

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des sciences biologiques et agronomiques

Département des sciences biologiques



Mémoire de fin d'étude

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

Spécialité : Sécurité Agro-alimentaire et Assurance Qualité

Thème

Analyses physico-chimiques et microbiologiques des matières premières jusqu'au produit fini de fromage fondu produit au niveau de Laiterie fromagerie de **BOUDOUAOU**

Présenté par :

MEHADDI Katia

AOUDJEGHOUT Nora

Devant le jury :

Président : **Mr Houali K.**

Professeur

UMMTO

Promoteur: **Mr SEBBANE H.**

M.C.B

UMMTO

Examineur : **Mr Msela A.**

M.C.B

UMMTO

Année universitaire : 2021-2022

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant, le Miséricordieux de nous avoir donné de le courage, la force et la persistance et de nous avoir permis de finaliser ce travail dans de meilleurs conditions.

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

*Nous remercions également Mr **IGHIL Mohand** de nous avoir donné chance de faire notre stage au niveau de L.F.B, nous sommes vraiment reconnaissante pour cette chance et votre aide.*

Nous vifs remerciements vont également au membre du jury pour avoir accepté de juger le contenu de ce mémoire.

On tient à exprimer notre profonde gratitude aux personnes qui ont contribué au bon déroulement de notre stage pratique au sein de l'unité Laiterie Fromagerie de Boudouaou.

Enfin, nous voudrions remercier toute personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Dédicace

J'ai le grande bonheur de dédier ce modeste travail :

*A celle qui était et qui restera mon soutien dans cette vie, à celle qui m'a renseigné comment aimer DIEU ; comment fait apparaitre le succès et la prospérité du sein du mal et des problèmes.....à vous maman« **Titem**» que DIEU vous protège et vous donne la pleine santé et le pleine bonheur du monde.*

A papa pour ton amour, ton aide moral et affectif durant toutes les années de mes études ; pour m'avoir aidé atteindre ce but.

*A mes très chers frères **Fodil, Sofiane, Ahmed et Zohir** pour leur présence c'est important pour moi, qu'ils n'ont jamais cessés de m'encourager et m'aider avec le maximum qu'ils peuvent.*

*A mes très chères sœur : **Hakima, Souad, Tafsut.***

*A **Toute ma famille.***

*A ma très chère binôme **Katia** et sa famille.*

*A ma chère copine : **lily***

A toutes les personnes qui me connaissent de près ou de loin et à tous ceux qui j'aime.

NORA

Dédicace

Je dédie ce travail à celle qui me donne la force, celle qui prend ma main à chaque fois que je tombe, ma mère chérie merci d'être toujours là avec moi que dieu te garde pour moi.

A l'homme de ma vie, mon cher papa qui a sacrifié tout pour que j'arrive ou je suis aujourd'hui

A mes sœurs : Nawel, Yamina, Lynda et Hayet.

A mon cher frère Ahmed.

A mes grandes mères.

A mes meilleures amies Tassadit, Fazia et Damia.

A ma binôme Nora et sa maman.

Et a toute notre section SAAAQ.

Katia

SOMMAIRE

Liste des tableaux	i
Liste des schémas	ii
Liste d'abréviation	iii
Résumé	
Introduction	

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralités sur le lait

1.1. Définition	1
1.2. Propriétés physiques, chimiques et microbiologique	1
1.2.1. Propriétés physiques	1
1.2.2. Composition chimique	1
1.2.3. Caractéristique microbiologique.....	3
1.2.3.1. Microflore lactique	3
1.2.3.2. Microflore de contamination.....	3
1.2.3.2.1. Flore pathogène	3
1.2.3.2.2. Flore d'altération	3

Chapitre II : le fromage et le fromage fondu

2.1. Historique	4
2.2. Définition	4
2.3. Composition	5
2.4. Classification	6

2.4.1 Classification didactique	6
2.4.2 Classification technologique.....	7
2.4.3. Classification officiel	8
3. Le fromage fondu	
3.1. Définition	10
3.2. Valeur nutritionnelle	10
3.3. Classification	10
3.4. Types des fromages fondus.....	11
3.5. Caractéristiques des fromages fondus	12
3.5.1. Caractéristiques physico-chimique et biochimique.....	12
3.5.1.1. pH	12
3.5.1.2 .L'extrait sec total et la teneur en eau	12
3.5.1.3. Protéines.....	13
3.5.1.4. Lipides.....	13
3.5.1.5. Lactose	13
3.5.1.6. Cendres	13
3.5.1.7. Calcium.....	13
3.5.1.8. Sodium.....	14
3.5.2. Caractéristiques microbiologiques	14
3.6 Technologie de fonte	15
3.6.1. Les matières premières utilisées dans la fabrication du fromage fondu.....	15
3.6.1.1. Les matières premières laitières.....	15
3.6.1.2. Les matières premières non laitières	15
3.6.2. Procédé de Fabrication de fromage fondu.....	16
3.6.2.1. Sélection des matières premières.....	16
3.6.2.2. Préparation des matières premières.....	16
3.6.2.4. Choix de procédé de fabrication.....	17

3.6.2.5. Fonte proprement dite	17
3.7. Principaux facteurs intervenants sur les caractéristiques des produits finis.....	21
3.7.1. Teneur en extrait sec	21
3.7.2. Sels de fonte.....	21
3.7.2.1. Ajustement du pH.....	22
3.7.2.2. Fonction antimicrobienne	20
3.7.2.3. Le pouvoir chélatant.....	22
3.8. Les défauts rencontrés lors de fabrication du fromage fondu	22
3.8.1. Défauts d'origines microbiologiques	22
3.8.2. Défauts d'origines chimique ou physique	23

PARTIE PRATIQUE

Présentation de l'unité.....	28
------------------------------	----

CHAPITRE I : Matériel et méthode

1. Matériel.....	30
2. méthodes	30
2.1. Analyses physico-chimiques pour le lait	30
2.1.1. Détermination du ph.....	30
2.1.2. Détermination de L'acidité.....	30
2.1.3. Détermination de la densité.....	31
2.1.4. Détermination de la matière sèche totale.....	31
2.1.5. Détermination De La Teneur En Matière Grasse	32
2.1.6. Détection Des Antibiotiques	33
2.2 .Analyses Microbiologiques	34
2.2.1. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (germes totaux)	34

2.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	35
2.2.3. Recherche et dénombrement des salmonelles	35
2.2.4. Recherche et dénombrement de <i>staphylococcus aureus</i>	36
2.2.5. Recherche et dénombrement de clostridium sulfito-réducteur (CSR)	37
2.2.6. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux dans l'eau	38

CHAPITRE II : Résultats et discussion

3.1 Résultats physico-chimiques	40
3.2 Résultats des analyses microbiologiques	41
3.2.1. Le lait.....	41
3.2.2. Cheddar	42
3.2.3. L'eau de process.....	43
3.2.4. Produit finis	44

Conclusion	45
-------------------------	----

Références bibliographiques	46
--	----

Annexes

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°I : constante physique usuelles du lait de vache	1
Tableau N°II : composition moyenne du lait de vache	2
Tableau N°III : composition moyenne des principaux fromages pour 100 g.....	5
Tableau N°IV : classification des en fonction de la consistance, la teneur en matière grasse et des principales caractéristiques d'affinage selon la norme A-6-FAO /OMS.....	9
Tableau N°V : classification des fromages fondus selon la teneur en matière grasse de l'extrait sec .	10
Tableau N°VI : principaux défauts d'origine physicochimique des fromages fondus	23
Tableau N°VII : résultats des analyses physicochimiques du lait, cheddar et du produit finis effectué au niveau de la laiterie de BOUDOUAOU.	38
Tableau N°VIII : Résultats des analyses microbiologiques du lait	41
Tableau N°IX : Résultats des analyses microbiologique du cheddar	42
Tableau N°XI : Résultats des analyses microbiologique de l'eau de process	42
Tableau N°XII : Résultats des analyses microbiologique du produit finis.....	43

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Classification didactique des fromages.....	7
Figure 2 : Classification technologique des fromages.....	8
Figure 3 : schéma général de la chaine de fabrication du fromage fondu pasteurisé	17
Figure 4 : Du processus d'émulsification lors de la cuisson d'un fromage fondu	19

Liste d'abréviations

C° : degrés Celsius

C.S.R : Clostridium sulfite réducteur

Ca : Calcium

°D : degré dornic

E. Coli : Escherichia coli

ESD : Extrait sec dégraissé

EST : Extrait sec total

FAO : Food and Agriculture Organisation

J.O.R.A : Journal Officiel de la République Algérienne

H.F.D : Humidité de fromage dégraissé

L.F.B : Laiterie fromagerie Boudouaou

MS : Matières sèche

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Résumé

Le fromage fondu est un excellent moyen d'apporter à notre corps les éléments énergétique et bâtisseurs nécessaires à son fonctionnement, comme tous les produits laitiers, il est une source importante de protéines (caséines et séroprotéines), calcium et vitamines.

En raison de sa forte consommation et sa disponibilité, nous nous sommes intéressés à l'étude de ce produit du point de vue d'évaluation des paramètres physico-chimiques à savoir : la matière grasse, l'extrait sec total et le Ph ainsi que l'évaluation hygiénique et sanitaires (microbiologiques).

Les résultats des analyses microbiologiques et physico-chimique révèlent que le produit «fromage fondu» fabriqué par l'unité de **Boudouaou** est conforme aux normes nationales et internationales du produit finis, cette conformité rend le produit finis de très bonne qualité microbiologique et physico-chimique.

Mots clés : analyse microbiologique, analyse physico-chimique, fromage fondu, qualité.

Abstract

Processed cheese is an excellent way to bring to our body the energetic and builder elements that are necessary for its fonctionnement. Like all the dairy products, it is an important source of proteins (caseins and seroproteins), calcium and vitamins.

Due to its high consumption and its availability, we were interested in the study of this product from the point of view of the evaluation of the phisico-chemical parameters namely the fat, the total dry extract, the pH as well as the hygienic and sanitary evaluation (microbiological).

The results of the microbiological and physic-chemical analysis reveals that the product «processed cheese» made by Boudouaou factory is conforms to the national and international standards of the final products. This compliance make the final product of a very good microbiological and physico-chemical quality.

Key words: microbiological analysis, physic-chemical analysis, processed cheese, quality.

Introduction

Source précieuse de protéines et éventuellement de matières grasses, le fromage a été l'un des premiers moyens de conservation du lait, matière première rapidement périssable. Cependant, la coagulation du lait et l'égouttage du caillé qui en découle n'offrent qu'une stabilité relative et variable selon les fromages qui restent des produits «vivants». Ainsi, si la protéolyse et la lipolyse sont des phénomènes fondamentaux lors de l'affinage, cette activité enzymatique se poursuit même à basse température et conduit au-delà d'un certain stade, à une altération du fromage.

Le fromage fondu, qui repose sur une technologie beaucoup plus récente (début des années 1900) que celle des fromages conventionnelles, a permis une stabilisation bien plus poussée des nutriments laitiers, tout en conservant plus ou moins au produit fini l'aspect d'un fromage. Produit initialement destiné à la consommation directe, c'est encore aujourd'hui un type de fromage parfaitement adapté aux habitudes de consommation. C'est un aliment énergétique en protéines et en minéraux, il possède une grande sécurité microbiologique et de surcroît, il peut se conserver à température ambiante selon les technologies mises en œuvre tout offrant une grande praticité pour son utilisation (**Roustel, 2015**).

Il y a peu de fromage typiquement algérien. La production nationale consiste essentiellement en fromage fondu, elle est estimée à 80000-90000t/an (**Recham, 2015**).

La composition en lipides, vitamines, etc... de fromage fondu constitue un milieu favorable au développement des micro-organismes, si les conditions d'hygiène strictes ne sont pas respectées au cours de la fabrication. Ces derniers peuvent entraîner des conséquences néfastes. Ainsi le contrôle physico-chimique et microbiologique est indispensable pour assurer la protection du consommateur.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité nutritive et sanitaire de fromage fondu en portion «F.F.S» fabriqué au niveau de BOUDOUAOU (L.F.B) ; par l'analyse des paramètres physico-chimique et microbiologique des matières premières et de produits finis.

Chapitre I

Généralités sur le lait

CHAPITRE I : généralités sur le lait

1.1. Définition

Selon le **codex alimentarius** (CXS 206-1999) le lait est la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite obtenue à partir d'une ou de plusieurs traites, sans rien y ajouter ou en soustraire, destiné à la consommation comme lait liquide ou à un traitement ultérieur.

