



Département de Technologie chimique industrielle

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Master professionnel en :

Génie de la formulation

Thème :

Préparation d'une nouvelle formulation d'un fromage à la crème enrichi en protéines : Analyse de la composition et l'impact du ferment lactique mixte sur la texture et le goût

Réalisé par :

SALMI Nadjia

Encadré par :

- M^{me} MOULAHCENE Lamia
- M^{me} BENHABILES Mounia

MCA / Institut de la Technologie, Université de
BOUIRA
Responsable, Service Recherche et développement /
Usine Falait SPA, ROUIBA

Soutenu devant le jury :

- Examineur : M^{me} MERRAKECHI
- Président de jury : M^{me} DAIRI

Remerciements

Je remercie tout d'abord **Dieu** tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

A mes très chers **PARENTS**, à qui je dois ce que je suis.

Je leur exprime ma profonde gratitude pour les sacrifices consentis pour mon éducation, leur soutien tout au long de mon parcours académique, la bienveillance avec laquelle ils m'ont toujours entourée. Votre aide et vos encouragements ont été essentiels à la réalisation de ce travail.

Mon frère et ma sœur que j'ai de plus beaux dans ce monde.

J'adresse ainsi ma profonde reconnaissance à mon encadrant Madame **MOULAHCENE Lamia**, qui a été mon principal interlocuteur tout au long de la réalisation de ce mémoire et je la remercie surtout pour sa disponibilité, ses orientations et pour son écoute.

Je tiens à remercier infiniment Madame **BENHABILES Mounia**, responsable du service recherche et développement de m'avoir fait l'honneur d'encadrer ce travail avec qui je me suis sentie encouragée et très à l'aise. Votre disponibilité, vos conseils avisés et votre assistance précieuse ont été essentiels à la réussite de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur **SIDALI Sekhri** assistant du responsable de la recherche et développement de m'avoir offert tout le matériel nécessaire et d'assurer un suivi constant. Votre engagement et votre professionnalisme ont grandement contribué à l'enrichissement de mon expérience et à l'aboutissement de ce travail.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à Monsieur **OUADAHI Khaled**, directeur maintenance chez Falait SPA pour m'avoir fait connaître l'usine. Grâce à votre recommandation, j'ai eu l'opportunité de réaliser mon stage dans un environnement stimulant et enrichissant.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Merci



Résumé

Cette étude vise à élaborer un fromage à la crème en utilisant une formulation à base d'un lait complet et écrémé en poudres. La fermentation est assurée par un ferment lactique mixte mésophile/thermophile pour atteindre le goût et la texture recherchés. Les analyses physico-chimiques, compositionnelles et sensorielles du fromage sont effectuées, mettant en avant l'importance du choix de la composition et la qualité, notamment en protéines et en matière grasses.

Les résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants, soulignant le succès de l'approche de formulation innovante pour un fromage à la crème.

Abstract

The aim of this study is to develop a soft cream cheese with the powder of whole milk and skim milk in the formulation. The fermentation is attained using a mixed mesophilic/thermophilic lactic ferment to achieve the desired taste and texture. Physicochemical, compositional and sensory analyses of the cheese are accomplished, highlighting that choosing the right formulation was important and assessing its quality, particularly in terms of fat and protein.

The results obtained are highly satisfying, underlying the success of the innovative formulation approach for a cream cheese.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو إنتاج جبن بالكريمة طري باستخدام مسحوق الحليب كامل الدسم ومسحوق الحليب منزوع الدسم في التركيبة. تم إجراء التخمير باستخدام خليط من التخمير اللاكتيكي لتحقيق المذاق والقوام المرغوب. تم إجراء تحليلات فيزيائية كيميائية، تركيبية وحسية للجبن مع التركيز على أهمية اختيار التركيبة وتقييم جودتها، خاصةً من حيث الدهون والبروتين.

والنتائج التي تم الحصول عليها مرضية تمامًا، مما يؤكد نجاح نهج التركيب المبتكر للجبن الكريمي.

Remerciements	
Résumé	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des symboles et abréviations	
Introduction générale	1

Partie théorique

Chapitre I. Présentation de l'entreprise

I. Présentation de l'entreprise Falait	3
I.1. Aperçu de l'entreprise	3
I.1.1. Marques	4
I.2. Localisation	4
I.3. Réseau de distribution	4
I.4. Objectifs	5
I.5. Qualité et conformité	5
I.6. Hygiène et sécurité	5
I.6.1. Les bonnes pratiques de l'hygiène	5
I.6.2. L'information et la formation	6

Chapitre II. Généralité sur le fromage

II. Généralités sur le fromage	7
II.1. Historique	7
II.2. Définition	7
II.3. Différents types de fromages	7
II.3.1. Fromage de type lactique	8
II.3.2. Fromage de type présure	8
II.3.3. Fromage de type mixte	8
II.4. Matière première de l'industrie fromagère	8
II.4.1. Lait	8
II.4.1.1. Composition du lait	9
II.4.1.1.1. Eau	10
II.4.1.1.2. Matière grasse	11
II.4.1.1.3. Protéines	13
II.4.1.1.4. Sucre de lait	16
II.4.1.1.5. Sels du lait	17
II.4.1.1.6. Vitamines	18
II.4.2. Présure et coagulants	19
II.4.2.1. Type de présure et coagulants	20
II.4.3. Sel	21
II.4.4. Graisse ou huile	21
II.4.5. Ferments lactiques	21
II.4.6. Adjuvants	22
II.5. Principales étapes du procédé de fabrication	22
II.5.1. Préparation du lait	23
II.5.1.1. Standardisation	23
II.5.1.2. Traitement thermique du lait	23
II.5.2. Coagulation	24
II.5.2.1. Coagulation par voie enzymatique	24
II.5.2.2. Coagulation par voie acide (coagulation lactique)	24

II.5.3. Processus du post-coagulation	25
II.5.3.1. Découpe	25
II.5.3.2. Cuisson	25
II.5.3.3. Cheddarisation	26
II.5.3.4. Lavage du caillé	26
II.5.4. Égouttage	26
II.5.5. Salage	28
II.5.6. Pressage	28
II.5.7. Affinage	28
II.5.8. Emballage	29
II.6. Principaux problèmes en fabrication fromagère	29
II.7. Aspects nutritionnels du fromage	29
II.8. Méthodes analytiques du fromage	31

Chapitre III. Fromage à la crème

III. Fromage à la crème	32
III.1. Définition	32
III.2. Différentes sortes de fromage crème	32
III.3. Processus de fabrication	33
III.4. Constituants	35
III.4.1. Lait	35
III.4.2. Crème	35
III.4.3. Présure (culture)	36
III.4.4. Sels de fonte	36
III.4.5. Autres ingrédients	36
III.5. Qualités et défauts	37
III.6. Évaluation sensorielle du fromage à la crème	37

Partie expérimentale

Chapitre IV. Matériels et méthodes

IV.1. Objectif de l'étude	39
IV.2. Echantillonnage	39
IV.3. Formulation	39
IV.3.1. Constituants	40
IV.4. Etapes de la préparation	47
IV.4.1. Appareillage et matériels	48
IV.4.2. Mode opératoire	49
IV.5. Analyses physico-chimiques	51
IV.5.1. Analyse de l'eau utilisée dans la formulation	51
IV.5.2. Analyse du pH	56
IV.5.3. Analyse de l'extrait sec	56
IV.5.4. Humidité	57
IV.5.5. Analyse de la matière grasse	57
IV.6. Analyses organoleptiques	59
IV.6.1. Analyses de texture	59
IV.6.1.1. Propriétés rhéologique	60
IV.6.1.2. Propriétés mécaniques	60
IV.6.2. Aspect	61
IV.6.3. Evaluation	62

Chapitre V. Résultats et discussions

V.1. Choix de la formulation	64
V.1.1. Constituants	64
V.1.1.1. Poudre de lait 26% et 0%	64
V.1.1.2. Crème 35%	66
V.1.1.3. Poudre de protéine 85%	66
V.1.1.4. Ferment lactique mixte mésophile/thermophile	67
V.1.2. Conformité des ingrédients selon les fiches techniques	68
V.2. Résultats analyses physico-chimiques de l'eau de fabrication	69
V.3. Résultats analyses physico-chimiques du fromage à la crème fabriqué	70
V.3.1. Température dans les différentes phases de fabrication	70
V.3.1. Résultats du pH	71
V.3.2. Résultats de l'extrait sec (ES)	72
V.3.2. Résultats de l'humidité	73
V.3.2. Résultats de la matière grasse	74
V.4. Résultats d'analyses compositionnelle du fromage à la crème	75
V.4.1. Rendement de la fabrication du fromage à la crème	75
V.4.2. Taux de protéines dans le fromage à la crème	76
V.4.3. Quantités de sel et lactose dans le fromage à la crème	77
V.5. Résultats analyses organoleptiques du fromage à la crème	78
V.5.1. Résultat de l'inspection visuelle	78
V.5.1.1. Aspects extérieurs	78
V.5.1.2. Aspects intérieurs	78
V.5.2. Evaluation de la texture	78
V.5.3. Evaluation olfactive	78
V.5.4. Evaluation gustative	78
Conclusion générale	81
Références	83

Liste des figures

Figure I.1. Logo de l'entreprise d'accueil FALAIT SPA	3
Figure I.2. Produits FALAIT	4
Figure I.3. Localisation de l'usine FALAIT sur MAPS	4
Figure I.4. Etapes de la démarche de prévention	6
Figure II.1. Différents types de fromages	7
Figure II.2. Apparition de lait impur sur microscope	9
Figure II.3. Structure polaire de l'eau	11
Figure II.4. Structure d'un globule de matière grasse	11
Figure II.5. Micelle de caséine	14
Figure II.6. Coagulation acide du lait et formation du réseau	24
Figure II.7. Découpe du caillé	25
Figure II.8. Étamine de fromage	27
Figure III.1. Étapes de transformation pour la fabrication du fromage à la crème	34
Figure IV.1. Forme d'échantillon à analyser (TPS)	39
Figure IV.2. Composition de la crème 35% MG utilisée	44
Figure IV.3. Coagulation acide	45
Figure IV.4. PDL 0% utilisée	47
Figure IV.5. MPC 85% utilisée	47
Figure IV.6. Ferment lactique mixte CHR HENSEN utilisé	47
Figure IV.7. Crème liquide 35% MG utilisé	47
Figure IV.8. Schéma des processus impliqués dans le fromage à la crème fabriqué	48
Figure IV.9. Thermomix, tissu filtrant et pH-mètre	49
Figure IV.10. Mode opératoire de la fabrication	51
Figure IV.11. Schéma des procédures et matériels de l'analyse d'eau de forage	55
Figure IV.12. Contrôle du pH du fromage à la crème fabriqué	55
Figure IV.13. Dessiccateur et creuset	56
Figure IV.14. Analyse extrait sec	57
Figure IV.15. Bain marie	58
Figure IV.16. Centrifugeuse pour butyromètre	58
Figure IV.17. Un butyromètre	58
Figure IV.18. Méthode Gerber de calcul de la matière grasse	59
Figure IV.19. Texture et tartinabilité du fromage à la crème fabriqué	60
Figure IV.20. Aspect du fromage à la crème fabriqué	62
Figure IV.21. Évaluations organoleptiques et caractéristiques du fromage	63
Figure V.1. Comparaison entre les valeurs nutritionnelles de la PDL et le lait cru	65
Figure V.2. Comparaison de taux de protéine dans le fromage à la crème avant/après L'ajout de MPC	67
Figure V.3. Croissance du ferment lactique mixte utilisé durant le processus de chauffage et fermentation	68
Figure V.4. Températures contrôlées durant tout les phases de fabrication du fromage à la crème	71
Figure V.5. Variation du pH du fromage à la crème au cours de la fabrication	72
Figure V.6. Résultat du fromage à la crème fabriqué	80

Liste des tableaux

Tableau II.1. Composition moyenne de différents types de fromages	8
Tableau II.2. Composition moyenne du lait entier	10
Tableau II.3. Composition lipidique du lait (g/100g)	12
Tableau II.4. Principaux indices et constantes de la matière grasse du lait	13
Tableau II.5. Concentration et pourcentage des protéines du lait	16
Tableau II.6. Teneurs moyennes en minéraux et oligo-éléments du lait de vache	18
Tableau II.7. Teneurs moyennes des principales vitamines du lait	19
Tableau II.8. Caractéristiques d'un caillé lactique et d'un caillé présure	28
Tableau II.9. Propriétés des principaux nutriments du lait	30
Tableau III.1. Rapport de gras et humidité dans le fromage à la crème	33
Tableau III.2. Etat physicochimique des principaux constituants du lait de vache	35
Tableau III.3. Exigences canadiennes de composition des poudres de lait Canada n° 1 et Canada n° 2 (%)	36
Tableau III.4. Composition chimique du fromage à la crème (%)	37
Tableau III.5. Attributs et définitions du fromage à la crème	38
Tableau IV.1. Composition de la PDL 26% selon la fiche technique de LACTALIS	40
Tableau IV.2. Valeurs nutritionnelles de la PDL 26% de la marque LACTALIS	41
Tableau IV.3. Caractéristiques sensorielles, physico-chimiques et bactériologiques de la PDL 26% de la marque LACTALIS	41
Tableau IV.4. Composition de la PDL 0% selon la fiche technique de LACTALIS	42
Tableau IV.5. Valeurs nutritionnelle de la PDL 0% de la marque LACTALIS	42
Tableau IV.6. Caractéristiques sensorielles, physico-chimiques et bactériologiques de la PDL 0% de la marque LACTALIS	43
Tableau IV.7. Valeurs nutritionnelle de la crème 35% MG	44
Tableau IV.8. Propriétés chimiques-physiques et caractéristiques sensorielles de MPC 85%	45
Tableau IV.9. Bactériologie de MPC 85%	45
Tableau IV.10. Information sur XPL 30 selon la fiche technique de CHR HENSEN	46
Tableau IV.11. Appareillage et matériels utilisés pour la fabrication	48
Tableau IV.12. Matériels et produits utilisés pour l'analyse de l'eau	52
Tableau IV.13. Appareillage et matériels utilisés pour l'analyse de ES	57
Tableau IV.21. Définition des propriétés mécaniques du fromage à l'aide du profil général de texture des aliments	61
Tableau V.1. Comparaison entre la composition du lait frais et la poudre de lait	64
Tableau V.2. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau utilisé	69
Tableau V.3. Résultats des températures contrôlés durant la fabrication	70
Tableau V.4. Résultats du pH contrôlés durant la fabrication	71
Tableau V.5. Résultats de l'extrait sec (%) du fromage à la crème	72
Tableau V.5. Résultats d'humidité (%) du fromage à la crème	73
Tableau V.6. Résultats de la matière grasse (%) du fromage à la crème	74
Tableau V.7. Résultat du rendement (%) du fromage à la crème fabriqué	75
Tableau V.8. Résultat des quantités de protéines (théorique) dans le fromage à la crème	76
Tableau V.9. Résultat de quantité de sel et de lactose (théorique) dans le fromage à la crème	77

Liste des abréviations

Abréviations	Significations
BL	Bactérie lactique
C/F	Caséine fat
ES	Extrait sec
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FDA	Food and drug administration
FDM	Fat in dry matter
FPC	Fermentation produite par la chymosine
HSE	Hygiène, sécurité et environnement
HTST	High temperature short time
ISO	International organization for standardisation
FDM	Fat in dry matter
HTST	High temperature short time
LTLT	Low temperature long time
MG	Matière grasse
MPC	Milk powder concentrate
OMS	Organisation mondiale de la santé
PDL	Poudre de lait
SPA	Société par actions
TA	Titre alcalinitique
TAC	Titre alcalinitique complet
TS	Total solids
UHT	Upérisation à hautes températures
USA	United state of America

La fabrication du fromage est un processus vieux de plusieurs siècles qui est passé d'un art à une science à mesure que la demande du produit et l'échelle de production ont augmenté. La conversion d'une industrie artisanale aux usines automatisées très complexes utilisées aujourd'hui a exigé des développements technologiques majeurs.

Là, il y a eu de nombreuses approches ingénieuses pour répondre aux exigences technologiques et le consommateur en a bénéficié d'avoir des produits très cohérents, sûrs, nutritifs et délicieux [1].

La fabrication du fromage constitue un exemple classique de méthode de conservation des aliments. Elle implique la conversion du lait ; une matière première instable, volumineuse mais très nutritive en fromage ; un produit stable, savoureux et concentré qui procure un goût agréable et une durée de vie importante [2].

La fermentation lactique et l'élimination de l'eau nous permet de conserver les matières grasses, les protéines et le calcium, soit les constituants essentiels [3].

Pour cela, nous avons choisis le fromage à pâte molle type à la crème, un produit particulièrement intéressant au regard de la formulation et des processus.

Le fromage à la crème est un fromage frais et à pâte molle avec une acidité bonne et douce, une saveur fraîche et une texture onctueuse et un pourcentage élevé en graisse du lait [4].

Ce genre de fromage a été choisi dans notre formulation pour sa douceur, sa texture fondante et son onctuosité. Il peut être utilisé dans de nombreuses préparations, que ce soit salées (verrine salés, gratins, sauces...) ou sucrées (tartes, cheesecake, tiramisu...), ce qui en fait un choix idéal pour bénéficier des vitamines du lait et du fromage dans notre alimentation quotidienne.

Si la production du fromage est un processus simple ou complexe, il n'est pas évident. Il est connu que l'influence d'une multitude de facteurs à chaque étape de la production du fromage (standardisation du lait, coagulation, caillage, égouttage, pressage, affinage...) est critique, et c'est pour cela les fromages ont différentes caractéristiques. Il est donc essentiel de contrôler chaque élément afin de produire un fromage qui présente les caractéristiques qualitatives propres à sa variété.

Pour réaliser l'objectif du travail qui est d'élaborer et d'étudier un fromage à la crème conforme aux exigences et spécifications, une mesure soigneusement sélectionnée des

ingrédients et des matières premières est choisie, un suivi, des analyses et un contrôle judicieux ont permis d'étudier la formulation et de garantir le produit final.

Notre étude est basée principalement sur le choix, l'utilisation de la formulation et les contrôles continus, pour traiter ensuite les différents résultats trouvés à partir des analyses compositionnelles, physicochimiques et organoleptiques effectués.

L'étude commence par une introduction générale qui décrit succinctement le travail et ensuite deux grandes parties soit :

- ❖ Une étude théorique sur les notions du fromage et des généralités sur le fromage à la crème.
- ❖ Une partie expérimentale, comprenant le choix de la formulation, les matériels et méthodes appliqués, les analyses (physico-chimiques, compositionnelles et organoleptiques) et enfin la discussion des résultats.

Enfin nous terminerons par une conclusion générale

Chapitre I. Présentation de l'entreprise

I. Présentation de l'entreprise Falait

I.1. Aperçu de l'entreprise

C'est une société par actions algérienne de fabrication et vente du fromages, créée en 2001. En activité depuis plus de vingt ans, elle est perçue comme l'un des acteurs majeurs du marché.

Avec une expérience d'une vingtaine d'années, 4 marques connus, une gamme d'une dizaine de produits et 3 usines de productions.

Ses marques phares TARTINO et CHEEZY sont leaders sur le marché national [5].



Figure I.1. Logo de l'entreprise d'accueil FALAIT SPA [5].

I.1.1. Marques

L'entreprise est connue pour sa large gamme de produits, à savoir :

- ✓ Tartino (Excellence, junior, original)
- ✓ Cheezy
- ✓ Siplait
- ✓ Rapido [5].



Figure I.2. Produits FALAIT [5].

I.2. Localisation

L'usine FALAIT SPA se situe à la zone industrielle de Rouiba, Lot 165, Alger, Algérie.

La position géographique de cette usine est précisément détaillée sur la figure ci-dessous, fournissant ainsi une représentation visuelle claire de son emplacement.

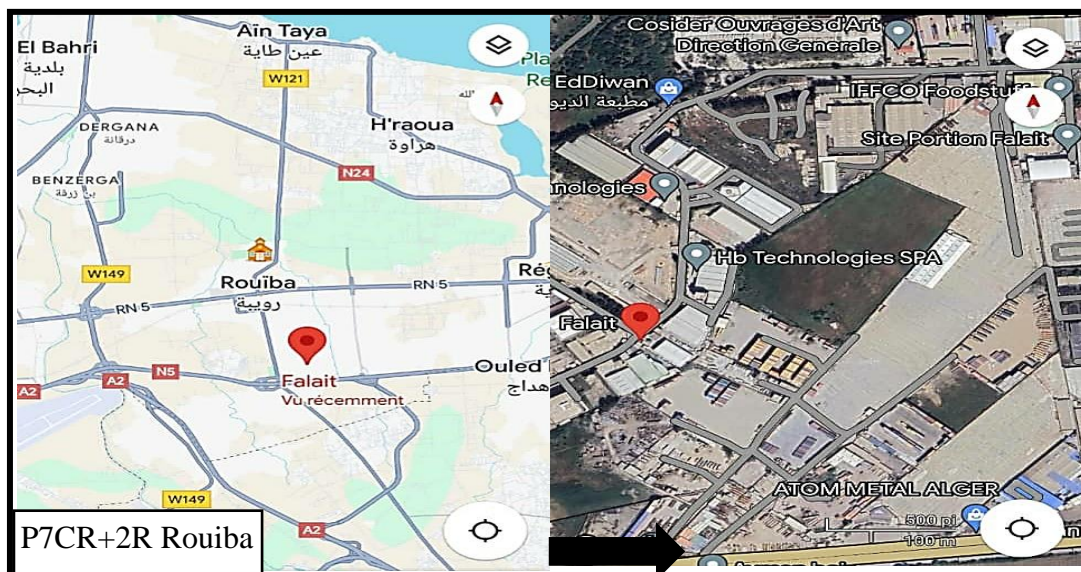


Figure I.3. Localisation de l'usine FALAIT sur Maps.

I.3. Réseau de distribution

Les produits sont disponibles sur l'ensemble du territoire national grâce à un réseau de distribution couvrant les 58 wilayas par ses partenaires.

Disposant de 43 000 points de vente contrôlés en direct via une solution mobile, ce qui fait du réseau un des leaders du marché [5].

