

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur

Université de Blida1



Faculté de Sciences de la Nature et de la vie

Département Agro-alimentaire

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

En

Spécialité : Nutrition et Diététique Humaine

Filière: Sciences Alimentaire

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

THÈME

Comparaison nutritionnelle entre le fromage fondu et la préparation fromagère

Présenté par :

Nabi Mahmoud et Ihaddadene Mohamed Anis

Devant le jury

Khaldoun H.	M.C.A	Université Blida 1	Présidente
Zatra Z.	M.C.B	Université Blida 1	Examinatrice
Mouffok N.	M.A.A	Université Blida1	Promoteur

Année Universitaire :2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, Nous commençons par remercier le bon Dieu qui nous a doté de la volonté, du courage et surtout de la patience pour produire ce travail et qui nous a aidé à faire face à toutes les difficultés rencontrées lors de son élaboration.

Nous exprimons nos reconnaissances à :

***Mr Mouffok Nassim** pour son encadrement tout le long de ce projet et pour son aide, ses orientations et conseils très efficaces.*

*Nos remerciements vont également à **Mme Khaldoun**, pour l'honneur qu'elle nous a fait de présider le jury Et à **Mme Zatra** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Nous tenons à remercier tous les personnes de la fromagerie le Berbère qui sans eux ce travail n'aurait pas pu s'accomplir.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie Blida1 et plus particulièrement nos chers enseignants du département Agroalimentaire

Nous voudrions aussi exprimer notre profonde gratitude à nos familles pour leur soutien moral, matériel leurs encouragements prodigués pendant toutes ces années d'études.

Nous remercions tous ceux qui ont participé, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes employés, ne sauraient leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux cadeau du dieu, à qui je dois ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux :

Mon adorable mère

A ma chère sœur, Dieu te garde et te donne joie et bonheur.

A mes grands-parents mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous mes cousins, mes voisins et mes amis que j'ai connu jusqu'à maintenant.

Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Sans oublier mon binôme Anis pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Mahmoud NABI

Dédicaces

A mes très chers parents vos encouragements et vos prières m'ont toujours soutenue et guidé. En ce jour, j'espère avoir réaliser un de vos rêves et être digne de vous. Veuillez trouver, mes très chers parents, dans cette thèse le fruit de mon dévouement ainsi que l'expression de ma gratitude et mon profond amour. Que Dieu vous garde et vous procure santé et longue vie.

A ma chère sœur : Amina

Et mes frères : Brahim et Omar pour leur soutien permanent et leurs encouragements continus.

A Mr nabi Mustapha et Mme Hadj Omar Karima je vous souhaite tout le bonheur du monde.

A tout ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis et collègues :

Adlene, Ouassim, Chakib, Ayman, Yacine, Rachid, Ismail, Moumou...avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur

A mon cher binôme Nabi Mahmoud

Anis Ihaddadene

Résumé

L'objectif de notre travail est d'évaluer les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques ainsi que la valeur nutritionnelle d'un fromage fondu et d'une préparation fromagère au sein de la fromagerie Berbère de Cheraga.

L'étude économique à montrer une nette différence de prix de 38% entre le fondu et la préparation fromagère, la préparation fromagère revient moins chère ce qui pousse la fromagerie à augmenter la production par rapport au fromage fondu.

Les résultats d'analyses montrent que la matière première utilisée dans la production répondent aux normes et sont exempt de tout germe pathogène, ce qui démontre de la qualité conforme et au respect des conditions de stockage.

L'eau de procès contient une faible teneur en carbonates et répond aux critères de potabilité.

L'analyse physicochimique et microbiologique des produits finis, démontre une légère élévation du taux de sucre dans la préparation fromagère 11,69% contre 10,09% pour le fondu dû à la présence d'amidon avec absences des germes pathogènes à l'exception de quelques levures et moisissures qui sont au-dessous des critères d'acceptabilité.

Au cours du stockage, les fromages présentent une diminution du pH, en humidité et une légère diminution des protéines.

Les valeurs énergétiques sont proches avec une différence nette pour le Calcium - 610mg/100g) pour le fromage fondu

Mots clés : Fromage fondu, Préparation fromagère, Analyse physicochimique, Valeur nutritionnelle

Summary

The aim of our work is to evaluate the physicochemical and microbiological characteristics as well as the nutritional value of a processed cheese and a cheese preparation. The Berbere Cheraga cheese dairy was chosen for this purpose.

The results of the analyses show that the raw materials (cheddar, butter, milk powder) used in production comply with standards and are free from any pathogenic germs, demonstrating good quality and compliance with storage conditions.

The process water contains a low carbonate content and meets potability criteria.

The physico-chemical and microbiological analysis of the finished products shows a slight increase in the sugar content of the cheese preparation (11.69%), compared with 10.09% for the processed cheese, due to the presence of starch, with the exception of a few yeasts and molds.

During storage, the cheeses show a decrease in pH and moisture, a slight reduction in protein and a total absence of pathogens.

Energy values are similar, with a clear difference in Calcium (610mg/100g) for processed cheese.

The economic study showed a clear price difference of 38% between the processed cheese and the cheese preparation, with the cheese preparation costing less, prompting the cheese dairy to increase production compared with the processed cheese.

Key words: Processed cheese, Cheese preparation, Physical-chemical analysis, Nutritional value

ملخص

الهدف من عملنا هو تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية بالإضافة إلى القيمة الغذائية للجبن المعالج وتحضيره الجبن. لهذا العمل، اخترنا ألبان جبن بربر الشراقة.

تظهر نتائج التحليل أن المواد الخام (شيدر ، زبدة، حليب بودرة) المستخدمة في الإنتاج مطابقة للمعايير وخالية من أي جراثيم ممرضة، مما يدل على جودة جيدة والتوافق مع شروط التخزين.

تحتوي المياه التجريبية على نسبة منخفضة من الكربونات وتفي بمعايير الشرب

أظهر التحليل الفيزيائي والكيميائي والميكروبيولوجي للمنتجات النهائية زيادة طفيفة في مستوى السكر في تحضيره الجبن 11.69% مقابل 10.09% للذوبان بسبب وجود النشاء مع عدم وجود الجراثيم المسببة للأمراض باستثناء بعض الخمائر وقالب.

أثناء التخزين، تظهر الجبن انخفاضاً في درجة الحموضة والرطوبة وانخفاض طفيف في البروتينات والغياب التام للجراثيم المسببة للأمراض.

قيم الطاقة قريبة مع اختلاف واضح للكالسيوم (610 مجم / 100 جم) للجبن المطبوخ

أظهرت الدراسة الاقتصادية فرقاً واضحاً في الأسعار بنسبة 38% بين الجبن المطبوخ تحضيره الجبن، وتحضيره الجبن أقل تكلفة، مما يدفع منتجات الألبان إلى زيادة الإنتاج مقارنة بالجبن المطبوخ.

الكلمات المفتاحية: الجبن المعالج، تحضيره الجبن، التحليل الفيزيائي والكيميائي، القيمة الغذائية

Sommaire

Introduction.....	1
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre I : Le fromage fondu et la préparation fromagère	
1.1.Le fromage fondu.....	5
1.1.1. Historique.....	5
1.1.2. Les différents types de fromage fondu	6
1.1.3. Composition et valeur énergétique du fromage fondu	7
1.1.4. Propriétés sensorielles du fromage fondu	7
1.1.5. La fabrication du fromage fondu	11
1.2.La Spécialité fromagère.....	16
1.2.1. Définition.....	16
1.2.2. Historique	16
1.2.3. Matières premières de la technologie de la spécialité fromagère.....	18
1.2.4. Chapitre 2 : Valeur nutritionnelles du fromage fondu et de la préparation fromagère	
2.1. Avantages nutritionnels du fromage fondu.....	24
2.2. Les inconvénients nutritionnels du fromage fondu.....	24
2.3. Avantages nutritionnels de la préparation fromagère	25
2.4.Inconvénients nutritionnels de la préparation fromagère.....	26
2.5.Comparaison avec le fromage fondu.....	27
PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE	
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES	
3.1. Objectif du travail.....	30
3.2. Présentation de la zone d'étude.....	30
3.3. Matériel	30
3.3.1. fabrication de spécialité fromagère.....	30
3.3.2. Fabrication de Fromage fondu :	32
3.3.3. Sélection des matières premières et contrôle de qualité	34
33.4. Méthodes	34
3.4.1. Les méthodes de prélèvements physico-chimiques et bactériologiques de la matière première.....	34
• La poudre du lait	34
• Le beurre	34

• Le cheddar	34
• 3L'eau.....	3
• Produit fini (fromage fondu)	35
3.4.2. Méthodes d'analyses physico-chimiques	35
3.4.2.1. La poudre du lait.....	35
3.4.2.1.1. Détermination du pH.....	35
3.4.2.1.2. L'acidité titrable	35
3.4.2.1.3. La teneur en eau.	35
3.4.2.1.4 La teneur en matière grasse	36
3.4.2.2. Le cheddar	37
3.4.2.2.1 Détermination du pH	37
3.4.2.2.2 Détermination de l'extrait sec total	37
3.4.2.2.3 Détermination de la matière grasse	37
3.4.2.2.4 Détermination de la teneur en azote total	38
3.4.2.3. Le beurre	39
3.4.2.3.1 Détermination du pH	39
3.4.2.3.2 Dosage de l'acidité grasse exprimée en acide oléique	39
3.4.2.3.3 Détermination de la teneur en eau	30
3.4.2.3.4 Détermination de la teneur du non gras	40
3.4.2.3.5 Détermination de la teneur en matière grasse	41
3.4.2.4 Eau de procès	41
3.4.2.4.1 Détermination du titre alcalimétrique (TA)	41
3.4.2.4.2 Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)	41
3.4.2.4.3 Détermination du pH	41
3.4.2.5 Le produit fini	41
3.4.2.5.1 Détermination du pH	41
3.4.2.5.2 Détermination de l'extrait sec total	42
3.4.2.5.3 Détermination des sucres totaux par la méthode Dubois	42
3.4.2.5.4 Détermination de la matière grasse	43
3.4.2.5.5 Détermination de la teneur en azote total	43
3.4.3 Méthodes d'analyses microbiologiques	43
3.4.3.1 Echantillonnage.....	45
3.4.3.2 Préparation des solutions mères et des dilutions décimales.....	45

3.4.3.3 Recherche et dénombrement de <i>Staphylococcus aureus</i>	45
3.4.3.4 Recherche des <i>Clostridium</i> s sulfito-réducteurs	46
3.4.3.5 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux	46
3.4.3.6 Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux	47
3.4.3.7 Recherche et dénombrement des germes totaux	48
3.4.3.8 Recherche des levures et moisissures.....	49

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISSCUSSION

4.1. Analyses physico-chimiques.....	51
4.1.1. Matières premières.....	51
4.1.1.1. Poudre de lait, beurre, cheddar	51
4.1.1.2. Eau de procès	52
4.1.1.3. Produits finis	52
4.2. Analyses microbiologiques.....	54
4.2.1. Matières premières.....	54
4.2.1.1. Le cheddar.....	54
4.2.1.2. Poudre de lait.....	54
4.2.1.3. Beurre.....	55
4.2.1.4. Eau de procès	56
4.2.1.5. Produits finis.....	56
4.3. Etude de la conservation des fromages à 4°C	57
4.3.1. Etudes physico-chimique	57
4.3.2. Etude bactériologiques des deux types de fromages durant la conservation à 4°C	59
4.4. Valeur nutritionnelles.....	61
IV.5. Etude économique.....	61
Conclusion.....	64

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure 1 : Principales voies de fabrication du fromage fondu	11
Figure 02 : Diagramme de fabrication de fromage.....	33