1.2. Propriétés physiques, chimiques et microbiologique

1.2.1. Propriétés physiques

La composition du lait est caractérisée par une grande complexité dans la nature et la forme de ses composants, de point de vue physique, le lait présente une hétérogénéité, puisque certains composants sont dominants de point de vue quantitatif, ce sont l'eau, la matière grasse, les protéines et le lactose ; les composés mineurs sont représentés par les matières minérales, les enzymes et les vitamines. Les propriétés physiques comme la densité absolue, la viscosité, la tension superficielle et la chaleur spécifiques dépendent de l'ensemble de constituants (**Mathieu, 1998**).

Les principales constantes physiques usuelles de lait de vache sont représentés dans le tableau I suivant :

Tableau I : constantes physiques usuelles du lait de vache (**Luquet, 1985**).

Constantes	Valeurs
pH (20°C)	6,5 à 6,7
Acidité titrable (°D)	15 à 18
Densité	1,028 à 1,036
Température de congélation (°C)	(-0,51) à (- 0 ,55)
Point d'ébullition (°C)	100,5°C

1.2.2. Composition chimique

La composition du lait varie d'une espèce de mammifère à une autre car elle est adaptée aux besoins de chacune d'elle. Cependant, il existe des caractéristiques communes aux différents laits à savoir la richesse en calcium, qualité protéique appréciable, le lactose comme sucre prédominant et une richesse en vitamines notamment du groupe B. Sa composition dépend aussi d'autres facteurs tels que la race des vaches, la saison et le climat. Certains de ces facteurs peuvent être contrôlés donc modifiés pour améliorer la rentabilité laitière d'une vache (Mathieu, 1998).

Tableau II : composition moyenne du lait de vache (Alais *et al.*, 2008).

Composants	Concentrations (g/l)
Eau	905
Glucides (lactose)	49
Lipides	35
Matière grasse proprement dite	34
Lécithine (phospholipides)	0.5
Insaponifiable (stéroïls, carotènes)	0.5
Protides	34
Caséines	27
Protéines solubles (globulines, albumines)	2.5
Substances azotées non protéiques	1.5
Sels	9
De l'acide citrique	2
De l'acide phosphorique (P ₂ O ₃)	2.6
Du chlorure de sodium (Na Cl)	1.7
Constituants divers (vitamines, enzymes, gaz dissous)	Traces
Extrait sec total	127
Extrait sec non gras	92

1.2.3. Caractéristique microbiologique

Le lait contient peu de micro-organisme lorsqu'il prélevé dans de bonnes conditions à partir d'un animale sain (moins de 10^3 germe / ml). Il s'agit essentiellement de germes saprophytes du pis et des canaux galactophores : microcoques mais aussi streptocoques lactiques (*Lactococcus* et *Lactobacilles*). D'autre micro-organisme peuvent se trouver dans le lait lorsque il est issue d'un animale malade, ils sont généralement pathogène et dangereux au point de vue sanitaire, il peut s'agir d'agent de mammites (**Guiraud, 1998**).

1.2.3.1. Microflore lactique

Elle fait partie de la flore normale du lait et se caractérise par son aptitude à fermenter le lactose avec production d'acide lactique et donc abaissement du pH. Les ferments lactiques laitiers constituant un groupe diversifié de bactéries qui ont néanmoins un certain nombre de caractéristiques communes ; elles sont à Gram positif, catalase négatifs, anaérobies facultatifs ou micro- aérophiles et hétérotrophes (**Alais, 1984 ; Claude et al., 1998**).

1.2.3.2. Microflore de contamination

Elle est composée de la flore pathogène et de la flore d'altération :

1.2.3.2.1. Flore pathogène :

Les bactéries les plus importantes de cette flore pathogènes sont le plus souvent mésophiles et les principaux micro-organismes pathogènes associés aux produits laitiers sont : *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus*, *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Campylobacter Jejuni*, *Shigella sonnei* et certains moisissures (**Vignola, 2002**).

1.2.3.2.2. Flore d'altération

La flore d'altération causera des défauts sensoriels de goût, d'arômes, d'apparence ou de textures et réduira la vie de produits laitier.

Les principaux genres identifiés comme flore d'altération sont : *Pseudomonas* sp, *Proteus* sp, les coliformes soit principalement les genres : *Escherichia* et *enterobacter*, les sporulées telles que *Bacillus* sp, *Clostridium* sp et certaines levures et moisissures (**Richard, 1990 ; Vignola, 2002**).

Chapitre II

Le fromage et le fromage fond

Chapitre II : Généralités sur le fromage

2.1. Historique

Le fromage est l'un des aliments les plus anciens de l'humanité. On croit généralement que le fromage a évolué dans le croissant fertile entre les fleuves Tigre et Euphrate en Irak quelque 8000 ans depuis. Il est né accidentellement à la suite des activités des tribus nomades. Depuis l'animal les sacs en peau étaient un moyen pratique de stocker des liquides pour les nomades, ils étaient utilisés pour stocker le surplus de lait. Fermentation des sucres du lait dans le climat chaud qui prévaut ferait cailler le lait dans les sacs. Les animaux se balançant se seraient brisés le caillé acide lors des trajets pour produire du caillé et du lactosérum. Le lactosérum a fourni une fraîcheur boire lors des voyages chauds, tandis que le caillé, conservé par l'acide de la fermentation et une poignée de sel, est devenu une source d'aliments riches en protéines complétant le maigre approvisionnement en viande (**Raju et al., 2013**).

2.2. Définition

Selon le **codex alimentarius** (codex stan 283-1978) le fromage est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi-dure, dure ou extra dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum/caséine ne dépasse pas celui de lait, et qui est obtenu par :

- Par coagulation complète ou partielle des protéines du lait, du lait écrémé, du lait partiellement écrémé, de la crème, de la crème de lactosérum ou du babeurre, seuls ou en combinaison, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation, tout en respectant le principe selon lequel la fabrication du fromage entraîne la concentration des protéines du lait (notamment de la caséine), la teneur en protéines du fromage étant par conséquent nettement plus élevée que la teneur en protéines du mélange des matières premières ci-dessus qui a servi à la fabrication du fromage et/ou
- Par l'emploi des techniques de fabrication entraînant la coagulation des protéines du lait et/ou des produits provenant du lait, de façon à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques similaires à celles du produit défini à l'alinéa (**codex alimentarius, 1978**).

2.3. Composition

Le fromage est très riche de sa composition en protéines, eau, peptides, bioactifs, acides aminés, lipides, acides gras, vitamines et en minéraux (Walther *et al.* 2008). Le tableau III illustre la composition moyenne des différents types de fromage.

Tableau III : composition moyenne des principaux fromages pour 100g (Eck et Gillis, 2006).

Constituants	Fromage frais	Fromage à pâte molle	Fromage fondu
Eau (g)	80	50	48
Glucides (g)	4	4	2,5
Lipides (g)	7,5	24	22
Protéines(g)	8,5	20	18
Calcium (mg)	100	400	680
Sodium (mg)	40	700	1650
Vitamine A (2/3mg)	170	1010	1200

❖ Eau :

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

❖ Matière grasse :

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

❖ Protéines :

Lors de l'égouttage, les protéines du lait subissent une concentration. Le para-caséinate est la protéine la plus importante dans les fromages affinés traditionnels car les protéines solubles et les glycopeptides ont été éliminés avec le lactosérum. Par contre, les fromages obtenus par

ultrafiltration préalable, toutes les protéines du lait sont présentes et ont été concentrées (Luquet, 1990).

❖ **Glucides :**

La teneur en glucide des fromages blancs est de 3 à 4%, celle des fromages affinés et fondus est négligeable (2%), et elle est quasiment nulle dans les fromages à pâte pressé (Luquet, 1990).

❖ **Calcium et Phosphore :**

Dans la majorité des fromages, le rapport calcium phosphore reste à peu près à la même approximation dans la majorité des fromages mesuré à 1,4 dans le lait, sauf dans les fromages à caillage lactique, à égouttage lent où il est de 1,2 (Luquet, 1990).

❖ **Vitamines :**

Les vitamines liposolubles A, D, E et K des fromages sont en fonctions de la teneur en matière grasse des laits utilisés comme matières premières, de l'adjonction de crème et de la concentration en matière sèche réalisée lors de l'égouttage (Luquet, 1990).

2.4. Classification

2.4.1. Classification didactique

Lenoir *et al* (1983), donnent une vue synthétique et didactique de la diversité des fabrications fromagères. (figure1). Les modalités de coagulation, d'égouttage et d'affinage du caillé conduisent à une grande diversité de fromages (Lenoir *et al.*1983).

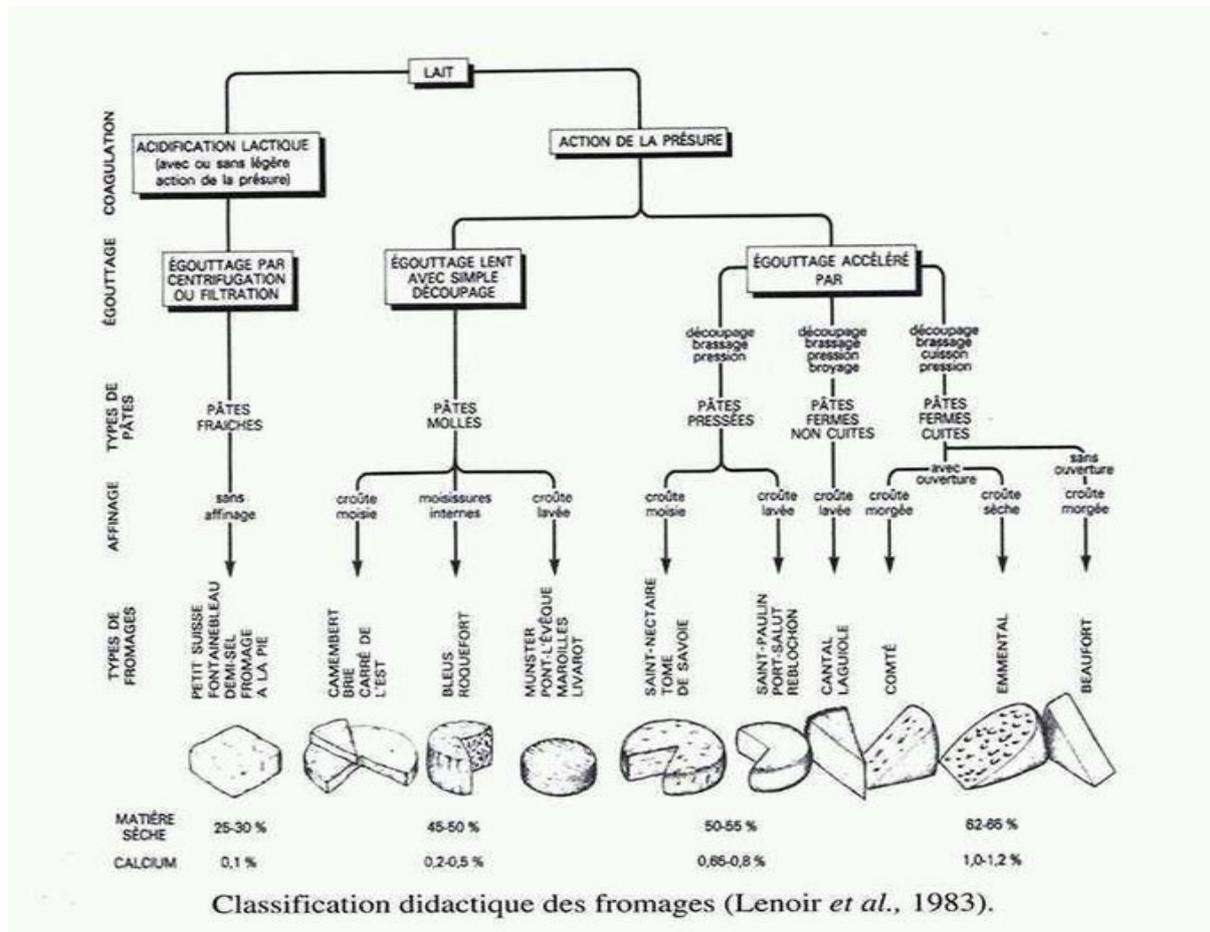


Figure1 : classification didactique des fromages (Lenoir et al., 1983)

2.4.2. Classification technologique

Mietton (1991) propose une classification fondée sur la dynamique de la fabrication fromagère (figure2). Elle est basée sur les caractéristiques d'HFD et Ca⁺⁺/ESD du fromage qui dépendent du pH d'emprésurage et du pH au démoulage ainsi que des cinétiques d'égouttage et d'acidification (Mietton, 1991).