I.4. Objectifs [5]

- La maîtrise, le maintien et l'amélioration des conditions d'hygiène dans tout l'usine ;
- Identifier les risques potentiels afin de contrôler leur impact sur la contamination ;
- Le suivi des denrées alimentaires et du système de gestion ;
- Développement de la formation et de la création des emplois.

I.5. Qualité et conformité [5]

FALAIT SPA s'engage de produire des fromages sûrs, avec aucun danger biologique, chimique et physique, en déclarant les allergènes, conformément à la réglementation.

FALAIT SPA contribue à :

- Respecter les exigences légales et réglementaires propres à son domaine d'activité.
- Répondre aux attentes et exigences des parties prenantes en fournissant des produits conformes à leurs besoins.
- Améliorer sa compétitivité sur le marché en cherchant constamment à s'améliorer.

I.6. Hygiène et sécurité

L'usine Falait assure au consommateur un produit de qualité supérieure en formant rigoureusement les employés aux mesures de prévention afin de produire un produit conforme aux normes.

Les employés de l'usine bénéficient également d'une protection grâce au service HSE, qui propose une formation obligatoire pour tous les travailleurs, les stagiaires et toute personne travaillant dans l'usine. Cette formation est dispensée pendant l'horaire normal de travail.

I.6.1. Bonnes pratiques d'hygiène

Les normes d'hygiène s'appliquent à toutes les opérations visant à assurer l'hygiène, c'est-à-dire la sécurité et la salubrité des aliments et du personnel.

Il est crucial de maintenir des conditions hygiéniques tout au long de la chaîne alimentaire afin d'assurer un environnement propice à la production, à la manipulation et à la distribution de denrées alimentaires sûres pour la consommation humaine. Outre la pollution, la contamination et les risques courants dans l'industrie alimentaire incluent : les températures extrêmes (froid

ou chaleur), les risques de coupure, de perforation et de contusion, les risques de glissade et de chute, ainsi que les risques d'empoisonnement ou d'explosion.

I.6.2. Information et la formation [6]

L'accès à l'information et à la formation permet à chaque salarié d'être un préventeur tout en étant acteur de sa santé et de sa sécurité au travail.

L'information se présente sous forme d'affichage ou de signalisation.

La formation est une composante essentielle de l'action de prévention sans pour autant se substituer aux mesures techniques et organisationnelles. Former à la sécurité est une obligation légale de l'employeur mais c'est aussi une partie indispensable de la politique de prévention qu'il doit mettre en œuvre. Le temps consacré à la formation est considéré comme du temps de travail, cela signifie que la formation se déroule pendant l'horaire normal de travail.

Les deux catégories de formation sont :

- La formation générale sur la sécurité ;
- Les formations techniques spécifiques aux postes de travail ou aux matériels utilisés et la formation particulière des membres.

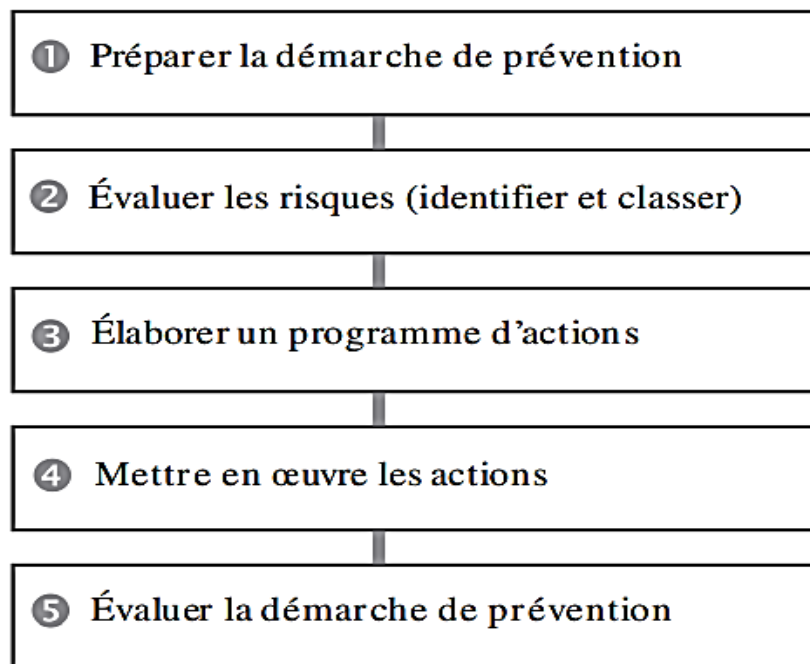


Figure I.4. Etapes de la démarche de prévention [6].

Chapitre II. Généralités sur le fromage

II. Généralités sur le fromage

II.1. Historique

Historiquement le fromage est originaire du sud-ouest asiatique et daterait d'environ 8000 ans peu après la domestication des animaux [7].

Généralement le fromage a évolué dans le Croissant Fertile, entre le Tigre et l'Euphrate, en Irak, au cours de la révolution agricole, lorsque certaines plantes et certains animaux étaient domestiqués comme sources de nourriture ainsi durant la préhistoire pendant le Néolithique [8].

II.2. Définition

Sur le plan technologique, le fromage est constitué majoritairement de caséine, et soumise à divers degrés de transformation. Selon la norme FAO/OMS n° A-6 (1978, modifiée en 1990), le fromage est défini comme suit : "Le fromage est un produit frais ou affiné, solide ou semi-solide, dont le rapport protéines de lactosérum/caséine ne dépasse pas celui du lait. Il est obtenu par coagulation du lait, du lait écrémé, du lait partiellement écrémé, de la crème de lactosérum, par l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés" [10].

II.3. Différents types de fromages

Plusieurs facteurs contribuent à diverses variétés de fromages (différents gout, formes et texture). Tout d'abord, l'origine du lait, ainsi que le régime alimentaire de l'animal dont il provient, jouent un rôle essentiel. Ensuite, le traitement thermique ou mécanique du lait, tel que la microfiltration ou l'ultrafiltration, ainsi que le taux de la matière grasse, déterminent les caractéristiques du fromage. De plus, les espèces de bactéries choisies, contribuent à définir le profil aromatique et la texture du fromage. Enfin, le temps de maturation est également un facteur important.



Figure II.1. Différents types de fromages

On peut rassembler les fromages en trois catégories :

II.3.1. Fromage de type lactique : par exemple ; le fromage à pâte fraîche (Petit suisses).

II.3.2. Fromage de type présure : par exemple ; le fromage à pâte pressée, fromage à pâte ferme non cuite, fromage à pâte ferme cuite.

II.3.3. Fromage de type mixte : par exemple ; fromage à pâte molle [11].

Tableau II.1. Composition moyenne (g/kg) de différents types de fromages [25].

	Eau	Protéine	Grasses	Lactose	Minéraux + Vitamines
Fromage frais	700	110	80	30	80
F. à pâte molle	520	200	220	0	60
F. mi-dure	400	250	270	0	80
F. à pâte dure	350	270	310	0	70
F. extra dur	300	290	330	0	80

II.4. Matières premières entrant dans l'industrie fromagère

II.4.1. Lait

Le lait est un liquide sécrété par les glandes mammaires des femelles après la naissance de leurs petits. Il se caractérise par une texture aqueuse opaque, de couleur blanche légèrement bleutée, ainsi qu'une saveur douce et un pH légèrement acide, oscillant entre 6,6 et 6,8, presque dans la neutralité [3].

Le lait du point de vue physico-chimique est un système complexe et hétérogène dont la composition chimique varie en fonction de l'espèce, la race, l'âge, le stade et le nombre de lactation, ainsi que l'alimentation et les conditions de traitement [13].

L'une des conditions fondamentales d'une fabrication fromagère réussie est le lait propre.

Le processus commence en réalité dans les locaux du lait producteur, le problème est la mauvaise manipulation du lait par les gérants. Lorsqu'ils ne prennent pas correctement soin du lait, il peut acquérir des caractéristiques indésirables qui nuisent son utilité dans la fabrication

du fromage, comme par exemple une acidité élevée, des odeurs et des goûts désagréables, la formation de gaz, etc.

Les causes de ces défauts seront brièvement examinées sous quatre rubriques :

- Infection bactérienne
- Absorption des arômes
- Aliments consommés
- Processus physiologiques ou pathologiques chez les vaches [3].

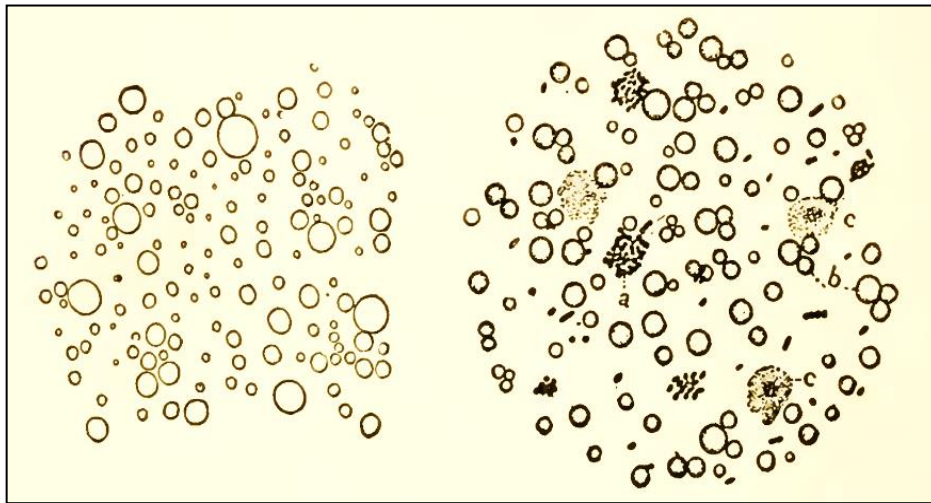


Figure II.2. Apparition de lait impur au microscope.

- Les corps légers et ronds sont des globules gras
- Les masses sombres sont des groupes de bactéries et d'éléments cellulaires [3].

II.4.1.1. Composition du lait

Les composantes du lait se distinguent en plusieurs phases :

- Une phase lipidique, formée d'une émulsion de matières grasses, comprenant des globules gras et des vitamines liposolubles.
- Une phase colloïdale, caractérisée par une suspension de caséines sous forme de micelles.
- Une phase aqueuse, renfermant les constituants solubles du lait, tels que les protéines, le lactose, les vitamines B et C, les sels minéraux, ainsi que l'azote non protéique.

- Une phase gazeuse, représentant environ 5% du volume total du lait, constituée d'oxygène, d'azote et de dioxyde de carbone dissous [15].

Tableau II.2. Composition moyenne du lait entier [15].

Composants	Teneurs (g /100g)
Eau	89.5
Matières azotées	3.44
Protéines	3.27
Caséines	2.71
Protéines solubles	0.56
Azote non protéique	0.17
Matières grasse	3.5
Lipides neutres	3.4
Lipides complexes	<0.05
Composés liposolubles	<0.05
Glucides	4.8
Lactose	4.7
Extrait sec total	12.8

II.4.1.1.1. Eau

L'eau, le principal composant du lait en termes de proportion. Du fait de la présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres, l'eau exhibe un caractère polaire. Cette polarité lui permet de former une solution véritable avec des substances polaires telles que les glucides et les minéraux, ainsi qu'une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum (lactosérum). En revanche, les matières grasses, étant hydrophobes, ne peuvent se dissoudre et forment une émulsion de type huile dans l'eau (H/E). De même, les micelles de caséines donnent lieu à une suspension colloïdale en raison de leur nature solide [14].

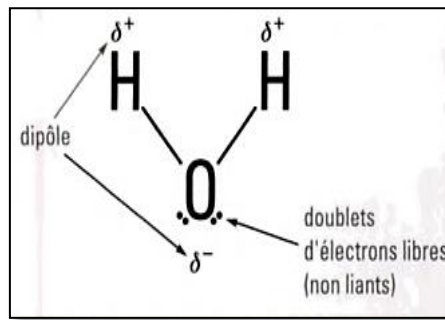


Figure II.3. Structure polaire de l'eau [14].

II.4.1.1.2. Matière grasse

Le lait est principalement constitué de triglycérides de phospholipides et d'une fraction insaponifiable principalement composée de cholestérol et de β -carotène.

Les matières grasses présentes dans le lait sont des globules sphériques invisibles à l'œil nu, avec une taille d'environ 0,1 à 20 μm (1 μm = 0,001 mm). Il convient de souligner que la taille des globules de matière grasse diffère d'une espèce à l'autre, de la race à la période de lactation.

Selon les estimations, il y a environ 3 à 4 milliards de globules gras par millilitre de lait entier, avec un moyen de 3 à 4 μm .

Les globules de gras dans le lait sont en émulsion de type huile dans l'eau [14].

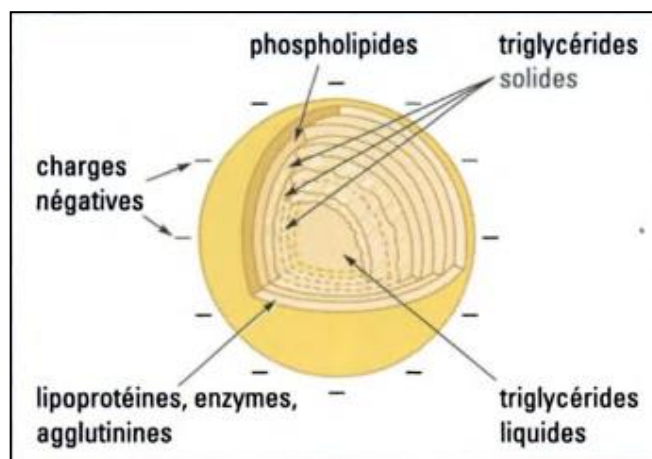


Figure II.4. Structure d'un globule de matière grasse [14].

1. Composants de la matière grasse

1.1. Lipides simples

Les lipides simples sont des esters d'acides gras et d'alcool qui ne contiennent que du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène. Les triglycérides est le composant majoritaire des lipides du lait (98%) et sont formés d'une molécule de glycérol et de trois esters d'acides gras.

Les acides gras sont formés d'une chaîne linéaire d'atomes de carbone et d'hydrogène. Cette structure aliphatique confère à la matière grasse sa nature hydrophobe.

1.2. Lipides complexes

Communément appelés phospholipides, les lipides complexes se distinguent par la présence d'un groupement phosphate.

La caractéristique la plus importante des lipides complexes est leur capacité d'abaisser la tension ou force interfaciale présente à la surface des globules de matière grasse. Les lipides complexes jouent un rôle crucial en tant qu'agents émulsifiants, assurant la stabilité de l'émulsion de matière grasse dans la phase aqueuse du lait. Par ailleurs, les lipides polaires possèdent des propriétés tensio-actives qui contribuent largement à la formation de mousse lors de l'agitation du lait [14].

Tableau II.3. Composition lipidique du lait (g/100g) [14].

Triglycérides	97,5(95-99)
Diglycérides	0,3-2,0
Lipides complexes	0,2-1,0
Acides gras libres	0,1-0,4
Monoglycérides	0,02-0,1
Stérols	0,2-0,4
• Cholestérol	0,3
• déhydrocholestérol	Traces
• lanostérol	Traces
Hydrocarbures	0,1
• Squalène	0,03
• Beta -carotène	0,001
Alpha -tocopherol (vitamine E)	0,0015-0,004
Vitamine A	0,001
Vitamine D	0,01-0,02
Vitamine K	Traces
Alcools	Traces
Esters d'acides gras et de cholestérol	Traces
Esters d'acides gras et d'alcools gras	Traces

1.3. Fraction insaponifiable

La fraction insaponifiable, représentant seulement 1% de la totalité de la matière grasse.

Parmi eux, les principaux sont :

- Les caroténoïdes, parmi lesquels le B-carotène est le plus notable, agissant comme précurseur de la vitamine A. Ils sont responsables de la coloration jaune du beurre.
- Les tocophérols, notamment la vitamine E (a-tocophérol), sont sensibles à l'oxygène et aux oxydants, notamment la lumière. Ils agissent comme des antioxydants naturels, contribuant à protéger la matière grasse contre l'oxydation [14].

2. Propriétés physiques des matières grasses

Étant donné que les triglycérides représentent la majeure partie de la matière grasse du lait, ce sont leurs caractéristiques physiques qui déterminent celles de la matière grasse [13].

Tableau II.4. Principaux indices et constantes de la matière grasse du lait [14].

Chaleur spécifique	527,43
Masse volumique (15°C)	0,93–0,95g/ml
Point de fusion	28-40°C
Point de solidification	15-25°C
Indice de réfraction (40°C)	1,45326-1,45512
Indice de saponification	220-235
Indice d'iode	26-45
Indice d'acide	Moins de 0,3

II.4.1.1.3. Protéines

Les protéines se présentent sous la forme de polymères naturels constitués d'une chaîne d'acides aminés reliés entre eux par des liens peptidiques.

La quantité totale d'azote dans le lait est constituée de 95% de protéines, tandis que les composés azotés non protéiques sont principalement constitués de protéases, de peptones et d'urée [14].

1. Caséines

Les caséines constituent près de 80 % des protéines du lait et sont, pour la plupart (90% à 95%), liées entre elles par des interactions diverses sous la forme d'une micelle. La caséine du lait joue un rôle essentiel dans la production du fromage, car la transformation du lait en fromage repose sur les caractéristiques spécifiques de la caséine. Cette substance du lait, impure et altérée, est le plus souvent appelée caillé, une substance solide et blanche qui se forme dans le lait à la coagulation.

Sa composition élémentaire est à peu près la suivante :

- ✓ Carbone : 53,00 pour cent
- ✓ Oxygène : 22,70 pour cent
- ✓ Azote : 15,70 pour cent
- ✓ Hydrogène : 7,00 pour cent
- ✓ Phosphore : 0,85 pour cent
- ✓ Soufre : 0,75 pour cent [3,14].

La caséine, présente dans le lait à une concentration d'environ 26 g.kg⁻¹, se compose en réalité de quatre différentes variantes de caséines, comprenant chacune une série de variants génétiques, notamment les caséines α_1 , α_2 , β et κ .

Cependant, ces micelles sont des structures dynamiques qui évoluent continuellement en réponse aux modifications du milieu, telles que les variations de pH. Par exemple, lorsque le pH diminue, elles perdent leur caractère hydrophile et leur capacité de rétention en eau diminue.

Ces micelles sont constituées de sous-unités appelées submicelles, résultant de l'association de dix à cent molécules de caséine ayant un diamètre de 10 à 15 nm, voire 20 nm, et une masse molaire comprise entre 250 000 et 2 000 000 daltons (1 dalton = $1,65 \cdot 10^{-24}$ g/mol) [23].

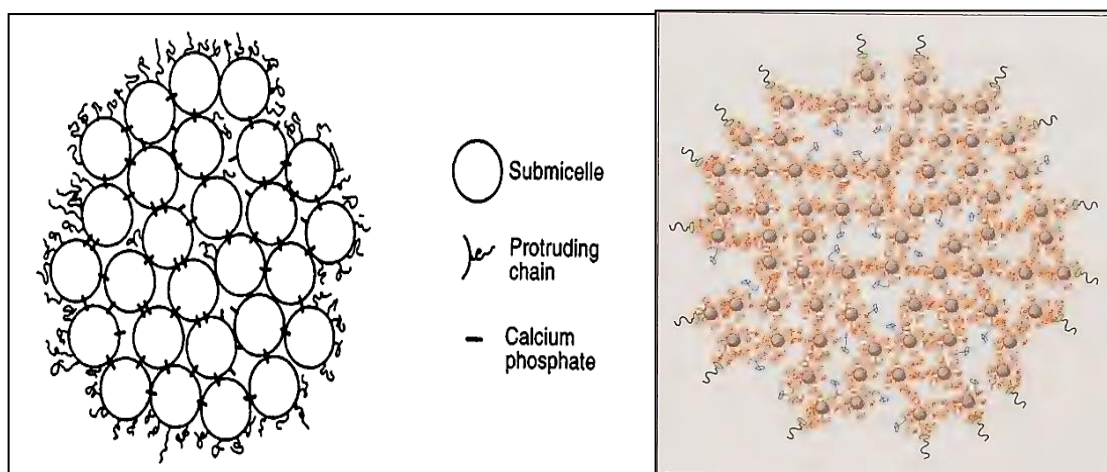


Figure II.5. Micelle de caséine [8,14].

2. Protéines du lactosérum

Environ 20% des protéines totales sont des protéines du sérum.

Contrairement aux caséines, les protéines du lactosérum ne coagulent pas en présence de présure ou à la suite de l'acidification du lait. Ainsi, elles sont principalement présentes dans le lactosérum qui s'égoutte du coagulum lors de l'égouttage des fromages. Tous les acides aminés essentiels sont présents dans les protéines du lactosérum, en particulier les acides aminés soufrés, la lysine et le tryptophane [14].

3. Enzymes

Les enzymes sont des protéines spécialisées dans la catalyse des réactions biologiques. Comme toutes les protéines, elles sont dénaturées et inactivées par les hautes températures. De plus, elles ne sont actives que dans une zone déterminée de température et de pH.

Les enzymes sont des ferments chimiques ; ils ont le pouvoir de produire des changements dans d'autres substances sans subir eux-mêmes de changement.

Certaines d'entre elles sont associées aux micelles de caséines, d'autres à la membrane des globules de matière grasse et, enfin, certaines sont tout simplement solubilisées dans la phase aqueuse du lait [3,14].

4. Transformations physicochimiques des protéines

Les traitements appliqués peuvent altérer la structure et les caractéristiques des protéines laitières.

❖ Effet de l'acidification

L'acidification du lait concerne particulièrement les caséines. Une légère acidification modifie suffisamment la structure micellaire pour que les caséines deviennent instables à la chaleur. Ainsi, lorsque le pH passe de 6,7 à 5,5, les charges négatives présentes à la surface des micelles de caséine sont neutralisées, ce qui diminue leur répulsion et produit une augmentation du diamètre moyen des micelles à la suite de leur agglomération.