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition du fromage fondu	6
Tableau 2 : Taux d'incorporation de sels de fonte	10
Tableau 3 : Origines possibles des défauts de fabrication et remèdes possible à envisager.....	12
Tableau 4 : Incidence du pH sur la texture des fromages fondus	13
Tableau 5 : Composition de spécialité fromagère.....	17
Tableau 6 : Caractéristiques des amidons et leurs emplois selon leur origine botanique	20
Tableau 7 : Taux d'incorporation des acides et des sels de fonte.....	21
Tableau 8 : Composition de la préparation fromagère.....	32
Tableau 9 : Composition de fromage fondu.....	32
Tableau 10 : Matières premières, origine et conditionnement	34
Tableau 11 : Gamme étalon des sucres totaux.....	43
Tableau 12 : Analyses physico-chimiques des matières premières.....	51
Tableau 13 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau utilisée.....	52
Tableau 14 : Analyses physico-chimiques des deux types de Fromages.....	53
Tableau 15 : Résultats d'analyses microbiologiques du cheddar.....	54
Tableau 16 : Résultats d'analyses microbiologiques de la poudre de lait à 26 % de M.G.....	55
Tableau .17 : Résultats d'analyses microbiologiques du beurre.....	55
Tableau 18 : Résultats des analyses microbiologiques de l'eau de procès.....	56
Tableau 19 : Résultats d'analyses microbiologiques des deux types de fromages.....	57
Tableau 20 : Évolution des paramètres physico-chimiques lors de la conservation des fromages à 4°C.....	58
Tableau 21 : évolution bactériologiques de fromage lors de la conservation à 4°C.....	60

Tableau 22 : Valeur nutritionnelle du produit
finis.....60

Tableau 23 : Les prix unitaires des ingrédients d'un fromage (Fromagerie Berbère,
2016.).....61

Tableau 24 : Le prix de revient de fromage fondu et spécialité fromagère non
conditionné.....62

Liste des abréviations

AFNOR : Association française de normalisation

BLMT : Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocérosol

BCPL Bouillon Lactosé Mannitol Tamponné

BP Baird Parker

CRS Clostridium Sulfite Reducteur

D° Degré dormic

EST l'extrait sec total

E 331 Citrate de sodium

E 339 Phosphate de sodium

E 450 Diphosphate

E 452 Phosphate de calcium Polyphosphate

E1422 adipate de di-amidon acétylé

FAO Food and Agriculture Organization

Gram- Gram negative

Gram + Gram positive

MG/MS: matière gras/ matière sec

H: Humidité

HCl chlorure d'hydrogène

H₂O₂ : Peroxyde d'Hydrogène

MG : teneur en matière grasse

MGV : Matière Grasse Végétale

NG : Non gras

N : Normalité

NaOH : Hydroxyde de Sodium

NPP : Nombre le Plus Probable

OGA : Gélose Glucosé à l'Oxytétracycline

OMS Organisation Mondiale de Santé

PH Potentielle d'Hydrogène

PCA Plate Count Agar

SM : Solution Mère (SM).

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TSE :Tryptone Sel Eau

VF Viande-Foie

UFC Unité Formant Colonie

Introduction

« Le fromage » est un produit laitier très important du point de vue nutritionnel, puisqu'il a une haute valeur biologique, des protéines constitutives sont riches en acides aminés essentiels (ST-Gelais et Tirard-Collet, 2002). Il constitue une forme ancestrale de conservation des protéines, de matière grasse, ainsi que d'une partie du calcium, dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'homme.

Il existe une très grande variété de fromage, selon la nature du lait et les technologies mises en œuvre (Mahaut et al, 2000). Le fromage fondu est une préparation beaucoup plus récente, qui a permis une stabilisation bien plus poussée des protéines laitières, tout en conservant plus ou moins l'aspect d'un fromage (Boutonnier, 2000). L'une des préoccupations de l'homme est de conserver ses aliments de façon à se nourrir en tout temps, les développements microbiens représentent le principal risque sanitaire d'une part, et la plus importante cause de détérioration des aliments d'une autre part (Bourgeois 1996).

En Algérie, la fabrication du fromage fondu est maintenant une industrie florissante. Selon Benaïssa (2018), la production Algérienne en fromage a été estimée à 1540 tonnes. En matière de goût, de qualité, de texture et de composition, une large gamme de fromage fondu est élaborée. De plus, ce produit est très apprécié par le consommateur algérien, en particulier les enfants.

La demande des consommateurs pour des produits sains et équilibrés sur le plan nutritionnel a augmenté ces derniers temps. Cela a conduit au développement d'un certain nombre de produits sans matières grasses ou à faible teneur en matières grasses. Les technologies alimentaires modernes permettent de remplacer les matières grasses laitières hautement saturées par des huiles végétales, ce sont les préparations fromagères ou les analogues de fromage, produits ressemblant à du fromage avec des compositions et des propriétés fonctionnelles variées.

Compte tenu de la diversité et de la complexité des technologies fromagères, le fromage doit faire face à des risques d'accidents qui se produisent par des défauts sur le produit fini. (Jeantet et al., 2008).

Dans ce présent travail, mené au niveau de la fromagerie « Le Berbère » Alger, nous nous sommes intéressés au fromage fondu ainsi qu'à la préparation fromagère.

Une étude comparative des deux types de fromage « fondu et préparation » a porté sur :

L'analyse de certains paramètres physico-chimiques et microbiologiques pour voir leur évolution et les changements en commençant par les matières utilisées, le produit finis et le produit au cours du stockage à 4°C.

Une étude sur la valeur nutritionnelle ainsi que le cout de revient est présenté à la fin du document.

Partie Bibliographique

Chapitre 1

Fromage fondu & Préparation fromagère

I. Le fromage fondu

Le fromage fondu est fabriqué à partir de fromages naturels fondus avec d'autres ingrédients tels que du lait, du beurre, de l'amidon et des émulsifiants. Il est souvent utilisé pour la préparation de plats tels que les fondues, les gratins et les sandwiches.

Selon la législation européenne, le fromage fondu est défini comme étant "un produit obtenu à partir de fromages fondus, additionné éventuellement d'autres ingrédients et qui, après émulsification, peut contenir de l'air". Il doit contenir au moins 50% de matières grasses, dont au moins 30% de matières grasses d'origine laitière. Il présente une teneur minimale en matière sèche de 40 g pour 100 g de produit fini, et une teneur minimale en matière grasse de 40 g pour 100 g de produit après complète dessiccation (**GEM RCN, 2009**). Ce sont les fromages fabriqués par les entreprises laitières sous des marques privées.

Les caractéristiques du fromage fondu peuvent varier en fonction des ingrédients utilisés et de la méthode de fabrication. En général, il a une texture lisse et crémeuse et peut avoir une saveur légèrement sucrée ou salée. Le fromage fondu est souvent vendu en blocs, en portions individuelles ou en sachets pour une utilisation pratique dans la cuisine.

Référence :

1.1. Historique

Le fromage est un aliment connu depuis de très longues années. C'est à la fin du XIX^{ème} siècle que s'est développée sa production industrielle en Europe Occidentale, en Amérique du Nord et en Australie.

A partir de cette époque le fromage est devenu une source importante de protéines. Mais à cette époque, l'exportation dans les zones chaudes et éloignées n'était pas évidente à cause des problèmes de conservation.

En 1900, des industriels allemands et hollandais ont résolu en partie ce problème en enfermant du fromage à pâte molle et du fromage à pâte demi dure dans des boites soumises à un traitement de pasteurisation.

Cependant, pour le fromage à pâte dure, l'application de ce procédé a provoqué une rupture de la structure, et une exsudation de l'eau et de matière grasse.

En 1911, deux fromagers Suisses, **Gerberet et Stetler** ont soigneusement divisé l'emmental puis chauffé à 80°C sous agitation avec une solution de citrate de sodium. Le fromage a formé "un sol" qui a pu être emballé à chaud dans une feuille métallique et a donné par refroidissement

un "gel " de consommation agréable sans croute et bien conservé : le fromage fondu était né. Mais ce n'est qu'en 1930, qu'un très grand progrès fut obtenu grâce à l'utilisation de polyphosphates de sodium linéaires ; ces sels de fonte vont permettre de fondre efficacement les fromages à pâte pressée cuite ; ceci fut à l'origine du développement important du fromage fondu. (**Chambre et Daurelles,1997**).

1.2. Les Différents Types de Fromage Fondu :

Selon Chemache (2011), ces produits issus de la fonte de fromages peuvent être regroupés en 7 familles :

- **Fromage fondu type bloc:** le traitement thermique subi est modéré de manière à conserver au produit fini une élasticité marquée et une bonne tranchabilité, comparable à celle d'un fromage classique. Sa teneur en matière sèche est élevée. Il est fondu partiellement ou totalement à partir de citrate de sodium. L'objectif est de retrouver l'aspect d'un fromage à pâte pressée, bien que celui-ci ait fait l'objet d'un chauffage.
- **Fromage fondu type coupe :** Moins ferme que le bloc, il n'en est pas pour autant tartinable. Il contient trois à quatre points de moins de matière sèche que le précédent. Ce qui le rend plus agréable à la dégustation. L'élasticité parfois recherchée, n'est pas toujours souhaitable en raison de la formation de fils qui rendent le conditionnement délicat sur les machines classiques.
- **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 (pot, barquette, tubes).
- **Fromage fondu toastable :** Il se présente généralement sous forme de tranche adaptée à une utilisation dans les cheeseburgers (originaire d'Amérique du Nord). Ce produit doit fondre rapidement sans carbonisation superficielle, comme une tranche d'emmental par exemple. Ce qui exige une préservation importante de la structure protéique des matières premières. Ils peuvent être produits à partir de fromages fondus de type «bloc», mais aussi après coulage dans un film plastique, suivi d'un refroidissement rapide, d'une préparation fromagère fondue dont la texture est obtenue, entre autres, par la gélification d'un hydrocolloïde.
- **Fromage fondu thermostable :** A l'inverse du précédent, 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. Ces préparations peuvent être appertisées et, à des températures élevées. Les cubes de fromages fondus doivent rester intacts après la stérilisation.

- **Fromage fondu ayant une texture crème** : Ils possèdent généralement un ratio caséines sur protéines totales plus faible que les fromages fondus tartinables. Ils conservent une propriété d'écoulement à température ambiante (caractère visqueux) et sont généralement conditionnés en barquettes, pots, tubes.
- **Fromage frais fondu** : Ces fromages fondus sont obtenus à partir de fromages non affinés. De ce fait, ils présentent des caractéristiques sensorielles très différentes des autres produits. De texture courte et tartinable, ils sont généralement de couleur blanche et ont des saveurs plus lactiques.

1.3. Composition et Valeur nutritionnelle du fromage

D'après Feinberg ;,(2002), le fromage fondu comporte toutes les caractéristiques nutritionnelles essentielles des produits laitiers qui le composent. Il apporte à l'organisme la majorité des nutriments essentiels à un bon équilibre alimentaire. Il ne nécessite aucune préparation. C'est un excellent moyen d'apporter à notre corps les éléments énergétiques et structuraux nécessaires à son fonctionnement (lipides, glucides, protéines, minéraux et vitamines). (Tableau 1).

Selon Codex Alimentarius, les fromages fondus sont des produits laitiers obtenus à partir de fromage, avec ou sans ajout d'autres matières premières et d'ingrédients autorisés, par fonte et émulsification du mélange, sous l'action de la chaleur et par utilisation de sel émulsifiants (ou de fonte) dans un mélange homogène, pour produire une émulsion homogène, lisse et stable de type huile-dans-eau (CODEX STAN 283-1978).

Tableau 1 : Composition du fromage fondu pour 100g de produit frais (**Dillon, 1997**)

Éléments constitutifs du fondu	Composition moyenne
Eau (g/Kg)	32
Glucides (g/Kg)	18.3
Energie (Kcal)	292
Lipides (g/Kg)	25.4
Protéines (g/Kg)	38
Calcium (g/Kg)	900
Phosphore (mg/Kg)	1170
Magnésium (mg/Kg)	25
Potassium (mg/Kg)	760
Sodium (mg/Kg)	1650

1.4. Propriétés sensorielles du fromage fondu

Les caractéristiques sensorielles d'un aliment sont des critères importants de l'acceptabilité de l'aliment par le consommateur.

1.4.1. Texture et flaveur

La texture est l'ensemble des propriétés rhéologiques (résistance à l'écoulement) et de structure (géométrie et surface) d'un produit alimentaire perceptible par les mécanos récepteurs, les récepteurs tactiles et éventuellement les récepteurs visuels et auditifs (Anonyme^a,2013).