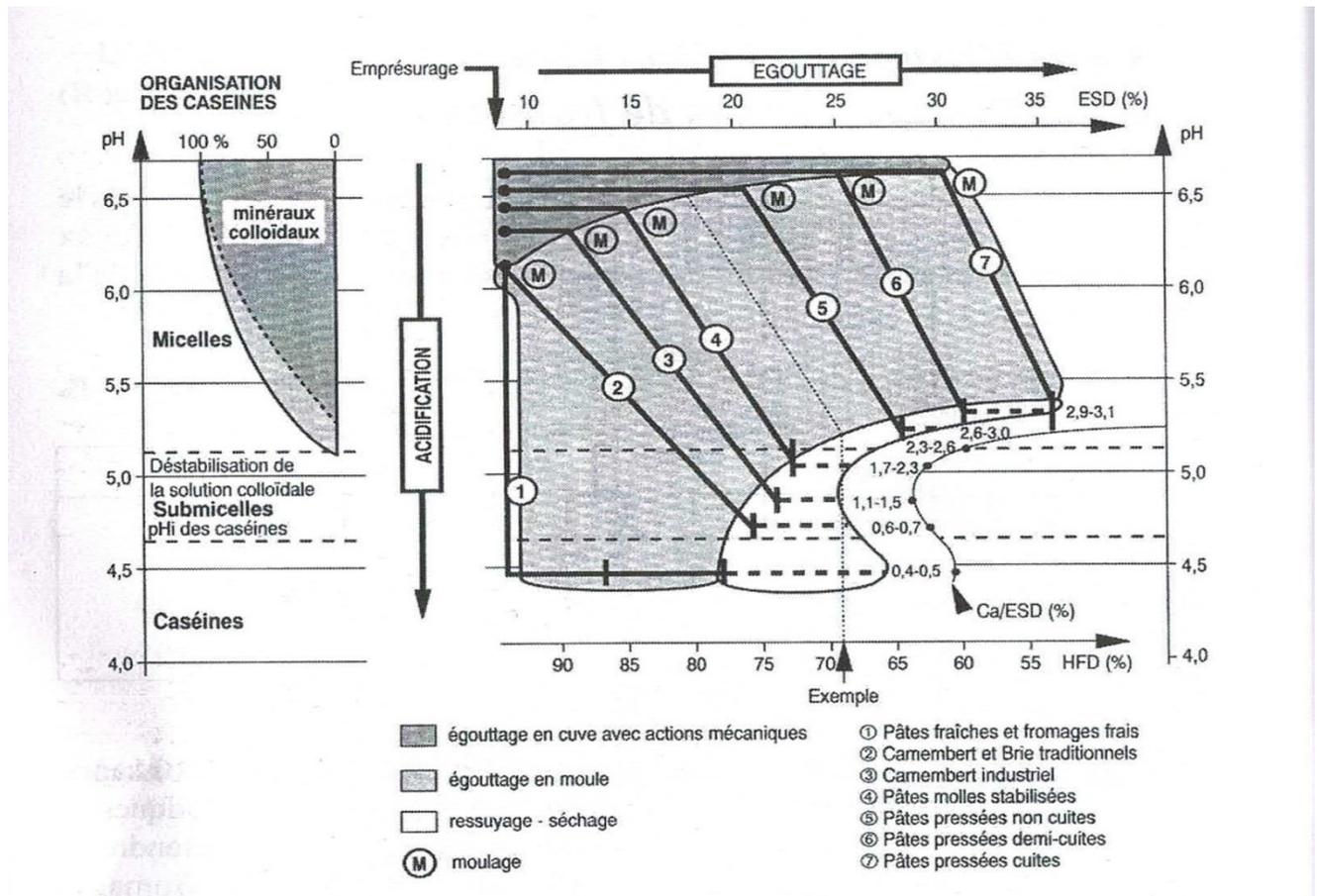


Figure2 : classification technologique des fromages (Mietton ,1991).

2.4.3. Classification officiel

La norme internationale A-6(1978-FAO/OMS) permet de classer les fromages (tableau IV) en fonction de leur teneur en eau dans le fromage dégraissé (HFD), leur teneur en matière grasse (G/S) et les principales caractéristiques d’affinage.

Tableau IV : classification des fromages en fonction de la consistance, la teneur en matière grasse et des principales caractéristiques d'affinage selon la norme **A-6-FAO/OMS (1978)**.

Formule I		formule II		Formule III
HFD (%)	Le premier élément de la dénomination sera :	G/EST (%)	Le second élément de la dénomination sera :	D'après les principales caractéristiques d'affinage :
<51	pâte extra dure	>60	A. Extra	1. affiné
49-56	Pâte dure	45-60	B. Tout gras	a. principalement en surface
54-63	Pâte demi-dure	25-45	C. Mi- gras	b. principalement dans la masse
61-69	Pâte demi-molle	10-25	D. quart gras	2. affiné aux moisissures
>67	Pâte molle	<10	E. maigre	a. principalement en surface
				b. principalement dans la masse
				3. frais

3. Le fromage fondu

3.1. Définition

La dénomination «**fromage fondu**» est réservée au produit obtenu par la fonte et l'émulsification, à l'aide de la chaleur (à une température d'au moins 70°C pendant 30 secondes ou toute autre combinaison équivalente), de fromage ou d'un mélange de fromages, additionné éventuellement d'autres produits laitiers, présentant une teneur minimale en matières sèche de 40 pour 100 g de produit après complète dessiccation (**Beisson et Martinez, 2009**).

3.2. Valeur nutritionnelle

Le fromage fondu comporte toutes les caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui le composent. Il apporte à l'organisme la majorité des nutriments essentiels à un bon équilibre alimentaire ne nécessitant aucune préparation (**Gaucheron, 2004**), c'est un excellent moyen d'apporter à notre corps les éléments énergétiques et bâtisseurs nécessaires à son fonctionnement (lipides, glucides, protéines, minéraux, vitamines).

La présence de la matière grasse sous forme bien émulsionnée et des protéines finement dispersées lui confèrent une efficacité nutritionnelle (notamment digestibilité) au moins égale à celle des composés de départ (Eck et Gillis, 1997).

3.3. Classification

Selon la teneur en matière grasse de l'extrait sec, les fromages fondus peuvent se diviser en sept catégories (Tableau V).

Tableau V : classification des fromages fondus selon la teneur en matière grasse de l'extrait sec (D.F.I., 2009).

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

3.4. Types des fromages fondus

Selon Richonnet (2016) les fromages fondus peuvent se diviser en 6 types :

- **Fromage fondu en bloc**

C'est le plus ancien des fromages fondus. L'extrait sec total est relativement élevé en regard rapport matière grasse/matière sèche (MG/MS). Il a une consistance ferme et une bonne élasticité. Le coulage s'effectue sous forme de blocs de poids différents, mais aussi de plus en plus sous forme de tranche ! (Anonyme 2, 1989).

- **Fromage fondu en portion**

La condition en portion concerne aussi bien le fromage fondu à couper que le fromage à tartiner. la différence entre le fromage à couper et le fromage à tartiner réside dans le rapport MG/ES. L'extrait sec de fromage à tartiner est généralement de 43% et celui du fromage à couper arrive à 48% (Richonnet, 2016).

- **Fromage fondu en boîtes métalliques**

Le produit est stérilisé, si le stockage est prolongé, une altération de la texture du fromage, ainsi que l'aspect et le goût par réaction de Maillard, sont à craindre (Richonnet, 2016).

- **Fromage fondu en tranche**

Les tranche sont obtenues soit en formant des bandes qui seront découpées, soit en moulant le fromage en forme d'un tube, il possède un rapport matière grasse/matière sèche élevé (Richonnet, 2016).

- **Fromage fondu tartinable**

C'est le processus de crémage qui permet en partie de régler la consistance du produit fini et de lui conférer une certaine tartinabilité. Ces produits peuvent être aromatisés et conditionnés en emballages souples (portions) ou rigides (pots, parquettes, tubes) (Richonnet, 2016).

- **Fromage fondu thermostable**

C'est un fromage fondu qui ne doit pas fondre lorsqu'on le soumet à une nouvelle source de chaleur. il subit un crémage très poussé (Richonnet, 2016).

3.5. Caractéristiques des fromages fondus

3.5.1. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques

3.5.1.1. pH

Le pH du fromage fondu intervient dès le processus d'échange d'ions. En effet l'augmentation du pH provoque un accroissement de la charge négative des protéines et améliore l'action de sel de fonte. Le pH intervient aussi de manière significative sur la qualité de la microstructure et les interactions protéiques dans les fromages fondus résultant de la

fabrication. Les meilleurs résultats sont obtenus pour des valeurs de pH comprise entre 5,4 et 5,8 pour les fromages tartinables et blocs (**ROUSTEL et al. , 2018**)

3.5.1.2. L'extrait sec total et la teneur en eau

Selon le **Codex alimentarius (2015)** la teneur en matière sèche des fromages fondus qui ont une teneur minimale en fromage de 75% varie entre 29, 34 ,57%, et pour les fromages fondus qui ont une teneur minimale en fromage de 51% la teneur en extrait sec est de 29, 34, 50%. Tandis que pour les fromages fondus tartinable la teneur en matière sèche est de 25, 30, 40% (**Codex alimentarius, 2015**).

L'augmentation de la teneur en humidité des fromages facilite le processus d'échange d'ions et conduit à une augmentation du coefficient de peptisation.

De ce fait il a été montré que plus les caséines sont hydratées, plus leur structure est ouverte, ce qui permet aux sels de fonte de pénétrer plus facilement les molécules des caséines et d'améliorer le phénomène de peptisation (**Dimitreli et Thomareis, 2005**).

3.5.1.3. Protéines

Le fromage fondu contient 18g de protéines/100g de fromage et entre 10 à 17g /100 g de fromage selon **Eck et Gillis (1997)** et **Richonnet (2016)** respectivement.

La source des protéines dans les fromages fondus est représentée par les ingrédients laitiers tels que le lait, les fromages et les concentrés protéiques principalement.

Dans les fromages fondus, les caséines sont les protéines majoritaires (92 % des protéines), caractérisées par une teneur élevée en proline et un taux relativement faible en acides aminés (AA) soufrés (cystéine notamment) (**Richonnet, 2016**).

3.5.1.4. Lipides

La teneur des fromages fondus en lipides est de l'ordre de 21 à 22g/100g de fromage selon **Richonnet (2016)**.

Les lipides présents dans les fromages fondus sont exclusivement issus des matières grasses laitières apportées par leurs ingrédients : fromages, lait, beurre, crème ou matière grasse laitière (**Legrand, 2008**).

3.5.1.5. Lactose

La teneur en lactose dans les fromages fondus est de l'ordre de 6,5 à 7g/100g de fromage fondu. Cette teneur a une influence sur la consistance du produit fini. Le lactose a un effet favorable sur la plastification et la structuration du gel, ce qui favorise la tartinabilité du fondu (EFSA, 2010).

3.5.1.6. Cendres

Les sels minéraux du fromage fondu sont constitués des sels de fonte ajoutés au cours de la fabrication et des sels contenus dans le fromage matière première (Varunsatian *et al.*, 1983). Les sels de fonte sont des agents importants pour la fabrication de fromages fondus, ils sont d'ailleurs à l'origine de l'industrie de la fonte. Parmi les sels de fonte les plus utilisés en industrie fromagère : Orthophosphate monosodique, Phosphate disodique, Phosphate trisodique, Pyrophosphate disodique, Pyrophosphate tétrasodique, Triphosphate pentasodique, Tétrapolyposphate de sodium et citrate trisodique (Roustel, 2014).

3.5.1.7. Calcium

Les fromages fondus contiennent en moyenne 562 à 576mg de calcium pour 100g de fromage. Le calcium provient des fromages et du lait mis en œuvre mais aussi parfois de vecteurs d'enrichissement comme les concentrés calciques laitiers ou du phosphate de calcium employés pour enrichir ces fromages en calcium (Weaver *et al.*, 1999).

3.5.1.8. Sodium

Le chlorure de sodium ou plus généralement le sel a de nombreux effets sur le fromage fondu. Il a un rôle au niveau biochimique, microbiologique et organoleptique.

Il intervient également sur le développement des saveurs et également sur la texture des fromages (Guinee *et al.*, 2004).

Avec une moyenne de 737mg à 1600mg de sodium, les fromages fondus se situent au niveau de certaines pâtes pressées (Richonnet, 2016).

L'ajout de sels de fonte dans les fromages fondus, de type phosphate (polyphosphate de sodium, pyrophosphate de sodium) qui contiennent environ 25% de phosphore induit une élévation des teneurs en phosphore et un rapport Ca/P moins satisfaisant. Il faut donc préférer les fromages fondus avec un taux de calcium optimal et dont les sels de fonte, surtout ceux de type polyphosphate sont réduits (Takeda *et al.*, 2014).