❖ Effet de chaleur

Les modifications de structure des protéines peuvent être réversibles jusqu'à 60°C. Les principales protéines touchées par les traitements de chaleur à des températures supérieures à 75°C sont les protéines du petit lait (sérum).

❖ Effet de la présure

Le lait est coagulé lorsque la présure est ajoutée au lait, sous l'effet de la chymosine qui hydrolyse le lien 105-106 de la k-caséine qui se trouve en périphérie de la micelle.

❖ Effet de sels

Il est crucial d'assurer l'équilibre ionique afin de maintenir la stabilité de la suspension colloïdale des caséines. En raison de la charge négative des micelles de caséines au pH du lait (6,6-6,8), l'incorporation de cations (Ca^{++} ou Mg^{++}) peut entraîner la formation de ponts phosphate de calcium entre les micelles et favoriser leur agrégation [14].

Tableau II.5. Concentration et pourcentages des protéines du lait [14].

Type	Nomenclature	Concentration (g /L)	Pourcentage des protéines totales (%)
Caséines		26	79,5
	α_{s1} -caséine	10,0(12-15)	30,5
	α_{s2} -caséine	2,6(3-4)	8
	β -caséine	9,3(9-11)	28
	K -caséine	3,3(2-4)	10
	Y -caséine	1	3
Protéines du lactosérum		6,3	19,3
	β -lactoglobuline	3,2	10
	α -lactalbumine	1,2	3,6
	Sérum albumine bovine	0,4	1,2
	Immunoglobulines	0,7	2,1
	Protéoses peptones	0,8	2,4
Protéines membranaires (Globules gras)		0,4	1,2
Protéines totales		32,7	100

II.4.1.1.4. Sucre du lait

Le lactose, ou sucre du lait, se trouve dans le lait de vache en solution. Le lactose est le principal composé solide du lait, car il représente environ 40% des solides totales. Il est possible qu'il y ait d'autres glucides en faible quantité, tels que le glucose et le galactose, qui seraient issus de l'hydrolyse du lactose.

Il est semblable au sucre ordinaire dans sa composition générale, mais moins sucré et moins soluble dans l'eau.

La variabilité de la teneur en sucre des différents laits normaux n'a guère d'intérêt pour les opérations de fabrication du fromage, car il y en a toujours assez.

Le sucre du lait joue un rôle essentiel dans la production du fromage en raison de sa capacité à être facilement converti en acide lactique par certaines bactéries [3,14].

II.4.1.1.5. Sels du lait

Les sels du lait, communément représentés par le terme « cendre », ne sont présents qu'en petites quantités, mais ils ont des relations extrêmement importantes avec le processus de fabrication du fromage.

Dans le lait, une partie des sels est présente sous forme soluble et une partie sous forme insoluble.

Les minéraux primordiaux dans le lait sont le calcium et le phosphore, étant donné qu'ils jouent un rôle prédominant dans la constitution et la résistance des micelles de caséine. Ces deux éléments se trouvent dans le lait sous deux formes principales : ionisées et solubles dans le sérum, ou sous forme colloïdale, associées aux caséines micellaires.

Lorsque le lait est chauffé, la quantité de sels de calcium solubles diminue en raison de leur transformation en formes insolubles. La présence de sels de calcium solubles dans le lait est essentielle à la coagulation du lait par l'extrait de présure.

Les autres minéraux importants sont le sodium, le potassium (le plus important en quantité), le chlore et le magnésium. Ils se trouvent sous forme ionique et sont complètement dissous dans la phase aqueuse. Les protéines lactières, notamment les caséines et leurs sites chargés, présentent une forte affinité pour le calcium, le magnésium et certains oligo-éléments [3,14].

Tableau II.6. Teneurs moyennes en minéraux et oligo-éléments du lait de vache [14].

Minéraux	Teneurs (mg/kg)
Sodium (Na)	450
Magnésium (Mg)	110
Phosphore (P)	920
Chlore (Cl)	1100
Potassium (K)	1500
Calcium (Ca)	1200
Oligo-éléments	Teneurs (µg/l)
Cuivre (Cu)	20-40
Zinc (Zn)	3000-6000
Fer (Fe)	200-500
Iode (I)	10-300
Aluminium (Al)	600-1000
Silicium (Si)	1000-6000

II.4.1.1.6. Vitamines

Les vitamines sont classées en deux catégories selon leur solubilité : les vitamines hydrosolubles et les vitamines liposolubles. La matière grasse du lait est liée aux vitamines liposolubles (A, D, E, K), tandis que les vitamines hydrosolubles (vitamines B et vitamine C) sont liées aux micelles de caséine présentes dans le petit-lait.

Certaines vitamines contribuent à la coloration du lait et de ses produits dérivés. Par exemple, la vitamine B2 ou riboflavine est responsable de la teinte verdâtre du lactosérum, tandis que les caroténoïdes (provitamines A) confèrent au beurre sa couleur jaunâtre.

Un choix approprié d'emballage et une gestion adéquate de l'éclairage sont essentiels pour prévenir les pertes en vitamines et limiter les altérations de saveur dues à leur oxydation [14].

Tableau II.7. Teneurs moyennes des principales vitamines du lait [14].

Vitamines	Teneur moyenne
Vitamines liposolubles :	
Vitamine A (+carotènes)	17-65µg/100ml
Vitamine D	2,4µg/100ml
Vitamine E	100µg/100ml
Vitamine K	5µg/100ml
Vitamines hydrosolubles :	
Vitamine C (acide ascorbique)	2mg /100ml
Vitamine B1 (thiamine)	45µg/100ml
Vitamine B2 (riboflavine)	175µg/100ml
Vitamine B6 (pyridoxine)	50µg/100ml
Vitamine B12 (cyanocobalamine)	0,45µg/100ml
Niacine et niacinamide	90µg/100ml
Acide pantothénique	350µg/100ml
Acide folique	5,5µg/100ml
Vitamine H (biotine)	3,5µg/100ml

II.4.2. Présure et coagulants

La présure et les coagulants sont des préparations d'enzymes protéolytiques, dont certaines ont été utilisées dans la fabrication du fromage depuis des milliers d'années, et ils semblent être la plus ancienne application connue d'enzymes. La présure et les coagulants sont classés plus efficacement en fonction de leur source.

La présure est vendue sous forme liquide ou en poudre. La présure animale provient d'estomacs de veau et ne convient pas aux fromages de chèvre ou de brebis destinés à les personnes allergiques aux bovins ou pour les végétariens. Cependant, la présure microbienne convient à tous les types du lait et les végétariens aussi.

Il est crucial de comprendre les caractéristiques moléculaires des enzymes de coagulation du lait présentes dans la présure et les coagulants afin de comprendre les similitudes et les différences entre les produits [16,17].

II.4.2.1. Types de présure et coagulants

1. Présure animale et coagulants

Au sein du groupe des produits d'origine animale, la présure de veau est considérée comme l'enzyme idéale produit pour la fabrication du fromage en raison de sa teneur élevée en chymosine, l'enzyme naturelle pour lait de vache coagulant. Dans la caillette et les extraits de ses tissus, la proportion varie entre les deux enzymes, la chymosine et la pepsine, selon l'âge de l'animal et le type d'aliment.

2. Coagulants microbiens

Tous les coagulants microbiens bien connus utilisés pour la fabrication du fromage sont d'origine fongique. La plupart des protéases bactériennes décrites comme enzymes de la coagulation du lait se sont révélées inadaptées, principalement parce qu'ils ont une activité protéolytique trop élevée.

3. Chymosine produite par fermentation (FPC)

Les produits qui contiennent la chymosine identique à la source animale, ce qui signifie qu'elles contiennent le même acide aminé séquence sous forme de chymosine provenant de l'estomac de l'animal correspondant, mais elle est simplement produite par des moyens plus efficaces.

Elle est produite par fermentation d'un micro-organisme hôte qui a été modifié de façon à ce qu'il exprime le gène de la chymosine bovine.

4. Coagulants végétaux

De nombreuses enzymes végétales possèdent s'est avéré coaguler le lait, mais celui extrait du cardon *Cynara cardunculus* (L.) semble particulièrement approprié. Depuis l'Antiquité, les fleurs de *C. cardunculus* ont été utilisées dans la fabrication artisanale du fromage.

Il existe aussi d'autres espèces de plantes qui peuvent jouer le rôle d'un coagulant efficace selon plusieurs études effectuées récemment [16].

II.4.3. Sel

La plupart des recettes de fromage incluent du sel, ajouté soit pendant la transformation, soit par saumurage ou salage à sec du fromage après pressage ou moulage.

Le sel ajouté au fromage permet de rehausser la saveur finale, mais aussi de compléter l'égouttage sous l'effet de la pression osmotique et de ralentir l'acidification du caillé, ce qui prévient une déminéralisation excessive de la pâte. En combinaison avec l'acidité et la réduction de la teneur en eau par l'égouttage, le sel contribue à contrôler la croissance des bactéries nocives ou pathogènes, tout en favorisant la multiplication des microorganismes bénéfiques pour l'affinage [14,17].

II.4.4. Graisse ou huile

Les fromages à pâte dure qui ne sont ni saumurés ni salés en surface sont frottés avec de la graisse ou de l'huile après pressage. Cela maintient la surface souple et évite les fissures et ils renforcent aussi le crémeux et le fondant dans certaines préparations fromagères, les plus utilisés sont le beurre, des graisses végétales ou l'huile d'olive [17].

II.4.5. Ferments lactiques

Un ferment est un mélange de cellules microbiennes, qu'il s'agisse d'un seul microorganisme ou de plusieurs, qui est ajouté à une matière première afin de fabriquer un aliment fermenté en accélérant et en orientant son processus de formation.

Les fromages sont des produits laitiers qui résultent de la fermentation du lait par des bactéries lactiques (BL). Elles possèdent la capacité de produire de l'acide lactique à partir du lactose.

Toutefois, leur rôle principal est d'acidifier le lait en produisant de l'acide lactique. La production d'acide lactique abaisse le pH, ce qui favorise la coagulation du lait et l'égouttage du caillé.

Lors de la fabrication fromagère, le contrôle de l'évolution de la production d'acide lactique, donc du pH, aura un effet important sur la composition, la texture, les propriétés sensorielles et la qualité du fromage [14].

II.4.6. Adjuvants

- Les arômes pour ajouter du goût comme les herbes.
- Les émulsifiants confèrent en outre aux fromages la qualité de conserver leurs propriétés fondantes sur une longue période de temps comme le phosphate d'aluminium et de sodium. En tant qu'agents émulsifiants pour le fromage, ils ont conféré des propriétés améliorées au cours du processus de manière à stabiliser la composition.
- Les colorants, lorsqu'ils sont ajoutés au fromage fondu ils confèrent une couleur attrayante qui résiste à la décoloration lorsque le fromage est maintenu aux températures normales du réfrigérateur, même pendant des périodes de temps prolongées.
- Épaississant qui apportent la texture et l'homogénéité. Un avantage obtenu par le processus d'addition d'épaississant est la qualité de conservation améliorée du résultat.
- Certains conservateurs sont autorisés dans les fromages ; l'utilisation de nitrate de sodium et de potassium (E251, E252, respectivement) par exemple est autorisée dans les fromages jusqu'à 50 mg/kg. D'autres peuvent être utilisées aussi sur les surfaces des fromages pour empêcher la croissance de moisissures et bien d'autres conservateurs [1,18].

II.5. Principales étapes du procédé de fabrication

Le fromage est le produit de la coagulation du lait, puis de l'égouttage du coagulum.

Il se compose principalement d'un gel de caséine qui retient les globules gras ainsi qu'une partie variable de la phase aqueuse du lait.

Le processus de fabrication du fromage se déroule en trois phases :

- La coagulation, la formation du coagulum ;
- L'égouttage, la formation du caillé par la déshydratation du coagulum ;
- L'affinage, durant lequel le caillé subit une digestion par enzymes.

Avant ces trois phases on peut passer par la préparation et la standardisation du lait [10].

II.5.1. Préparation du lait

En tant qu'ingrédient clé, la qualité et la préparation sont d'une importance vitale. L'absence des substances inhibitrices telles que les antibiotiques sont également nécessaires à une fabrication satisfaisante du fromage.

L'ajustement de la composition du lait est souvent nécessaire pour atteindre les spécifications du produit final souhaitées [2].

II.5.1.1. Standardisation

La composition du lait peut varier sous tous les aspects, et ceux-ci est lié à des facteurs sur lesquels le fromager n'a aucun contrôle (climat, pratiques alimentaires des animaux, race des animaux, etc.). Le fromager peut modifier (standardiser) la composition du lait.

La composition du fromage est déterminée par le rapport caséine/graisse (C/F), c'est-à-dire la proportion de matière grasse sur matière sèche (FDM).

Ce dernier est important dans le protocole de fabrication, pour garantir que l'équipement peut gérer la quantité du caillé en cuve (découpe, brassage...) et pour le contrôle de l'humidité.

Il peut être modifié par ;

- Éliminer un peu de graisse par crémage naturel, ou centrifugation ;
- Ajout du lait écrémé ;
- Ajout de la crème ;
- Ajout du lait en poudre, du lait concentré [16,19].

II.5.1.2. Traitement thermique du lait

Le lait fromager pasteurisé est devenu répandu vers 1940, principalement pour le public pour des raisons de santé mais aussi pour assurer un approvisionnement en lait d'une qualité bactériologique plus uniforme et d'améliorer sa qualité de conservation.

A mesure que les fromageries devenaient plus grandes, le stockage du lait pendant des périodes plus longues est devenu nécessaire, et d'où la qualité microbiologique du lait varié.

Le lait de fromage est généralement pasteurisé ; HTST 72°C–75°C/15–20 s dans une chaleur à plaque à flux continu échangeur ou basse température longue durée (LTLT) 63°C–65°C pendant 30 min en cuve à fromage qui va inactiver les bactéries les plus pathogènes [16,19].

II.5.2. Coagulation

La coagulation du caséine (déstabilisation des micelles de caséine), élément du système protéique du lait, est l'étape essentielle de la fabrication de tous les fromages, car elle permet de créer un gel qui retient la graisse, si elle est présente.

La coagulation peut être obtenue par :

- Soit par acidification, en neutralisant la charge négative à la surface des micelles,
- Soit par voie enzymatique, la présure [1,2,16,19].

II.5.2.1. Coagulation par voie enzymatique

Le coagulant le plus fréquemment employé dans les productions fromagères par voie enzymatique est la présure d'origine animale, composée principalement de chymosine et de pepsine.

Dans la pratique, trois éléments peuvent définir la coagulation du lait : le temps de prise (temps de floculation), le taux (vitesse) de raffermissement et la fermeté maximale du gel. Différents éléments peuvent les impacter aussi (T, pH...) [14].

II.5.2.2. Coagulation par voie acide (coagulation lactique)

Le lactose est transformé en acide lactique par le ferment lactique lors de la coagulation par voie acide. En raison de la production d'acide, le pH du lait utilisé en fromagerie diminue et le phosphate de calcium colloïdal, un élément essentiel pour la stabilité des micelles de caséine, se dissout [14].

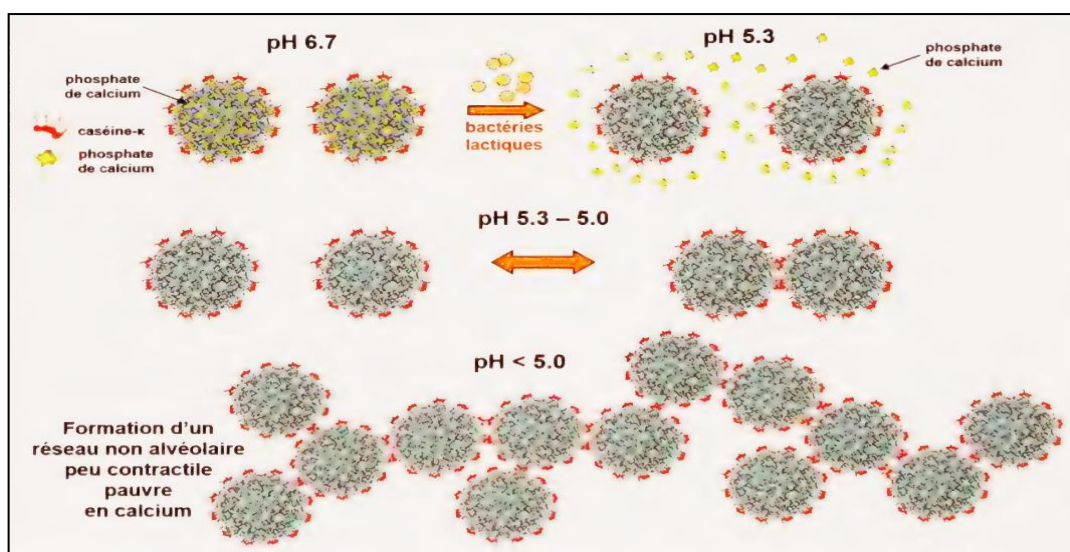


Figure II.6. Coagulation acide du lait et formation du réseau [14].

II.5.3. Processus du post-coagulation

Le coagulum, c'est-à-dire le caillé, subit plusieurs opérations qui favorisent la synérèse et une concentration de caséine, de graisse et de composants de calcium phosphatés environ dix fois plus élevée est obtenue [1].

II.5.3.1. Découpe

Lorsque le gel a atteint une fermeté suffisante, il est coupé avec des couteaux spéciaux. La quantité de particules de caillé est déterminée principalement par le temps et la vitesse de coupe et varie en fonction du différents fromages produits.

La coupe permet d'élargir la surface du caillé et de favoriser la synérèse. Le rapport surface/volume des particules coupées est plus grand, c'est-à-dire que plus les particules de caillé sont petites, plus la libération de lactosérum est importante et plus la teneur en humidité du fromage est faible [1].

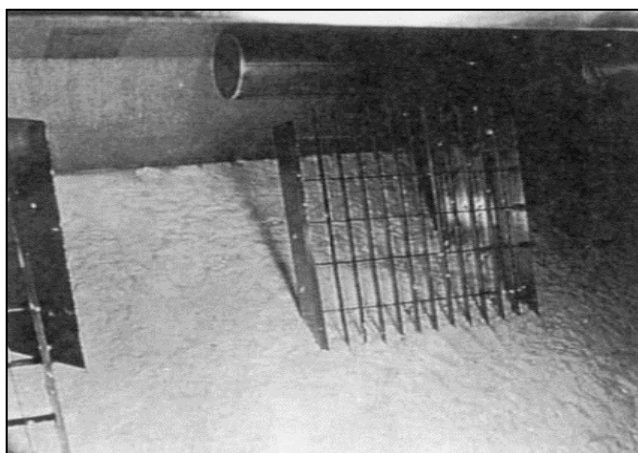


Figure II.7. Découpe du caillé [19].

II.5.3.2. Cuisson

La plupart des fromages sont cuits, c'est-à-dire chauffés à des températures supérieures à celles utilisées pour la coagulation, principalement pour augmenter la synérèse des particules de caillé, qui commence après que le coagulum est coupé.

Ainsi, les temps et les températures de cuisson doivent être délicatement équilibrés pour rétrécir, déshydrater, acidifier et déminéraliser les particules de caillé au fur et à mesure pour les préparer à la maturation [1].

II.5.3.3. Cheddarisation

C'est une étape de fabrication utilisée pour certaines variétés de fromages où le caillé est coupé en morceaux. Cependant, la principale réaction physico-chimique lors de cette étape est la diminution du pH.

La Cheddarisation est obtenu en empilant le caillé égoutté le long des côtés de la cuve et lui permettant de fusionner. La masse fondue est ensuite découpé en blocs de 10 à 20 cm et ceux-ci sont tourné toutes les 15 à 40 minutes sur une période de 90 à 120 minutes pour encourager la fluidité et l'étirement afin de développer la structure souhaitée [1,2].

II.5.3.4. Lavage du caillé

Le caillé de plusieurs variétés de fromages est « lavé » à l'eau soit avant l'égouttage du lactosérum ou après égouttage du lactosérum.

Le lavage avant l'égouttage consiste à retirer une partie du lactosérum et le diluer restant avec de l'eau tiède (35°C–55°C), tandis que le lavage après égouttage du lactosérum nécessite l'ajout d'eau froide (moins de ~18°C) aux particules de caillé ou aux copeaux de caillé et en remuant le mélange.

L'objectif du lavage du caillé était de réduire la teneur en lactose et éviter ainsi une sur acidification et donner un fromage plus doux et plus sucré. Le lavage a peu d'effet sur la teneur en calcium du caillé car une grande partie du calcium est colloïdale au pH (~6,15-6,35) et à la température (36°C-39°C) à l'égouttage du lactosérum.

Par conséquent, modifier le niveau de lavage constitue un moyen utile de modifier le pH du caillé, ce qui influence la maturation, l'apparence, la saveur et les propriétés physiques (par exemple, aptitude au tranchage, aptitude au déchiquetage et élasticité) [1].

II.5.4. Égouttage

La synérèse est le phénomène par lequel un caillé se forme soit par voie enzymatique, soit par voie lactique, se contracte naturellement et expulse spontanément le lactosérum. L'égouttage est l'étape du procédé de fabrication du fromager qui a pour objectif d'accélérer la synérèse puis de séparer le lactosérum du caillé. Il s'agit d'une déshydratation partielle du caillé où la plus grande partie des éléments solubles sont éliminés avec le lactosérum. Le caillé, et ultérieurement le fromage, aura une composition variable selon la technique d'égouttage utilisée et la quantité de lactosérum produite.

Pour contrôler l'égouttage, le fabricant doit vérifier minutieusement l'évolution de l'acidification et de la température. Le contrôle du pH (acidification) permet de suivre la déminéralisation du gel.

Les étamines à fromage sont utilisées, comme outil supplémentaire pour le moulage et l'égouttage, pour un certain nombre de fromage.

Il est souvent accompagné ou suivi d'un pressage, c'est-à-dire l'application d'une pression sur le caillé pour libérer du lactosérum supplémentaire [1,14].



Figure II.8. Etamine de fromage [20].

Tableau II.8. Caractéristiques d'un caillé lactique et d'un caillé présure [14].