La flaveur correspond à l'ensemble des sensations perçues lors du flairage ou de la mise en bouche de l'aliment, à savoir les sensations rétro-olfactives et gustatives.

Ces sensations sont le résultat de stimuli générés par une multitude de composés organiques. Les molécules les plus volatiles (les huiles essentielles) sont les premières détectées. Ce n'est qu'au cours de la mastication que les autres molécules, non volatiles, parviendront à s'évaporer et à atteindre les fosses nasales. Elles sont responsables de la saveur et de la couleur (Anonyme^a, 2013).

Ce sont des molécules qui donnent donc le gout à l'aliment, et on donne historiquement quatre saveurs primaires pour le qualifier : le sucré le salé, l'amer et l'acide.

1.4.2. Matières premières utilisées dans le fromage fondu

La production de fromage fondu exige la présence de matières premières d'origine laitière et non laitières.

1.4.2.1. Produits laitiers

a) Le fromage naturel :

De nombreuses études ont montrées l'importance des caractéristiques du fromage sur les propriétés sensorielles et fonctionnelles de fromage fondu (**CARIC M, 2000, et ZEHREN et al en 2000**). De par leur composition, les fromages conditionnent les teneurs en calcium, en caséines (plus particulièrement la teneur en caséines intactes), en matière grasse, le pH et les propriétés fonctionnels du produit fini.

Ainsi le fromage destiné à la fonte est choisi suivant son type, sa flaveur, sa maturité, sa composition, sa texture, son pH et son prix.

Le choix des fromages utilisés se fait entre le cheddar, l'Emmental, le Gruyère, Mozzarella et d'autres fromages à pâte pressé (**Chambre et Daurelles, 1997 ; USDA, 2007**). . Ce sont les

fromages matières premières de type présure suffisamment marqués, où le pH après affinage est relativement bas et où la matière protéique n'est pas trop dégradée, qui sont le plus aisés à fondre. Cependant le fromage le mieux adapté à toutes ces exigences est le cheddar. (**Boutonnier, 2000**).

b) La poudre de lait :

C'est un produit laitier obtenu à partir d'un lait cru, ayant subi une déshydratation par la chaleur (180°C) ; permettant ainsi une longue conservation. La durée de conservation est d'environ 3 ans pour la poudre de lait écrémé, tandis qu'elle est de 6 mois maximum pour la poudre de lait entier (**Carole et Vignola, 2002**). On répartit les poudres de lait en trois groupes :

- La poudre de lait entier (26% de matière grasse)
- La poudre de lait demi-entier (22% de matière grasse)
- La poudre de lait écrémé (0% de matière grasse)

c) Pré-fonte :

Il s'agit de fromage déjà fondu qui résulte de la récupération de la pâte contenue dans différents endroits du circuit du produit dans l'atelier en fin de production et notamment au niveau du conditionnement.

La préfonte se comportait sur le plan de la chimie des colloïdes comme un fromage fondu ayant été exposé depuis un certain temps déjà aux phénomènes chimiques, physiques et mécaniques du processus de fonte. (**Berger et al., 1993**).

Ainsi, la pâte crème très fortement et transmet ce processus physico-chimique de modification de la structure au fromage fraîchement fondu auquel elle est ajoutée. La préfonte doit être de bonne qualité texturale, c'est-à-dire «crémeuse » et non sur crémée. (**Boutonnier, 2000**). Son rôle régulateur du processus de fonte se justifie surtout dans le cas de fabrication de produits tartinables avec des taux d'incorporation de 2 à 10 % en masse selon les caractéristiques recherchées surtout en traitements UHT (**Patart, 1987**).

d) Autres matières premières laitières

En outre des fromages d'autres matières premières laitières sont utilisées pour la fabrication de fromage fondu. On peut citer, les concentrés protéiques laitiers, les poudres de lait écrémé, lactosérum, lactose, caséines-caséinates, protéines de sérum, beurre, matière grasse laitière (**Fox**

et *al.*,2000) (ces trois derniers ingrédients sont utilisés pour diminuer la viscosité du fromage fondu).

1.4.3. Matières premières non laitières

a) Eau

L'humidité des fromages étant généralement faible et puisque l'on incorpore des poudres, il est absolument nécessaire d'apporter de l'eau au mélange. Celle-ci permet de solubiliser et de disperser les protéines et d'émulsionner par conséquent la matière grasse libre.

L'eau doit être de bonne qualité alimentaire c'est-à-dire avec une faible teneur en micro-organisme et en contaminants chimiques tels que les nitrates. (**German, 1976**). Elle peut être apportée sous forme liquide en une ou plusieurs fois à différents moments de la fabrication mais toujours froide afin d'assurer une quantité d'eau de condensation constante lors du chauffage (**Berger et al.,1993**. Dans le cas des traitements thermiques de type stérilisation UHT, cette eau est injectée sous forme de vapeur dans une plage de 120 à 140°C et sous une pression de 2,105 à 4,105 Pa (**Marshall, 1990 ; Berger et al., 1993 ; Gliguem et al., 2009a**).

b) Sels de fonte

Les sels de fontes sont des agents très importants pour la fabrication des fromages fondus, ils sont d'ailleurs à l'origine de la fonte. D'une façon générale, ils joueront en priorité un rôle important au niveau de l'échange d'ions, mais on leur demande d'intervenir également à d'autres niveaux de la fabrication allant même jusqu'à la conservation du produit fini.

En tant qu'échangeur d'ions, les sels de fontes doivent cumuler les propriétés et les capacités suivantes :

- Forte affinité pour le calcium afin de séquestrer celui lié aux caséines.
- Forte efficacité à une faible masse, de façon à limiter les taux d'incorporation et être ainsi conforme aux doses maximales définies par la réglementation.
- Grande hydro solubilité pour faciliter les réactions d'échange d'ions.

Le type et la concentration du sel de fonte affectant les propriétés fonctionnelles et sensorielles des fromages fondus. A ce jour les phosphates et les citrates sont pratiquement les sels de fonte utilisés (**Roussel, 2014**). Concernant les sels de fontes utilisés dans le fromage fondu, leur dose d'emploi est réglementée. (Tableau. 2).

Tableau 2. Taux d'incorporation de sels de fonte

SIN	Nom de l'additif alimentaire	Fonctions technologiques	Taux d'incorporation réglementaire (mg/Kg) (1)
SIN 338	Acide phosphorique	Emulsifiant, épaississant, régulateur de la température	20 000 mg/Kg ajoutés seuls ou en mélange, exprimés en tant que phosphore (1).
SIN 339	Phosphate de sodium	Régulateur de l'acidité, séquestrant, émulsifiant, agent de texture	
SIN 340	Phosphate de trisodique		
SIN 341	Phosphate de calcium	Régulateur de l'acidité, agent de rétention d'eau/d'humidité	
SIN 450	Diphosphate de sodium	Emulsifiant, stabilisant, régulateur de l'acidité	
SIN 451	Triphosphate de sodium et de potassium	Séquestrant, régulateur de l'acidité et agent de texture	
SIN 452	Polyphosphate de sodium, potassium et calcium	Emulsifiant, stabilisant, régulateur de l'acidité	
SIN : Système Internationale de Numérotation des additifs alimentaires. (1) : ces doses sont applicables pour les parties comestibles.			

Le décret exécutif n°12-212 du Journal Officiel de République Algérienne n°30 du 16 Mai 2012).

c) Agent de texture

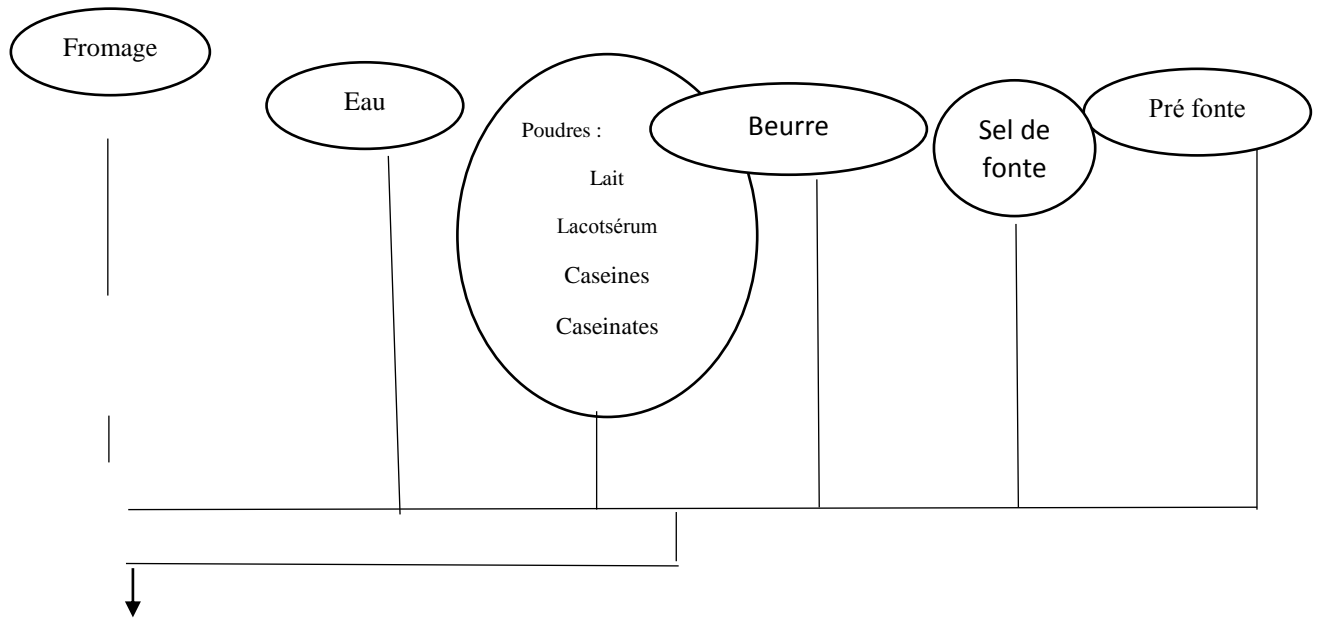
Ce sont des hydrocolloïdes qui en présence d'eau ont un fort pouvoir épaississant voire gélifiant et une action stabilisante vis-à-vis de l'eau du produit. Ils peuvent être d'origine animale (gélatine), végétale (amidon, gommes de guar, de caroube, alginates...) ou produits par voie fermentaire (gommes xanthane et gellane) ces agents de texture ne peuvent pas remplacer en totalité les sels de fonte.

Leurs utilisations est justifiée beaucoup plus dans le cas de fabrication des fromages fondus à partir du fromage frais qui sont des matières premières fortement déminéralisées et pauvres en protéines. Dans ce cas particulier, l'association entre agents de texture et sels de fonts donne d'excellents résultats tant sur le plan de la stabilisation physico-chimique que sur le plan de la

1.5. La fabrication du fromage fondu (figure n°1)

Le fromage fondu est un produit résultant de la transformation de plusieurs matières premières sous l'action des opérations suivantes :

- Sélection des matières premières et contrôle de qualité
- La préparation, le découpage et le broyage
- Préparation de la formule et procédé technologique
- Le mélange, stérilisation et crémage
- Conditionnement, emballage et refroidissement
- Le stockage



- Nettoyage
- Classement
- Fragmentation Grossière
- Fragmentation Fine
- Dosage ponderal
- Prémélange
- Mélange
- Cuisson forte
- Stabilisation thermique :
Pasteurisation ou
Stérilisation
- Refroidissement
- Crémage
- Conditionnement
- Refroidissement

- **Fromage fondu**

Figure 1 : Principales voies de fabrication du fromage fondu (**Boutonnier, 2000**)

1.5.1. Les défauts de fabrication du fromage fondu

Aspect de la pate	Causes possibles	Remèdes
La pâte n'est pas homogène	Le pH est faible La teneur de sel de fonte est faible Le temps de cuisson étant court	Augmenter le pH Augmenter la dose Augmenter le temps
La pâte est trop liquide	La matière première utilisée n'est n'arrive pas à crémier ou l'inverse, est trop vieille et ne gonfle pas. Sel de fonte à faible pouvoir crémant. Le mélange contient une quantité élevée d'eau.	Mélanger la matière première jeune avec une autre affinée. Mettre un sel de fonte crémant Vérifier la qualité d'eau.
Le fondu a un gout prononcé de fromage	Cela tient dans la plupart des cas, à un emploi élevé du fromage trop vieux ou une valeur élevée du Ph	Si c'est possible de mélanger la matière première à un fromage plus jeune. Réduire la quantité des sels de fonte en remplaçant la différence par le citrate de sodium qui masque le gout indésirable.

