage et l'ajout d'ingrédients (Mucchetti et al., 2017)

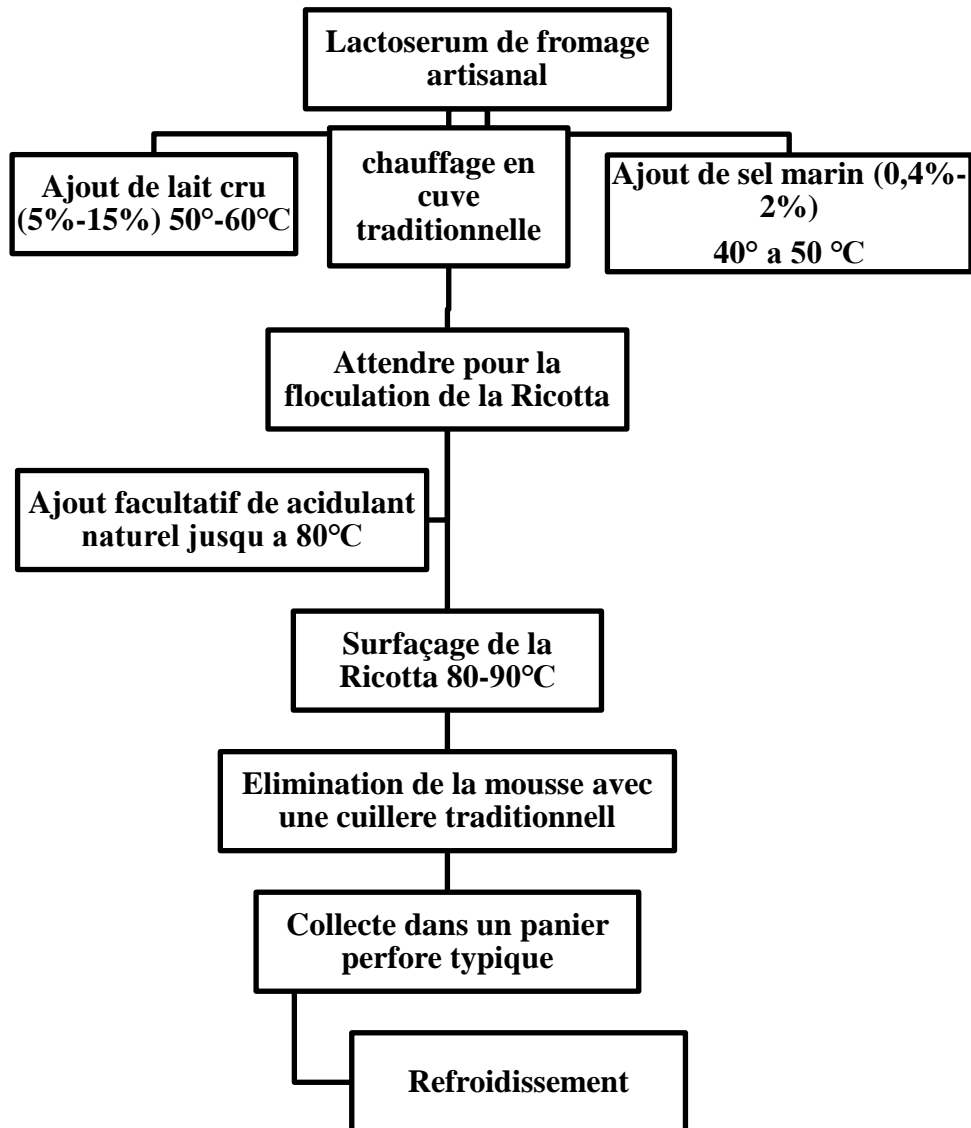


Figure 3 : Schéma de fabrication traditionnelle de Ricotta (Mangione et al., 2023)

b. Fabrication Industrielle

La production industrielle de ricotta varie en fonction des procédés, des températures et des ingrédients utilisés. Elle repose sur des volumes importants et une standardisation du processus. Le lactosérum provient généralement de fromages industriels à base de lait pasteurisé (e.g., crescenza, fromages filés) et est chauffé dans de grandes cuves par injection de vapeur à basse pression (**Paskaš et al., 2019**) ou échangeurs de chaleur pour atteindre la température de 55–70°C, puis l'ajout du lait (entier ou écrémé, 10 %) et du sel (1 %) ; (**Mangione et al., 2023**), afin de favoriser l'agrégation des protéines, l'acide citrique ou lactique est incorporé avec un taux compris entre 1,5 et 3 % et à une température comprise entre 65 et 90°C. L'ajout de *Streptococcus thermophilus* à 30–32°C a aussi été mentionné pour augmenter l'acidité. Des sels comme le sulfate de magnésium peuvent remplacer ces ajouts pour modifier les interactions minéraux-protéines. (**Mucchetti et al., 2017**).

La ricotta commence à remonter à 80–90°C, voire 92–94°C selon **Toppino et al., 2004**. Le maintien de la température en surface renforce la cohésion du caillé et facilite l'égouttage du scotta (**Mucchetti et al., 2017**). Une fois en surface, elle est collectée dans des moules perforés, égouttée et conditionnée à chaud avant d'être refroidie et stockée à 3–4°C . Pour accélérer le processus, elle est placée sur des toiles d'égouttage suspendues ou mécanisées (**Paskaš et al., 2019**) rapportent une phase de pressage à 15–20°C pendant 20 min, suivie d'un salage à 10–12°C et d'un refroidissement à 4–10°C pendant 6–12 h. En raison de sa faible durée de conservation, la ricotta industrielle est souvent thermisée, incluant une pasteurisation finale, garantissant une conservation de 20 à 40 jours (**Figure 4**). (**Mangione et al., 2023 ; Mucchetti, et Neviani, 2006**).

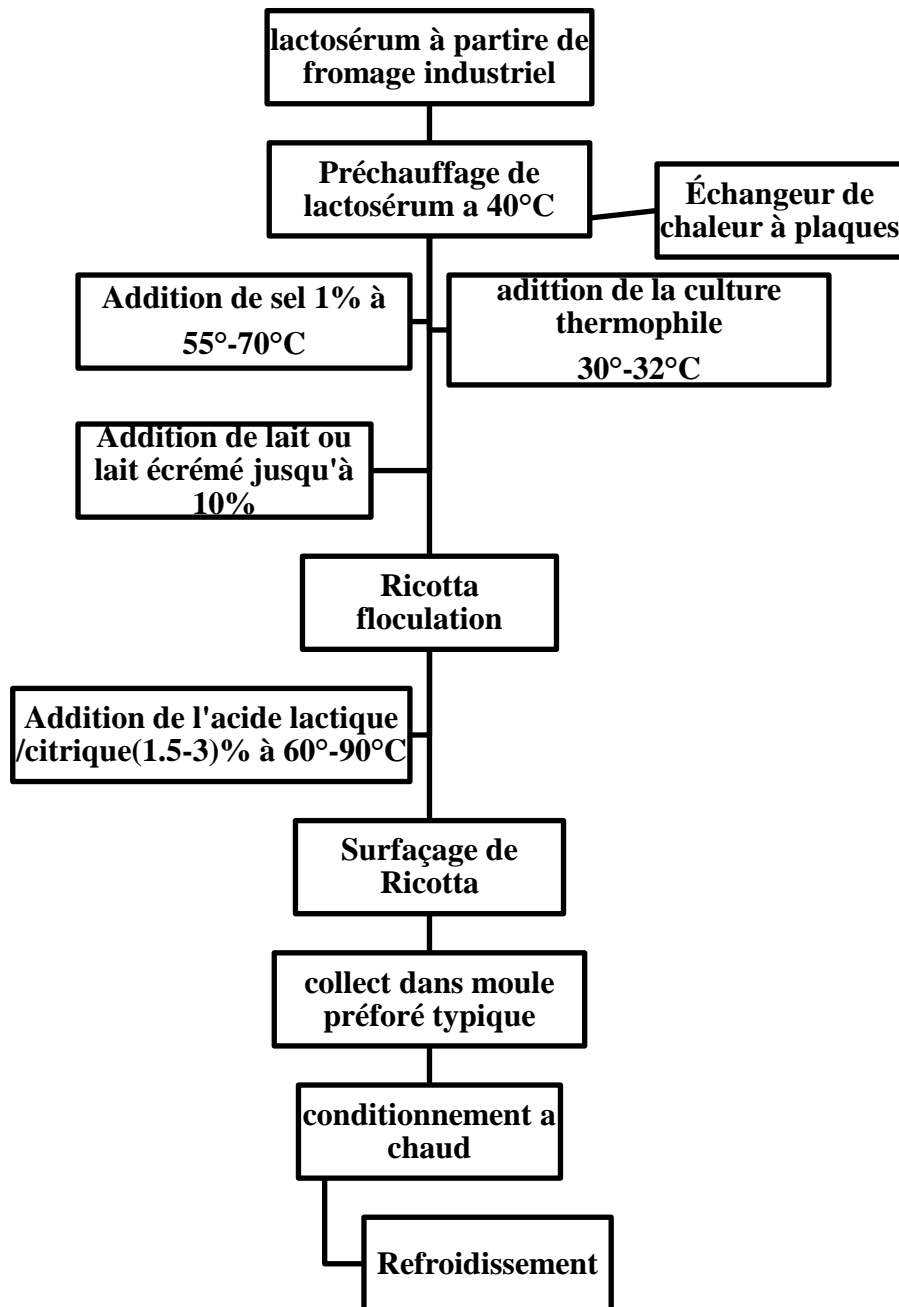


Figure 4 : Les étapes de fabrication du ricotta a l'échelle industrielle (Mangione et *al.*, 2023)

I.2.1.3. Valeur nutritionnelle et bienfaits du fromage ricotta

Le fromage ricotta est un produit laitier relativement peu étudié malgré sa large consommation. L'analyse de sa composition révèle qu'il contient 70,9 % d'humidité, 15,5 % de lipides et 7,05 % de protéines. Il est classé comme un fromage pauvre en matières grasses, avec une teneur en lipides inférieure à celle d'autres fromages comme la mozzarella et le cheddar.