	Type de caille	
	Lactique	Présure
Égouttage	faible	élevé
Teneur en eau	élevée	faible
Teneur minérale	faible	élevée
Pouvoir tampon	faible	élevé
Teneur résiduelle en lactose	élevée	faible
Structure des caséines	état dissocié	état micellaire
pH	faible < 4,60	élevé > 5,00
Type de texture	plastique, fragile	élastique, solide
Durée de conservation	faible	(quelques semaines)
	élevée	(plusieurs mois)

II.5.5. Salage

La présence de diverses teneurs en sel dans les fromages est principalement due aux différentes techniques (salage à sec ou saumurage) et au stade auquel le caillé est salé.

Par conséquent, ces variations de concentration en sel entraînent des variations dans la microflore, l'activité de l'eau et les valeurs de pH, ainsi que des variations dans le taux de fermentation, la protéolyse et la saveur [1,14].

II.5.6. Pressage

Le pressage, étape ultime de l'égouttage, permet d'évacuer le lactosérum intra-granulaire et confère au fromage sa forme finale [14].

II.5.7. Affinage

Les fromages mûrissent en variétés distinctes, en partie parce qu'ils sont physiquement différents par la technologie de fabrication et en partie parce qu'ils sont fabriqués avec différentes cultures microbiennes.

La température, l'humidité, ou plus précisément l'activité de l'eau, le pH et la composition de l'atmosphère sont les principaux facteurs qui influencent l'affinage et qui doivent être surveillés [14,16].

II.5.8. Emballage

L'emballage du fromage constitue l'étape la plus importante pour attirer les consommateurs lorsque les fromages sont exposés dans les rayons des fromageries ou d'autres points de vente au détail. Tout matériau utilisé pour l'emballage d'un fromage particulier doit offrir une protection générale, empêcher la perte d'humidité, améliorer l'apparence, protéger contre les micro-organismes et empêcher la transmission de O₂ [1].

II.6. Principaux problèmes en fabrication fromagère

La production du fromage est basée sur le lait et les ferments lactiques.

Les imperfections les plus courantes en fromagerie se répartissent en trois catégories :

- Les imperfections concernant la qualité et l'élaboration de la matière première ;
- Les imperfections associées au processus de préparation du caillé, telles que la coagulation et l'égouttage ;
- Les problèmes liés à l'amélioration [14].

II.7. Aspects nutritionnels du fromage

Il est exact de décrire le fromage comme un aliment nutritif et polyvalent qui peut jouer un rôle important dans une alimentation saine.

Le fromage est un aliment riche en nutriments, dont la composition nutritionnelle est déterminée par des paramètres multifactoriels et qui est influencé selon le type du lait utilisé (espèce, et taux de matières grasses) et les procédures de fabrication et d'affinage [19].

Tableau II.9. Propriétés des principaux nutriments du lait [14].

Nutriment	Fonction	Bienfaits pour la santé
Minéraux		
Calcium	Formation de l'os. Contraction musculaire. Coagulation du sang. Régulation d'enzymes.	Prévention de l'ostéoporose et de fractures, de l'hypertension artérielle, du cancer du côlon.
Phosphore	Métabolisme énergétique (ATP). Coenzyme NADP. Phospholipides des membranes cellulaires.	Développement et maintien de la masse osseuse.
Magnésium	Cofacteur dans plus de 300 réactions métaboliques. Transmission de l'influx nerveux.	Prévention de troubles du système nerveux ; convulsions, hallucinations.
Potassium	Contrôle de la contraction musculaire. Équilibre des échanges cellulaires (avec Na).	Maintien de la force musculaire. Prévention de l'hypertension artérielle.
Zinc	Constituant de l'insuline et de plus de 200 enzymes engagés dans la croissance, la cicatrisation, l'immunité.	Croissance, puberté et appétit normaux. Défense contre les infections.
Vitamines		
Vit B12	Musculaire. Équilibre des échanges cellulaires (avec Na).	Prévention de l'anémie pernicieuse.
Biotine	Cofacteur de réactions de carboxylation/décarboxylation.	Activité cardiaque et appétit normaux.
Pantothénate	Coenzyme A du métabolisme énergétique et de la synthèse des constituants lipidiques.	Prévention de l'insomnie et de la fatigue.
Vit A	Constituant d'un pigment visuel de la rétine. Développement des os, des dents, de la peau.	Prévention contre la cécité, les infections, le dessèchement de la peau et des yeux.
Vit D	Facteur favorisant le système actif d'absorption intestinale du calcium.	Prévention de problèmes de développement osseux.
Protéines	Source d'acides aminés essentiels à la synthèse des protéines des parois cellulaires, fibres musculaires, enzymes et hormones.	Prévention contre les retards de croissance. Résistance et défense contre les infections.

II.8. Méthodes analytiques du fromage

Les différentes raisons pour lesquelles le fromage est analysé sont : la vérification de sa composition nutritionnelle, le respect des normes de l'identité, l'évaluation de l'efficacité de la production, la sécurité microbienne du produit ou l'impact d'enzymes et/ou de micro-organismes sur la qualité du fromage.

Les analyses microbiologiques, physiques, chimiques et sensorielles sont d'une importance cruciale pour le scientifique laitier impliqué dans la recherche sur le fromage, pour travailler sur l'assurance qualité, et pour réguler le processus de production.

A savoir ;

- Méthodes d'échantillonnage du fromage
- Analyse compositionnelle
- Évaluation biochimique de l'affinage du fromage
- Techniques pour étudier les composés aromatiques volatils
- Analyse microbiologique
- Évaluation de la texture du fromage
- Analyse sensorielle
- Identification de la falsification interspécifique des laits et des fromages [19].

Chapitre III. Fromage à la crème

III. Fromage à la crème

III.1. Définition

Le Cream cheese a une saveur douce, riche et légèrement acide et une consistance lisse. Il est obtenu sur la base d'une crème ou d'un lait (entier ou écrémé).

C'est un fromage frais, mou, à pâte molle, non affiné avec un aspect blanc et crémeux. Sa fabrication se fait par coagulation de crème ou mélange de lait et de crème par acidification avec une culture bactérienne et il est prêt à la consommation sans affinage.

Il est utilisé dans les desserts, la boulangerie, les pâtes à tartiner et plusieurs autres produits alimentaires [19,20].

À la fin du XIXe siècle, vers 1870-1880, les agriculteurs postcoloniaux des États-Unis ont commencé à produire du fromage à la crème. Les origines de ce fromage spécial doivent être recherchées dans le fromage européen Neufchâtel, produit dans le nord de la France (Normandie), bien qu'en Angleterre, le fromage à la crème était apprécié par la classe supérieure et que les immigrants anglais auraient probablement joué un rôle dans son introduction aux USA [9].

III.2. Différentes sortes de fromage crème

Les fromages à la crème sont généralement divisés en deux catégories principales selon la quantité de matières grasses du mélange initial et la composition finale.

Les fromages double-crème avec au moins 9- 11% de matière grasse dans le mélange initial et mono-crème avec 4,5 à 5% de matière grasse dans le mélange initial.

Aux États-Unis, l'alimentation et la Drug Administration (FDA) stipulent que ce type de fromage doit inclure au moins 33% (matières grasses) et pas plus de 55% de (l'humidité). La norme canadienne pour le fromage à la crème exige au moins 30% de MG dans le produit, et en France, par exemple le « Triple crème » doit obtenir minimum 75% de matières grasses en matière sèche [20].

III.3. Processus de fabrication

Traditionnellement, le mélange de fromage à la crème est pasteurisé, homogénéisé, inoculé de culture lactique et maintenu à 23°C jusqu'à ce qu'il atteigne un pH d'environ 4,6.

Le caillé obtenu est chauffé de 52 à 63°C, puis les adjuvants (stabilisants, émulsifiants, sel de fonte...) sont ajoutés et enfin ce mélange est homogénéisé et conditionné à froid ou à chaud [19].

Tableau III.1. Rapport de gras et humidité dans le fromage à la crème [20].

Variétés	Gras (%)	Humidité (%)
Cream cheese	35,7	54,0
	35,5	54,3
	33,0	54,5
	33,0	53,0

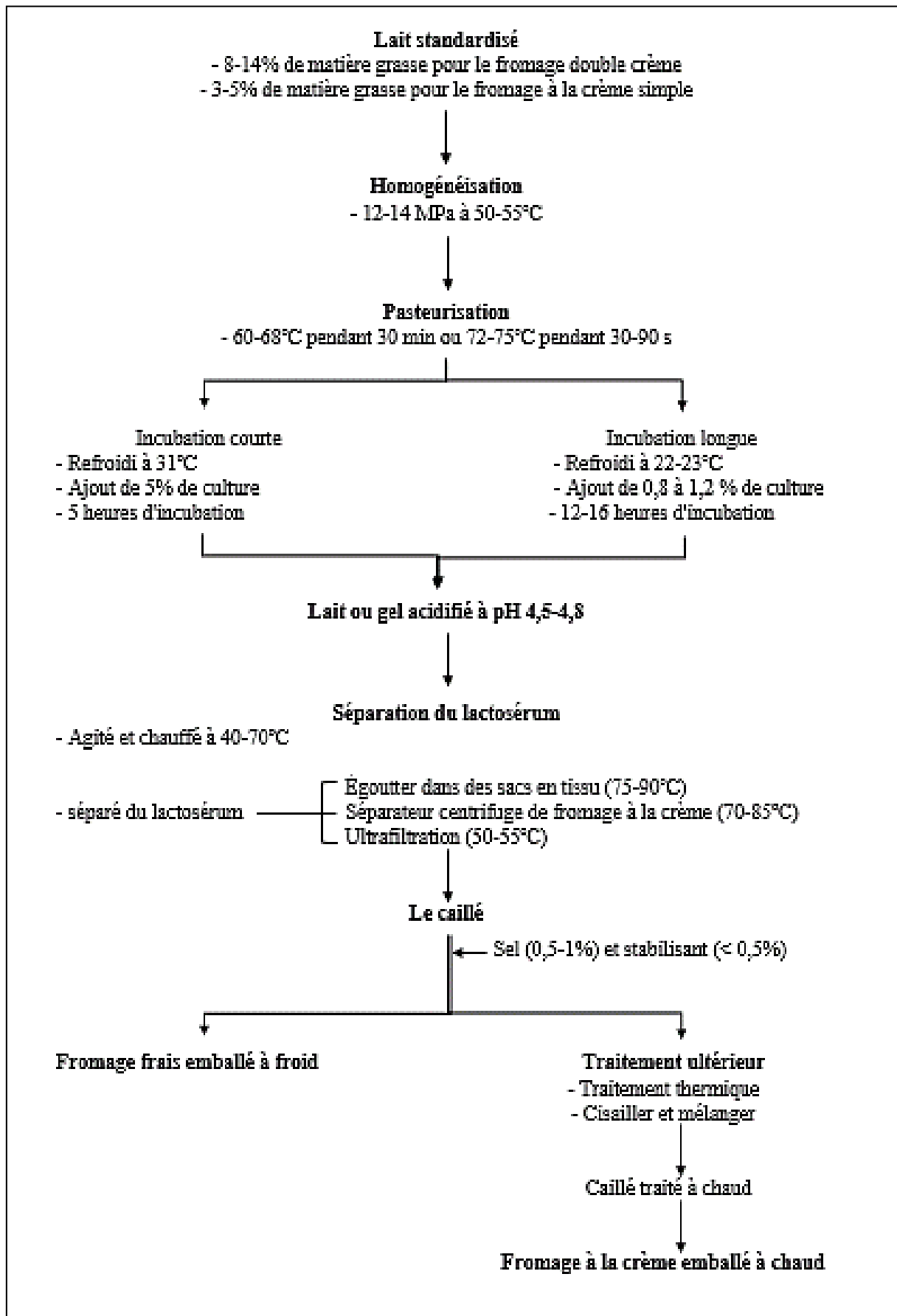


Figure III.1. Étapes de transformation pour la fabrication du fromage à la crème [20].

III.4. Constituants

III.4.1. Lait

Nous savons tous que le lait utilisé pour la fabrication du fromage peut varier dans sa composition chimique et sa qualité bactériologique d'un endroit à l'autre.

La qualité du lait est importante et il semble que, dans le cas des fromages à pâte molle, il faille considérer l'influence de la composition de la graisse principalement. [22].

Tableau III.2. Etat physicochimique des principaux constituants du lait de vache [14].

Constituants	Dimensions (µm)	Emulsion	Solution colloïdale	Suspension colloïdale	Solution vraie
Matière grasse	0,1-20	×			
Micelle de caséine	0,03-0,3			×	
Protéine du lactosérum	10^{-2} - 10^{-3}		×		
Glucides	10^{-9} - 10^{-10}				×
Minéraux	10^{-3} - 10^{-4}				×

III.4.2. Crème

La crème constitue l'élément lipidique (matière grasse) provenant du lait de vache, récupéré à l'aide de centrifugeuses écrémeuses dans les installations laitières. La dénomination « crème » est donc réservée au produit issu de l'écrémage d'un lait entier et contenant au moins 30% de matière grasse.

Les caractéristiques des crèmes varient également en fonction du traitement thermique appliqué (stérilisation UHT, pasteurisation ou thermisation), de leur viscosité (fluide, semi-épaisse ou épaisse), de leur structure (crème fouettée ou à fouetter) et de leur mode d'emballage (pots, poches, bouteilles, briques, bombes, etc.).

Avec 30% de MG et environ 300 kcal au 100 g, la crème est le moins gras et le moins calorique de tous les corps gras. Elle est riche en eau (62%), en vitamines (A et D, dans le cas où elle est entière) et des petites quantités de glucides et de protéine. Elle a une faible teneur en calcium

(70 mg/100 g), une faible teneur en cholestérol (100 mg/100 g) et son profil d'acides gras est similaire à celui du beurre.

L'addition du crème aide à standardiser la teneur en MG dans le mélange de fromage et lui confère une texture onctueuse.

III.4.3. Présure (culture)

Il est très important que les cultures soient bons producteurs d'acide, et il faut inoculer dans le lait suffisamment tôt pour obtenir un légère mais bien nette remontée de l'acidité au moment de pressurage [22].

III.4.4. Sels de fonte

Ces sels jouent un rôle essentiel pour chélater le calcium qui rassemble les protéines du réseau de paracasinate de calcium, en dispersant les protéines et en les rendant solubles, en augmentant le niveau d'hydratation des protéines, en stabilisant et régulant le pH du fromage [13].

III.4.5. Ferments lactiques

Les bactéries qui participent à la production du fromage développent la saveur et acidifie le caillé (pour avoir le gout, la texture, l'activité bactérienne...)

III.4.6. Autres ingrédients

- La poudre de lait entier qui doit contenir un minimum de 95% de solides du lait et un minimum de 26% de matière grasse. De plus, les poudres de lait entier peuvent contenir une quantité d'agent émulsifiant (lécithine) n'excédant pas 0,5%, et de la vitamine D. L'humidité de la poudre doit être inférieure a 5,0%. Des humidités plus élevées peuvent conduire au phénomène de mottage [14].

Tableau III.3. Exigences canadiennes de composition des poudres de lait Canada n° 1 et Canada n° 2 (%) [14].

Quantité	La législation	Poudre de lait écrémé	Poudre de lait partiellement écrémé	Poudre de lait entier
Matière grasse	Canada n°1	≤ 1,2	1,3 ≤ X ≤ 25,9	≥ 26,0
Humidité	Canada n°2	≤ 1,29	1,3 ≤ X ≤ 25,9	≥ 26,0
	Canada n°1	≤ 4	≤ 4	≤ 2,5
	Canada n°2	≤ 5	≤ 5	≤ 5

- La poudre de lactosérum peut remplacer au besoin une partie des solides non gras apportés par le lait. Ces poudres améliorent la tartinabilité et la stabilité des produits. Leur quantité doit toutefois rester inférieure à 10% pour éviter de conférer au fromage un goût mi-salé mi-sucré et de le rendre trop susceptible aux problèmes de cristallisation du lactose.
- Les agents de saveur (arome) amplifient une saveur trop douce ou confèrent au fromage un goût particulier.
- Les agents liants sont des hydrocolloïdes, comme la gélatine, la gomme arabique.
- Les conservateurs, les émulsifiants, les sels de fontes ... [13].

Tableau III.4. Composition chimique du fromage à la crème (%) [20].

Variétés de Cream cheese	Humidité	Gras	Protéine	Lactose	Sel	pH
Double-crème	60	30	8-10	2-3	0,75	4,6
Mono-crème	70	14	12	3,5	0,75	4,6

III.5. Qualités et défauts

Le fromage frais et les produits associés doivent avoir un blanc uniforme à une couleur crème clair avec un acide légèrement lactique et saveur et arôme de diacétyle cultivé ; des saveurs désagréables comme une saveur amère, sulfurée, de levure et non naturelle ne devrait pas être présent. La texture des produits doit être lisse, sans grumeaux ni grains, et les produits ne doivent présenter aucune indication des fissures ou une perte de lactosérum.

Il est possible que le fromage à la crème présente des imperfections en fonction du pH final. Si le pH du fromage est trop élevé (> 4,7), la texture sera molle et le fromage manquera de saveur. Lorsque le pH du fromage est inférieur à 4,6, la texture peut être trop granuleuse et la saveur sera trop acide [20].

III.6. Évaluation sensorielle du fromage à la crème

Plusieurs études ont été réalisées sur l'évaluation sensorielle du fromage à la crème. En plus de ces attributs, la tartinabilité est l'une des propriétés texturales les plus importantes pour ce fromage [20].

Tableau III.5. Attributs et définitions du fromage à la crème [20].

Apparence	
Attributs	Définitions
Couleur jaunâtre	Faible = blanc, Haut = jaune
Granularité	Faible = fromage lisse, Haut = fromage granuleux
Humidité	Aspect mouillé et brillant
Compact	Faible = poreux, Haut = compact
Texture et sensation en bouche	
Fermeté	De légèrement ferme à très ferme
Onctuosité	De légèrement onctueuse à très onctueuse
Taux de dissipation	De rapide à lent
Granularité	Faible = un fromage onctueux, Haute = un fromage granuleux
Adhérence	De facile à difficile
Saveur et goût	
Acidité (acidité)	- Acidité fraîche, rappelant le yaourt - De léger à extrême
Salé	- Goût du sel - De léger à extrême
Onctueux (goût de beurre)	- Goût de beurre - De léger à extrême

Chapitre IV. Méthodes et matériels

IV.1. Objectif de l'étude

Le but de cette étude est de ;

- ✓ Fabriquer un fromage à pâte molle de type fromage à la crème en utilisant la poudre de lait complet et la poudre de lait écrémé dans la formulation ;
- ✓ Réaliser la coagulation en utilisant un ferment lactique mixte mésophile/thermophile afin de réussir le goût et la texture visée ;
- ✓ Effectuer les analyses physicochimiques, compositionnelle et sensorielles du fromage fabriqué ;
- ✓ Accorder une grande importance au choix de la formulation, à l'évaluation de la qualité de ce fromage et à sa composition en matières grasses et en protéine, et montrer que la poudre de lait est une alternative efficace du lait cru.

IV.2. Échantillonnage

Une fois que la formulation a été sélectionnée et que le produit a été fabriqué, nous avons effectué le prélèvement de manière à obtenir plusieurs échantillons et les mettre dans des TPS de 60g pour des expériences fiables et des analyses suffisantes pour pouvoir comparer et discuter les résultats.



Figure IV.1. Forme d'échantillon à analyser (TPS)

IV.3. Formulation

La composition choisie est basée sur l'obtention d'un fromage à la crème original de haute qualité sans l'ajout d'additifs pouvant en altérer le goût, la texture, et les nutriments essentiels. La combinaison ou la mise en forme d'ingrédients est d'utiliser des composants qui sont réellement compatibles les uns avec les autres ainsi qu'avec des quantités bien définies pour en avoir un taux de matières grasses et de protéines conforme aux normes et les nutriments souhaités.

La formule doit comprendre des composants remplissant les fonctions souhaitées à savoir ;

- ✓ La coagulation dont nous avons choisi un ferment lactique type mixte « mésophile/thermophile » pour étudier son efficacité comme coagulant et sa capacité de garder le maximum de nutriments (minéraux, oligo-éléments et vitamines) et l'obtention de la texture et le goût souhaités ;
- ✓ La poudre de lait complet et écrémé, les alternatives du lait cru pour ajuster le taux en matière grasse, avoir une meilleure composition et texture.
- ✓ La poudre de protéines ; une source fiable d'acides aminés essentiels. Ce supplément riche en protéines joue un rôle crucial dans notre formulation afin de compenser le besoin en protéines.
- ✓ La crème à 35% de matière grasse qui va venir enrichir le taux de MG et compléter les fonctions de tartinabilité, de texture, de saveur et de bienfaits.
- ✓ Le sel pour maîtriser le développement des microorganismes, la conservation et le goût.

IV.3.1. Constituants

1) **Poudre de lait complet** : Le lait en poudre est un produit solide obtenu par élimination de l'eau du lait complet, du lait entièrement ou partiellement écrémé, de la crème ou d'un mélange de ces produits, et dont la teneur en matière grasse doit être au moins 26% et moins de 42% et la teneur en eau n'excède pas 5% en poids du produit fini [30].

La PDL 26% utilisé est de la marque LACTALIS ingrédients (France) ;

La composition et les caractéristiques physico-chimiques sont bien définis afin d'avoir le produit souhaité et pouvoir calculer les valeurs nutritionnelles vers la suite.

Tableau IV.1. Composition de la PDL 26% selon la fiche technique de LACTALIS.

Composition (/100g poudre)		
Humidité (%)	max	3.0
Protéines/ESD* (Nx6.38) (%)	min	35.0
Matière grasse (%)	min	26.0
Lactose** (%)	max	41.0
Matières minérales /Cendres (%)	max	6.5
Lécithine (%)	max	0.5
* ESD extrait sec dégraissé		
** par différence		

Tableau IV.2. Valeurs nutritionnelles de la PDL 26% de la marque LACTALIS.

V.nutritionnelles (calculées)	
Valeur énergétique (/100 g)	2 085 KJ / 500 Kcal
Informations Nutritionnelles *	
Glucides (Lactose)	41g
Acides gras saturés	17g
Sodium	0,4g
*Valeurs théoriques/100 g	

Tableau IV.3. Caractéristiques sensorielles, physico-chimiques et bactériologiques de la PDL 26% de la marque LACTALIS.