Au cours du processus technologique quelques défauts technologiques peuvent apparaître (Tableau 3)

Tableau 3 : Origines possibles des défauts de fabrication et remèdes possible à envisager.

(**JOHA industry, 1995**)

1.5.2. Facteur favorisant la fonte

1.5.2.1. Effet de l'affinage du fromage

Plus le fromage est affiné, plus les protéines sont hydrolysées plus elles perdent leurs propriétés émulsifiantes. D'où la nécessité de garder une quantité minimale nécessaire de caséine intacte (**Patart, 1987**).

1.5.2.2. Effet du pH

Les phases de poétisation (destruction et restructuration) ne sont possible que dans une gamme de pH comprise entre 5,2 et 6,2 (Tableau 4) Vers des pH=5. La capacité émulsifiante des caséines est altérée et ne permet plus d'obtenir l'émulsion. (Boutonnier, 2008)

Tableau 4 : Incidence du pH sur la texture des fromages fondus.

Ph	Caractéristiques de la pâte du fromage fondu	Type de fromages fondus
6,20 à 5,90	Pate liée, trop humide, collante, gout légèrement savonneux, faible aptitude à la conservation	
5,90 à 5,70	Pate homogène, courte, onctueuse, facilement tartinable	Fondu tartinable
5,70 à 5,50	Pate élastique, souple, longue	Fondu bloc
5,50 à 5,20	Pate caoutchouteuse, avec risques importants de séparation des phases protéines/matière grasse/eau	

(Boutonnier,2008)

1.5.2.3. Effet de la prèfonte

Elle permet d'accélérer la cinétique de réaction et stabilise l'émulsion en favorisant les interactions protéines/lipides ; elle est utilisée pour améliorer la texture et la stabilité du fromage fondu (Berger et al. 1993).

1.5.3. Contrôle de la qualité

1.5.3.1. Qualité de la matière première

Ces contrôles doivent être réalisés dès l'arrivée des matières premières sur le lieu de fabrication (Boutonnier, 2008).

- **Plan physico-chimique :** pH, extrait sec et matière grasse. Il est également souhaitable de réaliser une analyse de la teneur en caséine native, et de vérifier l'absence de contaminants.
- **Plan organoleptique :** aspect externe et interne, texture, couleur et flaveur.
- **Plan bactériologique :** estimation de la charge microbienne initiale en germes totaux et sporulés.
-

1.5.4. Qualité au cours de fabrication

Aux principales étapes du procédé de fonte, plusieurs paramètres doivent être suivis (Boutonnier, 2008).

- a) **Préparation, dosage** : respect des proportions des ingrédients par contrôle des masses des ingrédients respectifs.
- b) **Prémélange, mélange** : homogénéité de la pâte, mesure du pH et de la teneur en eau et si possible de la teneur en matière grasse.
- c) **Cuisson, fonte** : temps et température de fonte, vitesse de brassage.
- d) **Stabilisation thermique** : temps et température de pasteurisation ou de stérilisation, et température de refroidissement.
- e) **Crémage** : Le crémage nécessite des températures entre 70 et 90°C, cette dernière étant considérée comme la température optimale du crémage. Cette étape est l'opération clef au cours de laquelle le fromage acquiert sa consistance. De plus, elle assure la destruction thermique des microorganismes et des enzymes. Le crémage ou hydratation de la protéine est obtenu par l'action associée de l'agitation, du traitement thermique, et par l'action dispersante des sels de fonte. L'association de ces trois facteurs fait apparaître des zones hydrophiles à la surface de la caséine, qui facilitent la liaison des molécules d'eau, ce qui se traduit par un épaissement de la pâte fondue fondu (Dantas et Cavalcante, 1995).
- f) **Conditionnement** : Actuellement et pour éviter une contamination au cours du conditionnement, le transfert du fromage se fait de plus en plus par des tuyauteries en acier inoxydable alimentant des couleuses (Luquet, 1986), donc transporté jusqu'au poste de conditionnement et vidé dans les trémies d'alimentation des conditionneuses. Ces dernières sont généralement entièrement automatiques. En règle générale, le fromage fondu est conditionné à chaud, à la température de fonte.
- g) **Refroidissement** : par circulation des produits sur des tapis à l'air ambiant mais les meilleurs résultats sont obtenus dans des tunnels de refroidissement (Eck et Gillis, 1997). Le mode de refroidissement du fromage fondu varie selon le format et le type de produit. Le fromage fondu conditionné à chaud doit être refroidi rapidement dans des chambres froides à 4°C afin d'éviter les risques de brunissement enzymatique de la pâte. Cette vitesse de refroidissement varie avec la taille du produit et son système d'emballage (Luquet, 1990) sans trop de brutalité pour éviter la condensation d'eau qui pourrait se produire à l'extérieur des emballages (AFNOR, 1986).

h) L'étiquetage : Cette étape est nécessaire, elle vient directement après l'étape de refroidissement. Selon (**Luquet, 1986 ; Commission du Codex Alimentarius, 1999**), plusieurs notions doivent être mentionnées sur l'étiquetage :

-nom du produit

-pays d'origine.

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

-liste des ingrédients.

-Le nom et l'adresse du fabricant, de l'emballage, du distributeur, de l'exportateur ou du vendeur de produit doivent être déclarés.

- La date de fabrication et de péremption du produit.

- La température de conservation (entre 10 et 15°C).

e) Stockage du produit

Les produits finis mis en carton sont stockés dans des entrepôts dont la température se situe autour de 10 à 15°C et la durée de conservation peut être estimée entre 6 à 12 mois si les conditions optimales au cours de différentes étapes de fabrication sont bien respectées. A des températures de stockage comprises entre 30 et 35°C, une contamination par les moisissures, les levures et *Clostridium botulinum* pourra survenir ce qui peut mener à une sécrétion des toxines (**Eckner et al., 1994; Eck et Gillis, 2006**).

f) Qualité du produit fini

➤ **Emballage :** aspect, étanchéité.

➤ **Produit débarrassé de son emballage**

-**aspect externe :** brillance, couleur, absence de trous, de cristaux, de particules infondues, d'exsudation grasse... ;

-**texture :** consistance par analyse pénétrométrique, tartinable ;

-**flaveur :** olfaction, rétro-olfaction et gustation.

➤ **Tests de fonctionnalité :** stabilité à la chaleur, aptitude à la préfonte dans différentes conditions (four à air chaud, four à micro-ondes...). Cette liste n'est pas exhaustive, seuls les principaux contrôles qualitatifs ont été mentionnés.

D'autres contrôles sont pratiqués, notamment ceux spécifiques à chaque type de fromage fondu ainsi que tous les constituants.

2. La préparation fromagère

La préparation fromagère est élaborée en combinant des fromages de différentes origines et à divers stades d'affinage avec des sels de fonte. Ce mélange est ensuite broyé et chauffé sous vide partiel tout en étant constamment agité, jusqu'à obtenir une masse uniforme (**Paquet, 1988; Guinee et al., 2004**). D'autres ingrédients, laitiers et non laitiers, peuvent être ajoutés à cette préparation.

La demande des consommateurs pour des produits sains et équilibrés sur le plan nutritionnel a augmenté ces derniers temps.

Cela a conduit au développement d'un certain nombre de produits sans matières grasses ou à faible teneur en matières grasses, comme le fromage. Les technologies alimentaires modernes permettent de remplacer les matières grasses laitières hautement saturées par des huiles végétales. Les analogues de fromage sont des produits ressemblant à du fromage avec des compositions et des propriétés fonctionnelles variées.

Les analogues de fromage sont de plus en plus acceptés par les transformateurs de produits alimentaires et les consommateurs en raison de leurs nombreux avantages potentiels. Les teneurs en vitamines et en minéraux peuvent être égales ou supérieures à celles du fromage naturel grâce à un enrichissement approprié (**Shaw, 1984**).

2.1. Définition :

Le terme "préparation fromagère fondue" est utilisé pour désigner un produit laitier contenant au minimum 25 grammes de matière sèche pour 100 grammes de produit. Il est préparé à partir de fromage et d'autres produits laitiers. Ce produit est obtenu grâce à des techniques de traitement incluant la fonte et l'émulsification des matières premières. Pendant sa fabrication, il doit avoir été soumis à une température d'au moins 70°C pendant 30 secondes, ou à une combinaison de durée et de température équivalente (**Jorf, 2007**).

2.2. Historique :

La possibilité de produire du fromage fondu a été explorée pour la première fois en 1895, mais sans l'utilisation de sels de fonte, le produit n'a pas réussi. Le premier fromage fondu réussi, utilisant des sels de fonte, a été introduit en Europe en 1911 et aux États-Unis en 1916 par Kraft (**Meyer, 1973**).

Selon **Fox et McSweeney, 1998**, la fonte du fromage présente plusieurs avantages, notamment :

- Permettre l'utilisation d'une quantité de fromage difficile ou impossible à commercialiser ;
- La possibilité de mélanger différentes variétés de fromages et d'autres matières premières non laitières pour créer des fromages fondus différents en termes de consistance, de saveur et de forme ;
- Une stabilité de conservation à des températures modérées, réduisant ainsi les coûts de stockage et de transport (**Christensen et al., 2003**) ;
- Une meilleure stabilité par rapport aux fromages naturels pendant le stockage ;
- Une valeur nutritionnelle élevée, en particulier en tant que source de calcium et de protéines pour les enfants, et une capacité à répondre aux besoins nutritionnels lorsqu'ils sont enrichis en vitamines et minéraux (**Zhang et Mahoney, 1991 ; Sukhinia et al., 1997**)
- Une attractivité pour les enfants qui ne sont pas fans des saveurs prononcées des fromages naturels.

Tableau 5 : Composition de la préparation fromagère

Composants	Composition par 100 g de la préparation fromagère	
	45% MG dans ES	60% MG dans ES
Eau	51,3%	50,6%
Matiere grasse	23,6%	30,4%
Proteines	14,4%	13,2%
Sodium	1,26 mg	1,01%
Potassium	65,0 mg	108 mg
Calcium	547,0 mg	355,0 mg
Phosphore	944,0 mg	795,0 mg
Vitamine A	0,30 mg	/
Vitamine D	3,13 mg	/
Vitamine B1	34,0 µg	40,0 µg
Vitamine B2	0,38 mg	0,35 mg
Vitamine B6	70,0 µg	80,0 µg
Biotine	3,60 µg	2,80 µg
Acide folique	3,46 µg	3,40 µg
Vitamine B12	0,25 µg	0,25 µg
Vitamine C	Traces	Traces
Valeur énergétique (kj/ kcal)	1178/282	1490/339

(Meyer, 1973)

2.3.Matières premières de la technologie de la spécialité fromagère

Les spécialités fromagères sont fabriquées à partir des matières premières laitières et non laitières au lieu du lait ; caséine ou casernâtes, lactosérum, matière grasse d'origine laitière et végétale, amidons, sels de fonte, additifs... (Caric , 2000 ; Fox et al., 2000 ; Huang et al., 2010).

2.3.1. Matières premières laitières

2.3.1.1.Les fromages naturels

La spécialité fromagère est un des produits laitiers dans lesquels le fromage est l'ingrédient laitier majoritairement utilisé comme matière première (Commission codex alimentarius, 2004). Une sélection adaptée des fromages naturels est primordiale pour la fabrication d'une spécialité fromagère de qualité (Chambre et Daurelles, 1997).