3.5.2. Caractéristiques microbiologiques

Les fromages selon leur technologie et leur caractère traditionnel ou non, hébergent un microbiote de diversité variable, composé de population microbienne endogène, naturellement présentes, et de ferments. Ce microbiote joue un rôle majeur dans le développement des qualités sanitaires et sensorielles de produit fini. Les populations microbiennes interagissent entre elles et avec la matrice laitière, de la fabrication à la fin de l'affinage du fromage (**Gillis et Ayerbe, 2018**).

La qualité microbiologique du fromage fondu dépend principalement de la qualité microbiologique des matières premières utilisées, le pH, la teneur en matière sèche, la teneur en chlorure de sodium, la concentration, le type des sels émulsifiants et de l'intensité du traitement thermique (**Glass et Doyle, 2013 ; Bunkova et Bunka, 2015**).

Les conditions d'hygiène lors de la fabrication, les matériaux, le type d'emballage et les conditions de stockage ont aussi un effet. En outre, le procédé de refroidissement de la masse fondue enveloppée chaude a une influence significative sur la texture et sur la charge microbienne (**Bunkova et Bunka, 2015 ; Oliveira et al., 2016**).

Les principaux contaminants de fromage fondu comprennent des microorganismes psychrotrophes ou des micro-organismes capables de se développer dans l'environnement à faible teneur en oxygène. Les contaminants les plus communs de fromage fondu comprennent des bactéries et des spores de micromycètes. Les contaminants secondaires, à savoir les micro-organismes qui pénètrent dans le produit après la production du fromage fondu ne sont pas négligeables (**Blackburn, 2006 ; Lazarkova et al., 2010**).

Ces spores peuvent être trouvées sur le sol, équipements et ustensiles utilisés pendant la production de fromage fondu (**Oliveira et al., 2016**).

Le fromage fondu et d'autres produits alimentaires traités thermiquement sont souvent contaminés par les bactéries sporulés. Palmas *et al.* (1999) ont isolé *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *B. coagulans*, *B. pumilus*, *Brevibacillus laterosporus*, *Clostridium sporogenes*, *C. sordellii* et *C. glycolium* du fromage fondu (**Glass et Doyle, 2013**).

3.6. Technologie de fonte

3.6.1. Les matières premières utilisées dans la fabrication du fromage fondu

Les matières premières d'origine laitières représentent la majeure partie des matières premières utilisées en fonte (Fox et al., 2000).

3.6.1.1. les matières premières laitières

- Le fromage
- Les matières grasses laitières
- Les matières pulvérulentes

3.6.1.2. Matières premières non laitières

Elles peuvent être utilisées à des fins économiques ou nutritionnelles et être source de matière grasse et/ou de protéines. Toutefois, s'il y a incorporation de matière grasse et/ou protéiques non laitières, les produits obtenus ne peuvent prétendre à la dénomination "fromage fondu" (Fox et al., 2000).

- Les additifs
- Les matières grasses végétales
- Les protéines végétales

3.6.2 Procédé de fabrication des fromages fondu

3.6.2.1. Sélection des matières premières

La sélection est guidée par les caractéristiques souhaitées de produit fini. Le choix des matières premières contribuera à la détermination du procédé de fonte (Chambre et Daurelles, 1997).

3.6.2.2. Préparation des matières premières

Les fromages particulièrement ceux à pâte dure ou demi-dure, sont écroutés par raclage ou brossage et sont découpés voire laminés afin que le broyage soit efficace (Chambre et Daurelles, 1997).

La figure 3 présentée ci-dessous représente le schéma général de la chaîne de fabrication du fromage fondu pasteurisé.

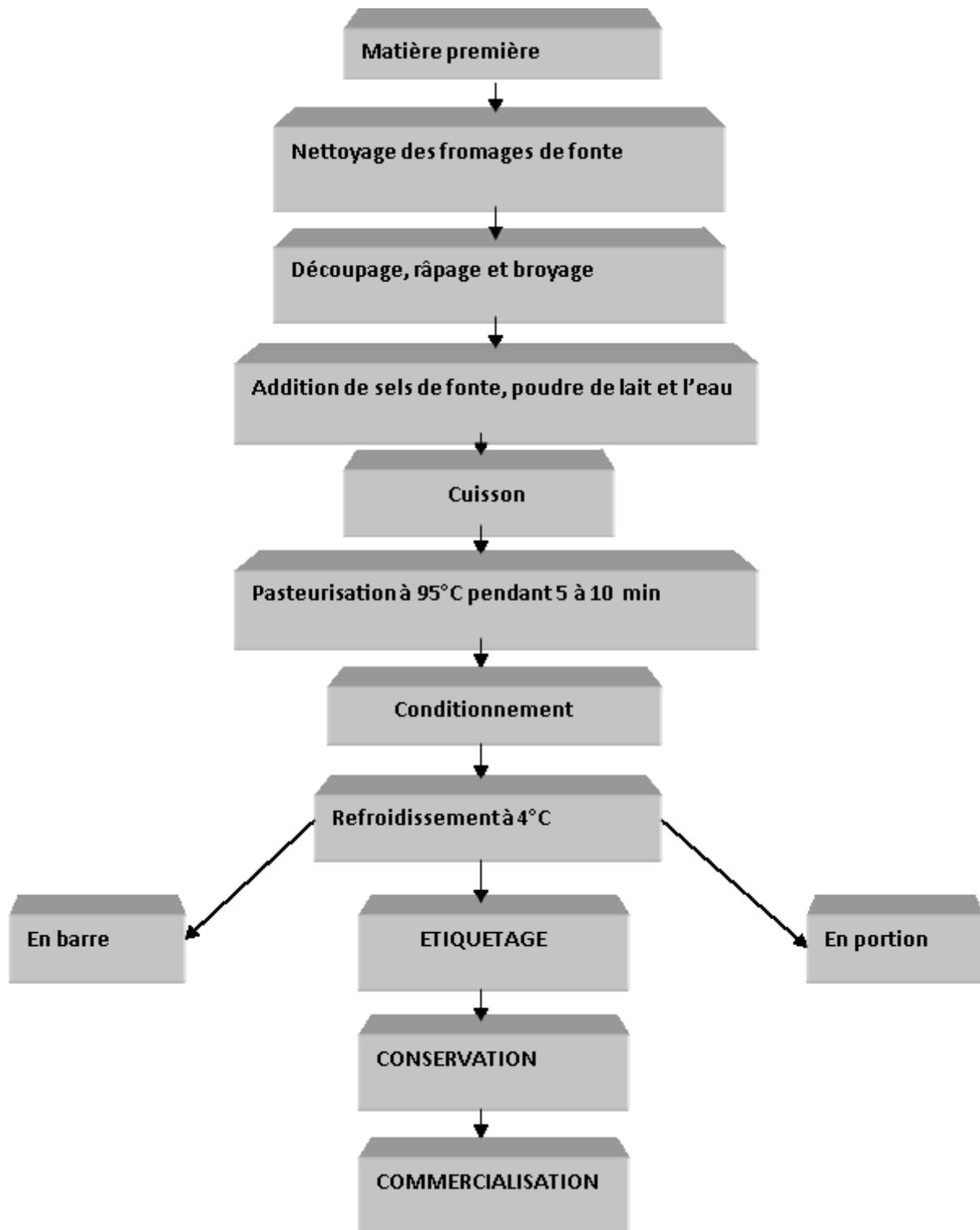


Figure 3 : schéma général de la chaîne de fabrication du fromage fondu pasteurisé (ANONYME, 1985).

3.6.2.3. Formulation

C'est tout l'art du fondeur de réaliser une formule répondant à la fois aux caractéristiques sensorielles recherchés, aux contraintes réglementaires et aux propriétés technologiques des procédés mis en œuvre (**Caron et al., 1997**).

3.6.2.4. Choix de procédé de fabrication : Deux systèmes sont généralement utilisés

Pour la fabrication de petits volumes de production, la fonte en discontinu est réalisée dans des pétrins ou cutter (l'ensemble des opérations unitaires est réalisé dans le même appareil) (**Anonyme, 1991**).

L'alimentation en continu des machines de conditionnement se fait par passage du produit fondu dans une cuve tampon.

Pour la fabrication de gros volumes, une pré-cuisson peut être réalisée en cutter (entre 70°C et 95°C) suivi d'une stérilisation obtenue soit par passage des échangeurs à surfaces raclées par l'utilisation de stérilisateurs de type UHT (Ultra Haute Température).

Les traitements de petits volumes en cutter sont réalisés à des températures inférieures à 120°C. Les systèmes de type UHT permettent des traitements jusqu'à 150°C (**JOHA, 1989**).

Les deux techniques de cuisson sont basées sur un chauffage par injection de vapeur qui entraîne une dilution importante des matières premières, le refroidissement pouvant, quand il est réalisé par injection d'eau froide, lui aussi entraîner une dilution.

Outre les quantités traitées, il est à noter que le procédé UHT permet une meilleure dissociation des phases de fonte, assainissement et krémage (**Chambre et Daurelles, 1997**).

3.6.2.5. Fonte proprement dite

L'opération de fonte consiste en un broyage, malaxage, traitement thermique et épaissement éventuel d'un mélange de matières premières afin d'obtenir une pâte homogène stable chimiquement et microbiologiquement sur une durée plus ou moins longue pouvant aller de 3 à 12 mois.

En terme biochimique, la fonte se caractérise par l'obtention d'une émulsion aussi stable que possible, selon deux étapes indispensables : la peptisation et l'émulsification. Une

troisième étape dénommé krémage, peut succéder aux précédentes, elle permet la formation d'interaction inter et intra protéique complémentaires (Eck et Gillis, 1997).

➤ **Phase de peptisation (déstructuration de la masse protéique initiale) :**

Les fromages naturels sont constitués par la juxtaposition de granules de caillé composés de protéines et de globules gras. La zone externe du granule est composée essentiellement de substances protéiques, la zone interne d'une proportion plus importante de matières grasses (Chambre, 1997).

Après avoir broyé finement les matières premières fromagères et dès mise en contact avec l'eau et les sels de fonte on assiste au démarrage de l'étape de déstructuration. Cette étape va se poursuivre et s'accroître lors de traitement thermique ; les sels de fonte chélatent le calcium lié aux protéines et transforment ainsi le paracaséinate de calcium insoluble en paracaséinate de sodium soluble (Chambre, 1997).

Après l'échange du calcium contre du sodium, les chaînes peptidiques sont en partie déroulées et dissociées ; c'est le stade de peptisation.

Parmi les sels de fonte, les polyphosphates ont l'action chélatante la plus importante ; ils vont former avec le Ca piégé des combinaisons très stables.

La déstructuration chimique aboutissant à la peptisation des caséines concerne dans un premier temps les ponts calcium intermoléculaires externes, pour se poursuivre au cours de processus de fonte par l'attaque des ponts intramoléculaires. Le mélange fromager initial est transformé lors de cette étape en une solution colloïdale homogène.

Les protéines moins calcifiées sont devenues plus hydrophiles ce qui induit une augmentation de la viscosité de la phase aqueuse ; parallèlement et sous l'action de la température et de l'agitation, la matière grasse est dispersée dans la solution colloïdale et stabilisée par la formation à l'interface des gouttelettes lipidiques formées, d'une membrane protéique incluant les protéines précédemment peptisées (Srinivasan *et al.*, 2000).

Dans le caillé frais ou dans un fromage jeune peu affiné, les caséines sont dans leur état originel et ont conservé de ce fait leurs propriétés émulsifiantes. Au cours de l'affinage les caséines s'hydrolysent ; les caséines α_1 se dégradent rapidement et n'interviennent pas dans le processus d'émulsification. Par contre, la caséine β se dégrade plus lentement et c'est elle et ses produits de dégradation qui assureraient l'émulsification (Eck et Gillis, 1997).

Les caséines possèdent des zones hydrophiles et hydrophobes qui leur confèrent un caractère émulsifiant qui augmente quand les sels de fonte ont séquestré le calcium. Il est donc indispensable d'avoir une quantité suffisante de caséines dans le mélange pour avoir une bonne émulsification. Elles exercent ce caractère en se plaçant à l'interface phase aqueuse/phase lipidique pour former la membrane du globule gras (Eck et Gillis, 1997).

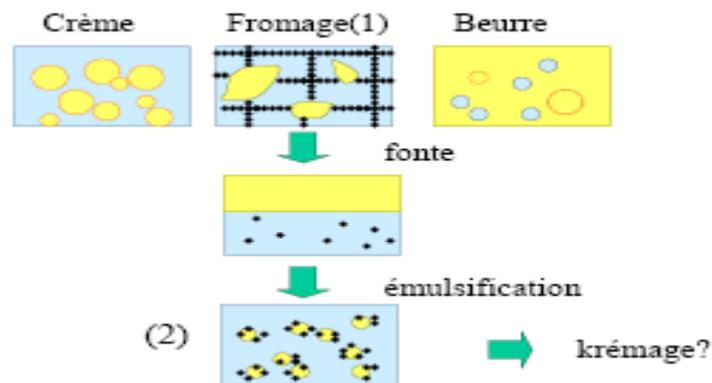


Figure 4 : du processus d'émulsification lors de la cuisson d'un fromage fondu.