Notamment, 26,2 % de ses lipides sont monoinsaturés et 3,3 % sont polyinsaturés. **(Nzekoue et al., 2021; -Tunick, 2015)**

La ricotta est riche en acides aminés essentiels et en acides aminés à chaîne ramifiée (BCAA). **(Nie et al., 2018)** qui jouent un rôle clé dans la synthèse des protéines, le développement musculaire, l'immunité et la santé intestinale. Étant issue des protéines de lactosérum, la ricotta est également une source de peptides bioactifs aux divers bienfaits pour la santé, tels que la régulation du poids, le soutien immunitaire et des propriétés antimicrobiennes **(Nzekoue et al., 2021)**

De plus, la ricotta contient des niveaux élevés de calcium (4010 mg/kg) et de phosphore (2250 mg/kg), couvrant 40 % des apports journaliers recommandés pour 100 g. Ces minéraux sont essentiels à la santé osseuse, à la fonction musculaire et à divers processus physiologiques. L'étude suggère que la ricotta pourrait être enrichie en vitamine D3 afin d'améliorer davantage l'absorption du calcium et la santé osseuse, réduisant ainsi le risque d'ostéoporose chez les personnes âgées et les femmes ménopausées **(Nzekoue et al., 2021)**

I .2.2. Valorisation de babeurre

Le babeurre pourrait être un composant favorable dans les mélanges de crème glacée, améliorant la texture de la crème glacée sans ajout d'émulsifiants. Les auteurs suggèrent également que le babeurre a un effet bénéfique sur la foisonnement des mélanges, ce qui pourrait augmenter le taux de foisonnement de la crème glacée. Cependant, nous n'avons pas trouvé de littérature concernant l'effet de l'ajout de babeurre sur la qualité de la crème glacée **(Szkolnicka et al., 2020)**

Le babeurre issu de la fabrication du beurre est principalement transformé en poudre par atomisation et utilisé dans l'industrie alimentaire pour ses propriétés émulsifiantes et ses arômes lactés, notamment dans les produits de boulangerie et la crème glacée **(Vanderghem et al., 2010)**. Certaines études ont également exploré son intégration dans des matrices fromagères ou la production de yaourt **(Krebs et al., 2021)**, bien que son utilisation reste limitée en raison de la présence de la membrane du globule gras, qui peut altérer les propriétés organoleptiques des produits obtenus **(Vanderghem et al., 2010)**.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Par ailleurs, le babeurre est aussi employé dans la formulation de préparations lactées destinées aux nourrissons, grâce à ses composés bioactifs, notamment les protéines et les phospholipides de la membrane du globule gras du lait (MGGL), qui contribuent au développement infantile (**Bhinder et al., 2017**). Cependant, une part importante de la production de babeurre est encore destinée à l'alimentation animale ou à l'élimination sous forme de déchets alimentaires. (**Jung, 2024**)

Matériel et Méthodes

II. Matériel et Méthodes

II.1. Les analyses physique chimique des matières premières (babeurre et lactosérum)

Dans le cadre de la fabrication de la ricotta et le fromage de babeurre , il est nécessaire de réaliser des analyses sur le lactosérum afin de déterminer les teneurs en extraits secs totaux (EST), matière grasse (MG), protéines totales (TP), ainsi que son acidité (mesurée en degrés Dornic °D). Ces données permettent d'ajuster le dosage des ingrédients utilisés dans le processus de fabrication.

- **Détermination des EST / MG / TP**

Pour cette analyse, nous avons utilisé un **Lactoscan** préalablement étalonné. L'échantillon de lactosérum ou babeurre est introduit dans l'appareil, qui analyse les paramètres physico-chimiques. Les résultats s'affichent directement sur l'écran de l'appareil (**Figure 5**).



Figure 5 : lactoscan utilisée pour la détermination du l'EST et MG (**Photo originale**)

- **Détermination de l'acidité Dornic**

- **Matériel de laboratoire**

- Burette
- Pipette de 10 mL

Matériel et méthodes

- Bécher
- Solution de soude (NaOH) 1/9 N
- Phénolphthaléine

- **Mode opératoire**

Prélever 10 mL de lactosérum ou de babeurre à l'aide d'une pipette et les verser dans un bécher.

- ✓ Ajouter quelques gouttes de phénolphthaléine comme indicateur.
- ✓ Remplir la burette avec la solution de NaOH 1/9 N.
- ✓ Titrer le lactosérum en ajoutant progressivement la soude jusqu'au **virage coloré** (apparition d'une coloration rose persistante).
- ✓ Lire le volume de NaOH utilisé sur la burette et calculer l'acidité exprimée en degrés Dornic (°D) $0.1 \text{ ml} = 1^\circ\text{D}$

II.2. Élaboration de fromage de lactosérum (Ricotta)

II.2.1. Récolte de lactosérum

Après la coagulation du lait, le caillé est découpé en grains à l'aide de tranche-caillé, puis soumis à un brassage progressif. Cette opération permet d'optimiser l'expulsion du lactosérum (ou petit-lait). À ce stade, le caillé commence à se contracter, et le lactosérum est séparé naturellement.

Le lactosérum ainsi libéré est ensuite recueilli et évacué par gravité ou par pompage (**Figure 6**), puis dirigé vers un chariot de collecte spécialement conçu pour le transport des liquides.



Figure 6 : Récupération du lactosérum (Photo originale)

Ce chariot permet d'acheminer le lactosérum vers la cuve de fabrication dédiée à la production de ricotta .

II.2.2. Processus de fabrication de fromage de lactosérum

a) Préchauffage

Dans une cuve de chauffage semblable à celle utilisée pour la fabrication du yaourt ou du smen (**Figure 7**), nous versons le lactosérum destiné à la production de la ricotta.

L'étape suivante est de chauffer progressivement le lactosérum jusqu'à 40 °C, en veillant à bien contrôler la température pour éviter toute altération des protéines.



Figure 7 : Cuve de chauffage utilisée dans la fabrication de la Ricotta (**Photo originale**)

À cette température, nous avons ajouté les cultures thermophiles nécessaires à l'acidification et à la texture souhaitée.

Après nous avons incorporé également 5 à 10 % de babeurre, ainsi qu'une quantité de sel en général autour de 1 à 1,5 % selon la formulation.

L'ensemble est ensuite homogénéisé pendant quelques minutes pour assurer une bonne répartition des ferments, du babeurre et du sel dans le lactosérum avant de passer à la phase de chauffage et de coagulation.

b) Maturation

Après l'ensemencement, nous laissons le lactosérum mûrir pendant 20 à 30 minutes, tout en maintenant une agitation douce et régulière.

Cette étape permet aux ferments thermophiles et au babeurre ajouté de commencer l'acidification du lactosérum, favorisant ainsi les conditions optimales pour la coagulation à venir.

c) Chauffage

Après la maturation, le lactosérum est chauffé progressivement dans la même cuve jusqu'à atteindre une température de 93 °C.

Une fois cette température atteinte, nous ajoutons de l'acide lactique à 0.025 %, ce qui provoque la coagulation des protéines solubles du lactosérum (notamment l'albumine et la globuline).

Ce chauffage intense combiné à l'acidification permet la formation du caillé de ricotta, qui commence à remonter en surface sous forme de flocons blancs.

d) Collection et égouttage

À l'aide d'une louche spécifique, nous procédons à la récupération délicate du caillé de ricotta formé à la surface du lactosérum chaud. Le caillé est ensuite transféré dans des sacs spéciaux, conçus pour l'égouttage spontané, sans pressage (**Figure 8**).

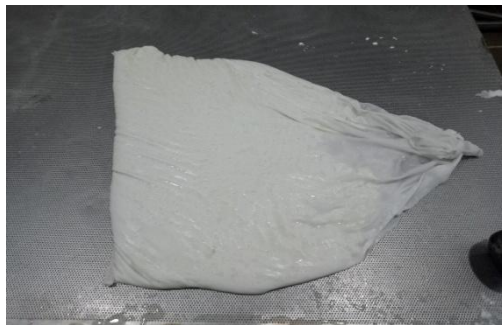


Figure 8 : Égouttage de ricotta dans les sacs d'égouttage (**Photo originale**).

Matériel et méthodes

Nous laissons la ricotta s'égoutter à température ambiante pendant 1 à 2 heures, jusqu'à l'obtention d'un extrait sec total (EST) d'environ 32 %, indiquant que le fromage a atteint sa texture finale.

e) Conditionnement

La Une fois l'égouttage terminé et la ricotta ayant atteint la texture souhaitée, nous procédons au conditionnement. Le fromage va être placé dans des boîtes stériles adaptées à la conservation des produits frais

✓ Ce conditionnement permet de protéger le produit contre les contaminations et de préserver sa fraîcheur jusqu'à la consommation ou la commercialisation.

La **figure 9** résume les différentes étapes de fabrication du ricotta.