Aux États-Unis, les analogues de fromage sont généralement fabriqués de manière à présenter une équivalence nutritionnelle ou, dans certains cas, des avantages nutritionnels par rapport au fromage naturel de référence.

2.3.1.2.Autres matières premières laitières

Comme pour le fondu d'autres matières premières laitières sont utilisées pour la fabrication des préparations fromagères. On peut citer, les concentrés protéiques laitiers, les poudres de lait écrémé, lactosérum, lactose, caséines-casernâtes, protéines de sérum, coprécipités, crème, beurre et matière grasse laitière anhydre (Fox et al., 2000). Puisque déjà cité dans la composition des fondus, on peut les énumérer seulement ;

2.3.1.3.Préfonte, sels de fonte

2.3.2. Matières premières non laitières

2.3.2.1.Eau

Le ramollissement et l'augmentation de l'aptitude à la refonte des spécialités fromagères peuvent être attribués à l'effet de l'augmentation de la teneur en eau libre, à l'augmentation du volume des globules gras (Gliguem et al., 2009b) et à la diminution des interactions protéines. A une humidité de 50 g/100 g, l'eau est presque entièrement liée au réseau caséique, elle va être servie comme une eau d'hydratation, à 52 g/100 g d'humidité, la capacité d'hydratation du réseau caséique est dépassée ce qui donne une eau en plus appelée « eau libre».

Toute augmentation de l'humidité entraîne une augmentation de l'eau libre et l'optimum se situe à 54 g/100 g (Hennelly et al., 2005).

2.3.3. Matières premières végétales

Les matières premières d'origine végétale sont utilisées pour la fabrication du fromage fondu d'imitation (**Mounsey et al., 1999 ; Kiziloz et al., 2009**). L'utilisation des matières premières d'origine végétale proscrit l'appellation « fromage fondu » et contraint à la dénomination « spécialité fromagère fondue » (**Boutonnier, 2002**).

A. Graisses végétales

Plus économiques que la matière grasse laitière, elles présentent en outre l'avantage d'une absence de cholestérol et d'une grande pauvreté en acides gras saturés (**Bachmann, 2000**).

B. Protéines végétales

Des études ont été entreprises sur le remplacement de la caséine dans les spécialités fromagères par différents types de protéines végétales ; les protéines de soja, des arachides et le gluten du blé. Ces dernières ont une capacité élevée d'absorption d'eau et génèrent une consistance épaisse et peu fluide. Elles doivent être incorporées à de faibles doses (2 à 3 %) (**Chen et al., 1979 ; Leet et al., 1981 ; Taranto et Yang, 1981 ; Yang et Taranto, 1982 ; Yang et al., 1983 ; Kim et al., 1992 ; Ortega-Fleitas et al., 2001**).

C. Amidon

Aucun autre ingrédient alimentaire ne rivalise avec l'amidon en terme de polyvalence et d'application dans l'industrie alimentaire. Les amidons ont été employés pour la diversification des textures ; l'amélioration de l'esthétique des produits ; la simplification de la déclaration du label ; la réduction des coûts de production ; la garantie de la consistance des produits et pour prolonger la durée de conservation (Taggart et al., 2009).

Malgré l'ubiquité de l'amidon dans la nature, le nombre des sources commerciales est très réduit. Les sources de l'amidon les plus importantes sont le maïs, la pomme de terre, le blé, le tapioca et le riz. Plusieurs céréales telles que le blé, le maïs et le maïs cireux sont cultivées en Amérique et en Europe, tandis que la pomme de terre provient des régions froides du nord Européen. Le tapioca est originaire du Brésil, Thaïlande et Indonésie, et le riz de l'Asie. La morphologie et la taille des granules d'amidon sont illustrées dans le tableau 6

Tableau 6 : Caractéristiques des amidons et leurs emplois selon leur origine botanique

Propriétés	Maïs	Maïs cieux	Pomme de terre	Manioc	Blé
Taille des grains d'amidon (μm)	2-30	2-30	5-100	4-35	2-55
%d'amylose	28	<2	21	17	28
Pouvoir de gonflement en 95°C (g/g)	24	64	1150	71	21

(Nayouf, 2003)

D. Agents de texture

Leur rôle est d'améliorer la consistance et l'onctuosité de la spécialité fromagère, et permet d'éviter toute synérèse et par conséquent faciliter le décollage au contact du produit. En France, le recours à ces additions interdit l'appellation fromage fondu et contraint à la dénomination « spécialité fromagère fondue ». Les quantités couramment employées varient entre 0,1 et 0,25 % en masse. Toutefois, ces agents de texture ne peuvent pas remplacer en totalité les sels de fonte. Leur utilisation se justifie beaucoup plus dans le cas de la fabrication de fromages fondus à partir de fromages frais qui sont des matières premières fortement déminéralisées et pauvres en protéines. Dans ce cas particulier, l'association entre agents de texture et sels de fonte donne d'excellents résultats tant sur le plan de la stabilisation physico-chimique que sur le plan de la sensation en bouche (Guinee *et al.*, 2002 ; Lucey *et al.*, 2003). Ce sont des hydrocolloïdes qui, en présence d'eau ont un fort pouvoir épaississant voire gélifiant et une action stabilisante vis-à-vis de l'eau du produit. Ils peuvent être d'origine animale (gélatine), végétale (amidon, gommes de guar, de caroube, alginates, carraghénanes, carboxyméthylcellulose...) ou produits par voie fermentaire (gommes xanthane et gellane) (Kiziloz *et al.*, 2009).

2.3.4. Sels de fonte

Les sels de fonte utilisés dans la fabrication du fromage fondu sont essentiellement les sels de sodium de l'acide phosphorique et l'acide citrique (Gupta *et al.*, 1984) (Tableau 07).

Tableau 7 : Taux d'incorporation des acides et des sels de fonte

Code Européen	Type d'acide ou de sel de fonte	Taux d'incorporation réglementaire
E 330	Acide citrique	Quantité suffisante (1)
E 331	Citrates de sodium	
E 338	Acide orthophosphorique	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 339	Orthophosphates de sodium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 340	Orthophosphates de potassium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 341	Orthophosphates de calcium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 450	Diphosphates de sodium, potassium et calcium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 451	Triphosphates de sodium et potassium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 452	Polyphosphates de sodium, potassium et calcium	20 mg.kg ⁻¹ au total

(Boutonnier, 2002)

Les principales propriétés pour lesquelles les sels de fonte sont utilisés sont :

- Le pouvoir complexant ou 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 le calcium du système protéique (**Wagner et Wagner-Hering, 1981 ; Lamure, 1988 ; Schar et al., 2002**). Il en résulte un réarrangement des molécules protéiques et l'exposition des groupes hydrophiles. L'évolution du calcium au cours de ce processus est donc un point important ; de même que l'état des phosphates et, secondairement, celui du potassium et du magnésium (**Horne, 1998**).

- Le pouvoir tampon

L'ajustement du pH d'une formule de fromage fondu constitue une étape importante dans le procédé de fabrication. Les valeurs de pH tolérées durant le procédé se situent entre 5,6 et 6,1, le pouvoir tampon des sels de fonte affecte la conformation des protéines, l'hydratation et la séquestration du calcium (**Guinee et al., 2004**). Son effet sur la texture a été clairement démontré par **Krahadiana et al. (1984)**. Les différents sels de fonte permettent, par leur pouvoir tampon, d'ajuster le pH du produit à la bonne valeur (**Gupta et al., 1984 ; Chambre et al., 1997 ; Chambre et al., 2004**).

- Effet bactériostatique

Certains sels possèdent un effet bactériostatique, c'est le cas surtout des polyphosphates et des orthophosphates qui peuvent inhiber très nettement la multiplication de plusieurs espèces de Salmonella, des bactéries à Gram-positif y compris Staphylococcus aureus, Bacillus subtilis, Clostridium sporogenes et Clostridium botulinum (**Van Wazer, 1971 ; Tanaka et al., 1979, 1986 ; Wagner, 1986 ; Ter Steeg et al., 1995 ; Loessner et al., 1997**) en prolongeant la durée de conservation du produit fini. Cet effet s'explique par le fait que les parois et les membranes cellulaires de nombreux micro-organismes sont stabilisées par des ions Ca²⁺. La liaison avec des anions qui ne peuvent traverser la membrane, comme c'est le cas avec les orthophosphates et les citrates, déstabilise l'enveloppe des micro-organismes (BOUTONNIER, 2002).

Chapitre 2

Valeur nutritionnelle du fromage fondu et de la préparation fromagère

2.1. Avantages nutritionnels du fromage fondu :

Le fromage fondu peut fournir plusieurs nutriments bénéfiques pour la santé en raison de sa composition et de ses processus de fabrication. Voici quelques avantages nutritionnels associés à la consommation de fromage fondu :

- a) **Source de protéines** : Le fromage fondu peut être une source de protéines pour ceux qui suivent un régime alimentaire végétarien ou végétalien. Selon le type de fromage utilisé, il peut contenir jusqu'à 20% de protéines. Les protéines sont importantes pour la croissance et la réparation des tissus dans le corps.
- b) **Source de calcium** : Le fromage fondu peut être une source de calcium, qui est essentiel pour la santé des os et des dents. Selon le type de fromage utilisé, il peut contenir jusqu'à 30% de l'apport quotidien recommandé en calcium. (Zemel et Sun, 2008)
- c) **Source de vitamine B12** : Le fromage fondu peut contenir de la vitamine B12, qui est importante pour la production de globules rouges et le fonctionnement du système nerveux. La vitamine B12 est généralement présente dans les produits animaux, mais peut être ajoutée aux préparations fromagères pour répondre aux besoins des personnes suivant un régime végétalien ou végétarien.
- d) **Digestibilité** : en raison du processus de fonte, le fromage fondu est généralement plus facile à digérer que les fromages à pâte dure. Cela peut être bénéfique pour les personnes ayant une sensibilité digestive ou des problèmes de digestion.
- e) **Les hydrolysats de protéines lactières** (caséines, protéines sériques) ont un effet sur le système immunitaire en augmentant l'activité des cellules immunitaires, la prolifération des lymphocytes, la synthèse d'anticorps et la régulation des cytokines

Cependant, il convient de noter que le fromage fondu peut également être riche en matières grasses et en sodium, en fonction de la variété et de la marque spécifique. Il est donc important de le consommer avec modération, en tenant compte de sa valeur calorique et de sa teneur en nutriments. (Gomez et al., 2019).

2.2. Les inconvénients nutritionnels du fromage fondu :

- 2.2.1. **Teneur élevée en gras saturés** : Le fromage fondu contient généralement une quantité élevée de gras saturés, ce qui peut augmenter le taux de cholestérol LDL (« mauvais cholestérol ») et augmenter le risque de maladies cardiovasculaires. Selon une étude menée en Algérie, la teneur en gras saturés du fromage fondu varie de 20% à 36% (Djenane et al., 2014). Aux États-Unis, le fromage fondu contient en moyenne 8 g de gras saturés par portion de 30 g (U.S. Department of Agriculture, 2021).

- 2.2.2. **Teneur élevée en sodium** : Le fromage fondu peut contenir une quantité élevée de sodium, ce qui peut augmenter la pression artérielle et augmenter le risque de maladies cardiovasculaires. Selon une étude menée au Canada, la teneur en sodium du fromage fondu varie de 380 mg à 780 mg pour une portion de 30 g (**Health Canada, 2015**).
- 2.2.3. **Ajout de conservateurs et d'additifs** : Certains types de fromage fondu peuvent contenir des conservateurs et des additifs pour améliorer la saveur, la texture et la durée de conservation. Cependant, ces substances peuvent avoir des effets néfastes sur la santé. Aux États-Unis, la Food and Drug Administration (FDA) a émis des avertissements sur certains additifs couramment utilisés dans les produits fromagers, tels que les phosphates et les nitrates (**U.S. Food and Drug Administration, 2018**).