Sensorielle	
Couleur	Blanche à crème
Goût et odeur	Lactés
Physico-chimie	
Nitrates (ppm)	max 50
pH	6.6 ± 0.2
Densité apparente (g/l)	370-470
Mouillabilité	max 20 sec à 20°C
Bactériologie (UFC*)	
Germes totaux / 1 g	< 10 000
Levures/moisissures / 1 g	< 10
Coliformes / 1 g	< 10
E.coli / 1 g	Absence
Salmonelles / 375 g	Absence

- 2) **Poudre de lait écrémé** : C'est le lait déshydraté contenant, en poids, au maximum 1,5% de matières grasses [30].

La PDL 0% que nous avons utilisé est de la marque LACTALIS ingrédients (France) ;

La composition et les caractéristiques physico-chimiques sont bien définis afin d'avoir le produit souhaité et pouvoir calculer les valeurs nutritionnelles vers la suite.

Tableau IV.4. Composition de la PDL 0% selon la fiche technique de LACTALIS.

Composition (/100g poudre)		
Humidité (%)	max	3.5
Protéines/ESD* (Nx6.38) (%)	min	34.0
Matière grasse (%)	max	1.5
Lactose (%)	max	56.0
Matières minérales /Cendres (%)	max	8.5
* ESD extrait sec dégraissé		

Tableau IV.5. Valeurs nutritionnelles de la PDL 0% de la marque

Valeurs nutritionnelles (calculées)	
Valeur énergétique (/100 g)	1550 KJ / 365 Kcal
Informations Nutritionnelles *	
Sucre (Lactose)	56g
Acides gras saturés	0,9g
Sodium	0,4g
*Valeurs théoriques/100 g	

Tableau IV.6. Caractéristiques sensoriels, physico-chimiques et bactériologiques de la PDL 0% de la marque LACTALIS.

Sensorielle	
Couleur	Blanche à crème
Goût et odeur	Lactés
Physico-chimie	
Nitrates (ppm)	max 50
Acidité Titrable (%)	max 0.15
pH	6.6 ± 0.2
Solubilité	99%
Densité apparente (g/l)	500-650
Antibiotiques	Absence
Bactériologie (UFC*)	
Germes totaux / 1g	< 10 000
Levures/moisissures / 1g	< 10
Coliformes / 1g	< 10
E.coli / 1g	Absence
Salmonelles / 375g	Absence
Bacillus Cereus / 1g	< 100
Listeria / 25g	Absence

- 3) **Crème 35% MG** : Son rôle dans notre préparation est indispensable car elle apporte au fromage son aspect crémeux, sa texture et sa saveur.

La composition de la crème liquide que nous avons utilisé est comme suit ;

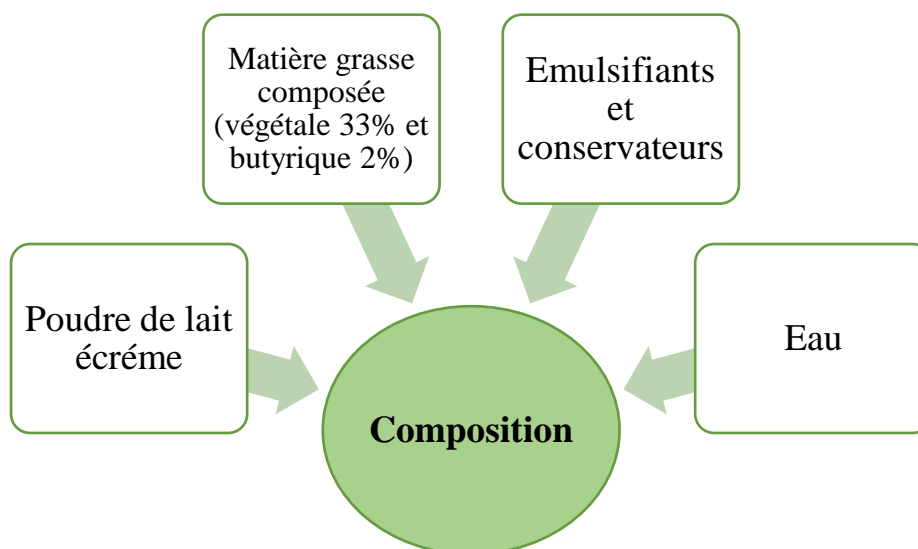


Figure IV.2. Composition de la crème 35% MG utilisée.

Les valeurs nutritionnelles de la crème 35% pour 100g sont comme suit ;

Tableau IV.7. Valeurs nutritionnelles de la crème 35%

Nutriments	Valeurs moyennes
Lipides	35g
Glucides	6,56g
Protéines	2,76g
Valeur énergétique	1453,44KJ/352,28Kcal

4) Poudre de protéine : Les protéines sont un composant très utilisé dans les compléments alimentaires et dans différents produits consommés [31].

La poudre de protéine que nous avons utilisée est de la marque Dairy Best concentré à 85% de protéines du lait ; c'est une préparation protéique concentrée obtenue par ultrafiltration de lait écrémé liquide frais et pasteurisé qui conserve les protéines dans leur état naturel et le même rapport entre les protéines que pour le lait liquide.

Parmi ses applications est la fabrication de fromages frais et fondus, et les statuts allergènes déclarés sur sa fiche technique sont la présence du lait et des produits laitiers.

Les propriétés physico-chimiques, sensorielles et bactériologiques selon la fiche technique sont comme suit ;

Tableau IV.8. Propriétés chimiques-physiques et caractéristiques sensorielles de MPC 85%

Propriétés physico-chimiques	
Humidité	7,0% maximum
Matière grasse du lait	2,5% maximum
Protéine (base sèche)	85,0 % minimum
pH (10% sol)	6,6 – 7,4
Substances inhibitrices	<0,003 ug/ml
Cendre	8,5% maximum
Lactose	5,5% typique
Caractéristiques sensorielles	
Saveur et odeur	Bien
Apparence et couleur	Crème à Blanc

Tableau IV.9. Bactériologie de MPC 85%.

Limites microbiologiques	
Nombre de plaques standard	30,000/g maximum
Coliformes	Absents/0,1g
Staphylocoques Coagulase positive	<10/g
Salmonelle	Absente/375g
Levure & Moisissure	50/g max

5) **Coagulant** : Le lait peut être coagulé en lui ajoutant de la présure ou en l'acidifiant par l'intermédiaire de bactéries lactiques ou par acidification chimique en dénaturant la caséine [26].

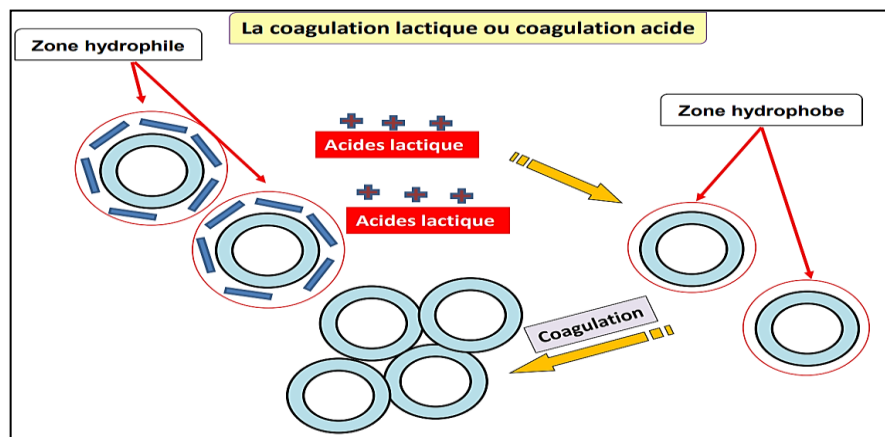


Figure IV.3. Coagulation acide [26].

Nous avons choisi l'acidification par un ferment lactique mixte mésophile/thermophile pour notre préparation, XPL 30 de la marque CHR HENSEN ;

Tableau IV.10. Information sur XPL 30 selon la fiche technique de CHR HENSEN.

XPL 30	Description
Produit	Mélange de cultures mésophiles homofermentaires type O et de cultures thermophiles. Cette culture est texturante et ne produit pas de CO ₂ .
Description culture	<ul style="list-style-type: none"> - Lactococcus lactis subsp. cremoris - Lactococcus lactis subsp. lactis - Streptococcus thermophilus
Couleur	Blanc cassé à légèrement rouge ou brun
Forme	Granulat
Stockage et manutention	< -18 °C

- **Ferment lactique type mésophile** : Nous savons aujourd'hui que le choix d'un ferment et le judicieux équilibre des souches qui le composent sont responsables pour une bonne part de la qualité et de la régularité du produit fini [28].

Les ferments lactiques mésophiles font parties de la classification selon la croissance de la température. Les bactéries lactiques qui constituent ces ferments ont une température optimale de croissance qui varie selon les souches entre 25°C et 30°C et peuvent atteindre une température maximale de fermentation de 38°C à 40°C.

Ils sont constitués essentiellement des espèces acidifiantes et des espèces aromatisants.

Les ferments mésophiles sont habituellement utilisés dans la fabrication de plusieurs variétés de fromages, en particulier les fromages frais, de certains laits fermentés et du beurre [29].

- **Ferment lactique type thermophile** : Ces bactéries font partie de la classification selon la croissance de la température ; si on chauffe à plus haute température ; 37-45°C mais fermentation possible de 20-50°C, plus lente aux extrêmes.

Un des rôles majeurs de cet ensemencement est d'assurer l'acidification du fromage, qui va déterminer l'égouttage, la conservation, la texture, le développement des microorganismes et donc la qualité du produit final [32].

- 6) **Sel** : Pour son rôle intéressant, nous avons opté pour l'utilisation du sel dans un échantillon afin de profiter de ces bienfaits mais en contrôlant la quantité pour que notre fromage à la crème sera utile même dans les préparations sucrées.



Figure IV.4. PDL 0% utilisée.



Figure IV.5. MPC 85% utilisée.



Figure IV.6. Ferment lactique mixte CHR HENSEN utilisé.



Figure IV.7. Crème liquide 35% MG utilisée.

IV.4. Etapes de la préparation

Un schéma simplifié de la fabrication du Cream-Cheese et des processus impliqués est montré ci-dessous ;

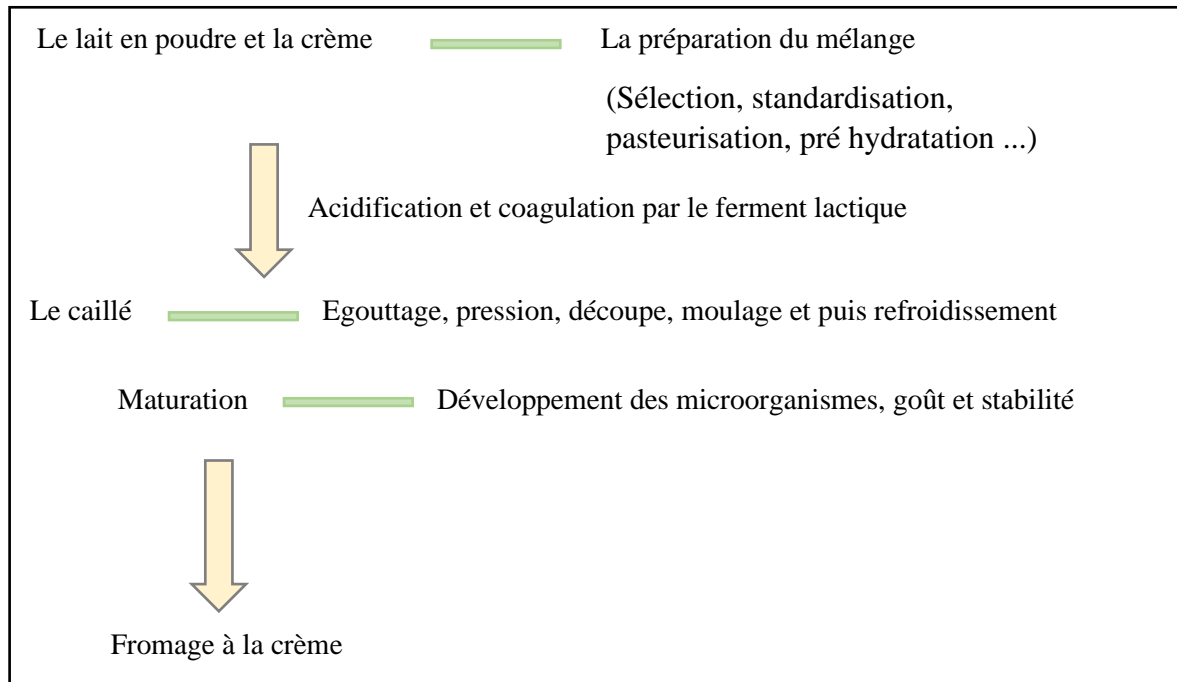


Figure IV.8. Schéma des processus impliqués dans le fromage à la crème fabriqué.

IV.4.1. Appareillage et matériels

Les appareils et matériels utilisés appartient au laboratoire Falait SPA à savoir ;

- Labo Recherche et développement
- Labo Contrôle qualité

Tableau IV.11. Appareillage et matériels utilisés pour la fabrication.

Appareillage	Matériels
Thermomix	Tissu filtrant
Balance de précision	Boite de conservation
Réfrigérateur	
Thermomètre	
pH-mètre	



Figure IV.9. Thermomix, tissu filtrant et pH-mètre

IV.4.2. Mode opératoire

- Nous préparons les ingrédients secs, c'est-à-dire le mélange du lait (la poudre de lait complet et la poudre de lait écrémé) ;
- Pour une préparation de 2L d'eau et un mélange de 250g de poudre de lait, nous avons pesé 125g de poudre entière et 125g de poudre écrémée ;
- Nous pesons 60g de poudre de protéine et nous l'ajoutons aux ingrédients secs préparés ;
- Nous versons ces ingrédients dans le cuiseur et nous rajoutons l'eau (2L) ;
- Nous agitons soigneusement à une vitesse de $V = 1,5$ tr/min en but de pré hydrater le mélange ;
- Nous ajoutons la crème liquide de 35% MG nécessaire ;
- Nous entamons à la pasteurisation à $V = 3,5$ tr/min qui a duré 11min jusqu'à atteindre la température de [68-70°C] et nous l'avons maintenu pendant 4min ;
- Nous contrôlons la température à chaque instant à l'aide du thermomètre ;
- Pour atteindre ensuite une température de 38-40°C nous refroidissons le mélange dans le réfrigérateur ;
- Après atteindre la température exacte nous rajoutons le ferment lactique mix mésophile/thermophile $m = 0,03g$ en s'assurant que la température est de 35-40°C pour la bonne croissance du ferment ;
- Nous arrêtons la fermentation quand l'acidification est terminée c'est-à-dire nous atteignons un $pH = 4,6$;
- Après 12h de fermentation nous entamons à l'égouttage à l'aide d'un tissu filtrant pendant 5h jusqu'à la récupération totale du caillé formé et la séparation complète du lactosérum ;
- Nous récupérons le caillé ;
- Nous entamons le refroidissement ;

- Nous prenons un échantillon représentatif de $m=63\text{g}$ du fromage préparé pour le salage dont pour un Target de 0,4% de sel dans 100g de fromage à la crème, nous ajoutons 0,25g de sel ;
- Nous commençons les analyses nécessaires.

➤ **Mode opératoire d'une autre préparation :**

- Nous préparons une quantité de $m=350\text{g}$ de la crème liquide 35% MG déjà fermenté avec le même ferment lactique utilisé précédemment avec une quantité de $m=0,03\text{g}$ et nous l'ajoutons au caillé ;
- Nous mélangeons le produit final délicatement et nous le refroidissons ;
- Nous commençons les analyses nécessaires.

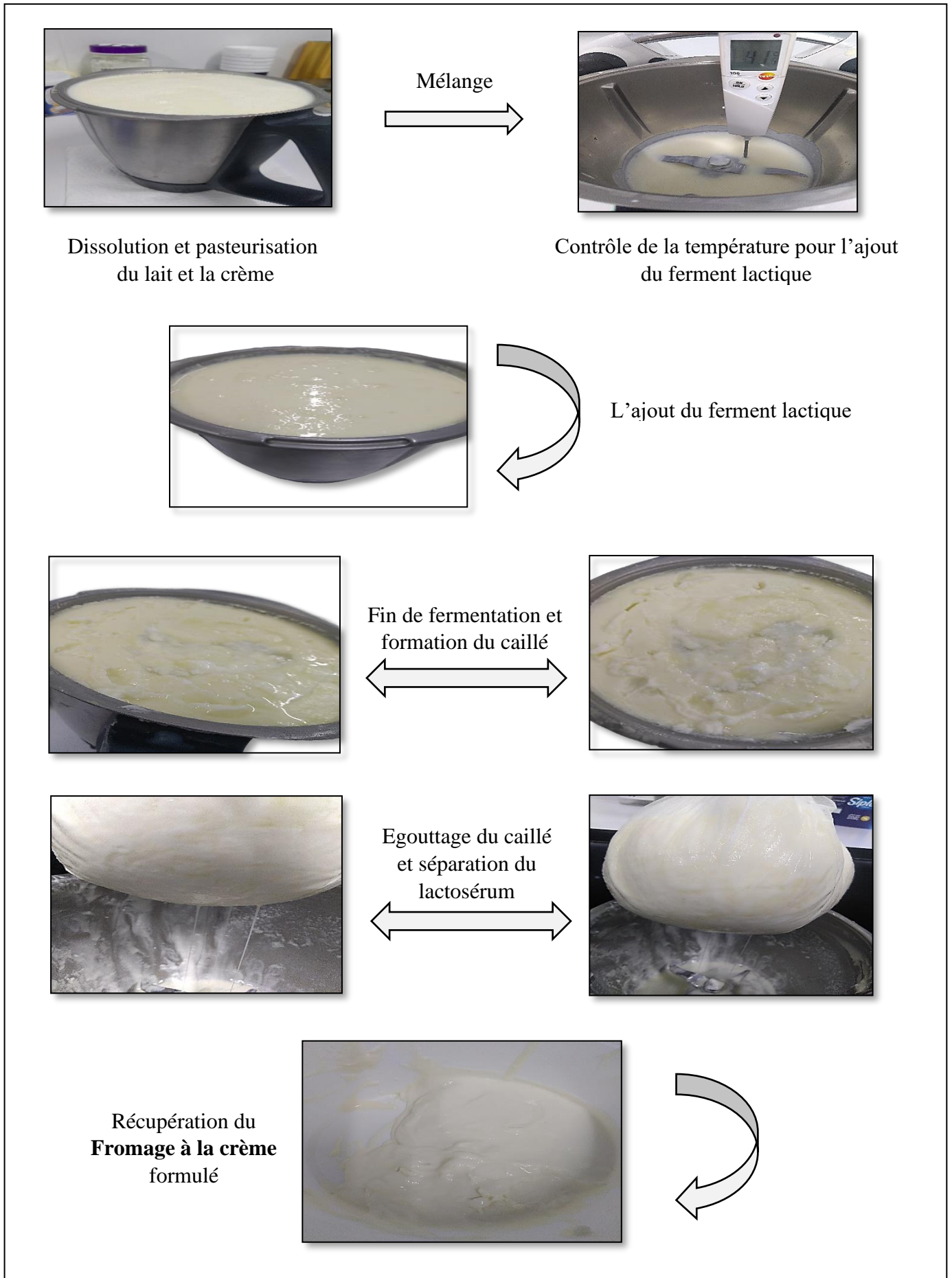


Figure IV.10. Mode opératoire de la fabrication.

IV.5. Analyses physico chimiques

IV.5.1. Analyse de l'eau utilisée dans la formulation

- **But de l'analyse :** L'usine Falait s'assure que la source de l'eau utilisée pour la préparation de ses fromages soit bien sélectionnée et analysée, c'est pour cela qu'ils utilisent de l'eau qui provienne par forage d'un puit bien étudié pour permettre de prévenir des problèmes tels que la corrosion, l'entartrage et l'encrassement.

Donc l'eau de notre préparation provienne aussi de ce puit alors nous avons effectué des analyses de qualité. Après avoir prélever des échantillons d'eau directement du robinet du laboratoire.

Les analyses effectuées sont au niveau de :

- Eau du puit après forage : Adoucissement de l'eau en enlevant le calcaire et calculer la dureté afin d'avoir une eau douce.
- Eau du ballon qui est une citerne pour conserver l'eau douce : Ajout de la solution Analyflux pour la protection de la tuyauterie contre la corrosion
- Eau de chaudière qui chauffe l'eau nécessaire pour la fabrication du fromage qui sera déplacé en vapeur directement vers la ligne de production : Mesure de pH, conductivité, sulfites...

- **Matériels et produits utilisés**

Tableau IV.12. Matériels et produits utilisés pour l'analyse de l'eau.

Matériels	Produits
Erlen meyer	Eau distillée
Burette	Ériochrome noir T ; indicateur complexométrique utilisé dans les titrages complexométriques, c'est un colorant azoïque.
pH-mètre	Tampon K10
Un conductimètre	Hélianthine ; orangé de méthyle, est un indicateur coloré utilisé en chimie pour les dosages acido-basiques.
	Phénolphtaléine ; indicateurs colorés qui dérivent du triphénylméthane et le virage de cet indicateur se fait en milieu basique.
	Liqueur alcalimétrique pour l'alcalinité de l'eau
	Liqueur argentimétrique
	Quantofix sulfite
	Analyflux (inhibiteurs de corrosion)
	Chromate de potassium (indicateur coloré)

1. Eau douce

1.1. La dureté : Dans le but d'avoir une eau douce.

- **Protocole**

- Nous prenons 25ml d'eau de forage et nous ajoutons 4gouttes de Ériochrome noir T ;
- Si une couleur bleue apparaisse c'est-à-dire l'eau est douce si non nous ajoutons 8gouttes de Tampon K10 et puis nous entamons le titrage à l'aide de la liqueur complexométrique ;
- La lecture se fait directement sur la burette et la valeur obtenue est multipliée avec le degré français (4f°).

$$\text{Valeur} \times 4 = \text{Valeur avec le degré français}$$

2. Eau de ballon

2.1. TA (Alcalinité libre) : Permet d'évaluer les teneurs de l'eau en bicarbonates, en carbonates et en hydroxydes alcalins.