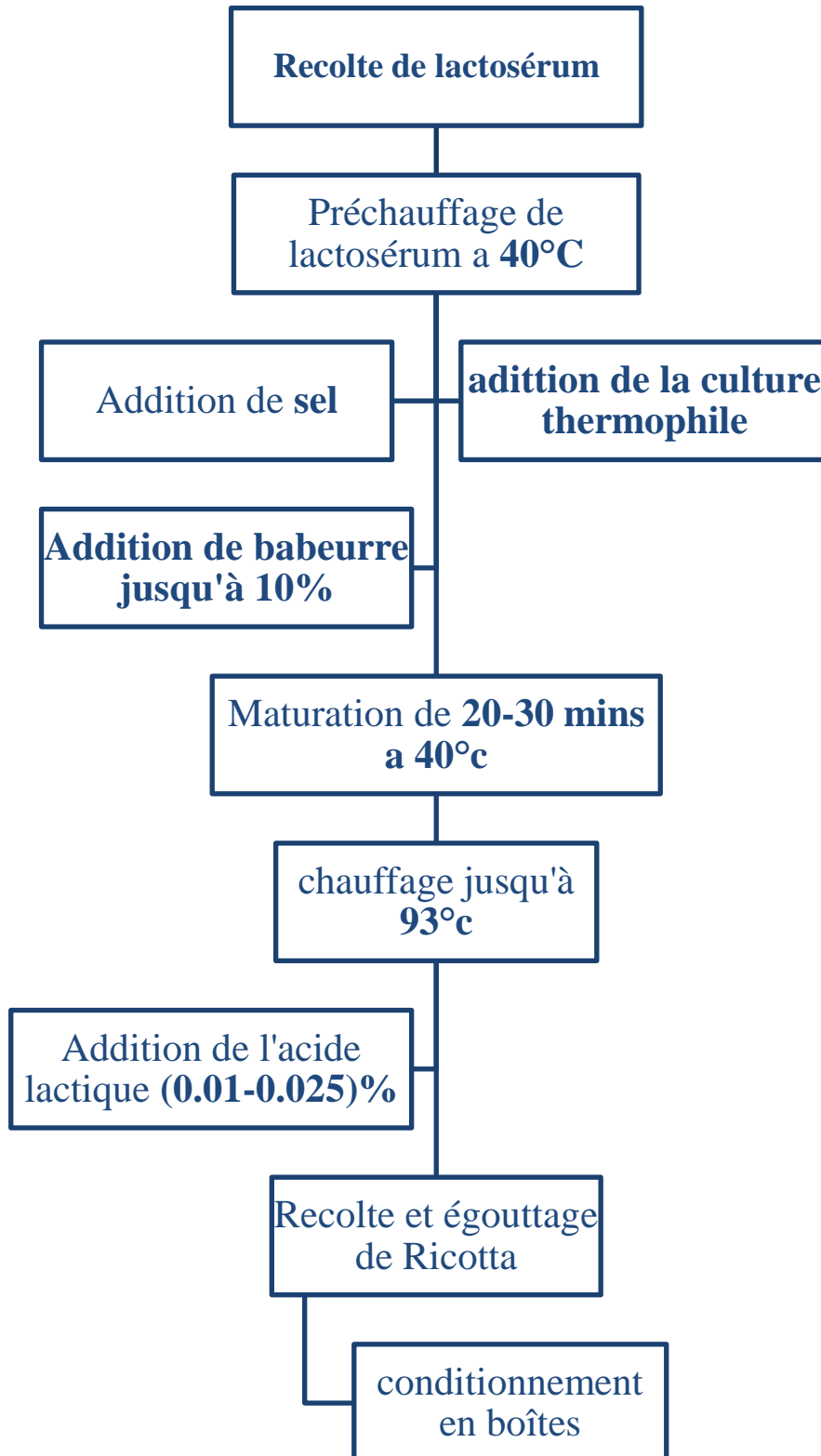


Figure 9 : Schéma de fabrication de ricotta (Originale)

II.3. Élaboration de fromage de babeurre (type pate pressé)

II.3.1. Processus de fabrication de fromage de babeurre

a. collection de babeurre

Après le barattage de la crème, le babeurre est évacué de la baratte figure et recueilli dans des récipients appropriés (**Figure 10**).



Figure 10 : Évacuation du babeurre (Photo originale)

b. Préchauffage etensemencement du babeurre

Le babeurre cru est transféré dans un récipient adapté, puis placé dans un bain-marie pour un chauffage progressif jusqu'à 35 °C, en veillant à bien contrôler la température pour ne pas dépasser cette valeur.

Une fois la température cible atteinte, nous ajoutons les cultures lactiques :

- des ferments thermophiles (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, etc.),
- et éventuellement une petite proportion de ferments mésophiles

Juste après il faut procéder à une agitation douce et continue pendant 10 à 20 minutes afin d'assurer une répartition homogène des ferments dans l'ensemble du babeurre.

Cette étape permet de préparer le milieu pour la maturation qui suivra, en assurant une implantation efficace de la flore lactique responsable de l'acidification

c. Maturation

Une homogénéisation douce du mélange est effectuée afin d'assurer une répartition uniforme des ferments dans toute la masse.

Après cette étape il faut laisser le lait maturer à une température de 20 à 30 °C, en maintenant des conditions d'hygiène strictes pour éviter toute contamination.

Cette phase de maturation dure environ 20 à 30 minutes, jusqu'à l'obtention d'une acidité de 23 °D et un pH de 6,2, indiquant un bon début d'acidification.

Une fois ce seuil atteint, le lait est prêt pour l'ensemencement en présure (ou l'étape de coagulation selon le procédé utilisé).

d. emprésurage et Coagulation

Lorsque le pH atteint 6,2 et que la température soit comprise entre 35 et 38 °C, nous procédons à l'ajout de la présure diluée. Après une agitation douce pendant 15 secondes, nous laissons le babeurre coaguler sans agitation pendant une durée inférieure à 30 minutes.

e. Travail de caillé

Lorsque le caillé est prêt, il est découpé en petits grains, de la taille de grains de blé ou de maïs. Nous procédons ensuite à un brassage de 5 minutes, ce qui aide à raffermir les grains et à favoriser l'évacuation du sérum.

Matériel et méthodes

Après brassage, nous laissons le caillé s'acidifier légèrement et descendre au fond de la cuve. Une fois cette phase terminée, le caillé est directement transféré dans des sacs d'égouttage, sans étape intermédiaire. Ces sacs permettent l'égouttage naturel du sérum, sous l'effet du poids, de gravité et du temps (**Figure 11**).

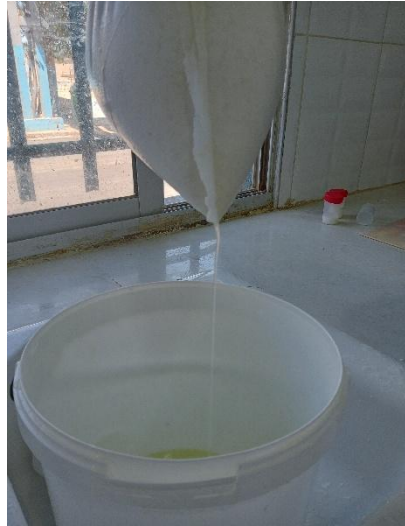


Figure 11 : Égouttage de caillé de fromage de babeurre dans les sacs (**Photo originale**)

Après l'égouttage nous transférons les sacs dans des moules ou nous effectuons un pressage manuelle pendant 30 mins.

f. Salage

Une fois les fromages de babeurre démoulés, nous procédons immédiatement à l'étape de salage en saumure pour assurer la conservation et renforcer la texture du produit.

La préparation de la solution de saumure s'effectue en dissolvant du sel (NaCl) dans de l'eau potable jusqu'à l'obtention d'une concentration de 18 à 20 % (soit 180 à 200 g/L). Le pH de la saumure peut être ajusté entre 4,8 et 5,2 pour limiter le développement microbien.

Après la préparation de la saumure il faut plonger entièrement les fromages dans cette saumure. Si nécessaire, il faut utiliser des grilles ou poids alimentaires pour maintenir les fromages immergés. Le temps d'immersion est de 24 heures à une température de 8 à 12 °C. Cette étape permet :

Matériel et méthodes

- ✓ une diffusion progressive du sel dans la masse du fromage,
- ✓ une amélioration de la texture,
- ✓ une protection microbiologique naturelle,

g. Ressuyage et sous vide

Après le ressuyage à 10°C pendant 24h et la formation d'une croûte superficielle sur le fromage de babeurre, nous plaçons les fromages dans des sachets plastiques alimentaires compatibles avec la création d'un vide dans les sachets. Cette mise sous vide est assurée à l'aide d'une machine de conditionnement sous vide (**Figure 12**), cette étape vise l'élimination de tout l'air afin de garantir une bonne conservation et d'éviter l'oxydation ou le développement microbien.



Figure 12 : La machine de conservation sous-vidage de fromage de babeurre (**Photo originale**)

Les fromages emballés sont ensuite entreposés à une température contrôlée de 10 °C pendant une durée de 24 heures.

Cette étape de stockage sous vide à froid permet :

- ✓ la stabilisation de la structure interne du fromage,
- ✓ la consolidation de la croûte superficielle,
- ✓ une réduction de l'humidité résiduelle,

h. Affinage

Après l'étape de ressuyage suivie du stockage à froid, les fromages de babeurre sont transférés en chambre d'affinage pour poursuivre leur maturation. L'affinage s'effectue à une température constante de 11°C pendant une durée de 10 jours.

Durant cette période, le fromage développe progressivement sa texture finale et ses caractéristiques sensorielles, sans formation de croûte apparente grâce aux conditions contrôlées.

Cette étape d'affinage permet :

- ✓ une stabilisation de l'humidité,
- ✓ un affermissement de la pâte,
- ✓ une évolution des arômes doux et lactés,

La **figure 13** résume les différentes étapes de fabrication de fromage de babeurre.