➤ **le krémage :**

Cette étape, au cours de laquelle le fromage fondu est soumis à l'action de la chaleur et de l'agitation, a pour conséquence, l'augmentation de la viscosité et contribue ainsi à la stabilité du système. Le krémage correspond à une réorganisation des chaînes protéiques par l'intermédiaire de liaisons biochimiques intra et inter chaînes. Dans cette étape le rôle des minéraux est primordial (Chambre et al., 1997).

L'étape de krémage correspond à un épaississement du produit qui a deux origines :

-la peptisation des protéines, qui permet l'hydratation des chaînes, aboutit à un gonflement du milieu et à une augmentation de la viscosité.

-les pyrophosphates de Ca formés au cours du traitement thermique ont une taille qui leur permet de s'insérer entre les chaînes protéiques pour former des liaisons ioniques inter et intra-protéiques ce qui entraîne la gélification du réseau (Roustel, 2014).

La constitution du réseau protéique se fait d'autant plus vite que l'on incorpore de la préfonte ; cette dernière (fromage fondu déjà structuré) va conférer au sein du mélange où elle est introduite un «modèle» favorisant les interactions, ce qui va accélérer la cinétique de restructuration (Eck et Gillis, 1997).

➤ **Phase de refroidissement :**

C'est au cours de cette phase que se produit la gélification. Le réseau protéique formé grâce aux liaisons hydrogènes, hydrophobes et ioniques établies, va se structurer pour former un gel qui va emprisonner fortement la matière grasse émulsionnée ainsi que l'eau d'hydratation (Eck et Gillis, 1997).

3.7. Principaux facteurs intervenants sur les caractéristiques des produits finis

3.7.1. Teneur en extrait sec

L'augmentation de la teneur en humidité des fromages facilite le processus d'échange d'ions et conduit à une augmentation du coefficient de peptisation. Plus les caséines sont hydratées, plus leur structure est ouverte, ce qui permet aux sels de fonte de pénétrer plus facilement les caséines et d'améliorer la peptisation. Par ailleurs, la teneur en matière grasse et le qualitatif des acides gras (point de fusion) vont influencer sur le processus de fonte et la texture de produit fini (Gillis et Ayerbe, 2018).

3.7.2. Sels de fonte

Le rôle essentiel des sels émulsifiants dans la fabrication des fromages fondus est de compléter la capacité émulsifiante des protéines fromagères. Ceci est accompli par :

- L'élimination de calcium de système protéique
- Peptisation, solubilisation et dispersion des protéines
- Hydratation et gonflement des protéines
- Contrôle et stabilisation de pH
- Emulsification des graisses et stabilisation des émulsifications
- Former une structure appropriée après refroidissement

La capacité de séquestrer le calcium est la fonction la plus importante de sels de fonte (Caric et *a.l*, 1985).

3.7.2.1. Ajustement du pH

Les sels de fonte affectent la valeur du pH du produit fini. La valeur de ce dernier doit être adaptée au regard du type de produit fini : tartinable, bloc... mais aussi en fonction des

fromages employés, de leur degré de maturité, de leur pouvoir tampon... ainsi, les fabricants sont souvent amenés à apporter des sels correcteurs de pH (**Gillis et Ayerbe, 2018**).

3.7.2.2. Activité antimicrobienne

C'est le cas principalement des polyphosphates, qui peuvent avoir effet bactériostatique. Les mécanismes en jeu sont encore mal connus à ce jour même si les propriétés de séparation des cations qui modifie la biodisponibilité des ions de milieu liquide minéralise les membranes cellulaires, qui modifie les sites actifs des enzymes sont au cœur du mode d'action (**Gillis et Ayerbe, 2018**).

3.7.2.3. Le pouvoir chélatant

Il peut être défini comme l'aptitude à fixer des cations métalliques pour former des complexes solubles ; cette propriété de séquestration qu'ont les polyphosphates permet de retirer un composant métallique, le calcium de système protéique.

Une autre propriété des polyphosphate est celle de rester en solution après complexation des cations métalliques.

L'aptitude des polyphosphates à chélater l'ion calcium croit avec leur degré d'ionisation (fonction du pH) et leur longueur de chaîne.

Dans le cas des fromages fondus, les sels de fonte vont extraire le calcium de réseau protéique et permettre son déverrouillage sous une forme favorable à son hydratation (**Eck et Gillis, 1997**).

3.8. Les défauts rencontrés lors de la fabrication du fromage fondu

3.8.1. Défauts d'origine microbiologique :

Parmi les défauts les plus répandus d'origine microbien : Présence d'ouvertures (trous dans la pâte du fromage fondu) du au développement bactérien (*Clostridium*, coliformes...), changements physiques (présence de l'air, CO₂ produit par le mélange du citrate) et changements chimiques (hydrogène résultant de la réaction entre le fromage fondu et le papier aluminium). Le remède dans ce cas est de bien choisir les ingrédients du mélange, conserver la température de fonte >95°C, utiliser un système de cuisson et de conditionnement sous vide, augmenter le temps de fonte, tester la porosité du papier aluminium (**Fox et al. 2017**).

Le gonflement du fromage fondu est un accident de fabrication particulièrement grave qui se traduit par la présence de nombreux yeux dans le fromage, principalement près de la surface. Les germes responsables sont divers. Assez rarement il s'agit de bactéries coliformes ou levures, gênées par l'absence de lactose. Plus souvent, ce sont des sporulés anaérobies qui interviennent parmi lesquels *Clostridium butyricum*, capable de se développer à partir des lactates. Toutefois, la cause de gonflement la plus fréquente reste encore la présence massive de bactéries propioniques.

Pour lutter contre le gonflement butyrique, l'addition aux fromages, au moment de la fonte, d'une culture sur lait de streptocoques producteurs de nisine, mélange de polypeptides thermostables inhibant le développement des ferments butyriques (**Gouet et Bergere, 1973; Veisseyre, 1979**).

Le fromage fondu peut être aussi recontaminé au moment du conditionnement (Coliformes, levures, moisissures) ou après conditionnement, par suite d'un défaut dans l'étanchéité de l'emballage (**Beernens et luquet, 1987**).

3.8.2. Défauts d'origine chimique ou physique

Plusieurs défauts peuvent être décelés avant les opérations du conditionnement, parmi lesquels : La pâte présente un aspect grumeleux, la pâte reste liquide ; La pâte destinée au fromage fondu à tartiner fait des fils ; Le produit présente un défaut de coloration brun clair à brun foncé ; La séparation des phases s'accompagne d'exsudation de matière grasse, due à une mauvaise émulsification de la matière grasse (**Caric et Kaláb, 1993**). Alors que parmi les principaux défauts, causes et corrections qui surviennent d'origine chimique ou physique après conditionnement sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau VI : Principaux défauts d'origine physico-chimique des fromages fondus (Caric et Kaláb, 1993).

Défauts	Causes	Corrections
Texture molle	Humidité élevée, quantité de sels insuffisante, agitation lente, fonte prolongée, pH élevé, refroidissement rapide, excès de fromages affinés dans le mélange	Réduire la teneur en eau, utiliser un autre sel de fonte, augmenter le pH, ralentir le refroidissement, augmenter la teneur en fromages jeunes, réduire le temps de fonte, augmenter la vitesse d'agitation
Texture dure	Humidité basse, sels de fonte non adaptés (dose, nature), faible pH, refroidissement long, mélange adapté, excès de fromages ayant une forte aptitude au crémage	Augmenter la teneur en eau, ajuster les sels de fonte, augmenter le pH, augmenter la vitesse de refroidissement, changer la formulation des fromages, éviter l'ajout de préfonte trop crémée
Texture gluante (fromage tartinable)	Excès de fromages jeunes, sels de fonte non adaptés, absence de la préfonte dans le mélange, fonte rapide et agitation lente	Augmenter la proportion de fromages affinés, utiliser un sel de fonte adapté, ajouter de la préfonte, augmenter le temps de la fonte, augmenter la vitesse de l'agitation
Texture ferme avec exsudation de l'eau pendant le stockage	Effet de surcrémage, développements microbiens conduisant à la baisse du pH	Éliminer tous les facteurs qui causent un crémage excessif, bien choisir les ingrédients, conserver une température de fonte supérieure à 85°C.
Texture granuleuse (non	Processus de fonte et mélange	Ajouter des fromages jeunes,

homogène)	insuffisants, sels de fonte en excès ou insuffisants, pH bas, temps de fonte réduit, température de fonte basse, quantité d'eau ajoutée insuffisante, agitation inadéquate	utiliser le sel de fonte adapté et en quantité suffisante, régler le pH, prolonger le temps de fonte en vue d'obtenir une masse homogène, augmenter la température de fonte au-delà de 85°C, augmenter la teneur en eau ajoutée, agiter en continu durant la fonte et le remplissage
Texture friable, cassante	Apparition fréquente lorsque le pH final du fromage fondu est très faible (<5,3). Les caséines sont alors proches de leur point isoélectrique, ce qui augmente la contraction du réseau protéique et les interactions protéines-protéines dont la résultante peut être l'apparition d'une texture friable et cassante	Ajuster le pH du produit fini par l'emploi de sels de fonte correcteurs de pH et/ou d'une formulation plus adaptée des fromages
Produit collant (adhérent au papier d'emballage)	Emballage métallique collant, pH trop élevé, masse fondue laissée chaude pendant un long moment sans agitation	Changer l'emballage, augmenter la proportion des fromages affinés ou améliorer le crémage, conserver le pH<6 et une agitation continue jusqu'à l'opération d'emballage
Présence de marbrures	Origine pouvant être mécanique (mélange de pâtes issues de	Améliorer la qualité du mélange avant dosage, supprimer ou

	plusieurs machines, malaxage insuffisant avant dosage),	réduire l'emploi de citrates
Présence de cristaux	Cristaux de di- et de mono-phosphate de calcium (quand ces anions sont utilisés dans le sel de fonte), cristaux de calcium (quand le citrate est utilisé comme sel de fonte), usage de préfonte sableuse, sels de fonte insolubles, formation de cristaux de lactose, précipitations des grains de tyrosine (fromages à pâte pressée cuite trop affinés)	Éviter l'usage du mono ou diphosphate comme sel de fonte, réduire le citrate, éliminer la préfonte sableuse, augmenter le temps de fonte, ajouter le sel de fonte en solution (si nécessaire), utiliser une dose précise de sels de fonte, réduire les apports de lactose (poudre de lactosérum par exemple), éliminer les fromages contenant des cristaux de tyrosine
Produit rance	Fromages trop affinés, beurre ou matière grasse de mauvaise qualité	Corriger la composition du mélange (ajout des fromages jeunes), changer de corps gras
Produit amer	Fromages amers dans le mélange, quantité de calcium à l'état ionisé trop importante	Ajouter des fromages affinés (avec un pH élevé), d'après un sel de fonte correcteur de pH et plus séquestrant
Produit trop salé	Fromages salés, excès du sel de fonte	Ajouter des fromages jeunes et non salés, diminuer la quantité du sel de fonte
Produit sucré	Fromages initiaux avec ouvertures (propioniques), teneur en	Corriger la formulation du fromage fondu

	lactose excessive	
Produit sucré-salé	Concentration élevée en lactose et sels minéraux (utilisation de poudre de lactosérum en excès)	Réduire la quantité de produits de lactosérum dans le mélange
Particules brûlées	Surchauffage par vapeur indirecte avec la présence du lactose (dégradation thermique du lactose)	Réduire la température du traitement thermique lors des chauffages indirects
Brunissement	Réaction de Maillard (lactose et acides aminés), usuellement lors de l'utilisation des fromages très jeunes ou des produits de lactosérum.	Choisir une température de fonte <90°C, refroidir les fromages fondus directement après emballage, éviter un pH élevé dans le produit, revoir la formulation
Apparition d'une coloration rose	Apparition principalement dans les fromages fondus colorés avec de l'annatto ou élaborés à partir de fromages contenant de l'annatto	Supprimer ou réduire l'emploi d'annatto

Il y a d'autres défauts également tels les défauts fonctionnels qui peuvent être définis comme l'incapacité des fromages à présenter les propriétés d'usages pour lesquels ils ont été fabriqués. Ces défauts englobent leurs propriétés lors de leur découpe, fragmentation (fermeté, collant, rapabilité, texture friable et/ou cassante, etc...), leur comportement à la fonte (Etalement, filant, coloration, exsudation de matière grasse...), et leur durée de conservation (Roustel et Boutonnier, 2015).