- **Protocole**

- Nous prenons 25ml d'eau de forage et nous ajoutons 4gouttes de Phénolphtaléine ;
- Nous ajoutons la liqueur complexométrique pour le titrage, le point de virage de la phénolphtaléine, où elle change de rose à incolore nous notons le volume.

2.2. TAC (Alcalinité complète) : Une mesure permettant d'indiquer la quantité de sels minéraux présents dans l'eau (teneur en bicarbonate et carbonates).

- **Protocole**

- Nous prenons 25ml d'eau de forage et nous ajoutons 4gouttes d'Hélianthine ;
- Nous obtenons une couleur jaune, nous entamons le titrage avec la liqueur alcalimétrique jusqu'à l'obtention de la couleur orange et nous notons le volume ;
- Nous multiplions le volume noté et le degré français 4 (°f ou °fH), qui est l'unité du titre hydrotimétrique pour noter le résultat ;
- Pour obtenir ensuite la valeur de l'alcalinité complète ;

$$TA + TAC = \text{Alcalinité complète}$$

3. Eau de chaudière

3.1. TA

- **Protocole**

- Nous prenons 25ml d'eau de forage et nous ajoutons 4gouttes de Phénolphtaléine ;
- Nous ajoutons la liqueur complexométrique pour le titrage et nous notons le volume après le changement de couleur de rose à incolore.

3.2. TAC

- **Protocole**

- Nous prenons 25ml d'eau de forage et nous ajoutons 4gouttes d'Hélianthine ;
- Nous entamons le titrage complexométrique et après l'obtention de la couleur orange nous notons le volume.

3.3. Chlorures : La concentration en ions chlorure Cl⁻ ne doit pas dépasser une limite bien déterminer pour que l'eau soit adaptée à la consommation.

- **Protocole**

- Nous prenons 25ml d'eau de forage et nous ajoutons 4gouttes de chromate de potassium ;

- Nous entamons le titrage progressivement avec la liqueur argentimétrique, lorsque tous les ions chlorure ont réagi, l'excès de nitrate d'argent réagit avec les ions chromate pour former une couleur orange foncé (rouge-brun) indiquant la fin du titrage et nous notons le volume.

3.4. Sulfites : Pour contrôler la quantité d'oxygène dissous présent dans les chaudières et qui doit être nul.

- **Protocole**

- Nous trempions une bandelette de Quantofix sulfite dans l'eau et nous comparons la couleur obtenue avec l'échelle de couleur sur la boîte de Quantofix.

3.5. pH de la chaudière : Pour l'efficacité et la fiabilité de la chaudière l'eau doit être basique.

- **Protocole**

- A l'aide du pH mètre nous avons noté la valeur du pH.

3.6. Conductivité : Permet de déterminer la présence des minéraux, mais aussi de tous les autres ions plus ou moins néfastes dans l'eau et qui doit être faible.

- **Protocole**

- A l'aide du conductimètre nous avons noté la valeur de la conductivité.

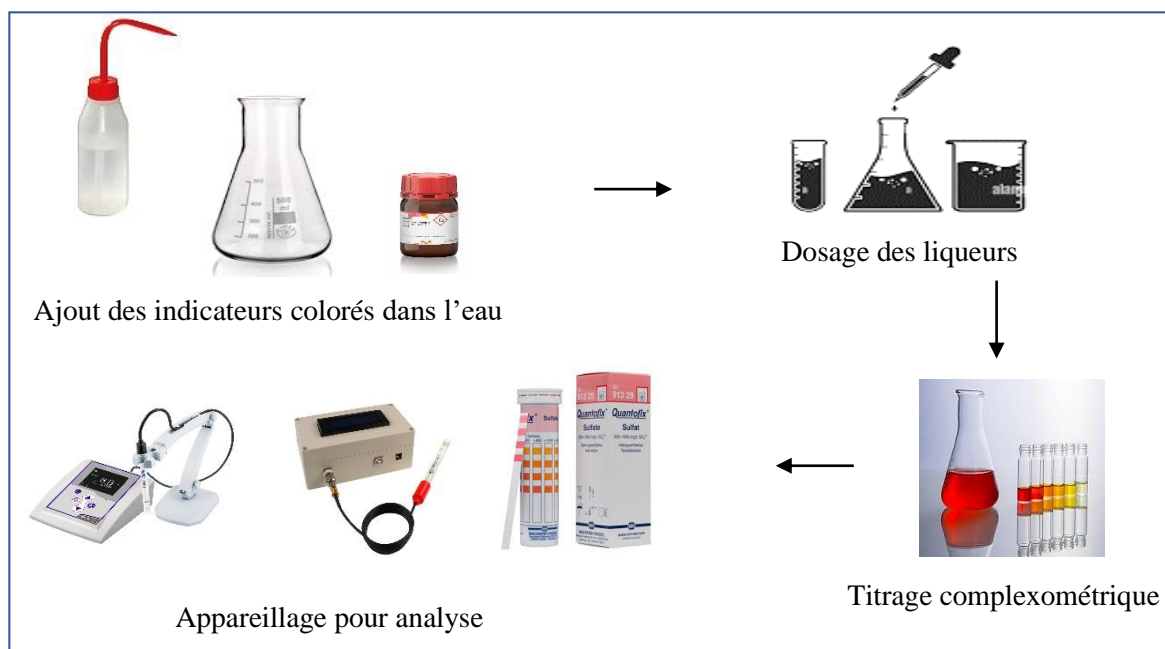


Figure IV.11. Schéma des procédures et matériels de l'analyse d'eau de forage.

IV.5.2. Analyse du pH

- **But :** Le potentiel d'hydrogène représente la concentration en ions hydrogène positifs dans un composé, il permet de mesurer le degré d'alcalinité ou d'acidité d'un aliment. Le pH est un facteur essentiel pour préserver la texture, la saveur et la durée de conservation désirées des aliments.
- **Protocole**
 - Tout au long de la préparation du fromage (les différentes phases), à savoir avant la fermentation, pendant l'acidification, après l'égouttage et après le refroidissement, le pH est mesuré directement avec un pH-mètre à l'aide d'une électrode combinée.



Figure IV.12. Contrôle du pH du fromage à la crème fabriqué.

IV.5.3. Analyse de l'extrait sec

- **But :** Évaluer la proportion totale de matière sèche et de lipides totaux (matière grasse) d'un produit biologique par masse.
Les matières sèches totales, également appelées extraits secs total, sont toutes les substances qui, dans des conditions physiques spécifiques, ne se volatilisent pas [33].
- **Appareillage et matériels**
 - Capsule cylindrique en inox à fond plat de dimensions permettant d'éviter des pertes de liquide lors de l'évaporation (creuset).
 - Appareil extrait sec (dessiccateur).



Figure IV.13. Dessiccateur et creuset.

- **Protocole**
 - Homogénéiser le fromage pour obtenir un échantillon représentatif ;
 - Nous prenons une quantité de $m=2g$ et nous la mettons dans le creuset en aluminium préalablement taré et nous l'étalons soigneusement ;
 - Nous plaçons le creuset dans le dessiccateur ;
 - Nous lançons le protocole à une température bien défini ($130^{\circ}C$) ;
 - Après environ 10min le résultat est lu directement sur l'afficheur numérique après un bip sonore et la valeur de l'ES est en pourcentage %.



Figure IV.14. Analyse extrait sec

IV.5.4. Humidité

- **But :** La mesure de l'humidité dans le fromage est une pratique cruciale pour maintenir la qualité, assurer la sécurité, respecter les réglementations et optimiser le processus de production.
- **Protocole**
 - Pour calculer l'humidité, il faut connaître l'extrait sec du fromage pour calculer la différence

$$100-ES = H\%$$

IV.5.5. Analyse de la matière grasse

- **But :** Le calcul de la teneur en matière grasse du fromage est crucial pour garantir la qualité du produit, informer les consommateurs, respecter les réglementations et contribuer à la recherche en nutrition.
Son principe est d'utiliser de l'acide sulfurique pour décomposer les protéines du lait et libérer les graisses. L'alcool amylique est ajouté pour séparer la graisse.

- **Appareillage et matériel**

Tableau IV.13. Appareillage et matériels utilisés pour l'analyse de ES.

Appareillage	Matériels
Balance électrique	Butyromètre fromage (godet perforé)
Bain marie	
Centrifugeuse	



Figure IV.15. Bain marie.

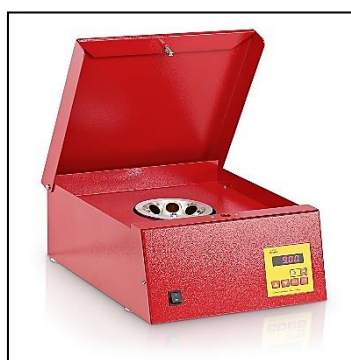


Figure IV.16. Centrifugeuse pour butyromètre.

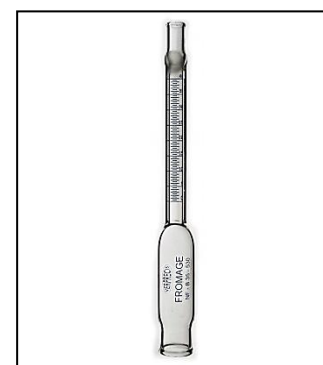


Figure IV.17. Un butyromètre.

- **Protocole (Méthode de Gerber)**

- Homogénéiser le fromage pour obtenir un échantillon représentatif ;
- Après avoir taré la masse du godet nous ajoutons 3g de fromage ;
- Nous ajoutons l'acide sulfurique d'une quantité nécessaire afin d'immerger toute la quantité de fromage ;
- Le godet est bouché et agité pour bien dissoudre ;
- Afin d'éviter tout mécompte, nous plaçons le butyromètre dans un bain-marie dont la température est de 65 à 68°C, et nous l'y maintenons pendant un quart d'heure en agitant fréquemment ;
- Après avoir dissoudre le fromage nous le faisons sortir du bain marie et nous ajoutons 1goutte de l'alcool iso-amylque ;
- Nous rajoutons aussi 35ml d'acide sulfurique et puis nous le mettons encore dans le bain marie pour bien mélanger ;
- Après la dissolution complète nous le mettons dans la centrifugeuse pendant 10min ;
- La lecture se fait directement sur le godet dont la matière grasse s'agit de la phase supérieur (hydrophobe).

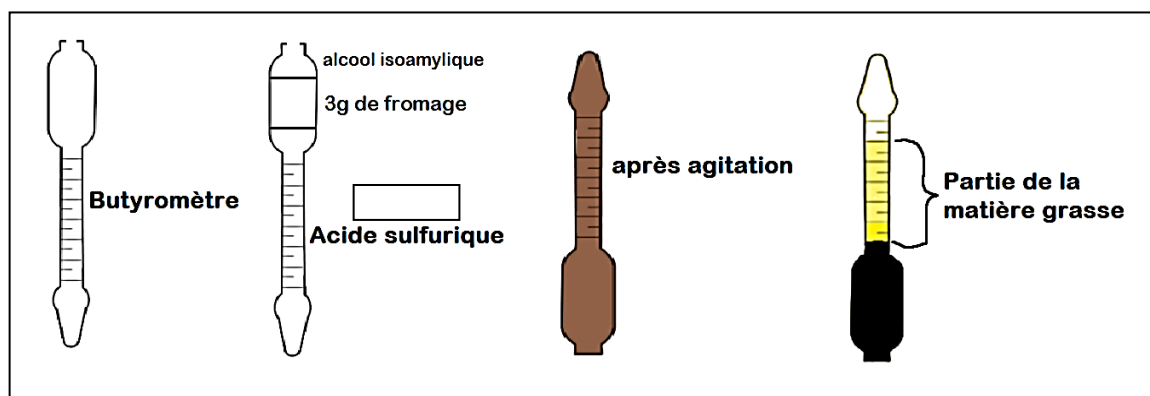


Figure IV.18. Méthode Gerber de calcul de la matière grasse.

IV.6. Analyses organoleptiques [35]

La qualité du fromage est déterminée par sa saveur (goût et arôme), sa texture (dureté, friabilité, cohésion, extensibilité, tranchage, etc.) et son aspect (couleur, uniformité, fissures et présence ou absence de moisissures).

L'importance relative de la saveur et de la texture dépend de la variété des fromages.

Les méthodes sensorielles utilisées pour mesurer la texture des aliments sont de trois types généraux :

1. Méthodes d'attribut (ou de profilage) : les plus largement utilisées comprennent
 - La méthode du profil de texture
 - Analyse descriptive
 - Profilage libre choix
2. Méthodes de différence
3. Méthodes de préférence.

IV.6.1. Analyses de texture

La définition de texture actuellement utilisée par l'Organisation internationale de normalisation inclut tous les attributs d'un produit perceptibles au moyen de récepteurs tactiles mécaniques et, le cas échéant, visuels et auditifs [34].

La texture sensorielle vise à évaluer les sensations cumulées perçues en utilisant des descripteurs ou des scores.



Figure IV.19. Texture et tartinabilité du fromage à la crème fabriqué.

IV.6.1.1. Propriétés rhéologiques [8].

Les propriétés rhéologiques du fromage sont ceux qui déterminent sa réponse à une contrainte ou déformation (par exemple, compression, cisaillement ou coupe) qui est appliqué pendant le traitement (par ex ; potironner, trancher, râper...) et consommation (trancher, tartiner et mastication). Ces propriétés incluent des propriétés intrinsèques caractéristiques telles que l'élasticité, la viscosité, et la viscoélasticité, qui sont principalement liées à la composition, la structure et la force des attractions entre les éléments structurels du fromage.

Les propriétés rhéologiques du fromage sont d'une importance considérable, car ils affectent :

- Les caractéristiques de manipulation et d'emballage ;
- La texture et la qualité gustative, qui sont déterminées par l'effort nécessaire à la mastication du fromage (cette dernière peut, à son tour, influencer sa saveur et son arôme et l'adéquation du fromage pour différents groupes de consommateurs, comme les enfants ou les personnes âgées) ;
- L'utilisation comme ingrédient, car ils déterminent son comportement lorsqu'il est soumis à différentes tailles de réduction (telles que le râpage et le cisaillement) et la façon dont le fromage interagit avec d'autres ingrédients des aliments ;
- Capacité à conserver une forme donnée à un moment donné et à différentes températures ;
- Capacité à retenir les gaz et donc à former des fissures ou un gonflement.

IV.6.1.2. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques se manifestent par la réaction de l'aliment à un stress appliqué lors de la consommation (par exemple, presser entre les doigts, coupe manuelle et mastication). Ils comprennent les caractéristiques suivantes : dureté, cohésion, viscosité, élasticité, moelleux, fragilité et caractère gommeux.

Ces propriétés sont mesurées organoleptiquement par la pression exercée sur le fromage par les dents, la langue et le palais en mangeant [8].

Tableau IV.21. Définition des propriétés mécaniques du fromage à l'aide du profil général de texture des aliments [8].

Caractéristiques mécaniques	
Propriétés primaires	
Dureté	La force nécessaire pour compresser un fromage entre les dents molaires (par exemple, fromage dur et semi-dure) ou entre la langue et le palais (par exemple, pour fromage a pate molle et fromage fondu a tartiner) a une déformation donnée ou au point de pénétration.
Cohésivité	La mesure dans laquelle un fromage peut être déformé avant de rompre.
Ressort (élasticité)	Le degré de récupération d'un morceau de fromage déformé (tendu) après que La force de déformation est supprimée.
Adhésivité	La force nécessaire pour retirer le fromage qui adhère à la bouche (généralement le palais) pendant le processus de consommation normal.
Propriétés secondaires	
Fracturabilité (fragilité)	La force avec laquelle un fromage s'effrite, se fissure ou se brise lorsqu'il est déformé. La fracturation est le résultat d'un degré élevé de dureté et d'un faible degré d'adhésivité.
Moelleux	La durée ou le nombre de mâcher requis pour masquer un fromage à un état prêt à avaler. Le moelleux est le produit de la dureté.
Caractère gommeux	Une densité qui persiste tout au long de la mastication ; énergie requise pour désintégrer un morceau de fromage à un état prêt à avaler. Le caractère gommeux est un produit d'un faible degré de dureté et d'un haut degré de cohésion.

IV.6.2. Aspect [8]

Les caractéristiques qui contribuent à la perception initiale de la texture du fromage, avant de le manger, comprennent :

- Aspect visuel (par exemple, présence de trous, ou de granules et rugosité ou douceur de la surface) ;
- Caractéristiques de friabilité, d'élasticité, de caractère collant et de tranchage ;
- Caractéristiques d'étalement (importantes pour les fromages fondus pasteurisés à tartiner).



Figure IV.20. Aspect du fromage à la crème fabriqué

IV.6.3. Evaluation [8]

La consommation d'un morceau de fromage implique la série d'événements suivants :

- Évaluation visuelle : La perception visuelle peut créer une première impression importante sur le goût et la texture attendus du fromage ;
- Évaluation au toucher ;
- Manger, qui se déroule en quatre phases :
 1. Placement dans la bouche, y compris le contact avec les terminaisons nerveuses de la langue et des joues qui contribuent aux sensations collectivement appelées somesthésies (par exemple, sensations de toucher, de douleur, de chaleur et de froid) ;
 2. Une première morsure par les dents (une résistance à la coupe des incisives peut être en cause) ;
 3. Mâcher ;
 4. Ingestion du fromage.

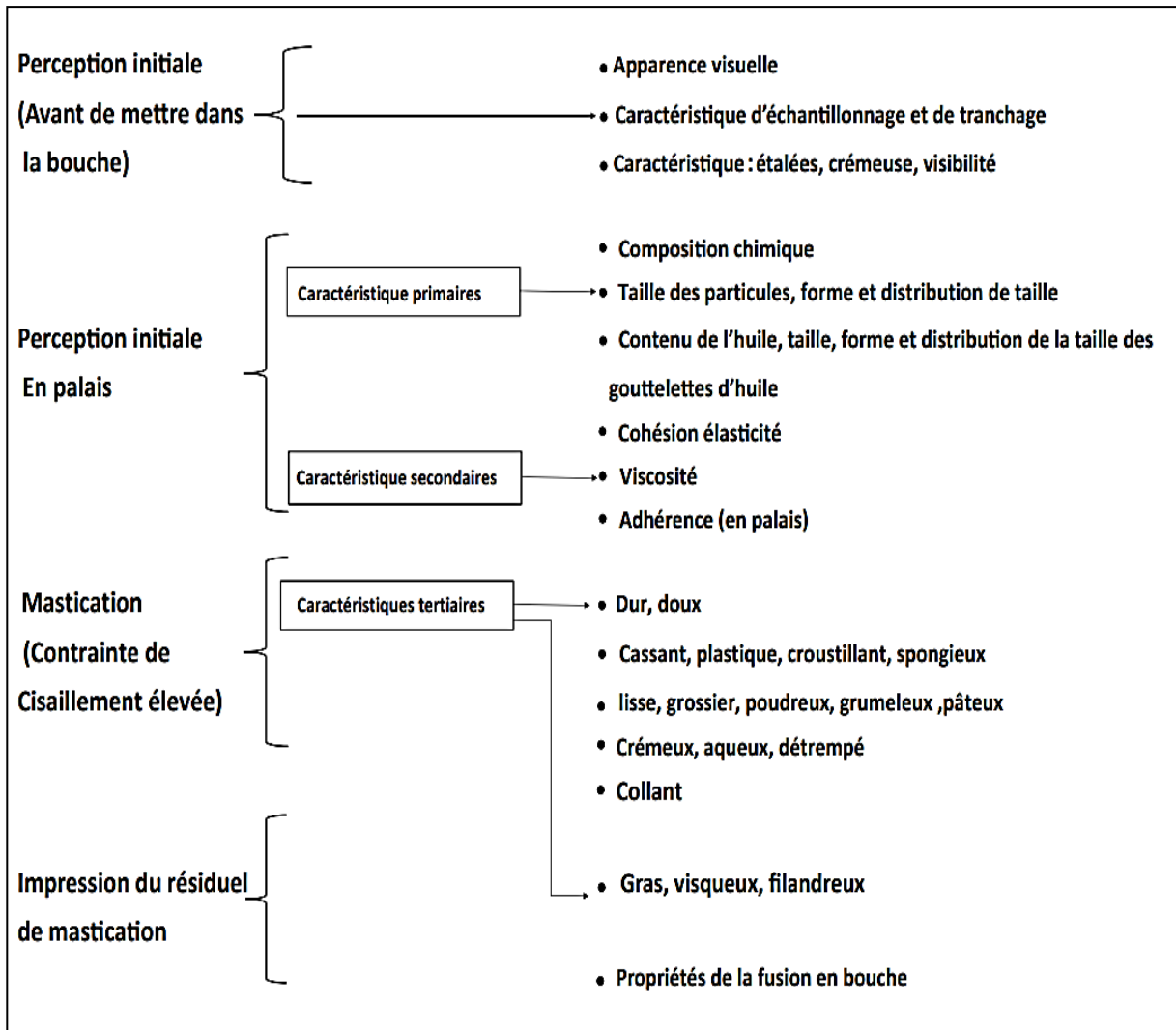


Figure IV.21. Evaluations organoleptiques et caractéristiques du fromage [8].

Chapitre V. Résultats et discussions

V.1. Choix de la formulation

Le choix de notre formulation pour fabriquer le fromage à la crème repose sur une compréhension approfondie des ingrédients, des différentes phases de fabrication, des exigences sensorielles et des normes de qualité.

Chaque aspect doit être soigneusement évalué et testé pour garantir un produit final de haute qualité qui répond aux attentes des consommateurs.

Les principaux points à aborder impliquent de prendre en compte plusieurs aspects clés pour garantir la qualité, la texture, le goût et la stabilité du produit final.

V.1.1. Constituants

V.1.1.1. Poudre de lait 26% et 0%

La poudre de lait entier présente toutes les caractéristiques des laits naturels (liquides) sous forme sèche. Elle est en général économique, nutritive et possède d'excellentes propriétés fonctionnelles.