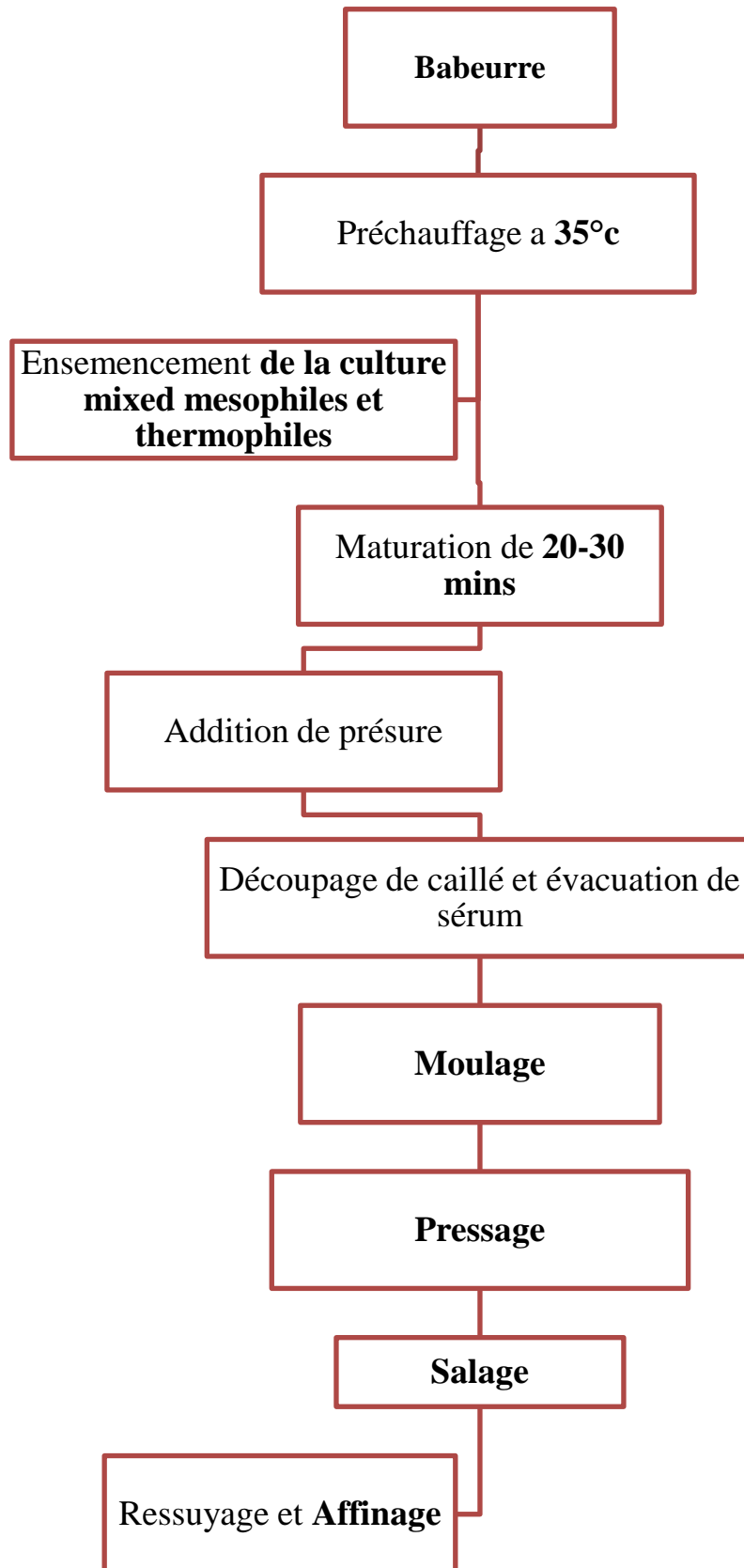


Figure 13 : Schéma de fabrication de fromage de babeurre (Originale).

II.4. Les analyses physiques/chimiques des produits finis

II.4.1. Matériel et consommables de laboratoire

- Balance analytique
- Dessiccateur humidimètre halogène pour la détermination rapide du taux d'humidité.
- pH-mètre portatif à électrodes combinée et solutions tampons, pH 4 et 7 pour le calibrage du pH-mètre
- Butyromètre spécial fromage (type Gerber)
- Pipette graduée (10 ml ou 1 ml selon les étapes)
- Acide sulfurique concentré (densité 1,815 à 1,820)
- alcool isoamylique, (1 ml)
- Bain-marie à 65–70 °C
- Centrifugeuse adaptée aux butyromètres Gerber
- Balance de précision ($\pm 0,01$ g)
- Cuillère ou spatule en inox ou plastique
- Bêcher ou tube pour homogénéiser l'échantillon

II.4.2. Modes opératoires

❖ Mesure du pH

a) Calibration du pH-mètre

- ✓ Rincer l'électrode avec de l'**eau distillée** pour éliminer tout résidu.
- ✓ Sécher délicatement l'électrode avec un **papier absorbant doux**
- ✓ Plonger l'électrode dans une **solution tampon pH 7**, attendre la **stabilisation** de la lecture, puis régler le pH-mètre à **7,00**
- ✓ Rincer à nouveau l'électrode, puis répéter avec la **solution tampon pH 4,00**.

b) Mesure du pH des échantillons

Les étapes de mesure de pH sont communes pour les deux fromage (Ricotta et fromage de babeurre) :

- ✓ Prélever un échantillon homogénéisé dans un bécher propre.
- ✓ Vérifier que la quantité est suffisante pour immerger complètement l'électrode
- ✓ Plonger l'électrode dans l'échantillon sous agitation douce.
- ✓ Attendre la stabilisation de la lecture, puis lire et enregistrer la valeur du pH.
- ✓ Rincer l'électrode à l'eau distillée, la sécher délicatement, puis passer au fromage suivant.

❖ **Détermination de l'EST (Extrait sec total)**

✓ Pour effectuer la mesure de l'extrait sec total il faut prélever un échantillon représentatif (environ 2 g) de ricotta ou de fromage de babeurre à l'aide d'une spatule propre et le peser précisément dans une capsule de pesée préalablement tarée, puis noter la masse exacte de la capsule avec l'échantillon.

✓ Après avoir pesé l'échantillon il faut placer la capsule contenant l'échantillon dans l'emplacement prévu du dessiccateur automatique (**Figure 14**). Il faut s'assurer que l'échantillon est bien réparti dans la capsule pour assurer une évaporation uniforme.



Figure 14 : Dessiccateur automatique (**Photo originale**)

✓ L'étape suivante est de démarrer le cycle de séchage en suivant les instructions du fabricant du dessiccateur automatique. Le dessiccateur utilise une lampe halogène pour chauffer l'échantillon et suivra la perte de poids due à l'évaporation de l'eau.

✓ Quand le dessiccateur aura effectué le séchage complet de l'échantillon (le cycle est terminé), il calculera automatiquement la teneur en extrait sec total de l'échantillon et il affichera directement le résultat final de la teneur en extrait sec total, exprimé en pourcentage.

Matériel et méthodes

❖ **Détermination de MG (matière grasse)**

✓ Pour la détermination de la matière grasse du fromage il faut préparer l'échantillon en râpant ou en broyant finement environ **3 à 5 g** de fromage de lactosérum (ricotta) ou de fromage de babeurre. Puis l'homogénéiser soigneusement afin d'obtenir une pâte uniforme.

✓ Après l'homogénéisation de l'échantillon il faut introduire 10 ml d'acide sulfurique dans un butyromètre propre, ajouter ensuite environ 3 g de l'échantillon de fromage à l'aide d'une spatule propre, en veillant à ne pas salir les parois supérieures. Puis ajouter 1 ml d'alcool isoamylique.

✓ L'étape suivante est de boucher le butyromètre et l'agiter doucement pour bien mélanger l'échantillon avec l'acide et l'alcool.

✓ Ensuite, placer le butyromètre dans un bain-marie à 65–70 °C pendant 5 minutes, afin de faciliter la dissolution de la matière grasse et une meilleure séparation lors de la centrifugation.

✓ Après chauffage, une centrifugation du butyromètre à 1200–1300 tours par minute pendant une durée de 5 minutes (**Figure 15**) .



Figure 15 : Centrifugeuse (Photo originale)

✓ À la fin de la centrifugation, il faut effectuer une lecture directe de la teneur en matières grasses (%) sur l'échelle du butyromètre. La couche supérieure correspond à la matière grasse séparée(**Figure 16**).



Figure 16 : Butyromètre a fin de la centrifugation (**Photo originale**)

II.5. Les analyses microbiologiques des produits finis (Fromage de lactosérum)

Conformément à l'arrêté interministériel du 2 Muharram 1438 (correspondant au 4 octobre 2016 (**JORA, 2016**) fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires, les germes ciblés pour les fromages issus de lactosérum et de babeurre sont les suivants : *Salmonella.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* à coagulase +, ainsi que *Listeria monocytogenes*. (**Tableau 4**) .

Tableau4 : La norme microbiologique pour les fromages (**JORAD, 2016**)

Fromages au lait cru	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10^4	10^5
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10^3	10^4
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Fromages à base de lait ayant subi un traitement thermique moins fort que la pasteurisation et fromages affinés à base de lait ou de lactosérum pasteurisés ou ayant subi un traitement thermique plus fort que la pasteurisation	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10^2	10^3
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10^2	10^3
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	

Cependant, seules les recherches de *Staphylocoques aureus*. et de *Enterobacteriaceas* dans le fromage de lactosérum ont pu être réalisées.

II.5.1. Matériel de laboratoire

- Autoclave.
- Étuves
- Balance de précision
- Verrerie : tubes, erlenmeyer, flacon de 500 mL, béchers, pipettes, et entonnoirs.
- Boîtes de Pétri,
- Bain-marie pour la régénération des milieux
- Milieux de culture et les réactifs de préparation de la gélose
- Autres matériels : micropipettes, des portoirs, des pinces métalliques, plaque chauffante
- Vortex pour l'homogénéisation les solutions.

➤ **Préparation des Milieux de culture :**

▪ **Milieu VRBG agar (Violet Red Bile Glucose Agar)**

Le milieu **VRBG** est un **milieu sélectif et différentiel** utilisé principalement pour le **dénombrement des entérobactéries** dans les produits alimentaires, les eaux et d'autres échantillons d'origine environnementale ou biologique.

Ce milieu permet l'**isolement des bacilles à Gram négatif** qui fermentent le glucose, notamment les membres de la famille des *Enterobacteriaceae*.

Composition et mode d'action :

- **Les sels biliaires et le cristal violet** inhibent la croissance des bactéries à Gram positif.
- **Le glucose** est le seul sucre fermentescible du milieu.

Matériel et méthodes

- **Le rouge neutre**, indicateur de pH, permet de visualiser la fermentation du glucose : l'acidification entraîne un changement de couleur.

- Les colonies fermentant le glucose acidifient le milieu, ce qui entraîne une coloration **rouge-rose** des colonies avec parfois un halo précipité autour.

- **Milieu CHAPMAN Agar**

La gélose **Chapman** est un **milieu sélectif et différentiel** destiné à l'**isolement et la différenciation des staphylocoques**, en particulier **Staphylococcus aureus**. Ce milieu est largement utilisé en microbiologie alimentaire, médicale et environnementale.

Composition et mode d'action :

- La forte concentration en chlorure de sodium (7,5 %) rend le milieu sélectif en inhibant la majorité des bactéries autres que les staphylocoques.

- Le mannitol, sucre fermentescible, permet la différenciation basée sur la fermentation.

- Le rouge de phénol est un indicateur de pH : il vire du rouge au jaune en cas d'acidification.