2.3. Avantages nutritionnels de la préparation fromagère :

Comme les fromages fondus, elles peuvent incorporer des ingrédients laitiers non fromagers, ils sont moins coûteux à produire (**Kammerlehner, 2009 ; Lu et al., 2007**) et peuvent être adaptés à des exigences fonctionnelles spécifiques (**Lu et al., 2007**). Ces catégories de fromages diffèrent en fonction des exigences relatives aux matières grasses, à l'humidité et au pH final, ainsi qu'à la quantité et au nombre d'ingrédients facultatifs pouvant être utilisés

La préparation fromagère peut présenter plusieurs avantages nutritionnels, en fonction de sa composition spécifique. Voici quelques avantages courants associés à la consommation de préparations fromagères

- 2.3.1. **Source de protéines** : Les produits fromagers peuvent constituer une bonne source de protéines, qui sont essentielles à la croissance et à la réparation des tissus. Les protéines présentes dans les fromages peuvent contenir tous les acides aminés essentiels nécessaires à une alimentation équilibrée. (**Anonyme 2, 2021**)
- 2.3.2. **Source de calcium** : Les produits laitiers, y compris les préparations fromagères, sont généralement riches en calcium. Le calcium est important pour la santé des os et des dents,
- 2.3.3. **Apport en vitamines** : Certains fromages peuvent contenir des vitamines importantes, telles que la vitamine B12, qui est essentielle à la formation des globules rouges et au bon fonctionnement du système nerveux. (**Ross et al. 2011**)
- 2.3.4. **Bonne source d'énergie** : Les préparations fromagères peuvent être riches en matières grasses et en calories, ce qui en fait une source d'énergie concentrée. Cela peut être bénéfique pour les personnes ayant des besoins énergétiques élevés, comme les athlètes ou les individus ayant des travaux physiquement exigeants. (**British Nutrition Foundation.2022**)

Il est important de noter que les avantages nutritionnels peuvent varier en fonction du type de préparation fromagère et de sa teneur en matières grasses, en sodium et en autres nutriments. Il est recommandé de consulter les informations nutritionnelles spécifiques sur l'emballage du produit pour obtenir des données précises.

Il convient également de rappeler que la consommation de préparations fromagères doit être équilibrée dans le cadre d'une alimentation globalement saine et variée, et adaptée aux besoins individuels.

2.4. Les inconvénients nutritionnels de la préparation fromagère :

La préparation fromagère, par rapport au fromage traditionnel, peut présenter certains inconvénients sur le plan nutritionnel. Voici quelques points à considérer :

1. Teneur en matières grasses : Les préparations fromagères peuvent contenir des niveaux élevés de matières grasses. Certaines variétés commerciales utilisent des matières grasses végétales hydrogénées ou des huiles végétales raffinées pour remplacer les matières grasses laitières naturelles présentes dans le fromage. Ces graisses peuvent être riches en acides gras trans et en acides gras saturés, qui sont associés à un risque accru de maladies cardiovasculaires et d'autres problèmes de santé (**Mozaffarian , et al. 2010**)
2. Teneur en sodium : Les préparations fromagères peuvent également être riches en sodium. L'ajout de sel et d'autres agents de conservation peut augmenter la teneur en sodium de ces produits. Une consommation excessive de sodium est associée à une augmentation du risque d'hypertension artérielle et de maladies cardiovasculaires (**He FJ, et al. 2013**).
3. Additifs et ingrédients transformés : Les préparations fromagères peuvent contenir des additifs alimentaires et des ingrédients transformés tels que des émulsifiants, des stabilisants et des colorants. Certains de ces additifs peuvent avoir un impact négatif sur la santé, et certaines personnes peuvent également être sensibles ou allergiques à certains d'entre eux (**E.P ,2017**)
4. Moindre valeur nutritionnelle : Comparées aux fromages traditionnels, les préparations fromagères peuvent avoir une valeur nutritionnelle inférieure. Les processus de fabrication utilisés pour produire ces produits peuvent entraîner une perte de certains nutriments importants présents naturellement dans le lait, tels que les vitamines et les minéraux (**Weaver CM, et al. 2019**).

Il est important de noter que ces inconvénients peuvent varier en fonction de la marque, du type et de la qualité de la préparation fromagère spécifique. Il est recommandé de lire attentivement

les étiquettes des produits et de choisir des préparations fromagères de haute qualité, fabriquées avec des ingrédients naturels et peu transformés, si vous choisissez d'en consommer.

2.5.Comparaison avec le fromage fondu :

- Le fromage fondu et la préparation fromagère sont deux types de produits similaires mais avec quelques différences nutritionnelles.
- Composition : Le fromage fondu est généralement fabriqué à partir de fromage naturel auquel on ajoute du lait, des émulsifiants et des stabilisants pour lui donner une texture fondante. La préparation fromagère, en revanche, est souvent fabriquée à partir d'ingrédients tels que des huiles végétales, des protéines de lait, des émulsifiants et des arômes, sans nécessairement contenir de fromage naturel.
- Teneur en matières grasses : Le fromage fondu peut avoir une teneur en matières grasses relativement élevée, généralement autour de 20 à 40 %, selon le type de fromage utilisé. La préparation fromagère peut également contenir des matières grasses, mais elles sont souvent dérivées d'huiles végétales et peuvent être ajustées pour réduire la teneur en matières grasses. Le remplacement de la matière grasse du lait par des huiles végétales a affecté négativement la saveur des échantillons de fromage préparés (**Al-Ismail et al. 2015**)
- Teneur en protéines : Le fromage fondu contient généralement une quantité modérée de protéines provenant du fromage utilisé dans sa fabrication. La préparation fromagère peut également contenir des protéines, mais celles-ci peuvent provenir de sources différentes, telles que les protéines de lait ou les protéines végétales ajoutées.
- Teneur en sodium : Le fromage fondu peut avoir une teneur en sodium relativement élevée en raison de l'ajout d'émulsifiants et de sels pour améliorer la texture et la saveur. La préparation fromagère peut également contenir du sodium, mais il est possible de trouver des versions à teneur réduite en sodium sur le marché.

Partie expérimentale

Chapitre 3

Matériel et méthodes

3.1.Objectif du travail

Ce travail a été réalisé au niveau de l'unité fromagère « Berbère » Durant la période s'étalant de mois de Mars jusqu'au mois de juin.

Notre étude a portée sur deux types de fromage, fromage fondu et spécialité fromagère. Ces deux types passent dans les mêmes conditions de fabrication (cuisson 90°C, conditionnement en boîte de 280 g, stockage à 4°C) l'objectif étant de suivre les caractères physicochimiques et microbiologiques de la matière première jusqu'au produit fini et même au cours du stockage à 4°C ainsi que la valeur nutritionnelle et le prix de revient.

3.2.Présentation de la zone d'étude

La fromagerie Le Berbere fait partie du groupe Promasidor et est située à Cheraga Alger.

La société a été créée en mars 1996. Cette usine est dotée d'équipement de dernière génération utilisant des technologies de pointe.

La modernisation des équipements et installations techniques d'une part, et les analyses effectuées au sein du laboratoire tout au long du processus de fabrication d'autre part, permettent de mettre sur le marché des produits dont la qualité est irréprochable.

Raison social : production des produits laitiers

Forme juridique : SARL

Capital social : 150.000.000 ,00

Unité de production : zone d'activité Amara. Chéraga- Alger

Superficie : 4000 m²

Capacité de production installée : 6500 tonnes/an

Effectif : 350 personnes

3.3. Matériel

Notre étude a portée sur deux types de fromage ; fromage fondu et spécialité fromagère

3.3.1. Fabrication de la spécialité fromagère :

La formule pour la spécialité fromagère est constituée de :

Poudre

- Amidon réticulé (adipate de diamidon acétylé E 1422) à raison de 3 % sous forme de poudre blanche, pH = 6 à 8 et taux maximal d'humidité de 20 % ;
- Sels de fonte (Citrates de sodium E331, Phosphate de sodium E339, Diphosphate E450 et Phosphate de calcium Polyphosphate E452) ;
- Sel de table NaCl ;
- Poudre de lait à 26 % de matière grasse.

Matières

Matière grasse végétale partiellement hydrogénée, Préfonte, matière protéique laitière (Cheddar, pâte fraîche, crème cheese, fromage frais, des pâtes molles, des pâtes fraîches, et des pâtes fondues).

Eau

La quantité d'eau ajoutée dans les fromages était déterminée en tenant compte de la quantité d'agents humectant et de l'eau délivrée à l'état de vapeur (condensat) au cours de la cuisson. Le procédé de fabrication est illustré dans la figure 2.

Avant le mélange de la matière première (Cheddar, beurre, sels de fonte, poudre de lait), cette dernière est réceptionnée puis stockée soit à température ambiante pour le lait et sels de fonte ; soit à 5°C pour le cheddar et beurre. Une fois ces différents composés sont déemballés et pesés, le Cheddar et la pâte pressée sont broyés, le beurre est découpé ; on procède alors à l'étape Mélange – Cuisson au niveau du cuiseur à 92°C par addition de l'eau et l'injection de vapeur pendant 9 à 10 minutes. Ce mélange sera transféré par le biais d'une pompe vers le crémeur (Bac tampon) où s'effectuera le crémage pendant 10 à 20 minutes à 85-90°C. Ce fromage sera filtré, transféré vers les trémies pour être conditionné dans des boîtes à 75°C, puis daté. Les boîtes seront mises en carton et palettiser dans des palettes ; puis stocké dans des chambres froides à 6°C pour être expédié.

Tableau 08 : Composition de la préparation fromagère

Matière première	Quantités (kg) spécialité fromagère
Cheddar	13
Poudre de lait	16
Beurre	00
Sels de fonte	1.6
Pré- fonte	10
MGV	24
Amidon	3
Sel de table	1
Eau	48

3.3.2. Fromage fondu

Pour le fromage fondu, après préparation de la formule de la même manière que la spécialité fromagère, mais sans amidon réticulé et la matière grasse est remplacée par le beurre.

Tableau N°2 : Composition de fromage fondu

Matière première	Quantités (kg) Fromage fondu
Cheddar	45
Poudre de lait	23
Beurre	10
Sels de fonte	1.6
Pré- fonte	0
MGV	00
Amidon	00
Sel de table	1
Eau	40