Partie pratique

Présentation de l'unité

1.1.Présentation de l'unité

L'unité de production du lait et les dérivés laitiers Boudouaou appartient à l'office régional du lait et produit laitiers du centre(OROLAC)

La laiterie fromagerie de Boudouaou est une société par action avec un capital social de deux cent millions de dinars (200 000 000), située à l'entrée de la ville de Boudouaou dans la wilaya de Boumerdès (à environ 40km d'Alger). Sa superficie est de 80.000m² .elle a comme activité principal la production et commercialisation des laits et des produits laitiers.

Elle a été créé dans les années 70 par un particulier, sous le nom société de fromage de la Mitidja «SOFROMI». Elle a été spécialisée dans la fabrication des fromages, mais après sa nationalisation en 1975 et son intégration au patrimoine de l'ONALAIT, l'unité est devenue l'unité de production laitière UPL02.

1957 : construction de l'unité de Boudouaou.

1978 : entrée de production.

1987 : création des altères de poudre de laits instantanée et de fromage fondu stérilisé.

1998 : mise en service d'une station de traite des eaux.

L'unité de production est constituée de quatre ateliers :

- Atelier de production de lait pasteurisé.
- Atelier de production de fromage fondu pasteurisé(en barre, en portions).
- Atelier de production de fromage stérilisé.
- Atelier de production de fromage de type EDAM.

Elle dispose aussi :

- Des magasins pour le stockage des matières premières (cheddar, poudre de lait).
- Une salle de préparation de l'emballage.
- Un laboratoire d'analyse et de contrôle de qualité.
- Chambre froide.

L'unité de laiterie et fromagerie de Boudouaou assure la production de :

-lait pasteurisé conditionné de 1L.

-lait acidifié fermenté LBEN de 1L.

-fromage fondu en portion 240g.

-fromage non cuit à patte pressé (EDAM) (boule de 1kg).

-fromage fondu stérilisé en boîte métallique de 200g.

Matériel et Méthodes

1. Matériel

L'ensemble de matériel utilisé est illustré dans les annexes.

2. Méthodes

2.1 Analyses physico-chimiques

2.1.1. Détermination du pH

Principe

Le principe de cette méthode est basé sur la mesure directe du pH à l'aide d'un pH mètre.

Mode opératoire

Introduire les 2 électrodes de pH mètre dans un bécher contenant le lait à analyser, dans le cas de fromage l'opération consiste à introduire l'électrode dans le fromage.

La valeur du pH est lue directement sur l'échelle graduée du pH mètre.

2.1.2. Détermination de l'acidité

La détermination de cette acidité est un essai important pour apprécier la fraîcheur d'un lait ou l'efficacité des procédés de conservation.

Principe

Titration de lait par une solution de NaOH à 0,1N en présence de phénolphthaléine.

Mode opératoire

Dans un bécher introduire 10 ml de lait, ajouter 3 gouttes de phénolphthaléine mélanger puis titrer avec la solution alcaline de NaOH à 0,1N jusqu'à coloration rose pâle pendant 30 secondes. La lecture se fait directement.

L'acidité du lait est égale au volume de la solution titrée.

2.1.3. Détermination de la densité

Principe

La densité du lait est le rapport des masses volumiques du lait et de l'eau à 20°C et à la même pression. Elle est mesurée par un lactodensimètre, renfermant un thermomètre et une table de correction, et gradué en 0,0005 unités étalonné par rapport à l'eau, à +/-20°C.

Mode opératoire

Le lait est versé doucement dans une éprouvette de 250ml, le faisant couler le long de la paroi pour éviter la formation de la mousse.

Remplir l'éprouvette jusqu'à son extrémité supérieure de manière que le lait déborde légèrement puis on plonge le lactodensimètre.

La lecture se fait directement sur l'échelle graduée du lactodensimètre en suivant la loi suivante :

- Si $T > 20^{\circ}\text{C} \rightarrow D = D_0 + 0,2(T - 20)$
- Si $T < 20^{\circ}\text{C} \rightarrow D = D_0 - 0,2(T - 20)$

Avec : D_0 : densité lue sur le lactodensimètre,

T : température lue sur le lactodensimètre.

2.1.4. Détermination de la matière sèche totale(E.S.T)

Principe

La détermination de l'extrait sec total est reposée sur la dessiccation par l'évaporation d'une quantité de lait ou de fromage.

Cette expérience est réalisée à l'aide d'un dessiccateur, ce dernier est équipé d'une balance et une résistance.

Mode opératoire

On met à l'intérieur du dessiccateur une prise d'essai de 1,2 à 1,5g de produit, on règle la température de séchage à 95°C. On laisse évaporer le lait (ou le fromage) pendant quelques

minutes jusqu'à ce que on voit l'écriture «end» sur l'écran de l'appareil. Le résultat est inscrit sur l'écran de l'appareil, ceci indique le pourcentage de l'extrait sec total.

2.1.5. Détermination de la teneur en matière grasse

➤ Pour le lait

Méthode de l'acido-butyrométrie Gerber : elle est utilisée depuis de nombreuses années comme méthode de routine pour le dosage de la matière grasse du lait, dans l'ensemble des laboratoires laitiers. L'un des réactifs qu'elle utilise est l'alcool amylique, un mélange de deux isomères.

Principe

La méthode de Gerber est valable seulement pour les laits frais. Les constituants du lait autres que la matière grasse est dissoute par l'acide sulfurique. Et grâce à la force centrifuge et l'ajout d'une petite quantité d'alcool iso amylique qui dissout la matière grasse, cette dernière se sépare et monte au sommet du butyromètre.

Mode opératoire

Dans un butyromètre de gerber, on introduit 11ml de lait puis on ajoute 10ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré et 1ml d'alcool iso amylique.

Le butyromètre est maintenu dans une position verticale et secoué horizontalement afin d'éviter une attaque trop brutale du lait par l'acide. Le mélange est homogénéisé par retournement successifs de vitesse de 1100trs/min pendant 5min, après l'homogénéisation on l'introduit dans l'appareil centrifuge pendant à une température de

La lecture se fait aussitôt à une demi-vision près de l'échelle graduée à la base de mécanisme de matière grasse et au plan de séparation inférieure à la colonne grasse.

➤ Pour le fromage

Méthode Van Gulik

Technique conventionnelle qui, appliquée à un fromage, donne une teneur en matière grasse, exprimée en grammes pour 100g de fromage.

Principe

Après dissolution des protéines du fromage au moyen d'acide sulfuriques, il est procédé à la séparation de matière grasse par centrifugation dans un butyromètre de Van Gulik, la séparation étant favorisée par l'addition d'une petite quantité d'alcool iso-amylque.

Obtention de la teneur en matière grasse par lecture directe sur l'échelle du butyromètre.

Mode opératoire

Dans un butyromètre de Van-Gulik, mettre 3g de fromage, additionner l'acide sulfurique de manière qu'il couvre la masse de fromage. En faisant dissocier les protéines dans un bain marie. Après la dissociation complète. On remplit la tige graduée par l'acide sulfurique, ajoutant 1ml d'alcool iso amylique. La séparation de la matière grasse se fait par centrifugation.

La matière grasse exprimée en g/100g de fromage est obtenue par la lecture directe sur l'échelle de butyromètre.

2.1.6. Détection des antibiotiques**Principe**

Détection des antibiotiques à l'aide d'un test rapide qui se fait avec des bandelettes, des tubes échantillons et un bloc chauffant. la présence des antibiotiques dans le lait ne présente pas seulement un risque pour la santé publique mais ils affectent aussi l'homogénéisation lors de la fabrication du fromage.

Mode opératoire

Introduire un volume de lait à l'aide d'une poly pipette dans un tube échantillon, puis le déposé dans un incubateur (bloc chauffant). la bandelette est ensuite introduite dans le tube pour démarrer le test. L'incubation se fait à une température de 47,5°C pendant 5min.

2.2. Analyses microbiologiques

2.2.1. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (germes totaux)

Cette flore est indicatrice de la qualité générale de la stabilité des produits ainsi que de la propreté des installations. C'est l'ensemble des microorganismes apte à se multiplier à l'air libre avec une croissance optimale à température située entre 25 et 45°C.

Principe

Les microorganismes aérobies facultatifs se développent dans un milieu nutritive gélosé exempt d'inhibiteurs et d'indicateurs défini (PCA) à 30°C pendant 72h. Après incubation, ils apparaissent sous forme de colonies lenticulaires en masse.

Mode opératoire

A partir des dilutions décimales, porter aseptiquement 1ml dans une boîte du pétri vide et stérile préparé à cet usage et numéroté. Compléter ensuite avec environ 15ml de la gélose PCA fondu puis refroidi à 45°C. Faire ensuite des mouvements circulaires et du va et vient en forme de «8» pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose. Laisser solidifier sur paillasse. Les boîtes seront incubées à 30°C pendant 72h, en faisant lecture chaque 24h.

Lecture

Retenir les boîtes contenant un nombre de colonies compris entre 30 et 300.

Les résultats sont exprimés en nombre de germes par ml ou g de produit selon la formule suivante :

$$N = \frac{\Sigma \text{colonies}}{V \text{ ml} \times (n_1 + 0.1n_2) \times d_1}$$

- N : nombre d'UFC par gramme ou par ml de produit initial (U.F.C : Unité Formatrice de Colonies)
- Σ colonies : sommes des colonies des boîtes interprétables
- V ml : volume de solution déposé (1ml)
- n_1 : nombre de boîtes considérées à la première dilution retenue
- n_2 : nombre de boîtes considérées à la seconde dilution² retenue
- d_1 : facteur de la première dilution retenue

2.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Le dénombrement des coliformes dans le lait permet en évidence d'une pollution fécale et donc la possibilité d'une contamination par les entérobactéries pathogènes. Ces bactéries sont sensibles à la chaleur. Elles sont donc un bon témoin de l'efficacité des traitements thermiques et/ou d'une ré-contamination. De plus, elles sont en elles-mêmes un facteur de mauvaise conservation ou d'accidents de fabrication. Les coliformes appartiennent à la famille des Entérobacteriaceae, ce sont des bacilles à gram négative non sporulés, aéro-anaérobies facultatifs, oxydase, catalase.

Principe

Les coliformes sont capables de se multiplier en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température de 37°C. Le milieu utilisé est le milieu désoxycholate contenant les sels biliaires, le vert brillant comme agents sélectifs, qui inhibent la croissance de la flore secondaire gram positive.

Mode opératoire

A partir des dilutions décimales, porter aseptiquement 1ml dans une boîte de pétri vide et stérile préparée à cet usage et numéroter. Compléter ensuite avec environ 15ml de gélose Désoxycholate fondue puis refroidie à 45°C. Faire ensuite des mouvements circulaires et de va et vient en forme de «8» pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose. Laisser solidifier sur paillasse. Les boîtes seront incubées, à 37°C pendant 24 à 48 heures pour les coliformes totaux et à 44°C pendant 24 à 48 heures, en faisant une première lecture après 24 heures pour les coliformes fécaux

2.2.3. Recherche et dénombrement des salmonelles

Les salmonelles sont des entérobactéries à Gram négatif, ce sont des bacilles mobiles dans toutes les directions grâce à des flagelles. Elles sont anaérobies facultatifs. La majorité des salmonelles ne fermentent pas le lactose (sauf *Salmonella arizonae*). Elles fermentent certains sucres avec production de gaz excepté pour *S. typhi*, *S. pullorumgallinarum* et *S. dublin*. Elles fermentent en majorité le dulcitol et produisent en général de l'H₂S (Hydrogène sulfureux).

Mode opératoire

La recherche des salmonelles se fait en 3 étapes :

- **La première étape : pré-enrichissement**

Introduire 25ml de l'échantillon à analyser dans 225 ml de milieu Eau peptonée tamponnée qui va être incubé à 37°C pendant 24 heures.

- **La deuxième étape : enrichissement**

Prélever 1ml de milieu de pré-enrichissement et l'ensemencer dans 10ml de milieu SFB. Incuber à 37°C pendant 24 heures.

- **La troisième étape : isolement**

A partir du milieu SFB positif, ensemencer par stries une boîte de pétri contenant la gélose Hektoen. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

Lecture

Les salmonelles se présentent sous forme de colonies de 2 à 4 mm de diamètre et de couleur bleu verdâtre avec ou sans centre noir. Les résultats sont exprimés par la présence ou l'absence de germe.

2.2.4. Recherche et dénombrement de *staphylococcus aureus*

Il s'agit d'une bactérie commensale de la peau des animaux et de l'homme qui contamine fréquemment les animaux et peut entraîner des dégradations et des problèmes sanitaires.