Lecture des résultats :

- Colonies jaunes entourées d'un halo jaune : **Staphylococcus aureus, qui fermente le mannitol → acidification → virage du pH.**

II.5.2. Méthode d'analyse:

➤ **Échantillonnage : ;**

Les produits (ricotta et fromages de babeurre) préparé le 17 mai 2025 au niveau du laboratoire de microbiologie de Giplait Saida a été analysé le 25 mai 2025. Pour cela, nous avons prélevé un échantillon dans un environnement stérile en présence d'une flamme. L'échantillon doit être prélevé en une seul geste et doit être d'environ 10 g mais pesé de manière précise.

Matériel et méthodes

➤ **Méthode de dilutions**

Après pesé de l'échantillon, 9 fois son poids a été ajoutée pour avoir la suspension mère. Des dilutions décimales dans une solution d'eau peptonée sont alors préparées en prenant à chaque fois, 1 mL d'une dilution a été ajouté à un tube contenant 9mL d'eau peptonée stérile pour préparer la dilution suivante. A chaque fois, le tube est homogénéisé au vortex.

➤ **Ensemencement et incubation**

L'ensemencement de *Staphylocoques aureus* et *Escherichia coli* est fait en profondeur par verser de 1 mL de produit dans chaque dilution de produit et 25 mL de milieux de culture à 50°C et agiter les boîtes de pétri en mouvement de huit.

Enterobacteriaceae : 37°C pendant 24h sur milieu VRBG gélose

Staphylocoques aureus: 37°C pendant 48h sur CHAPMAN

➤ **Dénombrement des colonies :**

L'évaluation est réalisée par observation visuelle, cela implique de compter le nombre de colonies présentes dans les boîtes correspondant à une dilution et répondant aux critères morphologiques de l'espèce concernée

Seules les boîtes contenant un nombre de colonies compris entre 15 et 150 sont prises en compte. Le nombre de colonies obtenu par boîte est utilisé pour déterminer la concentration initiale des micro-organismes en utilisant l'équation suivante :

$$N = \Sigma c / 1.1 d$$

Où :

c : nombre de colonies des boîtes de deux dilutions successives.

d: taux de dilution correspond à la première dilution retenu

II.6. Les analyses organoleptiques des produits finis

Dans le cadre de notre recherche sur l'évaluation sensorielle de nos produits, nous avons réalisé une analyse sensorielle de deux fromages (fromage de lactosérum ricotta et le fromage de babeurre).

L'objectif de cette étude était de recueillir des informations sur les caractéristiques sensorielles des produits, notamment la texture, le goût et l'odeur, ainsi que l'évaluation de la satisfaction des consommateurs.

II.6.1. Méthodologie

II.6.1.1 Préparation des échantillons

Nous avons préparé les échantillons du produit de manière à être représentatifs du produit fini.

II.6.1.2 Élaboration de la fiche d'évaluation sensorielle :

Nous avons élaboré une fiche d'évaluation sensorielle comprenant des questions relatives à la texture, au goût et à l'odeur du produit. La fiche d'évaluation a également inclus une section permettant aux participants de donner une note globale de satisfaction et de partager leurs commentaires personnels sur le produit.

II.6.1.3 Lieux des épreuves et Recrutement des participants :

Nous avons réalisé les analyses sensorielles à L'UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID-TLEMCEM Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre de l'univers dans le bureau de Pr TEFAINI, Cela nous a permis de recueillir les impressions des différents groupes de participants. Pour participer à l'évaluation sensorielle, nous avons recruté 20 universitaires (étudiants et enseignants).

Les participants ont été informés de la nature de l'étude et ont donné leur consentement pour y participer.

II.6.1.4 Procédure d'évaluation sensorielle :

Les participants ont dégusté les produits (fromage de lactosérum ricotta et fromage de babeurre) et ont rempli la fiche d'évaluation sensorielle (**figure 17**). Ils ont évalué la texture, le goût et l'odeur du produit en utilisant une échelle de notation de 0 à 10. Les participants ont également partagé leurs commentaires personnels sur le produit et ont exprimé leur niveau de satisfaction global. Les résultats obtenus ont été traités ultérieurement.



Figure 17 : Lieu d'évaluation sensoriel des produits finis (Photo originale)

Résultat et discussion

III. Résultats et discussion

III.1. Résultat des analyses physique chimique des matières premières (babeurre et lactosérum)

Les résultats d'analyse physique chimique des matières premières (babeurre et lactosérum) présentés au **tableau 5** montrent que tant le babeurre que le lactosérum contiennent encore des quantités intéressantes de nutriments, notamment en protéines, matières grasses et extrait sec. Ces éléments témoignent de la richesse résiduelle de ces coproduits issus de la fabrication du beurre et du fromage, respectivement.

Tableau 5 : Résultat des analyses physique chimique des matières premières (babeurre et lactosérum)

Analyse	Babeurre	lactosérum
Acidité Dornic (°D)	15	11
EST (%g/g)	7.5	6.08
TP (%g/g)	2.7	2.22
MG (%g/g)	1.03	0.17

L'acidité mesurée, modérée dans les deux cas, permet une bonne stabilité du produit et favorise certaines transformations, comme la fabrication de fromages frais. Les teneurs en extrait sec total (EST) et en protéines totales (TP) indiquent qu'une portion significative de la matière utile du lait reste présente dans ces liquides, ce qui les rend parfaitement exploitables pour des procédés de valorisation.

De plus, bien que souvent considérés comme des déchets ou des sous-produits, le babeurre et le lactosérum présentent une valeur nutritionnelle non négligeable. Leur transformation en produits laitiers secondaires comme les fromages frais, les boissons fermentées ou les poudres fonctionnelles permettrait de réduire les pertes, d'améliorer la rentabilité des ateliers laitiers, et de répondre à une demande croissante pour des produits durables et économiques.

En somme, ces analyses confirment que ces coproduits ne doivent pas être négligés, mais plutôt intégrés dans une logique de valorisation efficace et innovante au sein de l'industrie laitière.

III.2. Fromage de lactosérum (Ricotta)

III.2.1. Rendement fromagère

Le rendement fromager du fromage de ricotta obtenu a été de 1.5 %, ce qui correspond à la quantité de produit fini par rapport à la quantité initiale de lactosérum utilisée. Bien que ce rendement soit relativement faible, il est possible de l'améliorer en optimisant les conditions de fabrication. Par exemple, en contrôlant plus précisément la température de cuisson, la durée de chauffage, le pH lors de la coagulation, ainsi que la qualité et la concentration du lactosérum, on peut augmenter la quantité de protéines et de solides récupérés dans le fromage. De plus, l'ajustement des paramètres techniques tels que l'agitation, le temps de repos ou la méthode d'égouttage peut également contribuer à maximiser le rendement. Ainsi, en appliquant des conditions de fabrication plus strictes et adaptées, il est envisageable d'améliorer significativement le rendement fromager de la ricotta, tout en conservant ou en améliorant la qualité finale du produit.

III.2.2. Description visuel

Le fromage de ricotta que nous avons fabriqué est d'un blanc pur, très frais. Sa texture est douce et moelleuse, avec un léger grain qui lui donne un petit côté granuleux très agréable. Il est humide, mais pas trop, ce qui le rend facile à manipuler. La surface est lisse, parfois un peu irrégulière, ce qui montre son côté naturel et artisanal (**Figure 18**).



Figure 18 : Apparence du fromage de lactosérum (**Photo originale**)

III.2.3. Description sensorielle

Le ricotta que nous avons fabriqué présente une saveur douce et fraîche, légèrement lactée, avec une subtile note de douceur naturelle. On y perçoit une légère acidité qui équilibre parfaitement cette douceur, offrant un goût harmonieux et agréable. Le fromage ne présente aucune amertume ni arrière-goût désagréable, ce qui le rend très polyvalent pour différentes utilisations culinaires, qu'elles soient salées ou sucrées.

III.3. Fromage de babeurre

III.3.1. rendement fromagère

Le rendement fromager du fromage de babeurre a été de 10 %, ce qui montre que la valorisation a été efficace et prometteuse. Ce bon rendement confirme que le babeurre peut être utilisé de manière rentable pour produire un fromage de qualité

III.3.2. Description visuel

Le fromage de babeurre que nous avons fabriqué ressemble à un fromage à pâte pressée non cuite. Il présente une texture ferme mais souple, qui se découpe facilement sans s'effriter. Sa couleur est blanche à légèrement crème, avec une surface lisse et régulière. (**Figure 19**) .



Figure 19 : Apparence de fromage de babeurre obtenu (**Photo originale**)

III.3.3. Description sensorielle

Le fromage de babeurre a une saveur acidulée avec une légère note salée. En arrière-goût, nous retrouvons des nuances qui rappellent celles du fromage Edam, apportant une touche douce et légèrement fruitée

III.4.Résultat des analyses physique/chimique des produits finis

Les résultats des analyses physique/chimique des produits finis présentés au **tableau 6** montrent que la transformation du lactosérum en ricotta et du babeurre en fromage donne des produits intéressants, avec de bonnes caractéristiques nutritionnelles et sensorielles. Les analyses (matière grasse, extrait sec, pH) confirment que ces fromages sont de qualité et peuvent être bien acceptés par les consommateurs.

Tableau 6 : Résultat des analyses physique/chimique des produits finis

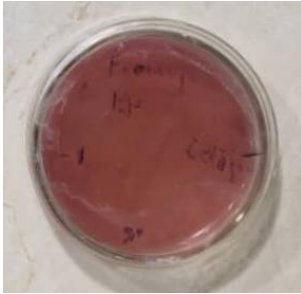
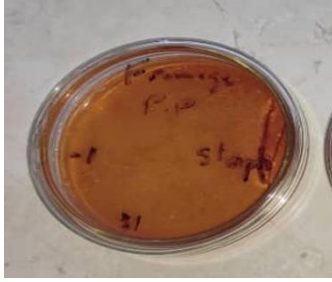
Analyse	Fromage de lactosérum (Ricotta)	Fromage de babeurre
MG (%g/g)	4	10
EST(%g/g)	29	43.61
PH	6.2	5.2

Ce type de fromage représente également une excellente matière première pour la fabrication de fromage fondu. Grâce à sa texture, sa richesse en extrait sec et son profil acide modéré, ces fromages s'intègrent facilement dans les formulations industrielles de produits fondus, tout en améliorant la valorisation des coproduits.