La poudre de lait écrémé possède également des propriétés épaississantes et gélifiantes. Elle est dotée d'excellentes propriétés émulsifiantes par ses protéines qui s'adsorbent et stabilisent les interfaces huile/eau [14].

Tableau V.1. Comparaison entre la composition du lait frais et la poudre de lait.

Composition (%) Type de lait	Lait cru [15].	Poudre de lait utilisé	Norme de la poudre de lait [14].
Humidité (%)	89,5	3	2 à 4,5
Protéines (%)	3,27	35	26 à 27
Matière grasse (%)	≤3,5	26 (complet) 1,5 (écrémé)	Selon le type 0,6 à 28,5
Lactose (/100g)	4,7	41 (complet) 56 (écrémé)	36 à 52

- L'humidité de la poudre de lait est généralement faible pour assurer sa conservation et sa stabilité. Typiquement, la teneur en humidité de la poudre de lait se situe entre 2 et 5 %, cette faible teneur en humidité empêche la croissance microbienne et la dégradation

du produit, permettant ainsi une longue durée de conservation lorsqu'il est stocké correctement. Donc l'humidité des poudres de lait choisis sont bien conformes ;

Le lait cru est composé d'environ 87% d'eau, ce qui signifie que son taux d'humidité est très élevé donc nous ne pouvons pas comparer avec les poudres de lait car ce n'est pas un indice de qualité ;

- La poudre de lait complet est plus riche en protéines que le lait cru sur une base pondérale, la poudre de lait est le résultat de la déshydratation du lait cru, ce qui concentre ses nutriments ;

Les poudres de lait choisis sont même riches en protéine comparant aux normes donc elles sont adéquates pour le choix de fabriquer un fromage à la crème riche en protéines ;

- Le taux élevé du lactose dans les poudres de laits utilisés est normal par rapport aux poudres habituelles mais très élevés par rapport au lait cru, c'est pour cela qu'une étude des quantités de lactose théorique obtenu est crucial pour ne pas dépasser les normes de lactose dans un fromage ;
- Le choix de mélanger de la poudre de lait entier et écrémé dans la formulation présente plusieurs avantages à savoir ; le contrôle du taux de MG car en ajustant les proportions des poudres nous pouvons atteindre le taux de MG souhaité dans le fromage. Ainsi ce mélange contrôlé a pu aider à obtenir la texture idéale, d'un fromage crémeux avec un gras équilibré.

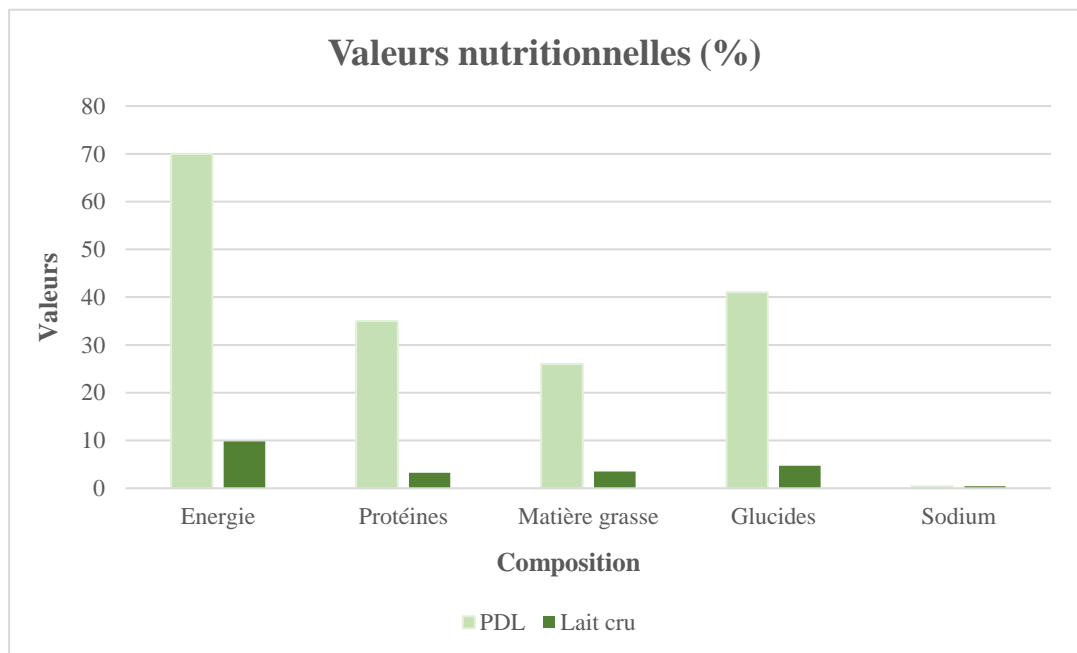


Figure V.1. Comparaison entre les valeurs nutritionnelles de la PDL et le lait cru.

En conclusion, la poudre de lait peut être une alternative viable au lait cru dans la fabrication de fromage, mais il est important de prendre en compte les ajustements nécessaires en termes de teneur en eau (la quantité d'eau ajoutée pendant la fabrication du fromage devra être ajustée en conséquence pour obtenir la bonne texture et consistance), de concentrations en nutriments (Par exemple, la poudre de lait contient une concentration plus élevée de protéines, de matières grasses et de glucides que le lait cru) et de processus de fabrication pour obtenir un produit final de qualité.

Ainsi que la poudre de lait a une durée de conservation plus longue que le lait cru, ce qui peut être un avantage en termes de stockage et de disponibilité.

V.1.1.2. Crème 35%

Les nutriments présents dans les crèmes liquides, tels que les matières grasses, les protéines et les glucides, jouent un rôle crucial dans la texture, la saveur et la qualité générale du fromage à la crème. Ils contribuent à sa crémosité, sa stabilité et son goût, ce qui en fait un ingrédient indispensable dans notre formulation.

Selon la composition et les valeurs nutritionnelles de la crème utilisé (**voir figure IV.2 et tableau IV.7**), nous pouvons dire que la crème apporte ;

- La matière grasse : qui confère une texture crémeuse et lisse au fromage à la crème fabriqué, lui donnant sa consistance caractéristique et une saveur riche ;
- Les protéines : qui contribuent à la structure globale du fromage à la crème, aidant à maintenir sa forme et sa consistance ;
- Vitamines et minéraux : Bien qu'ils soient présents en quantités relativement faibles, les vitamines et minéraux présents dans la crème liquide peuvent contribuer à l'apport nutritionnel global du fromage à la crème.

V.1.1.3. Poudre de protéine 85%

Les poudres de protéines pour standardiser et enrichir les produits laitiers, elles sont de couleur blanche et confèrent aux aliments transformés une saveur laitière douce et agréable.

L'enrichissement protéique du lait donne généralement des fromages plus secs, fortement minéralisés et de texture plus ferme [14].

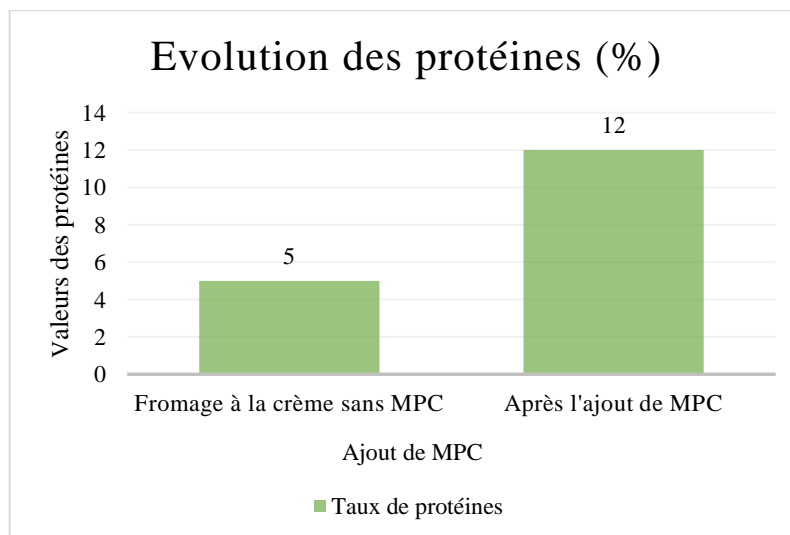


Figure V.2. Comparaison de taux de protéine dans le fromage à la crème avant/après l'ajout de MPC (poudre de protéine).

Après les calculs estimés (théoriques) des valeurs nutritionnelles du fromage à la crème fabriqué, nous avons eu un taux de protéine de 5% et après l'ajustement avec la poudre de protéine concentré à 85% ; nous avons eu un taux de protéine supérieur (12%) ce qui montre l'intérêt de l'utilisation de cette poudre dans la formulation.

V.1.1.4. Ferment lactique mixte mésophile/thermophile

Définis pour une performance optimale, la composition et le dosage recommandé pour la culture utilisée dans XPL 30 ont été soigneusement développés grâce à l'utilisation de souches microbiennes uniques et de principes biotechnologiques avancés ;

Ces conditions ont conduit à une fermentation idéale, produisant un caillé optimal et résultant en un produit final satisfaisant ;

En utilisant une combinaison d'un ferment lactique mésophile/thermophile nous avons eu ;

- Un développement des arômes subtils et complexes dans le fromage fabriqué pendant la fermentation car le type mésophile produit des composés aromatiques qui ajoutent de la profondeur et de la richesse à la saveur ;
- Une texture douce et onctueuse car le type mésophile agit sur la structure des protéines et des matières grasses, ce qui contribue à la crémosité ;
- Stabilité de la texture car le type thermophile favorise la coagulation des protéines et prévient la séparation de la matière grasse plus rapide ;

- Le type thermophile a apporté une consistance plus ferme et plus dense, ce qui facilite l'utilisation de ce fromage à la crème comme tartinade ou ingrédient dans diverses recettes.

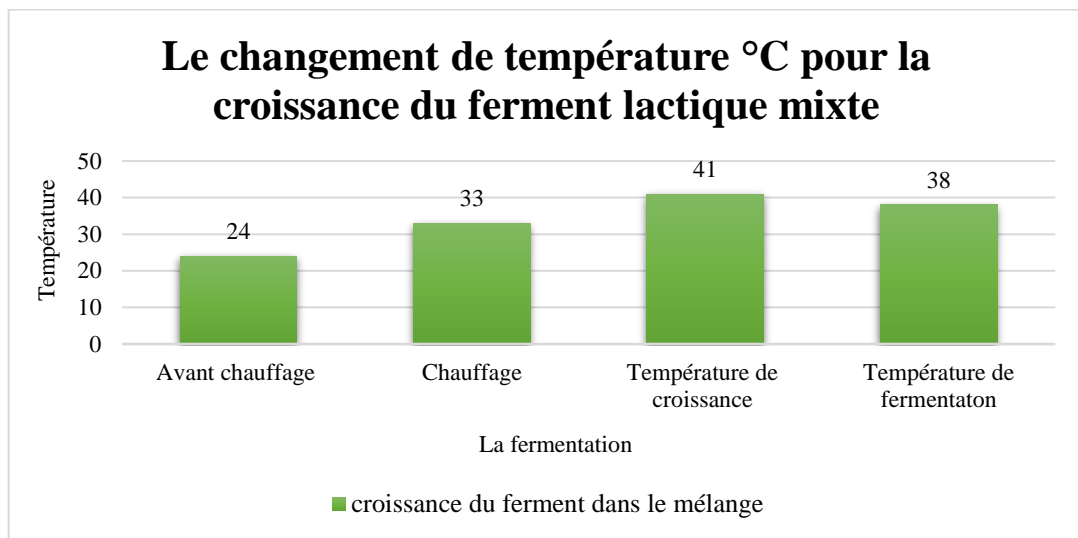


Figure V.3. Croissance du ferment lactique mixte utilisé durant le processus de chauffage et de fermentation ;

Après l'ajout du ferment lactique mixte, nous avons chauffé le mélange pour atteindre la température de croissance du type de ferment lactique choisis qui est à peu près à 41°C.

Après avoir atteint cette température, le mélange commence à s'acidifier et en la maintenant nous avons pu atteindre la fermentation totale du caillé.

V.1.2. Conformité des ingrédients selon les fiches techniques

Le choix méticuleux des ingrédients utilisés dans cette formulation est excellent, démontrant un engagement envers la qualité et l'excellence. Chaque composant sélectionné répond aux normes rigoureuses établies, garantissant une composition optimale et des propriétés sensorielles, physico-chimiques et bactériologiques qui respectent les normes les plus strictes de l'industrie (selon les fiches techniques des différentes marques utilisés à savoir : LACTALYS, Dairy Best, CHR HENSEN).

Ces ingrédients de haute qualité offrent non seulement une base solide pour la fabrication du fromage à la crème, mais ils contribuent également à assurer une expérience sensorielle exceptionnelle.

V.2. Résultats analyses physico-chimiques de l'eau de fabrication

L'analyse de l'eau que nous avons utilisée pour mélanger les poudres pour la fabrication du fromage à la crème, a été effectuée pour l'eau du puit, l'eau de ballon et l'eau de chaudière. Et les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous ;

Tableau V.2. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau utilisée.

Eau utilisée	Analyses	Résultats		Target
Eau de puit	Dureté (ml)/(°f)	0,4	1,6	0 – 7 (°f)
Eau de ballon	TA (ml)/(°f)	0,5	2	<10 °f
	TAC (ml)/(°f)	5	20	5-15 °f
	TA+TAC (ml)/(°f)	5,5	22	10-30 °f
Eau de chaudière	TA (ml)/(°f)	15	60	Conforme aux exigences spécifiques du système de chaudière utilisé
	TAC (ml)/(°f)	5	20	10 et 30 °f
	TA+TAC (ml)/(°f)	20	80	Selon les exigences spécifiques du système de chaudière
	Chlorures (mg/L)	19		20-50 mg/L
	Sulfites (mg/L)	0 (Absence)		Absence
	Ph	11,4		10-12
	Conductivité (µs/cm)	5400		<2000

Les résultats des analyses de l'eau utilisée dans notre processus de fabrication du fromage montrent que tous les paramètres clés sont conformes aux normes de qualité requises, à savoir ;

- La faible valeur de la dureté qui montre que l'eau est douce ;
- L'alcalinité de l'eau (libre et complète) est dans les valeurs recommandées ;
- La concentration en chlorures est faible et bien en dessous des seuils maximaux tolérés, garantissant qu'il n'y a pas d'impact négatif sur le goût ou la texture du fromage ;
- Les analyses révèlent des niveaux de sulfites extrêmement bas, conformes aux normes strictes ;
- La conductivité est un indicateur clé de la qualité de l'eau dans les chaudières car elle reflète la concentration totale des ions dissous. Des niveaux de conductivité trop élevés

peuvent entraîner : Une corrosion accélérée, formation de dépôts et d'entartrage, diminution de l'efficacité de la chaudière... C'est pour cela il faut des mesures pour la contrôler par une surveillance continue et effectuer des inspections régulières de la chaudière et des systèmes de traitement de l'eau pour détecter et corriger ;

- Les valeurs maximales de la conductivité pour l'eau de chaudière doivent être strictement contrôlées pour assurer un fonctionnement sûr et efficace de la chaudière.

Donc la valeur obtenue est élevée par rapport aux normes, il est recommandé de l'étudier et la corriger ;

En conclusion, l'eau utilisée pour la fabrication de notre fromage est conforme aux normes de qualité requises pour chacun des paramètres évalués. Cela témoigne de la fiabilité et de la qualité du traitement de l'eau utilisé, garantissant ainsi un produit final de haute qualité.

V.3. Résultats analyses physico-chimiques du fromage à la crème fabriqué

V.3.1. Température dans les différentes phases de fabrication

Tableau V.3. Résultats des températures contrôlés durant la fabrication.

Phases de préparation	Température (°C)
Mélange d'ingrédients	22 °C (ambiante)
Pasteurisation	68-70 °C
Ajout du ferment	38-41 °C
Fermentation	33-38 °C
Arrêt de fermentation	18 °C
Conservation	4-6 °C (température réfrigérateur)

- La température durant le mélange des ingrédients et même durant la pré-hydratation doit être ambiante pour une meilleure dissolution ;
- Nous avons pu pasteuriser le mélange en atteignant la température de 70°C nécessaire à la pasteurisation ;
- Il est connu que la température de croissance du ferment lactique mixte utilisé est à 38-41°C, c'est pour cela que nous avons mis le mélange au frigo pour diminuer la température qui était dans les limites de 68°C ;
- Par le maintien de la température de 33 à 35°C, nous avons su fermenter le caillé ;

- La température de 18°C est nécessaire pour mettre fin à la fermentation pour ne pas avoir un excès d'acidification du fromage ;
- Le fromage à la crème obtenu est conservé à une température de 4°C pour stopper le développement des micro-organismes et maîtriser la durée de vie du fromage, le goût, la texture et la stabilité ;

Les résultats obtenus sont représentés dans cet histogramme.

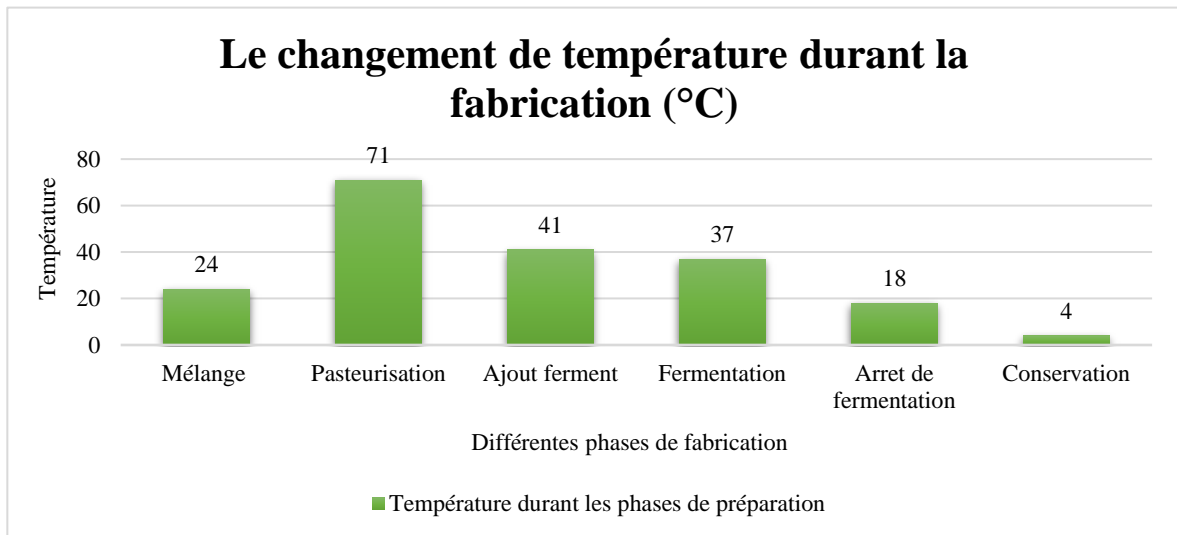


Figure V.4. Les températures contrôlées durant tout les phases de fabrication du fromage à la crème.

V.3.1. Résultats de pH

Le pH est contrôlé durant tout les phases de fabrication afin de garantir le produit final, et les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau V.4 ;

Tableau V.4. Résultats du ph contrôlés durant la fabrication.

Temps	pH mesuré	Target [22].
pH du produit initial	6,38	[4,5 –5,0] Après acidification complète
Après 1h de fermentation	6,37	
Après 2h	6,37	
Après 3h	6,35	
Après 12h de fermentation	4,75	
Après 5h d'égouttage	5,09	
Après 2h de refroidissement	5,07	
Après 12h de refroidissement	5,01	
Après 48h de conservation	4,94	

- Le pH du mélange initial est dans l'échelle de 6,6 – 7,4 selon les valeurs du pH des poudres et de l'eau utilisées ;

- Pour fermenter le caillé, il faut atteindre un pH dans l'échelle de 4,5-4,9, ce qui a permis une bonne fermentation avec un rendement satisfaisant ;
- Le fromage à la crème final doit avoir un pH dans l'échelle de 5 ce qui est le cas de notre caillé après refroidissement et conservation.

Donc le pH du fromage à la crème fabriqué est conforme aux normes ce qui indique la bonne qualité du produit, le maintien de la texture, la saveur et la durée de conservation souhaité.

Les résultats obtenus sont schématisés dans la figure suivante ;

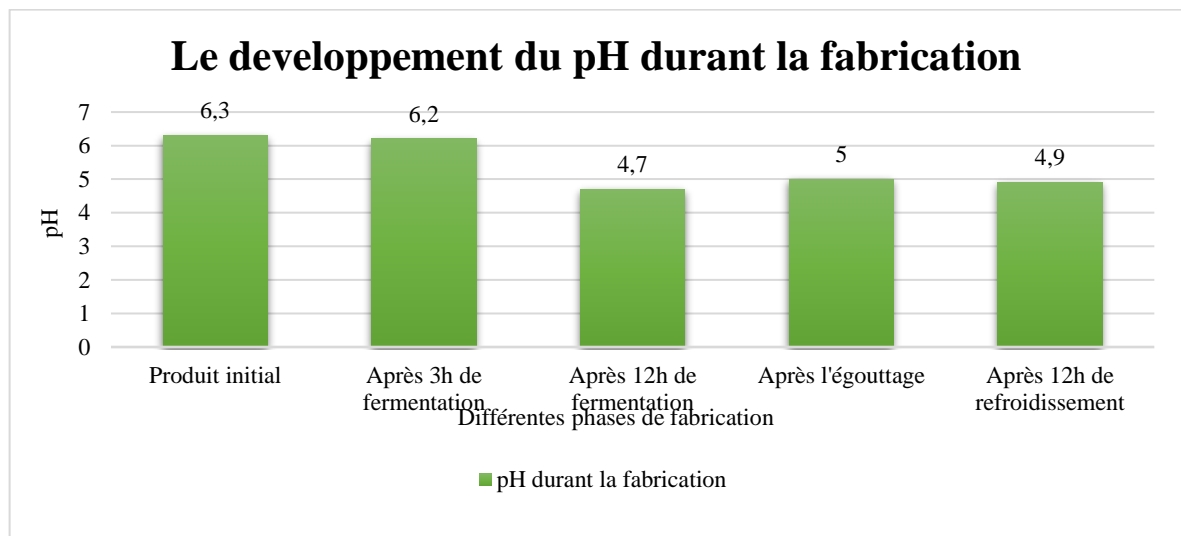


Figure V.5. Variation du pH du fromage à la crème au cours de la fabrication.