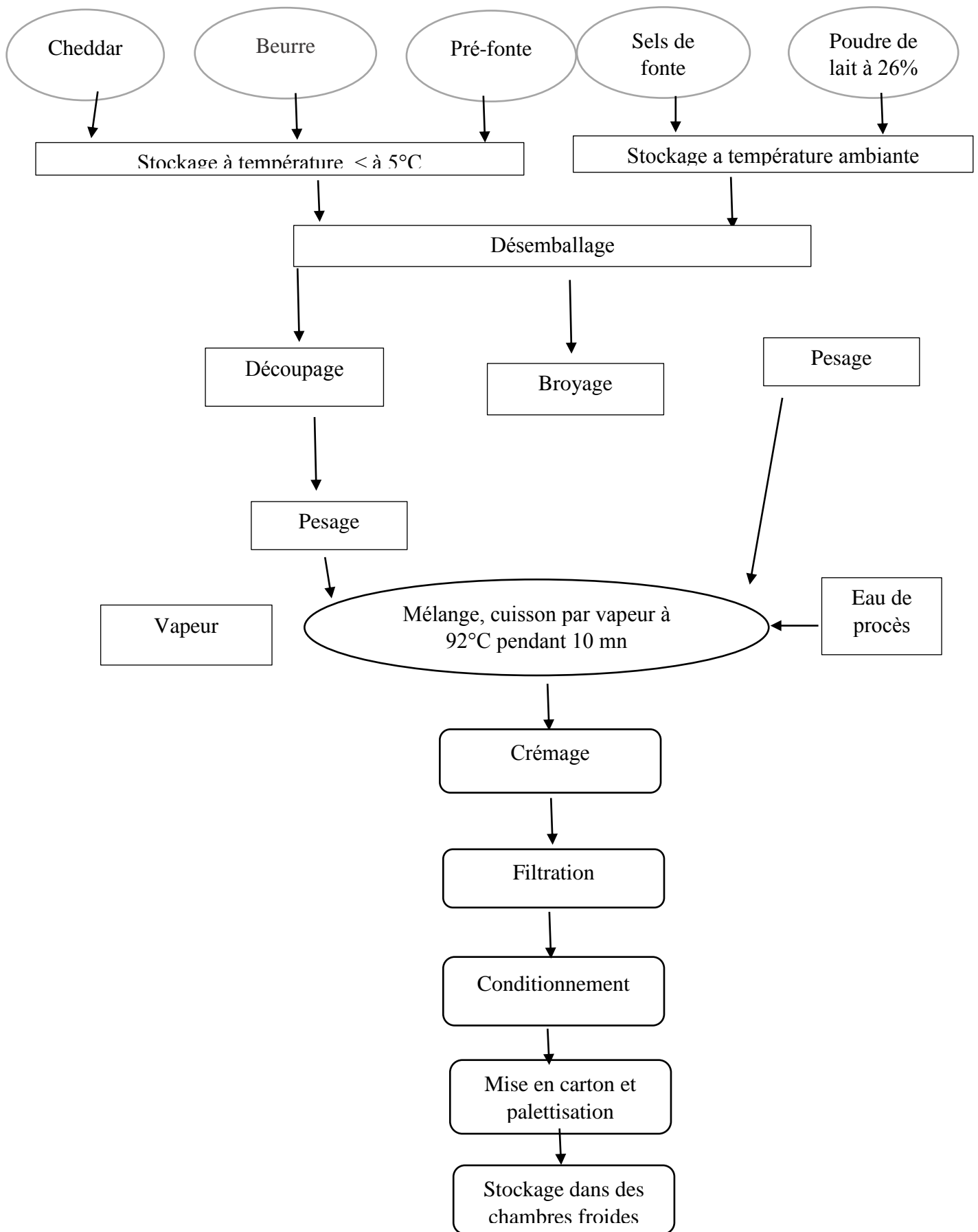


Figure 02 : Diagramme de fabrication de fromage

3.3.3. Sélection des matières premières et contrôle de qualité

Avant leur utilisation, les matières premières sélectionnées feront l'objet d'un contrôle rigoureux quant à leur composition physicochimique et bactériologique et leurs caractéristiques organoleptiques. Les matières premières sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Matières premières, origine et conditionnement

Produit	Pays d'origine	Conditionnement
Poudre du lait	Nouvelle Zélande	Sacs de 25 Kg
Beurre	Nouvelle Zélande	Blocs de 25Kg à 4°C
Cheddar	Nouvelle Zélande et Irlande	Blocs de 20Kg à 4°C
Sel de fonte	Allemagne et Chine	Sacs de 25 Kg(P2O5 à56.7%)
Amidon	Algérie	Sacs de 15Kg

3.4. Méthodes (Appareillages et réactifs (Annexe 1)

3.4.1. Les méthodes de prélèvements physico-chimiques et bactériologiques de la matière

première :

Durant notre partie expérimentale, on a effectué le prélèvement de la matière première à partir du même lot, afin de garder les mêmes paramètres pour la réalisation de notre essai.

La poudre du lait

Bloc choisi aléatoirement de la palette de stockage, à l'aide d'une louche préalablement stérilisée.

Le prélèvement se fait à partir du fond du sac et cela dans une atmosphère stérile c'est-à-dire en présence de la flamme bleue qu'on dispose approximativement de l'ouverture du sac de la poudre. La poudre prélevée est disposée dans un bécher stérile, bien le fermer. On prélève cinq échantillons.

Le beurre

Ce bloc de beurre est choisi aléatoirement de la palette de stockage, l'ouverture de l'emballage est réalisée par un couteau stérilisé ainsi que le découpage des morceaux du beurre qui sont introduits aseptiquement dans un bécher stérilisé et on le ferme bien. Tout cela doit être réalisé dans une ambiance stérile. Cinq échantillons sont prélevés

Le cheddar

Les mêmes étapes suivies que pour le beurre.

L'eau

Le prélèvement de l'eau s'effectue après avoir laissé couler l'eau quelques instants, on flambe le robinet et à côté de la flamme on remplit l'eau à analyser dans un flacon de 225 ml déjà stérilisé et bien fermé.

□ **Produit fini (fromage fondu)**

Le prélèvement du produit fini, s'effectue directement en retirant au hasard une boîte de fromage de 300 g. Une boîte pour les analyses physico chimiques et une autre pour les analyses Microbiologique.

3.4.2. Méthodes d'analyses physico-chimiques :(AFNOR 1986)

3.4.2.1.La poudre du lait

3.4.2.1.1. Détermination du pH

Le principe de cette méthode est la dispersion du lait sec dans l'eau distillée avec mesure directe du pH à l'aide d'un pH mètre.

Dans un bécher, on va peser $3 \pm 0,003$ g de l'échantillon, on ajoute 30 ml d'eau distillée fraîchement bouillie et refroidie, on mélange à l'aide d'une baguette en verre, jusqu'à dispersion complète de la prise d'essai, on le place pendant 3-4 heures dans le réfrigérateur et on effectue la mesure électrique à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ tout en agitant le contenu du bécher.

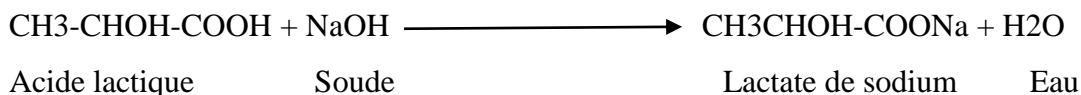
La valeur du pH est lue directement sur le pH mètre.

3.4.2.1.2. L'acidité titrable (ISO 6091:2010)

L'acidité est obtenue par le dosage titrimétrique de l'acide lactique à l'aide d'hydroxyde de sodium, et en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré.

Dans un bécher de 250 ml, on introduit 2g de poudre de lait avec 20 ml d'eau distillée qu'on mélange avec une baguette en verre et on laisse reposer pendant 30minutes et dans un autre bécher, on prélève à l'aide d'une pipette 10ml de lait reconstitué précédemment, ajouter 4 à 5 gouttes de phénolphtaléine, titrer par la solution d'hydroxyde de sodium (N/9), jusqu'à coloration rose pale.

Cette méthode est basée sur la réaction chimique suivante :



- Réaction de neutralisation de l'acide par une base.

- Sachant que 0,1ml de NaOH correspond à 1°D.

- 1°D correspond à 0,1 g/l d'acide lactique.

3.4.2.1.3. La teneur en eau (ISO 5534 :2004)

Son principe est basé sur la dessiccation du lait sec à $103^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ avec pesage du résidu.

Dans une capsule séchée à l'étuve (103°C) et placée dans le dessiccateur pendant ½ heure, on pèse environ 2g de l'échantillon et on place la capsule dans l'étuve pendant 5 heures (103°C). On laisse refroidir dans le dessiccateur et on pèse.

Le résultat de la teneur en eau est donné par la formule :

$$(M-m) \cdot 100/E \text{ H\%}$$

M : la masse en grammes de la capsule et de son contenu avant la dessiccation.

m : la masse en grammes de la capsule et de son contenu après la dessiccation.

E : la masse en grammes de la prise d'essai.

3.1.1.1. **La teneur en matière grasse (ISO 1736 :2000)**

Le dosage de la teneur en matière grasse de la poudre du lait est effectué par la méthode acidobutyromètre à l'aide d'un butyromètre « GERBER » gradué.

Le principe de cette méthode est d'attaquer par l'acide sulfurique les matières non grasses qui sont dissoutes libérant ainsi les lipides, et ceci grâce à l'alcool iso-amylique et une centrifugation(1200 tr/min) pendant 5 minutes

.Dans un butyromètre, on introduit respectivement

- 10 ml d'acide sulfurique- 2,5g de la poudre du lait

- 8,5 ml d'eau distillée- 1 ml d'alcool iso amylique

Après avoir fermé le butyromètre, on tourne 5 à 10 fois jusqu'à la dissolution complète de la poudre du lait. Le butyromètre est ensuite déposé dans un bain marie à température de 65°C pendant 5 minutes, après cette période, le butyromètre est déposé dans la centrifugeuse à 1200 tr/mn pendant 5 minutes.

Les résultats sont obtenus selon la formule suivante:1

$$. \text{MG\%} = (N1 - N2) \cdot 100$$

N1 : la valeur atteinte par le niveau supérieur du butyromètre

.N2 : la valeur atteinte par le niveau inférieur du butyromètre.

MG : la teneur en matière grasse (exprimée en pourcentage)

3.1.1.2. Le cheddar

3.1.1.2.1. Détermination du pH

Cette méthode décrit la mesure de l'acidité ionique du fromage. Elle consiste à introduire délicatement l'électrode du pH-mètre dans le fromage en réglant le correcteur de la température. La valeur du pH est lue directement sur le pH-mètre.

3.1.1.2.2. Détermination de l'extrait sec total

Le principe de cette méthode repose sur la dessiccation par évaporation d'une quantité déterminée de la prise d'essai. L'extrait sec total est exprimé en pourcentage.

Le mode opératoire se fait comme suit Étaler d'une façon homogène 3g de l'échantillon sur un papier d'aluminium préalablement pesé, mettre dans le four à température 300°C pendant 5 minutes et déclencher le processus deséchage. La détermination de la matière sèche est donnée quand l'appareil s'arrête automatiquement et lorsqu'aucune perte de poids n'est détectée.

Après le séchage de l'échantillon peser le papier contenant l'échantillon

$$.EST = (X - X) \times 100 / E$$

X : le poids du papier avec la prise d'essai après le séchage.

E : la masse de la prise d'essai en g (3g)

3.4.2.2.3. Détermination de la matière grasse ([ISO 1736](#))

Son principe est basé sur la dissolution des éléments du fromage par addition d'acide sulfurique (d=1,525) et la séparation de la matière grasse par centrifugation dans un butyromètre de VAN GULIK, la séparation étant favorisée par l'addition d'une quantité d'alcool isoamylique

.La teneur en matière grasse en gramme pour 100 grammes du fromage est obtenue par lecture directe sur l'échelle du butyromètre. 3g de l'échantillon sont pesés dans le godet, on le place dans le butyromètre, on ferme lecol du butyromètre et on ajoute de l'acide sulfurique jusqu'à l'immersion totale de la prise d'essai.

Mettre dans un bain marie à +65°C pendant 5 minutes, on retire et on agite énergiquement pendant 10 secondes.

Par la suite, on va ajouter 1 ml d'alcool iso amylique, puis de l'acide sulfurique jusqu'à ce que le niveau atteigne le trait repère (35%) de l'échelle du butyromètre.

On ferme et on retourne 2 à 3 fois le butyromètre et enfin on va le placer immédiatement dans la centrifugeuse (1200tr /min) pendant 10 minutes. La teneur en matière grasse (MG) de l'échantillon est exprimée en pourcentage.

$MG\% = (B-A) \cdot 100A$: la lecture faite à l'extrémité inférieure de la colonne grasse.

B : la lecture faite à l'extrémité supérieure de la colonne grasse

.3.4.2.2.4. Détermination de la teneur en azote total

Le principe de cette méthode est basé sur deux étapes : la minéralisation de l'échantillon qui est effectuée par chauffage avec de l'acide sulfurique concentré, en présence d'un catalyseur et suivi d'une alcalinisation des produits de la réaction puis d'une distillation de l'ammoniac libéré qui est titré par une solution d'acide sulfurique dilué en présence d'acide borique.

Pour la minéralisation, on va : • Peser 1g de l'échantillon et l'introduire dans le matras

Ajouter 2g de catalyseur et 20 ml d'acide sulfurique concentré. ($d=1,83$), des billes de verre.

- Placer les matras dans le dispositif de chauffage.
- Laisser minéraliser pendant 4 heures.

Lorsque le liquide devient limpide, on laisse refroidir pendant 30 minutes.

Pour la distillation, on va :

- Mettre le liquide dans la fiole.
- Diluer par addition de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- Prendre 20 ml de cette solution, et l'introduire dans le matras.
- Dans un bécher, introduire 20 ml d'acide borique à 4%
- Mesurer le pH de l'acide borique. (pH initial).
- Placer le matras et le bécher dans l'appareil de distillation.

De la soude à 33% et de l'eau distillée sont aspirées par l'appareil, à l'aide des sondes spéciales, durant la distillation.