Leur caractère saprophyte de la peau et des muqueuses des êtres vivants en fait des agents de contamination par manipulation. Les staphylocoques appartiennent à la famille des micrococcaceae. Ce sont des cocci à gram positive non sporulés aéro-anaérobie facultatif immobile, halophiles, coagulase, protéase, catalase.

Principe

Le milieu utilisé est le milieu gélose Baird Parker qui contient du chlorure tellurite et une concentration en glycine pour inhiber la flore secondaire. Par contre, le pyruvate et la

glycine agissent comme accélérateurs sélectifs de la croissance pour les staphylocoques. Dans ce milieu opaque par la suite de la teneur en jaune d'œuf, les colonies staphylocoques présentent 2 caractéristiques diagnostiques :

-elles donnent naissance par lipolyse et protéolyse à des halos clairs caractéristiques.

-la réduction du tellurites en tellure développe une coloration noire.

Mode opératoire

Transférer à l'aide d'une pipette stérile, 0.1ml de la dilution décimale 10^{-1} , à la surface d'une plaque de la gélose BP. Étaler soigneusement l'inoculum à la surface de la gélose en essayant de ne pas toucher les bords de la boîte avec un râteau stérile. La boîte sera incubée à 37°C pendant 48h.

Lecture

Les colonies de staphylococcus aureus apparaissent sur le milieu du couleur noire brillante, voutée avec une bordure blanche mince entourée d'un halo clair.

Pour confirmer la présence de staphylococcus aureus quelques tests biochimiques caractéristiques de l'espèce sont effectués. Les résultats sont exprimés en nombre de germes par «ml » ou «g» de produit.

2.2.5. Recherche et dénombrement de clostridium sulfito-réducteur (CSR)

Il s'agit de bactéries «telluriques» communément rencontrés dans le sol, les eaux des égouts et l'intestin. Elles peuvent contaminer et dégrader les produits alimentaires dans des conditions d'anaérobie (conserves). Ce sont des bactéries appartenant à la famille des bacillaceae de forme bacillaire à gram positive, sporulées, anaérobie stricte, mobile par ciliature péri triche ou immobile. Ce sont des bactéries catalase réduisant le nitrate en nitrite, fermentant le lactose avec production du gaz.

Principe

Le milieu utilisé est la gélose viande-foie (VF), additionné de sulfite de sodium et d'alun de fer, l'action des germes sulfitant réducteur (clostridium) conduit à la réduction de sulfite de sodium en présence d'alun de fer en sulfure, donnant des colonies à coloration

noire. Ces microorganismes étant anaérobies strictes. Pour créer l'anaérobiose nécessaire à leur croissance l'ensemencement doit se faire en gélose profonde.

Mode opératoire

Introduire 2X5 ml de la suspension mère dans 2 tubes vides et stériles et également 1ml de cette dernière qui va être complétée par la suite avec 4ml d'eau physiologique stérile. Ces trois tubes sont portés au bain marie à 80°C pendant 10 minutes. Afin d'éliminer les formes végétatives et de ne laisser que les spores. Les tubes sont aussi très tôt refroidis à l'eau du robinet avant de faire coller aseptiquement la gélose VF fondu et refroidie à 45°C additionné de sulfite de sodium (5ml) et d'alun de fer (2ml), les tubes sont à nouveau refroidis à l'air ambiant et incubés à 37°C pendant 72h.

Lecture

Les colonies de Clostridium sulfito-réducteur apparaissent de couleur noire, le résultat s'exprime pour le nombre de spores par «ml» ou «g» de produit.

2.2.6. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux dans l'eau

➤ test présomptif

50ml d'eau sontensemencés dans un flacon contenant 50ml de bouillon BCPL D/C.

Dans un deuxième temps 5 tubes de milieu BCPL D/C sont inoculés avec 10ml d'eau et cinq autres tubes de milieu BCPL S/C sont inoculés avec 1 ml d'eau. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

Lecture

Les tubes présentant un virage (fermentation du lactose) avec dégagement de gaz ($\geq 1/10$ de la hauteur de la cloche) sont considérés comme positifs. Le nombre des coliformes totaux par 100ml est calculé par la méthode NPP.

➤ Test confirmatif

Le test consiste à repérer et à numéroter les tubes positifs sur milieu BCPL qui feront l'objet d'un repiquage (2 à 3 gouttes) sur milieu Schubert. L'incubation se fait à 44°C pendant 24 heures.

Lecture

Ne seront considérés positifs que les tubes qui présentent à la fois un dégagement de gaz ($\geq 1/10$ de la hauteur de la cloche) et formation d'un anneau rouge cerise à la surface après adjonction de quelques gouttes du réactif de Kovacs. Le nombre des coliformes fécaux par 100ml est calculé par la méthode NPP.

Résultats et discussion

Chapitre II : résultats et discussion

3.1. Résultats physicochimiques

3.1.1. Résultats des paramètres physico-chimiques de lait, cheddar et du produit finis

Les résultats des analyses des physico-chimiques effectués sur du lait, cheddar et du produit finis représentés dans le tableau suivant :

Tableau VII : résultats des analyses physicochimiques du lait, cheddar et du produit finis effectué au niveau de la laiterie de BOUDOUAOU.

Paramètres	Lait		Cheddar		Produit fini	
	valeur	Norme (FAO, 1921)	valeur	Norme (AFNOR, 1986)	Valeur	Norme (JORA, 1998)
Ph	6.62 ± 0.01	(6.6-6.8)	5.12 ± 0.168	(5.1-5.5)	5.70 ± 0.02	(5.65-5.85)
MG (%)	33 ± 0.7	37	37 ± 0	(30-38)	13 ± 0	16
E.S.T (g/l)	115.17 ± 1.46	128	69.92 ± 8.63	(61-69)	40.99 ± 0.95	>40
E.S.D (g/l)	82.67 ± 0.42	91	–	–	–	–
Densité	1028.7 ± 0.42	1028- 1033	–	–	–	–
T (°C)	07	07	–	–	–	–
Acidité (°D)	16	16	–	–	–	–

Discussion des résultats des analyses physicochimiques du lait :

La valeur moyenne du pH est en accord avec la norme. Le **pH** de lait de vache frais est compris entre 6.6 et 6.8. S'il y a une action des bactéries lactiques, une partie du lactose du

lait sera dégradé en acide lactique, ce qui entraîne une augmentation de la concentration du lait en ions hydronium (H_3O^+) et donc une diminution du pH.

La valeur moyenne de la matière grasse (MG) est inférieure à la norme, cela est peut-être dû au régime alimentaire des vaches et leur race.

Les valeurs de l'extrait sec total (E.S.T) et de l'extrait dégraissé (E.S.D) sont inférieures à la norme, ceci est dû au régime alimentaire des vaches.

La densité est en accord avec la norme.

L'acidité est 100% à la norme. **L'acidité** du lait peut être un indicateur de qualité du lait au moment de la livraison car elle permet d'apprécier la quantité d'acide produite par les bactéries ou les éventuelles fraudes. Un lait frais a une acidité de titration de 16 à 18°Dornic (°D) conservé à une température ambiante, il s'acidifie spontanément et progressivement.

D'après ces résultats on peut déduire que la qualité physicochimique du lait est moyenne.

Discussion des résultats des analyses physicochimiques du cheddar :

Les valeurs moyennes des différents paramètres du cheddar sont en accord avec les normes.

D'après ces résultats, on peut déduire que la qualité physico chimiques du cheddar est bonne.

Discussion des résultats des analyses physicochimiques du produit fini :

La valeur du pH et la teneur en extrait sont conforme aux normes.

La valeur de la teneur en matière grasse est inférieure à norme, ceci est peut-être dû au manque de la matière grasse ajouté lors de la fabrication du fromage.

Ces résultats montrent que le produit fini est d'excellente qualité physico-chimique.

3.2. Résultats des analyses microbiologiques

3.2.1. Le lait

Tableau n° VIII : résultats des analyses microbiologiques du lait.

échantillons Germe Recherchés	E1	E2	E3	E4	E5	Le journal officiel (1998)
Coliformes totaux 37°C/ml	0	0	0	0	0	1
Coliformes fécaux 44°C g ou ml	10³	10³	10³	10³	10³	10³
Salmonelle	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence

Le tableau ci-dessus représente les résultats des analyses microbiologiques effectués sur le lait.

Selon les résultats obtenus, on remarque l'absence de tous les germes recherchés.

Alors on peut dire que le lait utilisé est de bonne qualité microbiologique, cela peut être justifié par le fait qu'il a subi un bon traitement thermique.

2.2.2. Cheddar

Tableau n° IX : résultats des analyses microbiologiques du cheddar.

Echantillons Germes Recherchés	Lot N°1	Lot N°2	Lot N°3	(JORASP ,2017)
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0	10 ²
Salmonelle	Abs	Abs	Abs	Absence

Les résultats de l'analyse microbiologique du cheddar ont relevés l'absence des germes pathogènes dans les 3 lots examinés. Ces résultats indiquent que le cheddar est d'une bonne qualité microbiologique.

3.2.3. L'eau de process :

Tableau n° XI : résultats des analyses microbiologiques de l'eau de process.

Echantillons Germes Recherchés	E1	E2	E3	E4	(JORADP, 2017)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence
Salmonelle	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence
Coliformes à 37°C	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence
E. coli à 44°C	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence
CSR à 46°C	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence
FMAT (30°C)	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence

Le tableau représente les résultats des analyses microbiologiques de l'eau de process.

L'analyse de l'eau utilisée dans la fabrication du fromage, nous montre l'absence totale de tous les germes recherchés dans les 4 échantillons, ce qui signifie que l'eau de process est d'une excellente qualité microbiologique.

3.2.4. Produit fini

Tableau n° XII : résultats des analyses microbiologiques du produit fini.

Echantillons Germes recherchés	E1	E2	E3	E4	E5	(JORAD P, 2017)
	Coliformes à 37°C	0	0	0	0	0
<i>E.coli</i> à 44°C	0	0	0	0	0	10²
Salmonelle	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0	0	0	10
CSR à 46°C	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence

Le tableau représente les résultats des analyses microbiologiques du produit fini.

D'après le tableau on remarque l'absence totale des germes, les résultats sont conformes à la norme. Cela signifie que le produit fini est d'excellente qualité microbiologique et que le traitement thermique (la pasteurisation) à réussi.

Conclusion

Le fromage représente un aliment de base pour l'homme dans presque toutes les parties du monde. Mais à part sa vertu nutritionnelle et économique, le fromage peut contenir des germes microbienne dangereux souvent responsables des toxi-infections collectives, ces micro-organismes à majorité bactérienne sont soit apporté par manipulation ou par le matériel, ainsi que de tous les éléments influençant la qualité hygiénique et marchande du produit finis.

La santé humaines et très importante d'un côté et très sensible d'autre côté, pour cela le contrôle de la qualité physico-chimiques et microbiologique est indispensable.

En effet ce travail représente une étude de contrôle de qualité physico- chimique et microbiologique de fromage fondu pasteurisé produit au niveau de la laiterie de BOUDOUAOU, d'après l'analyse des résultats des différents contrôles nous avons constaté que :

-Sur le plan physico-chimique, les résultats ont relevé que les échantillons sont conformes aux normes ;

-Sur le plan microbiologique, les résultats ont montré l'absence de contamination de fromage ;

-Suite à cette études nous concluons que le produit finis produit au sein de cette laiteries qui est le fromage fondu pasteurisé a une bonne qualité physico-chimique et microbiologique ce qui reflète le bon respect des conditions d'hygiènes lors de la fabrication et du transport ainsi que lors du stockage.

D'après notre étude sur le fromage fondu pasteurisé produit par la laiterie et Fromagerie de Boudouaou et les différentes analyses effectuées sur le cheddar et le produit finis, on peut déduire globalement que la matière première utilisées est de bonne qualité physico-chimique et microbiologique, Ainsi, on peut dire que le produit fini est de bonne qualité du moment que les résultats de ces analyses effectuées sont conforme à la norme.

Au cours des dernières années, nous avons remarqué une nette amélioration de la qualité hygiénique du fromage fondu pasteurisé fabriqué au sein de la Laiterie et Fromagerie de Boudouaou et cela est grâce à l'installation d'un nouveau système d'assurance qualité, le **HACCP**.

Références bibliographiques

[A]

Alais C., Linden G., Miclo L., 2008. Biochimie alimentaire, 6ème édition de l'abrégé. 29.ED.DUNON, col. Science sup. pagination multiple.

Anonyme, 1991. la fabrication du fromage fondu. Guide JOHA.BK. Ladenburg, 300p.

Anonyme, 1989. Bienvenu dans le monde des KASOMEL et des fromages fondus. EUROPHOS, 73p.