V.3.2. Résultats de l'extrait sec (ES)

Tableau V.5. Résultats de l'extrait sec (%) du fromage à la crème.

Temps	Extrait sec (%)	Target
Après 3h d'égouttage	30,38	38%
Après 4h d'égouttage	35	
Après 5h d'égouttage	37,5	
Extrait sec de la 2 ^{ème} préparation	30	41%

- Les résultats des extraits secs mesurés dans le fromage après l'égouttage sont en parfaite conformité avec les normes de l'industrie ;

- La valeur finale obtenue est acceptable par les standards de qualité ;
- La régularité des valeurs obtenues démontre la stabilité et la fiabilité du processus de fabrication ;
- La conformité des extraits secs aux normes garantit une texture et une qualité organoleptique optimales du fromage à la crème fabriqué ;
- Le respect des cibles d'extraits secs est crucial pour maintenir les propriétés sensorielles et la durée de conservation du fromage ;
- Les ajustements mineurs, tels que l'optimisation du temps d'égouttage, peuvent être explorés pour améliorer encore la précision des extraits secs ;
- La valeur de l'extrait sec de la 2^{ème} préparation ne répond pas au Target souhaité, donc l'ajout de la crème 35% dans la 1^{ère} préparation n'est pas nécessaire puisque aucune amélioration n'est enregistrée et cela est due à l'excès de fermentation de la crème ce qui provoque vers la suite un excès d'acidification du fromage préparé.

V.3.2. Résultats de l'humidité

Après les calculs de la différence entre l'extrait sec et l'humidité ; les résultats obtenus sont comme suit :

Tableau V.5. Résultats d'humidité (%) du fromage à la crème.

Humidité	Résultats (%)	Target
H=100-30,38	69,72	60-62 %
H=100-35	65	
H=100-37,5	62,5	

- Nous pouvons dire que le fromage à la crème répond aux standards de qualité attendus et permet que la texture et la saveur restent constantes ;
- En contrôlant l'humidité nous pouvons prolonger la durée de vie du fromage (un excès d'humidité peut favoriser la croissance de moisissures et bactéries indésirables). La teneur en eau doit sûrement répondre aux normes légales ;
- Par le résultat final de l'humidité nous pouvons optimiser les étapes de fabrication et gérer par exemple le moulage, le salage et l'affinage ;

- L'humidité du fromage agit comme un plastifiant [8], notre fromage à la crème contient une bonne proportion d'eau ce qui, en combinaison avec les protéines de lait, forme une matrice souple.

V.3.2. Résultats de la matière grasse

La teneur en matière grasse du fromage à la crème est cruciale pour garantir la qualité du produit ; les résultats obtenus après l'analyse par la méthode de Gerber sont comme suit :

Tableau V.6. Résultats de la matière grasse (%) du fromage à la crème.

Fromage à la crème	Matière grasse (MG) (%)	Rapport matière grasse et extrait sec MG/ES (%)	Target (%)
1 ^{ème} préparation	22,5	0,6	14-30
2 ^{ème} préparation	17,5	0,58	35

- L'amertume peut être particulièrement problématique dans les fromages faibles en gras, peut-être à cause de la répartition réduite des peptides hydrophobes dans la phase grasse, donc en voyant la valeur de la MG du fromage à la crème préparée nous pouvons dire qu'il n'est pas amer ;
- La valeur finale de la MG assure que le produit fini répond aux normes de qualité et maintient la formulation et les caractéristiques gustatives spécifiques du fromage fabriqué ;
- La matière grasse est une source concentrée de calories, connaître sa teneur permet aux consommateurs de gérer leur apport calorique et de maintenir une alimentation équilibrée ;
- L'objectif d'avoir un caillé entre gras et maigre est atteint puisque la valeur obtenue est entre 14 (caillé maigre) et 35 (caillé gras) ;
- Le rapport entre la matière grasse et l'extrait sec est normalisé pour les fromages à la crème a une moyenne de 0.574 ; il s'agit d'une mesure essentielle pour évaluer la qualité et les caractéristiques de divers produits laitiers, y compris le fromage. Sa valeur est adéquate pour déterminer la texture, la consistance et le goût du fromage fabriqué ;
- Un rapport plus élevé peut indiquer que notre fromage à la crème est plus crémeux et riche.

V.4. Résultats d'analyses compositionnelle du fromage à la crème

V.4.1. Rendement de la fabrication du fromage à la crème

Tableau V.7. Résultat du rendement (%) du fromage à la crème fabriqué.

	Poids (Kg)	Rendement (%)
Fromage à la crème	0,730	23,47
Matière première utilisé	3,11	

- Pour un poids final du fromage à la crème fabriqué $m=730\text{g}$ et un poids total de la matière première (Poudres de lait, MPC, Crème) $m=3,11\text{kg}$ on aura un rendement de

$$R=23,47\%, \text{ calculé de cette manière : } R = \frac{\text{Poids du fromage total}}{\text{Poids total de matière première}} \times 100$$

Nous pouvons dire qu'il est généralement acceptable ;

- Il peut être considéré comme bon ou mauvais en fonction des normes de l'industrie et des attentes spécifiques de production, ainsi lorsque nous avons fabriqué ce fromage, nous avons risqué de perdre certaines quantités, étant donné que nous ne sommes qu'au niveau du laboratoire. Il est donc important de considérer ces facteurs lors de l'évaluation du rendement ;
- Il est important de noter que le rendement peut être influencé par d'autres facteurs tels que la perte d'humidité pendant le processus de fabrication, la composition du lait, la technique de caillage, et les pertes potentielles lors du processus. Le reste étant perdu sous forme de petit-lait, de lactosérum ou d'autres sous-produits lors de l'égouttage.
- Le rendement obtenu est évidemment de 23,47%. Cela signifie que pour chaque kilogramme de matière première utilisée dans la fabrication du fromage, nous avons obtenu environ 234,7 grammes de fromage final, ce qui est schématisé en-dessus.

V.4.2. Taux de protéines dans le fromage à la crème

Tableau V.8. Résultat des quantités de protéines (théorique) dans le fromage à la crème.

Produit fabriqué	Taux de protéine (g)/100g	Target (g)/100g
Fromage à la crème	12,86 (théorique)	≥8-12

- Pour un poids total de la matière première utilisée contenant les protéines $m=1110\text{g}$ (250g PDL+60g MPC+800g Crème) ; nous avons un taux de protéine de 142,77g ; donc le taux de protéine en pourcentage dans cette quantité est de :

$$\text{Taux de protéine} = \frac{142,77}{1110} \times 100 = 12,86\%$$

- Pour un rendement fromager de $m=730\text{g}$; étant donné que la matière première contient 12,86% de protéines. La quantité de protéine dans ce rendement est de :

$$\text{Taux de protéine (g)} = \frac{142,77}{1110} \times 730 = 93,89\text{g}$$

Donc, il y a environ 93.89 grammes de protéines dans 730 grammes de fromage fabriqué. Et alors pour 100g de fromage nous aurons 12,86g de protéines ;

- Le taux de protéine estimé théoriquement est satisfaisant par rapport au Target souhaité, nous pouvons dire que l'objectif de formuler un fromage à la crème riche en protéine est atteint ;
- Les protéines, principalement la caséine, stabilisent l'émulsion d'eau et de graisse ce qui a créé une texture homogène et crémeuse pour notre fromage ;
- Une portion de 100 grammes de notre fromage fournit environ 12.86 grammes de protéines, couvrant environ 25.7% de la valeur quotidienne recommandée pour un adulte moyen, donc en consommant notre fromage, nous bénéficions d'un apport en protéines de haute qualité, idéal pour une alimentation équilibrée et saine.

V.4.3. Quantités de sel et lactose dans le fromage à la crème

Les résultats obtenus sont calculés théoriquement avec les quantités de sel et de lactose dans la matière première utilisé et le poids total obtenu.

Tableau V.9. Résultat de la quantité de sel et de lactose dans le fromage à la crème fabriqué (théorique).

	Sel (g/100g)	Target (g/100g)	Lactose (g/100g)	Target (g/100g)
Fromage à la crème	0,089	0,5-1,4	15	≤8

- Pour un rendement de $m=730g$ de fromage à la crème, nous pouvons dire que la quantité de sel obtenue est satisfaisante ;
- Le maintien de faibles niveaux de sel dans le fromage démontre un contrôle qualité rigoureux tout au long du processus de fabrication, ce qui garantit la satisfaction du produit final ;
- La capacité à produire un fromage à la crème, avec des niveaux de sel réduits témoigne de l'innovation et de l'adaptation aux tendances du marché et aux préoccupations croissantes concernant la santé et le bien-être (consommateurs soucieux de leur santé) ;
- Par ces résultats, nous avons opté pour ne pas ajouter du sel à la formulation vu que le fromage contient une quantité satisfaisante et suffisante, quoique nous avons ajouté du sel dans un échantillon pour l'évaluation et l'observation des changements qui peuvent subir en termes de goût, saveur, texture...
- La quantité de lactose calculé théoriquement est élevé par rapport au Target, typiquement, les fromages frais et à pâte molle comme le fromage à la crème contiennent généralement des quantités substantielles de lactose, car ils ne subissent pas le même processus de fermentation prolongée que les fromages à pâte dure ;
- Les personnes peuvent être intolérantes au lactose doivent surveiller en général le taux de lactose dans les produits laitiers ;
- Nous pouvons dire que dans une prochaine préparation nous pouvons prolonger l'égouttage ou utiliser des méthodes de filtration après la coagulation afin d'éliminer toute la quantité du lactosérum riche en lactose, ainsi que, l'ajout des enzymes (la

lactase) peut être une suggestion pour la dégradation du lactose et sa décomposition en glucose qui est plus facile à digérer.

V.5. Résultats d'analyses organoleptique du fromage à la crème

Contrôler la qualité d'un fromage implique plusieurs étapes et aspects à considérer, allant de l'inspection visuelle à des tests organoleptiques.

V.5.1. Résultat de l'inspection visuelle

V.5.1.1. Aspects extérieurs

- La croûte est propre, sans fissures ni moisissures indésirables ;
- La couleur est homogène.

V.5.1.2. Aspects intérieurs

- Le fromage à la crème obtenu est uniforme, sans trous ou fissures anormal ;
- La couleur est blanche.

V.5.2. Evaluation de la texture

- La texture est lisse, onctueuse, écrémé ;
- Elle est suffisamment ferme et souple et ni trop liquide ni trop compact.

V.5.3. Evaluation olfactive

- Il a une odeur agréable, appétissante, sans être trop forte ou piquante ;
- Douce et légèrement lactique par le ferment lactique mixte choisi car le type mésophile est connu pour ses propriétés aromatisants ;
- Arômes crémeux et frais, semblables à ceux du yaourt ou du fromage frais.

V.5.4. Evaluation gustative

- Frais, doux et crémeux ;
- Équilibré entre le salé et le sucré, ce qui le rend neutre en saveur.

En conclusion, Le fromage à la crème est souvent utilisé comme base pour des recettes sucrées et salées en raison de sa neutralité de saveur, donc l'objectif de s'adapter à une variété d'ingrédients et de plats est atteint.

Les résultats de la texture obtenu permettent au fromage à la crème de se tartiner facilement sur du pain ou des biscuits, mais aussi suffisamment souple pour être incorporée dans d'autres recettes comme les cheesecakes ou les tiramisus.

Idéalement, le fromage à la crème obtenu permet une répartition uniforme sur les aliments ou une incorporation aisée dans les recettes, tout en offrant une sensation agréable en bouche.

- Nous pouvons dire que la fraîcheur du fromage a pu se développer d'une manière satisfaisante. Ainsi que, la texture qui devenait plus crémeuse, plus onctueuse, et plus homogène au fil du temps.
- Après la comparaison avec un produit cream-cheese commercialisé nous pouvons dire que la formulation, la texture et la fraîcheur de notre produit est supérieure, plus satisfaisante et meilleure.
- Après la comparaison avec un yaourt naturel commercialisé connu pour sa fraîcheur, nous pouvons dire que notre fromage à la crème est similaire à sa fraîcheur, ce qui montre la qualité du produit fabriqué.



Figure V.6. Résultat du fromage à la crème fabriqué.

Il est bien connu que l'objectif premier de la fabrication du fromage était de transformer le lait en un produit stable, produit par fermentation. L'évolution du processus et des formulations ont abouti à une grande variété de fromages à savoir le fromage à la crème.

Grâce à une connaissance accrue de la chimie, de la biochimie et de la microbiologie du fromage, il est désormais possible de produire un produit de manière cohérente d'une bonne qualité.

Le choix des ingrédients dans la formulation s'est révélé réussi, et l'utilisation de la poudre de lait comme alternative au lait cru, qui est peu disponible, s'est avérée efficace. Cette substitution a permis de maintenir la qualité du produit final, des nutriments essentiels du lait cru tout en assurant une disponibilité constante des matières premières

La clé d'une fabrication de fromage à la crème réussie est un bon ferment lactique fiable. S'il est correctement géré, il sera généralement satisfaisant, et sa performance est étant progressivement amélioré. Dont le but d'intensifier et de modifier la saveur et la texture du fromage à la crème, le choix du ferment lactique mixte utilisé c'est-à-dire la combinaison du type mésophile et thermophile est réussie et cette approche a mené à une fermentation idéale, générant un caillé optimal et aboutissant à un produit final satisfaisant.

Les contrôles de qualité rigoureux ainsi que les analyses physico-chimiques et compositionnelles réalisées tout au long du processus de fabrication se sont avérés indispensables pour garantir la conformité et la qualité du fromage à la crème produit. Ces analyses ont permis de s'assurer que chaque étape de la production respectait les normes établies, contribuant ainsi à un produit final répondant aux attentes de qualité.

Les résultats obtenus (pH, matière grasse, extrait sec, sel...) démontrent que le fromage à la crème fabriqué est conforme aux critères de sécurité alimentaire et de qualité organoleptique.

Les résultats obtenus concernant le taux de protéines ont été satisfaisants, confirmant ainsi que l'objectif de fabriquer un fromage à la crème riche en protéines a été atteint. En particulier, l'ajout de poudre de protéines à la formulation s'est avéré une stratégie efficace pour enrichir le produit en protéines. Cette approche a non seulement permis d'augmenter significativement la teneur en protéines, mais a également contribué à améliorer les qualités nutritionnelles et fonctionnelles du fromage à la crème.

Les indices les plus importants du fromage sont ceux sur lesquels le consommateur décide d'acheter le produit : la saveur, la texture et l'apparence. La qualité du fromage est la meilleure évalué par analyse sensorielle.

Les analyses organoleptiques ont montré que le fromage à la crème fabriqué possède une texture parfaite, adaptée à diverses applications culinaires, et un goût frais qui valorise son utilisation. Ainsi, le choix de la formulation et du ferment s'est avéré efficace pour obtenir une texture et une saveur idéales, conformément aux objectifs initiaux de la recherche.

Pour compléter ce travail, il serait pertinent de prolonger cette étude par des suggestions futures visant les aspects à approfondir pour compléter et perfectionner notre étude.

- Réaliser des analyses nutritionnelles exhaustives afin d'établir précisément les taux de vitamines présentes ;
- Procéder à une analyse microbiologique approfondie pour assurer et certifier la qualité du produit ;
- Examiner attentivement le taux de lactose dans la matière première afin de le minimiser dans le produit final ;
- Affiner la technique d'égouttage pour accroître significativement le rendement du processus.

Références

- [1]. Photis Papademas et Thomas Bintsis. Global cheesemaking technology, Cheese Quality and Characteristics. Willey edition, 2018.
- [2]. Patrick F. Fox, Paul L.H. McSweeney, Timothy M. Cogan et Timothy P. Guinee. Cheese, Chemistry, Physics and Microbiology. Volume 2 Major Cheese Groups. Third edition. Elsevier Applied Science. 2004.
- [3]. Lucius L. VanSlyke, Ph.D. Et Charles A. Publow, A.B., M.D., CM. The science and practice of cheese-making. A Treatise on the Manufacture of American Cheddar Cheese and other varieties. New York Orange Judd Company 1916. p 3,4, 181.
- [4]. A. C. Dahlberg. A new method of manufacturing cream cheese of the neufchatel type. New York Agricultural Experiment Station, Genevo, New York.
- [5]. Site officiel du groupe Falait SPA.
- [6]. Isabelle Corréard, Patrick Anaya, Patrick Brun. Sécurité, hygiène et risques professionnels. Dunod, Paris, ISBN 978-2-10-056166-7, 2011.
- [7]. Cholet, O. Etude de l'écosystème fromager par une approche biochimique et moléculaire. Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires. Institut National Agronomique Paris-Grignon. France. 192p.
- [8]. Patrick F. Fox Fundamentals of cheese science. Aspen Publication, Gaithersburg, Md., 2000.
- [9]. Alan F. Wolfschoon Pombo. Cream cheese : Historical, manufacturing, and physico-chemical aspects. International Dairy Journal. February. 2021.
- [10]. S.K.Kon. Milk and Milk Products in Human Nutrition. 2d ed Rev. Edité par Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 1972.
- [11]. Amira Majdi. Maitrise de la technologie fromagère et contrôle qualité des fromages AOC. Institut national agronomique de Tunisie. Ingénieur agronome. 2008.
- [12]. Alais C. Science du lait : principes et techniques laitiers. Techniques et Documentation – Lavoisier, Paris, p814. 1984.
- [13]. Walstra P, Wouters J.T, Geurts T.J. Dairy science and technology. CRC press. 2005.
- [14]. Jean-Christophe Vuilleumard. Science et technologie du lait. 3^{ème} édition. Fondation de technologie laitière du Québec Inc. Les Presses de l'Université Laval 2018.
- [15]. Fredot E. Connaissance des aliments, ed. Lavoisier, Paris, 397. 2006.
- [16]. Barry A. Law, Adnan Y. Tamime. Technology of cheesemaking. Second edition. Willey-Blackwell 2010.
- [17]. Rita Ash. self-sufficiency cheese making essential guide for beginners. New Holland Publishers (UK) Ltd. 2009.

Références

- [18]. M.E. Schwartz. Cheese making technology. Noyes Data Corporation Park Ridge, New Jersey London, England 1973.
- [19]. Patrick F. Fox, Paul L.H. McSweeney, Timothy M. Cogan and Timothy P. Guinee. Fundamentals of Cheese Science. An aspen publication Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland. 2000.
- [20]. David B. Fankhauser, Ph.D. Cheese making illustrated. Professor of Biology and Chemistry University of Cincinnati Clermont College. 2000.
- [21]. M. R. Sainani, H. K. Vyas, and P. S. Tong. Characterization of Particles in Cream Cheese. Dairy Products Technology Center, Cal Poly State University, American Dairy Science Association, 2004.
- [22]. Phadungath, C. Cream cheese products: A review Songklanakarin J. Sci. Technol., Food Science and Technology Program, The Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University. 2005.
- [23]. Jean-Luc Boutonnier. Fabrication du fromage fondu. Ref F6310 v1. 2000.
- [24]. G. Mocquot. Soft cheese manufacture. Director of the Central Milk and Microbiology Research Station, National Institute for Research, Jouy-en-Josas, France. January 1955.
- [25]. Barbara Walther, Alexandra Schmid, Robert Sieber, Karin Wehrmülle. Cheese in nutrition and health. Agroscope Liebefeld-Posieux Research Station ALP, 3003 Berne, Switzerland. EDP science. 2008.
- [26]. Mr. Benslama A. Le lait et le lactosérum. Université Mohamed Khider-Biskra. Département des sciences de la nature et de la vie. 2015.
- [27]. Rebecca Guélin. La chimie du vinaigre. Mediachimie La Fondation de la Maison de la Chimie. Octobre. 2018.
- [28]. S. Lucas et J. Reyrolle. Etude d'un lot de ferments lactiques mésophiles. Équilibre des flores au cours de la première étape de la fabrication du levain. IRBA, Institut de recherche en biologie appliquée, Équipe de génétique microbienne, université de Caen, 14032 Caen Cedex, France. 1988.
- [29]. Carminati D, Giraffa G, Quiberoni A, Binetti A, Suárez V et Reinheimer J. Advances and trends in starter cultures for dairy fermentations. In : Biotechnology of lactic acid bacteria : Novel Applications (Mozzi F., Raya R.R. et Vignolo G.M.). 177-192. 2010.
- [30]. Groupe d'étude des marches de restauration collective et de nutrition (GEM RCN). Laits et produits laitiers. Spécification technique n° B3-07-09 destinée à l'achat public. France. Juillet 2009.
- [31]. Prashant D. Ingle, Roney Christian, Piyush Purohit, Veronica Zarraga, and Erica Handley Herbalife. Determination of Protein Content by NIR Spectroscopy in Protein Powder Mix Products. International of America Inc., Quality Control, 990 West 190th St, Torrance, Journal of AOAC International Vol. 99, No. 2, 2016.

Références

- [32]. J.F. Chamba et F. Prost. Mesure de l'activité acidifiante des bactéries lactiques thermophiles utilisées pour la fabrication des fromages à pâte cuite. Institut Technique du Gruyère, Pré Germain, 74801 La Roche sur Foron Cedex, France. Avril 1989.
- [33]. P. Brereton, S. Hasnip, A. Bertrand, R. Wittkowski, C. Guillou, Analytical methods for the determination of spirit drinks, Trends in Analytical Chemistry, Vol. 22, No. 1, 19-25, 2003.
- [34]. Rogerio B. Pereira. Sensory rheological and microstructural characteristics of models emulsified dairy systems. Requirements for the degree of doctor of philosophy in food technology. Massey university. New Zealand. 2000.
- [35]. Jack, Paterson et Piggott. Perceived texture : direct and indirect methods for use in product development. Willey library online. 1995.