En somme, cette démarche permet non seulement de limiter les pertes dans la filière laitière, mais aussi de créer des produits à valeur ajoutée, en phase avec les attentes du marché. C'est une solution simple, économique et durable pour mieux exploiter les ressources disponibles.

III.5. Résultat des analyses microbiologique des produits finis (Fromage de lactosérum)

Les résultats des analyses microbiologiques du fromage de lactosérum ont montré l'absence totale de colonies sur la gélose VRBG, ce qui indique aucune présence d'entérobactéries, et aucune colonie sur la gélose Chapman, ce qui montre l'absence de *Staphylococcus aureus*.

<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Staphylocoques aureus</i>
Absence/g	Absence/g
	
Figure 20 : Résultat des analyses microbiologiques montrant de boîtes de Pétri sans aucune colonie	

Ces résultats sont très positifs sur le plan hygiénique et témoignent de la qualité sanitaire du produit fini. L'une des principales raisons de cette absence de flore pathogène ou indésirable est liée au traitement thermique appliqué lors de la fabrication de la ricotta. En effet, la ricotta est obtenue par chauffage du lactosérum à haute température (généralement entre 85 et 95 °C), ce qui permet de dénaturer les protéines tout en éliminant une grande partie de la charge microbienne présente.

Ce chauffage prolongé et contrôlé agit donc comme un étape de pasteurisation, réduisant fortement les risques microbiologiques. De plus, le pH légèrement acide du fromage contribue à limiter la prolifération de bactéries pathogènes après la fabrication.

En résumé, ces résultats confirment que les conditions de traitement thermique appliquées lors de la production de ricotta sont efficaces pour garantir la sécurité microbiologique du produit, ce qui est essentiel pour la consommation directe et la durée de conservation.

III.6. Résultat des analyses organoleptique

III.6.1. Fromage de babeurre

La majorité des participants à ce test ont donné une note supérieure à 7/10 pour la satisfaction générale, avec une moyenne de 7,95/10. Pour le goût personnel, les notes dépassent souvent 8/10, avec une moyenne de 8,16/10. Ces résultats montrent que le fromage de babeurre est globalement bien apprécié, ce qui confirme son bon potentiel en termes d'acceptation et de plaisir gustatif (**figure 21**).

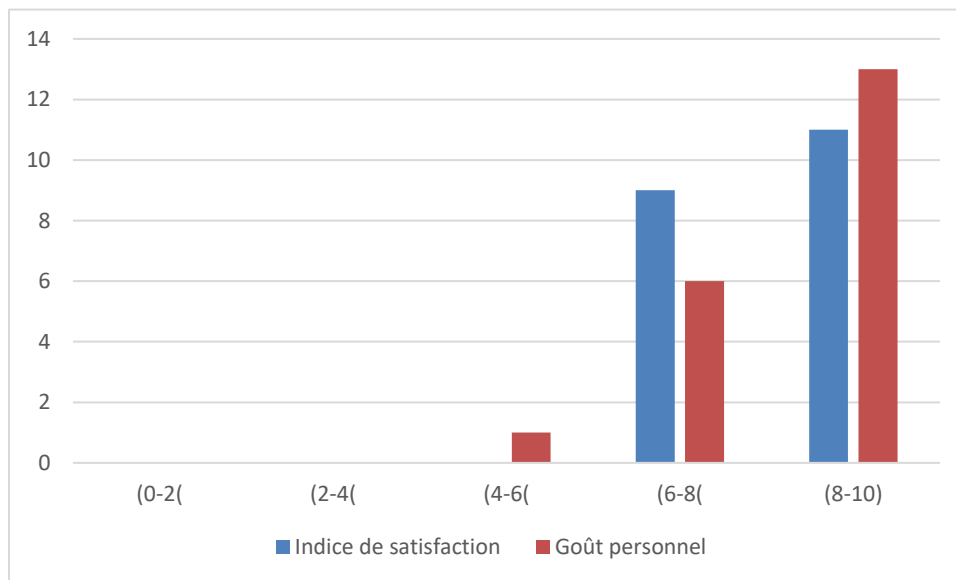


Figure 21 :Histogramme relative a indice de satisfaction et goût personnel obtenue dans les résultat des analyses organoleptique du fromage de babeurre

III.6.2. Fromage de lactosérum (Ricotta)

La majorité des participants ont attribué une note supérieure à 8/10 pour la satisfaction générale, avec une moyenne de 8,12/10. Concernant le goût personnel, les évaluations dépassent également les 8/10, avec une moyenne de 8,25/10. Ces résultats reflètent une appréciation globale positive du fromage de lactosérum Ricotta, confirmant son bon potentiel en matière d'acceptabilité et de plaisir sensoriel. (figure 22).

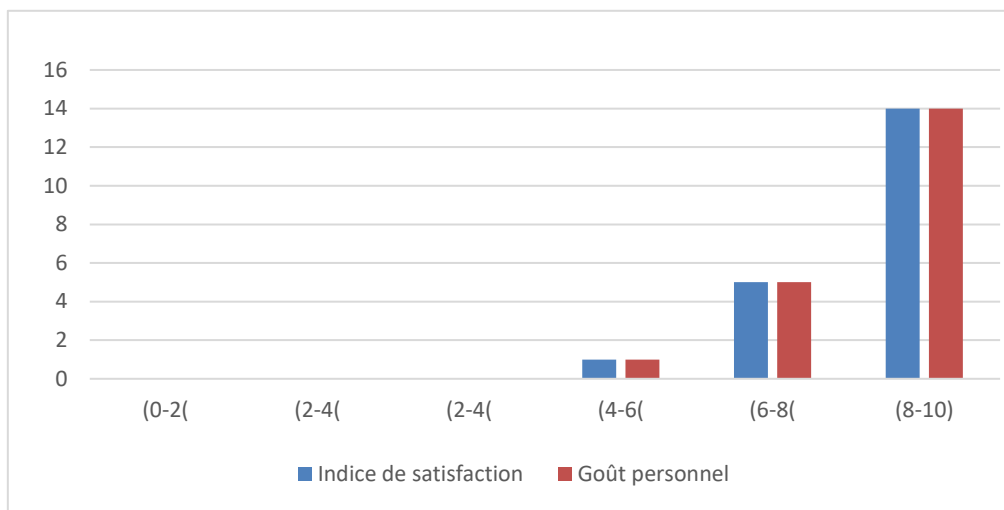


Figure 22 : Histogramme relative a indice de satisfaction et goût personnel obtenue dans les résultat des analyses organoleptique du fromage de lactosérum Ricotta

Discussion

L'un des défis de la technologie alimentaire consiste à trouver des applications pour l'utilisation des sous-produits. L'industrie laitière est une source importante de sous-produits. L'un des plus importants est le babeurre, qui possède de bonnes propriétés nutritionnelles et technologiques et qui intéresse les technologues alimentaires. Le babeurre est un sous-produit de la fabrication du beurre à partir de crème. Le babeurre contient 3,6 à 6,7 % de lactose, 2,4 à 3,5 % de protéines (caséine et protéines sériques), 0,5 à 1,5 % de lipides, 0,6 à 0,8 % de cendres et 0,1 à 0,2 % de lipides polaires, dont la concentration est environ cinq fois supérieure à celle du lait entier (Ali, 2019; Vanderghem et al., 2010). La teneur considérable en lipides polaires et en protéines libérées par la membrane des globules gras du lait, dont les effets bénéfiques sur la santé ont été prouvés, fait du babeurre un composant recherché dans les aliments fonctionnels (Vanderghem et al., 2010; Conway et al., 2013).

Les attributs sensoriels des produits laitiers sont l'un des principaux facteurs déterminants de leur acceptabilité par les consommateurs (Kolczak et Kupiec, 2004). Malgré des propriétés physico-chimiques et rhéologiques diversifiées, les fromages au babeurre ne présentaient pas de variations dans leurs caractéristiques sensorielles et les produits ne différaient pas de manière significative en termes de goût, d'odeur et de couleur (Skryplonek et al., 2019).

Dans le travail de Skryplonek et al., (2019), le goût et l'odeur de tous les fromages reçus ont été jugés très bons, purs, légèrement acides et aromatiques. La structure et la consistance étaient uniformes, compactes, à grain fin et légèrement friables. La couleur était blanche à légèrement crémeuse et uniforme. La haute qualité sensorielle des fromages préparé par ces auteurs contredit les recherches menées par (Bahrami et al., 2015), qui ont déclaré que l'ajout de babeurre au lait pendant la production de fromage à la crème entraîne une détérioration des propriétés sensorielles.

Le lactosérum est aussi un sous-produit de l'industrie laitière, contenant principalement du lactose, des protéines solubles, des minéraux et des matières grasses laitières, qui peuvent atteindre environ 50 % de la matière sèche du lait (Casper et al., 1998). La production de ricotta est considérée comme l'un des moyens les plus pratiques d'utiliser le lactosérum issu du processus de fabrication du fromage (Shukla et Brar, 1986).