[B]

Beerns H et Luquet F.M. (1987). Guide pratique d'analyse microbiologique des laits et des produits laitiers. Technique et documentation (Lavoisier), Paris. F75384.151.

Benamara Rym N. et Boumediene M.B. (2017). Bacillus cereus isolée de fromages fondus fabriqués en Algérie : identification et caractérisation de spores. P 11-17, 24-25.

Bunkova L. and Bunka F. 2015. Microflora of processed cheese and the factors affecting it. Crc Cr Rev Food Sci, (Just Accepted), 00-00. DOI: 10.1080/10408398.2015.1060939.

[C]

Caric M., Gantar M., Kalab M. 1985. Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese- A review. Food microstructure. Vol.4.pp.297-312.SEM Inc., AMF O'Hare (Chicago),IL 60666-0507 U.S.A.

Caric M., Kalab M.1993. Cheese: chemistry, physics and microbiology. Volume 2. Major chees groups. Edited by P.F.FOX.

Caron A., S.T. Gelais D. et Pouliot Y. 1997.Coagulation of milk enriched with ultrafiltered or diafiltered, microfiltered milkretenate powders. International Dairy journal7 (6-7): 441-451.

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

Codex alimentaire. 1978: Norme codex pour le fromage fondu et le fromage fondu pour tartine portant un nom de variété (Codex StanA-08 (a)-1978), et norme codex pour les préparation à base de fromage fondu (process (ed) cheese food and process (ed) cheese spread) (codex stan A-08 (c)-1978).

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

[E]

Eck A., et Gillis J.C. (1997). Le fromage. Paris ; technique et documentation Lavoisier, 3rd Ed.

Eck A., et Gillis J.C. (2006).le fromage de la science à l'assurance qualité, fromage fondu. Tec et doc. Ed :lavoisier. 3éme Edition. Paris. Pp 635-765.

EFSA: European Food Safety Authority (2010). Scientific opinion on lactose thresholds in lactose intolerance and galactosaemia. EFSA J;8(9):1777.

[F]

Fox P.F., Guinee T.P., Cogan T.M., and Mcsweeney P.L. 2017. Microbiology of cheese ripening in fundamentals of cheese science (Pp.333-390). Springer US.

[G]

Gaucheron F., Soustre Y.(2020).Abécédaire :technologielaitiere.

Gillis J.C., Ayerbe A. 2018. Le fromage 4ème édition. Tec et doc. Ed :lavoisier. Paris.569p , 573p.

Glass K., and Doyle M.E.2013. Fri food safety review: safety of processed cheese. FRI food safety review, food research institute, university of Wisconsin. Madison: Fri Brie fings. Retrieved from: http://fri.wisc.edu/docs/pdf/ProcCheese_may2005_v2.pdf.

Gómez-Torres N., Ávila M., Gaya,P., and Garde,S. (2014).Prevention of late blowing defect by reuterin produced in cheese by a lactobacillus reuteri adjunct. Food Microbiology,42,82-88.

Guinee T.P., Caris M. and Kalab M. (2004). Pasteurized processed cheese: chemistry, physics and microbiology, 2, 349-394.

[L]

Legrand P. (2008). Interet nutritionnel des principaux acides gras des lipides du lait. Cholédol, P.105.

Luquet, 1985.lait et produits laitiers:vache, brebis,chèvre, volume 2, les produits laitiers Transformations et technologies. 2p, 254-259p.

Luquet, 1990. Lait et produits laitiers: vache, brebis,chèvre. Edition lavoisier.technique et documentation,Paris,tome 2, 637p.

[M]

Mahaut M., Jeantet R., Brulé G.2000. Initiation à la technologie fromagère Technique et Documentation. Lavoisier.Paris, 177-179p, 180 p.

Mathieu J., 1998. Initiation à la physicochimie du lait. Guides technologiques des IAA,Édition :TEC et DOC, lavoisier,Paris.215P.

[O]

Olveira R.B.A, Margalho L ;P., Nascimento J.S., Costa L.E.O., Portela J.R., Cruz A.G., and Sant'Ana A.S. 2016.Processed cheese contamination by spore-forming bacteria : a review of sources, routes, fate during processing and control. Trends Food Sci Tech, 57, 11-19. Doi: 10.1016/J.Tifs.2016.09.008.

[P]

Palmas F., Cosentino S., Fadda M. E., Deplano M., MasciaV. (1999). Microbial characteristics of pecorino processed cheese spreads. Lait 79: 607-613.

[R]

Richonnet C (2016). Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus.

Roustel S. (2014). Fromage fondu : physico-chimie du processus de fonte. Techniques de l'ingénieur,F6310 :2 :1-15.

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

[S]

Sadekzeinab I, Refaat BM, Abd el-shakour EH, Nyra SH Mehannaet Hassan MS (2015). Potential sources of aerobic and anaerobic spore former bacteria in processed cheese. RJPBCS 6(1). Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences,6, 1837, ISSN: 0975-8585. Page No. 105-769.

[T]

Takeda E., Yamamoto H., Yamanaka-Okumura H., Taketani Y. 2014. Increasing dietary phosphorus intake from food additives: potential for negative impact on bone health. Adv Nutr:5(1):92-97.

[V]

Varunsatian S., Watanabe K., Hayakawa S., Nakamura R. 1983. Effects of Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ and Na⁺⁺ on heat aggregation of whey protein concentrates. J foodSci. Vol 48,42p.

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

[W]

Walther B, Schmid A, Sieber R etWehrmuller K, (2008). Cheese in nutrition and health, Review. Dairy Sci. Technol, Vol. 88, pp.389-405.

Weaver C.M., Proulx W.R., Heaney R. 1999. Choices for achieving adequate dietary calcium with a vegetarian diet. Am J ClinNutr; 70 (Suppl.), 543s-8s.

Annexes

Annexe 01

Matériels utilisés pour les analyses physico-chimiques

Matériels utilisés

-Verrerie usuelle (bêchers, fioles, pipettes,...)

-pH-mètre

-Dessiccateur

-Butyromètre

-Centrifugeuse

-Densimètre

-Thermomètre

-Balance électrique

-Bain marie

Réactifs utilisés

-Acide sulfurique

-Alcool iso-amylque

-Solution tampon

-Phénolphtaléine

Annexe 02

Matériels et milieux de culture utilisés pour les analyses microbiologiques

Matériels utilisés

- Boites pétris
- Pipettes pasteur
- Tubes à essai
- étaloir
- Flacon de verre de 250ml
- Incubateur de 30°C, 37°C, 44°C
- Bain marie

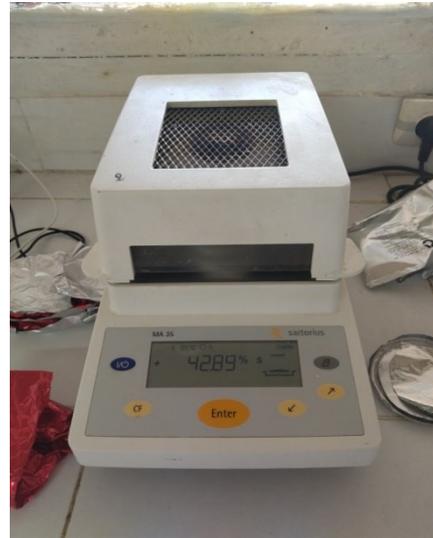
Les milieux de culture utilisés

- Gélose viande foie
- Gélose désoxycholate
- Milieu B.C.P.L à double concentration (D/C)
- Milieu BP (Baird-Parker)
- Milieu S.F.B à double à double concentration (D/C)

Annexes 03



Balance électrique



Dessiccateur



Détecteur des AntiCorps



Bandelettes



ph mètre



Centrifugeuse



Incubateur de 37°C



incubateur de 30°C



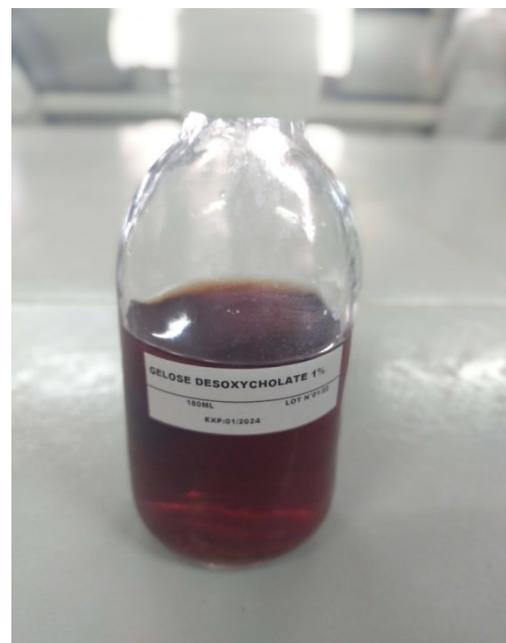
Incubateur de 44°C



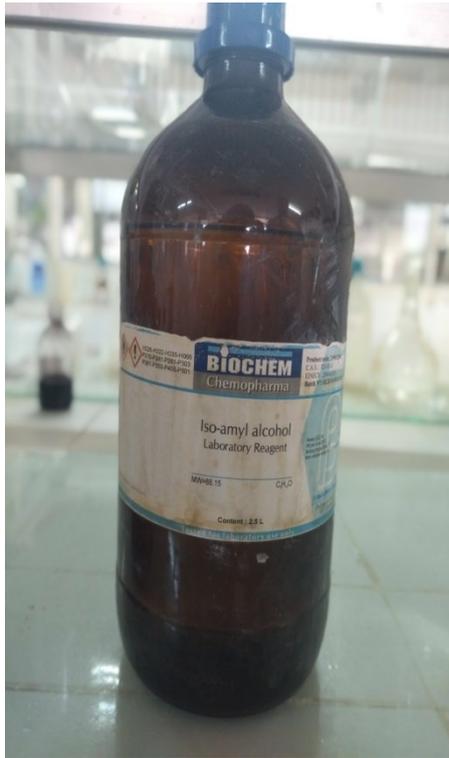
Butyromètre



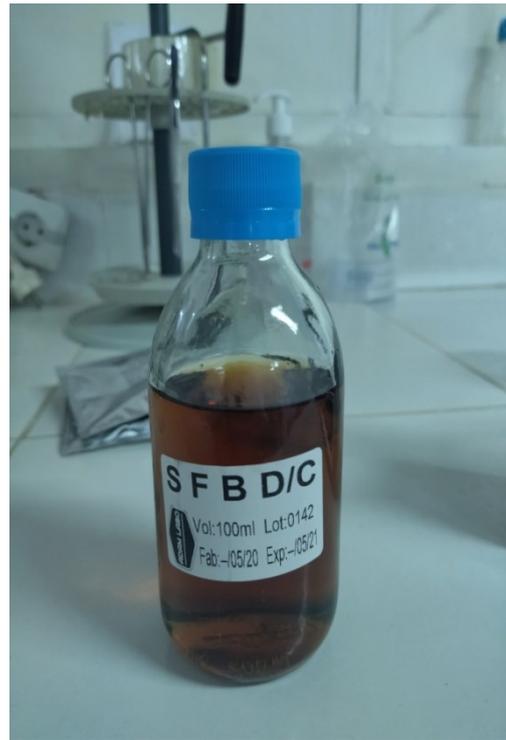
Eau peptonée tomponnée



Gélose désoxycholate



Alcool Isoamylique



Milieu de culture SFB



Bouillon BCPL



Tubes à essai



Densimètre



Bouillon SFB



Boites pétri



Phénolphtaléine

Annexe 04

Composition des milieux de culture

Gélose désoxycholate

peptone	10g
Lactose	10g
Desoxycholate de sodium	1g
Chlorure de sodium	5g
Citrate de sodium	2g
Agar	12g
Rouge neutre	0.03g

Gélose viande foie

Bouillon VF	100ml
Glucose	2g
Sulfate de sodium	7g
Citrate de sodium	0.4g
Alun de fer d'ammonium	2g
Gélose.....	8g
Eau distillée	1000ml

Milieu S.F.B à double concentration

Tryptone	5g
Lactose	4g
Sélénite.....	4g
Hydrogénosélénite de sodium	4g

Eau distillée 1000ml

Milieu B.C.P.L à double concentration

Extrait de viande de bœuf 6g

Peptone 10g

Lactose 10g

Pourpre de bromocrésol.....0.05g

Eau distillée..... 1000ml

Milieu BP (Baird-Parker)

Peptone de caséine..... 10g

Extrait de viande de bœuf..... 5g

Extrait de levure..... 1g

Pyruvate de sodium 10g

Chlorure de lithium 5g

Glycocolle..... 12g

Agar 20g

Eau distillée 1000ml

Eau physiologique

Chlorure de sodium 9g

Eau distillée 1000ml