Résultat et discussion

La ricotta est probablement le produit laitier le plus ancien et le plus connu obtenu à partir du lactosérum (**Pizzillo et al., 2005**), et elle est devenue très populaire aux États-Unis et au Canada au cours des dernières décennies. Dans la production de ricotta, le lactosérum constitue la matière première la plus importante, bien que du lait ou de la crème puissent être ajoutés. (**Farkye, 2004**)

Bien que la ricotta soit un fromage à base de lactosérum très répandu, la littérature sur ce produit est rare et obsolète, en particulier en ce qui concerne les facteurs qui influent sur la transformation et le rendement de la ricotta (**Salvatore et al., 2014**)

Au cours de la fabrication du ricotta, le lactosérum (dont le pH est normalement d'environ 6,50) sans acidification exogène est chauffé à une température finale de 78 à 80 °C sous agitation constante. La chaleur appliquée entraîne la coagulation des protéines du lactosérum, qui se caractérise par l'apparition de petits flocons à la surface, conséquence d'un processus de réactions multiples lié au dépliage et à l'agrégation des protéines. Après une période de repos de 10 minutes à une température comprise entre 78 et 80 °C, le coagulum formé est soigneusement retiré et placé dans des moules coniques perforés en plastique, où il s'égoutte pendant 8 à 24 heures dans une pièce fraîche (4 °C). Une fois l'égouttage terminé, le produit peut être conditionné et commercialisé (**Parris et al., 1993**)

Après la production de ricotta, le lactosérum résiduel contient encore environ 1 % de protéines (**Nudda et al., 2004**). Il a été démontré que des paramètres tels que la température de chauffage, la concentration en protéines, le pH, ainsi que le type et la concentration en sels, constituent des facteurs importants influençant l'agrégation des protéines de lactosérum induite par la chaleur (**Hollar et al., 1995; Mangino, 1984; Taylor et al., 1994**). Parmi les protéines de lactosérum, il a été démontré que l' α -LA présente une plus grande résistance à la dénaturation thermique que les autres fractions de protéines de lactosérum (**Singh et Havea, 2003**). Plus précisément, la résistance à la dénaturation diminue dans l'ordre suivant : α -LA, β -LG, BSA et Ig. Cependant, lorsqu'elle est présente dans une solution contenant d'autres protéines, le comportement d'agrégation est modifié. Il a été démontré, par exemple, que les interactions entre l' α -LA et la β -LG favorisent la dénaturation de l' α -LA (**Dalgleish et al., 1997**).

La force ionique du lactosérum est un paramètre important pour déterminer l'agrégation des protéines et, par conséquent, le processus de gélification. En particulier, la présence de

Résultat et discussion

cations divalents, tels que le calcium et le magnésium, est fondamentale pour favoriser l'agrégation en protégeant partiellement les charges négatives des protéines du lactosérum et en créant des ponts entre les molécules de protéines, ce qui réduit la répulsion électrostatique et favorise la formation de grands agrégats (**Salvatore et al., 2014**).

Dans le même contexte, la concentration en protéines semble être un paramètre important car **Streiff et al., 1979** ont utilisé du lactosérum condensé pour produire de la ricotta et ont obtenu des rendements élevés, mais les minéraux étaient également concentrés dans leur étude.

Dans un travail réalisé par **Pintado et al., (2001)** ces auteurs ont rapporté que la teneur en protéines et en matières grasses variait respectivement de 6,1 à 8,7 % et de 10,2 à 24,5 % (en poids) pour la ricotta fabriquée à partir de lactosérum de brebis selon une technique de fabrication traditionnelle. Dans leurs études, **Maubois et Kosikowski, (1978)** ont remarqué que la concentration des protéines du lait par UF améliorait leur précipitation par la chaleur. Les auteurs ont attribué cet effet à la proximité entre les protéines due à la fraction à haut volume.

CONCLUSION

CONCLUSION

Ce projet de fin d'études a montré que le lactosérum et le babeurre, souvent considérés comme des sous-produits peu valorisés, peuvent en réalité être transformés en délicieux produits laitiers, comme des fromages frais et les fromages affinés . En travaillant avec ces matières, nous avons découvert qu'il est possible de leur donner une seconde vie, en les intégrant dans des procédés simples et efficaces.

Sur le plan pratique, la fabrication de la ricotta et du fromage de babeurre s'est bien déroulée. Les rendements obtenus, notamment pour le fromage de babeurre, sont très encourageants. Même si la ricotta offre un rendement plus modeste, elle reste intéressante grâce à sa simplicité de fabrication et à ses qualités nutritionnelles, légères et fraîches. Les analyses ont confirmé que ces fromages présentent un bon équilibre en matières grasses, protéines et autres composants essentiels.

D'un point de vue sanitaire, les résultats sont rassurants, notamment pour la ricotta, qui ne contenait aucun germe pathogène. Cela témoigne de l'efficacité des étapes de fabrication, notamment le traitement thermique qui joue un rôle protecteur.

Enfin, le goût et la texture ont été appréciés par les dégustateurs, avec des notes de satisfaction élevées, dépassant largement les 7,5 sur 10. Ces retours montrent que ces produits ne sont pas seulement techniquement réussis, mais qu'ils ont aussi un vrai potentiel pour plaire aux consommateurs.

En résumé, ce projet ouvre une voie concrète pour valoriser autrement ces coproduits laitiers. Il prouve que, grâce à des procédés accessibles, on peut limiter le gaspillage et mieux utiliser les ressources, tout en proposant des fromages savoureux et de qualité. Une belle avancée pour une filière laitière plus durable et responsable.

*Références
bibliographiques*

Liste des Références

Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Rahman, U. ur, Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q., Pimentel, T. C., Scudino, H., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Almada, R. B., Vendramel, S. M. R., Silva, M. C. et Cruz, A. G. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361-372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>

Ali, A. H. (2019). Current knowledge of buttermilk: Composition, applications in the food industry, nutritional and beneficial health characteristics. *International Journal of Dairy Technology*, 72(2), 169-182. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12572>

Arevalo, A. T. (2017). Étude environnementale comparative des procédés de valorisation du lactosérum.

Asunis, F., De Gioannis, G., Dessì, P., Isipato, M., Lens, P. N. L., Muntoni, A., Poletti, A., Pomi, R., Rossi, A. et Spiga, D. (2020). The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation. *Journal of Environmental Management*, 276, 111240. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111240>

Bahrami, M., Ahmadi, D., Beigmohammadi, F. et Hosseini, F. (2015). Mixing sweet cream buttermilk with whole milk to produce cream cheese. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 54(2), 73-78.

Bhinder, G., Allaire, J. M., Garcia, C., Lau, J. T., Chan, J. M., Ryz, N. R., Bosman, E. S., Graef, F. A., Crowley, S. M., Celiberto, L. S., Berkmann, J. C., Dyer, R. A., Jacobson, K., Surette, M. G., Innis, S. M. et Vallance, B. A. (2017). Milk Fat Globule Membrane Supplementation in Formula Modulates the Neonatal Gut Microbiome and Normalizes Intestinal Development. *Scientific Reports*, 7(1), 45274. <https://doi.org/10.1038/srep45274>

Casper, J. L., Wendorff, W. L. et Thomas, D. L. (1998). Seasonal changes in protein composition of whey from commercial manufacture of caprine and ovine specialty cheeses. *Journal of Dairy Science*, 81(12), 3117-3122.

Chang, I., Im, J., Chung, M.-K. et Cho, G.-C. (2018). Bovine casein as a new soil strengthening binder from dairy wastes. *Construction and Building Materials*, 160, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.009>

Chatzipaschali, A. A. et Stamatis, A. G. (2012). Biotechnological Utilization with a Focus on Anaerobic Treatment of Cheese Whey: Current Status and Prospects. *Energies*, 5(9), 3492-3525. <https://doi.org/10.3390/en5093492>

Conway, V., Gauthier, S. F. et Pouliot, Y. (2013). Antioxidant Activities of Buttermilk Proteins, Whey Proteins, and Their Enzymatic Hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(2), 364-372. <https://doi.org/10.1021/jf304309g>

Dalgleish, D. G., Senaratne, V. et Francois, S. (1997). Interactions between α -Lactalbumin and β -Lactoglobulin in the Early Stages of Heat Denaturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(9), 3459-3464. <https://doi.org/10.1021/jf970113a>

Farkye, N. Y. (2004). Acid-and acid/rennet-curd cheeses part C: Acid-heat coagulated cheeses. Dans *Cheese: Chemistry, physics and microbiology* (vol. 2, p. 343-348). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874558X04800514>

Références bibliographiques

- Guimarães, P. M. R., Teixeira, J. A. et Domingues, L.** (2010). Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. *Biotechnology Advances*, 28(3), 375-384. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.02.002>
- H. Tunick, M.** (2015). Contents: Lipid Technology 4/2015. *Lipid Technology*, 27(4), 73-73. <https://doi.org/10.1002/lite.201570040>
- Hollar, C. M., Parris, N., Hsieh, A. et Cockley, K. D.** (1995). Factors affecting the denaturation and aggregation of whey proteins in heated whey protein concentrate mixtures. *Journal of Dairy Science*, 78(2), 260-267.
- Iung, J.** (2024). Nouvelle approche de fractionnement des composés protéiques du babeurre à l'aide d'hydroxyapatite à des fins de valorisation.
- Kolczak, T. et Kupiec, B. E.** (2004). *Sensory analysis in the development of new food products. Przemysł Spożywczy (Food Industry) _ 1* 32–37.
- Krebs, L., Bérubé, A., Iung, J., Marciniak, A., Turgeon, S. L. et Brisson, G.** (2021). Impact of Ultra-High-Pressure Homogenization of Buttermilk for the Production of Yogurt. *Foods*, 10(8), 1757. <https://doi.org/10.3390/foods10081757>
- Lisak Jakopović, K., Božanić, R. et Barukčić, I.** (2019). Valorisation of Whey and Buttermilk for Production of Functional Beverages: An Overview of Current Possibilities. *Food Technology and Biotechnology*, 57(4), 448-460. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.04.19.6460>
- Mancuso, I., Cardamone, C., Fiorenza, G., Macaluso, G., Arcuri, L., Miraglia, V. et Scatassa, M. L.** (2014). Sensory and microbiological evaluation of traditional ovine ricotta cheese in modified atmosphere packaging. *Italian Journal of Food Safety*, 3(2). <https://doi.org/10.4081/ijfs.2014.1725>
- Mangino, M. E.** (1984). Physicochemical aspects of whey protein functionality. *Journal of dairy science*, 67(11), 2711-2722.
- Mangione, G., Caccamo, M., Natalello, A. et Licitra, G.** (2023). Graduate Student Literature Review: History, technologies of production, and characteristics of ricotta cheese. *Journal of Dairy Science*, 106(6), 3807-3826. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22460>
- Maubois, J.-L. et Kosikowski, F. V.** (1978). Making Ricotta cheese by ultrafiltration. *Journal of Dairy Science*, 61(7), 881-884.
- Mucchetti, G. et Neviani, E.** (2006). Microbiologia e tecnologia lattiero-casearia. Tecniche nuove.
- Mucchetti, G., Pugliese, A. et Paciulli, M.** (2017). Characteristics of Some Important Italian Cheeses: Parmigiano Reggiano, Grana Padano, Mozzarella, Mascarpone and Ricotta. Dans *Mediterranean Foods*. CRC Press.
- Nie, C., He, T., Zhang, W., Zhang, G. et Ma, X.** (2018). Branched Chain Amino Acids: Beyond Nutrition Metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(4), 954. <https://doi.org/10.3390/ijms19040954>
- Nobile, D., Conte, A., ncoronato, A. L. et Panza, O.** (2009). Modified atmosphere packaging to improve the microbial stability of Ricotta. *Afr. J. Microbiol. Res.*

Références bibliographiques

- Nudda, A., Battacone, G., Bencini, R. et Pulina, G.** (2004). Nutrition and milk quality. Dans G. Pulina et R. Bencini (dir.), *Dairy sheep nutrition* (1^{re} éd., p. 129-149). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851996813.0129>
- Nzekoue, F. K., Alesi, A., Vittori, S., Sagratini, G. et Caprioli, G.** (2021). Development of functional whey cheese enriched in vitamin D₃: nutritional composition, fortification, analysis, and stability study during cheese processing and storage. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 72(6), 746-756. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1857711>
- Parris, Nicholas., Anema, S. G., Singh, Harjinder. et Creamer, L. K.** (1993). Aggregation of whey proteins in heated sweet whey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(3), 460-464. <https://doi.org/10.1021/jf00027a021>
- Paskaš, S., Miocinovic, J., Savic, M., Ješić, G., Rašeta, M. et Becskei, Z.** (2019). Comparison of the Chemical Composition of Whey Cheeses: Urda And Ricotta. *Macedonian Veterinary Review*, 42. <https://doi.org/10.2478/macvetrev-2019-0020>
- Pintado, M. E., Macedo, A. C. et Malcata, F. X.** (2001). Review: Technology, Chemistry and Microbiology of Whey Cheeses. *Food Science and Technology International*, 7(2), 105-116. <https://doi.org/10.1177/108201320100700202>
- Pizzillo, M., Claps, S., Cifuni, G. F., Fedele, V. et Rubino, R.** (2005). Effect of goat breed on the sensory, chemical and nutritional characteristics of ricotta cheese. *Livestock Production Science*, 94(1-2), 33-40.
- Salvatore, E., Pes, M., Falchi, G., Pagnozzi, D., Furesi, S., Fiori, M., Roggio, T., Addis, M. F. et Pirisi, A.** (2014). Effect of whey concentration on protein recovery in fresh ovine ricotta cheese. *Journal of dairy science*, 97(8), 4686-4694.
- Sar, T., Harirchi, S., Ramezani, M., Bulkan, G., Akbas, M. Y., Pandey, A. et Taherzadeh, M. J.** (2022). Potential utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: A critical review. *Science of The Total Environment*, 810, 152253. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152253>
- Scatassa, M. L., Mancuso, I., Sciortino, S., Macaluso, G., Palmeri, M., Arcuri, L., Todaro, M. et Cardamone, C.** (2018). Retrospective study on the hygienic quality of fresh ricotta cheeses produced in Sicily, Italy. *Italian Journal of Food Safety*, 7(1). <https://doi.org/10.4081/ijfs.2018.6911>
- Shukla, F. C. et Brar, M. K.** (1986). Manufacture and significance of Ricotta cheese. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19870423247>
- Singh, H. et Havea, P.** (2003). Thermal Denaturation, Aggregation and Gelation of Whey Proteins. Dans P. F. Fox et P. L. H. McSweeney (dir.), *Advanced Dairy Chemistry—1 Proteins* (p. 1261-1287). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3_34
- Skryplonek, K., Dmytrów, I. et Mituniewicz-Malek, A.** (2019). The use of buttermilk as a raw material for cheese production. *International Journal of Dairy Technology*, 72(4), 610-616. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12614>
- Sodini, I., Morin, P., Olabi, A. et Jiménez-Flores, R.** (2006). Compositional and Functional Properties of Buttermilk: A Comparison Between Sweet, Sour, and Whey Buttermilk1. *Journal of Dairy Science*, 89(2), 525-536. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72115-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72115-4)

Références bibliographiques

Streiff, P. J., Nilson, K. M., Duthie, A. H. et Atherton, H. V. (1979). Whey ricotta cheese manufactured from fluid and condensed whey. *Journal of Food Protection*, 42(7), 552-554.

Szkolnicka, K., Dmytrów, I. et Mituniewicz-Malek, A. (2020). Buttermilk ice cream—New method for buttermilk utilization. *Food Science & Nutrition*, 8(3), 1461-1470. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1429>

Taylor, S. M., Gladden, L. F. et Fryer, P. J. (1994). Changes in the gelation mechanism of whey protein concentrate with pH and temperature. *Journal of dairy research*, 61(1), 71-81.

Toppino, P., Campagnol, L., Carminati, D., Mucchetti, G., Povo, M., Benedetti, S. et Riva, M. (2004). SHELF-LIFE STUDY OF PACKED INDUSTRIAL RICOTTA CHEESE. *Italian Journal of Food Science*, 15, 252-266.

Vanderghem, C., Bodson, P., Danthine, S., Paquot, M., Deroanne, C. et Blecker, C. (2010). Milk fat globule membrane and buttermilks: from composition to valorization. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*

Walstra, P., Wouters, J. T. M. et Geurts, T. J. (2006). Dairy Science and Technology, Second Edition.

Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D. et Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33(6, Part 1), 756-774. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002>

في ظل تزايد أهمية الاستدامة وتقليل نفايات الصناعات الغذائية، يتناول هذا البحث موضوع تثمين منتجين فرعيين من صناعة الألبان: مصال الحليب ومخيض اللبن. يهدف البحث إلى إثبات إمكانية تحويلهما إلى أنواع من الجبن الصالح للاستهلاك، مما يساهم في تقابل الهدر الغذائي مع تحقيق قيمة مضافة. تم تصنيع نوعين من الجبن: الريكوتا من مصال الحليب عبر التسخين والحموضة، وجبن مضغوط غير مطبوخ من مخيض اللبن المتخمّر أظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية نسبة عالية من البروتينات والدهون والمستخلص الجاف، مما يؤكد القيمة الغذائية لهذه المنتجات الفرعية. كما أثبتت التحاليل الميكروبيولوجية خلو المنتجات من الجراثيم الممرضة، مما يضمن سلامتها الصحية. وبيّنت اختبارات التذوق بمشاركة عشرين شخصًا تقييمًا مرتفعًا للمنتجين، حيث تجاوز متوسط الرضا العام والطعم 8/10. رغم أن مردود الجبن كان منخفضًا في حالة الريكوتا (1.5%) مقارنة بجبن مخيض اللبن (10%)، إلا أن النتائج واعدة للتوسع في الإنتاج على نطاق أوسع. يثبت هذا العمل إمكانية إعادة استخدام فعالة لمخلفات صناعة الألبان عبر تقنيات بسيطة، اقتصادية، وصديقة للبيئة، مع إمكانية دمجها في وحدات تصنيع الألبان لمواجهة تحديات الاستدامة، الابتكار الغذائي، والربحية.

الكلمات المفتاحية: مصال الحليب، مخيض اللبن، الجبن، التثمين، التحليل الحسي.

Résumé

Dans un contexte où la durabilité et la réduction des déchets agroalimentaires deviennent essentielles, ce mémoire s'intéresse à la valorisation de deux sous-produits de l'industrie laitière : le lactosérum et le babeurre. L'objectif principal est de démontrer qu'ils peuvent être transformés en fromages consommables, contribuant ainsi à limiter le gaspillage tout en créant de la valeur ajoutée. Deux types de fromages ont été élaborés : une ricotta à base de lactosérum, obtenue par chauffage et acidification, et un fromage à pâte pressée non cuite, issu du babeurre fermenté.

Des analyses physico-chimiques ont révélé des teneurs intéressantes en protéines, matières grasses et extrait sec, confirmant la richesse nutritionnelle de ces coproduits. Les résultats microbiologiques ont montré l'absence de germes pathogènes, attestant de la qualité sanitaire des produits finis. L'analyse sensorielle, menée auprès de vingt participants, a mis en évidence une forte appréciation des deux fromages, avec des moyennes supérieures à 8/10 pour la satisfaction globale et le goût.

Le rendement fromager, bien que plus faible pour la ricotta (1,5 %) que pour le fromage de babeurre (10 %), reste prometteur pour une valorisation à plus grande échelle.

Ce travail démontre ainsi qu'une réutilisation efficace des sous-produits laitiers est possible, à travers des procédés simples, économiques et respectueux de l'environnement. Ces approches pourraient être intégrées dans les unités de transformation laitière pour répondre aux enjeux actuels de durabilité, d'innovation alimentaire et de rentabilité.

Mots-clés : Lactosérum, babeurre, fromage, valorisation, analyse sensorielle.

Abstract

In a context where sustainability and reduction of agri-food waste are becoming crucial, this thesis focuses on the valorization of two dairy industry by-products: whey and buttermilk. The main objective is to demonstrate that they can be transformed into consumable cheeses, thus contributing to waste reduction while creating added value. Two types of cheeses were developed: ricotta made from whey, obtained through heating and acidification, and a pressed, uncooked cheese derived from fermented buttermilk.

Physicochemical analyses revealed significant levels of proteins, fats, and dry extract, confirming the nutritional richness of these by-products. Microbiological results indicated the absence of pathogenic microorganisms, ensuring the sanitary quality of the final products. A sensory analysis involving twenty participants showed strong appreciation for both cheeses, with average scores exceeding 8/10 for overall satisfaction and taste.

Although cheese yield was lower for ricotta (1.5%) compared to buttermilk cheese (10%), the results remain promising for large-scale valorization.

This study demonstrates that effective reuse of dairy by-products is possible through simple, economical, and environmentally friendly processes. These approaches could be integrated into dairy processing units to meet current challenges related to sustainability, food innovation, and profitability.

Keywords : Whey, buttermilk, cheese, valorization, sensory analysis.