Après la distillation, on titre l'acide borique par de l'acide sulfurique (0,1 N) jusqu'à ce que le pH revienne au pH initial.

La teneur en azote totale, exprimée en gramme d'azote pour 100 grammes de lait est égale à :

$$Nt (g/l) = V1 \cdot 0,0014 \cdot 100 / E$$

V1 : le volume en millimètre de la solution d'acide sulfurique utilisée pour la neutralisation de

l'ammoniac.

E : la masse en gramme de la prise d'essai.

Par convention, la teneur en azote protéique est obtenue en multipliant le chiffre de l'azote total (en gramme par 100 grammes de l'échantillon) par le coefficient 6,38.

$$\text{La teneur en protéine \%} = \text{teneur en azote total} \times 6,38$$

3.4.2.3. . Le beurre

3.4.2.3.1. . Détermination du pH

La mesure du pH se fait à l'aide d'un pH-mètre.

On fait fondre une quantité suffisante du beurre au bain marie, puis on porte les tubes du beurre fondu à la centrifugation (1200tr/min. Pendant 5 minutes), jusqu'à ce que la matière grasse soit limpide.

On prend la phase non grasse et on la transvase dans un tube à essai propre. On met ce dernier dans le congélateur pour quelques minutes, puis on mesure le pH.

3.4.2.3.2. . Dosage de l'acidité grasse exprimée en acide oléique :

Le principe de cette méthode consiste à la neutralisation de l'acide oléique en présence de la phénolphtaléine et à l'aide de la soude 0,1N jusqu'à la coloration légèrement rose.

Pour cela on prend une quantité du beurre, on la fait fondre, on prend 3g de la partie surnagent qu'on va la mettre dans un bécher de 50ml. On complète jusqu'à 25 ml d'éther, on rajoute ensuite 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine. A la fin, on titre avec NaOH jusqu'à la coloration rose pale.

L'acidité est exprimée en % d'acide oléique

$$. A = V \cdot N \cdot K \cdot 100 / P \text{ (\% d'acide oléique)}$$

V: volume en ml de la solution alcaline versée dans la titration.

N : la normalité de la solution alcaline (0,1N).

K : le coefficient de l'acide oléique (0,282). P : la masse de la prise d'essai en gramme.

3.4.2.3.3. Détermination de la teneur en eau

L'eau est déterminée par une évaporation de l'eau du beurre à l'aide d'une douce flamme, après sa fonte, la différence du poids entre l'échelle de départ et le résidu après exposition à la chaleur représente le taux d'humidité.

Pour cela, on va prendre le récipient en métal qui était précédemment lavé et séché, on effectue une pesée du récipient vide, peser 10g de notre échantillon de beurre, à l'aide d'une paire de pinces on amène le récipient sur le bec benzène tout en remuant pour éviter de brûler l'échantillon, cette étape est effectuée pendant 2 minutes jusqu'à évaporation totale de l'eau, le récipient est ensuite mis dans un dessiccateur, lorsque le récipient a atteint une température ambiante, on effectue la pesée

$$. H\% = (M0-M1) / E \times 100$$

M0 : le poids de la capsule + la prise d'essai avant évaluation.

M1 : le poids de la capsule + la prise d'essai après évaluation.

E : la masse de la prise d'essai.

3.4.2.3.4. . Détermination de la teneur du non gras

On peut définir le non gras dans le beurre tous les composants secondaires qui entrent dans la composition du grain de beurre c'est-à-dire les sels minéraux, lactose, caséine,...etc. Le principe de cette méthode consiste en une séparation de la phase continue qui est dans ce cas la matière grasse avec la phase discontinue à l'aide d'un solvant organique (Ether diéthylique, Ether de pétrole,...etc.)

Prendre le même échantillon de beurre utilisé pour l'analyse précédente c'est-à-dire après avoir effectué l'analyse pour le calcul de l'humidité , on réchauffe légèrement le beurre , pour dissoudre la matière grasse , ajouter 50 ml d'éther diéthylique et bien mélanger , laisser pendant 3 à 5 minutes , il en résultera apparition de dépôt , on rejette le surnageant et on garde 1 à 2 cm de dépôt, on effectue le chauffage pour évaporer les molécules d'éther diéthylique restantes, et on pèse le résidu.

Les résultats sont obtenus grâce à la formule suivante .:

$$NG\% = (M0-M1 / M-M0) \times 100$$

M0 : masse du récipient vide.

M : masse du récipient + la prise d'essai.

M1 : résidu après séchage

4.2.2.3.5. Détermination de la teneur en matière grasse (ISO 1736)

Le taux de la matière grasse est déterminé par un simple calcul après avoir éliminé le taux d'humidité et du non gras calculé précédemment.

$$MG\% = 100 - (H + NG)$$

Où : MG : matière grasse. H : humidité. NG : non gras.

3.4.2.4.. Eau de procès :

3.4.2.4.1. Détermination du titre alcalimétrique (TA) : (NF T90-96)

Le principe de cette méthode est basé sur la neutralisation d'un volume d'eau (100ml) par une solution d'acide fort (H₂SO₄ ou HCl) en présence de phénol phtaléine comme indicateur.

On verse dans un erlenmeyer 100 ml d'eau à analyser, plus quelques gouttes de phénolphtaléine puis on agite et on titre avec une solution d'acide fort (0,1 N) jusqu'au virage de la couleur à l'incoloré.

Pour exprimer le résultat, on applique la formule suivante :

$$. TA = V_1 \times 5 \text{ (°F)}$$

V₁ : volume de la solution H₂SO₄ en millilitre.

3.4.2.4.2. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) : (NF T90-96)

La méthode est basée sur la neutralisation d'un volume d'eau à l'aide d'une solution d'acide en présence de méthyle orange comme indicateur.

On verse dans un erlenmeyer 100 ml d'eau à analyser et quelques gouttes de méthyle orange, on effectue une titration jusqu'au virage de la couleur orange.

Pour exprimer le résultat, on applique la formule suivante :

$$. TAC = (V_1 - 0,1) \times 5 \text{ (°F)}$$

V₁ : volume de la solution

H₂SO₄ en millilitre utilisé à l'opération.

0,1 : représente le volume exprimé en ml de la solution d'acide, nécessaire à l'opération de changement de teinte.

3.4.2.4.3. Détermination du pH

Même méthode de mesure que pour la poudre de lait, on remplace 30 ml d'eau distillée avec 30 ml d'eau à analyser.

3.4.2.5. Le produit fini

3.4.2.5.1. Détermination du pH

On a procédé selon la même méthode appliquée pour le cheddar

3.4.2.5.2. Détermination de l'extrait sec total

Elle est la même comme celle du cheddar.

3.4.2.5.3. Détermination des sucres totaux par la méthode Dubois

La méthode Dubois et al. (1956) permet de doser les oses et les hexoses en utilisant le phénolet l'acide sulfurique concentré. En présence de ces deux réactifs, les oses donnent une couleur jaune-orange dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des glucides. La densité optique D.O. est déterminée à une longueur d'onde de 490 nm.

Afin de la réaliser, on doit d'abord extraire les glucides ; pour cela, on va :

- Peser 10 g de l'échantillon dans un bécher de 500 ml et additionner 400 ml d'eau distillée et 3 g de carbonate de sodium pour neutraliser l'acidité

- Porter à ébullition tout en agitant pendant 30 minutes.

Après ébullition, transvaser la solution dans la fiole de 1 l.

On procédera à présent à l'étape de clarification ; donc, on va :

- Additionner à l'extrait des petites quantités d'acétate de plomb à 10% tout en agitant jusqu'à l'apparition d'un précipité qui se dépose au fond de la fiole.

- Ajouter ensuite l'eau distillée dans la fiole jusqu'au trait de jauge.

- Procéder à la filtration.

Ensuite, on doit éliminer l'acétate de plomb ; pour cela il faut :

- Additionner au filtrat une petite quantité d'oxalate de potassium ou carbonate de sodium déshydraté pour précipiter l'acétate de plomb de la solution

- Filtrer la solution pour éliminer le plomb précipité

- Vérifier la présence de plomb dans la solution en ajoutant une petite quantité d'oxalate de potassium à une partie de la solution contenue dans un tube à essai.

Si le précipité apparaît, continuez à ajouter de l'oxalate de potassium jusqu'à la disparition de tous les ions de plomb.

Enfin, le dosage comme suit

- Faire une solution de 10% de cet échantillon à doser en ajoutant 50 ml d'eau distillée dans 5 ml de filtrat. A partir de la solution de 10% , prendre 1 ml et faire introduire dans un tube à essai , ajouter ensuite 1 ml de solution de phénol à 5% et agiter soigneusement , puis ajouter rapidement 5 ml d'acide sulfurique concentré. La température atteint alors environ 110°C. Après agitation rapide à l'aide du vortex, laisser refroidir à obscurité pendant 30 minutes, puis lire la DO à une longueur d'onde de 490 nm.

Afin de rédiger nos résultats, il faut Préparer une courbe d'étalonnage :

- Dissoudre 100 mg de glucose dans 100 ml d'eau distillée

- Prendre de la solution précédente 4 ml et compléter à 50 ml.

- Préparer une série de tubes à essai dans lesquels on verse 0,1 ml,.... 0,9 ml à partir de la solution fille (4/50)

- Compléter les volumes à 1 ml de l'eau distillée

- Ajouter 1 ml de phénol à 5% à tous les tubes à essai, et agiter soigneusement.
- Verser rapidement 5 ml de l'acide sulfurique dans chaque tube, puis agiter rapidement avec le vortex
- Laisser refroidir à la température de la salle pendant 30 minutes puis lire la DO à 490 nm. La gamme étalon se fait à partir du tableau suivant :

Tableau 11 : Gamme étalon des sucres totaux

Tube N°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Solutions										
Solution de glucose(ml)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Eau distillée (ml)	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
Phénol (ml)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Acide sulfurique (ml)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Concentration (ug/ml)	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72

(Méthode Dubois, 1956)

3.4.2.5.4. Détermination de la matière grasse :

Cette méthode est la même que celle utilisée pour le cheddar.

3.4.2.5.5. Détermination de la teneur en azote total :

Cette méthode est la même que celle appliquée pour le cheddar.

3.4.3 . Méthodes d'analyses microbiologiques

Le contrôle microbiologique permet de garantir la sécurité et la salubrité des aliments. Il permet d'éviter la présence de microorganismes pathogènes dans les produits afin de ne pas risquer une altération de la qualité hygiénique des produits finis ou, au moins de détecter des microorganismes s'ils sont présents dans les produits finis avant leur commercialisation. (JORA , 2017).

Il s'applique à la chaîne alimentaire depuis la production primaire jusqu'à la production finale. Les analyses microbiologiques portent essentiellement sur la détection et le dénombrement des germes pathogènes dans le produit fini. Ces germes largement répandus dans la nature peuvent contaminer tous les aliments dont les fromages et entraîner des toxi-infections alimentaires ou des intoxications.

3.4.3.1. . Echantillonnage

- Poudre du lait, beurre, eau, cheddar et produit fini :

L'échantillon est préparé à partir de la quantité du produit à analyser qu'on a prélevé auparavant, on pèse 25 g dans un récipient stérile pour la préparation de la solution mère.

3.4.3.2. Préparation des solutions mères et des dilutions décimales

- Cas des produits solides :

Après avoir effectué notre échantillonnage, on prépare les solutions mères et les dilutions de chaque produit (Poudre du lait, beurre, cheddar et fromage fondu).

Le but de ces dilutions est de faciliter la lecture en diminuant la charge microbienne dans une boîte de pétri contenant un milieu de culture. Nos dilutions sont effectuées jusqu'à 1/1000 soit (10^{-3}).

Dans un flacon de 225ml de solution TSE (Tryptone Sel Eau), 25 g du produit à analyser ont été introduit aseptiquement. (Schéma 1. Annexe N°2)

Homogénéisation de la solution par des mouvements de va et de vient. Cette solution mère correspond à une dilution de 10^{-1} .

À partir de cette solution mère, les dilutions décimales ont été préparées comme suit :

- dans un tube à essai contenant 9 ml de diluant TSE, on a introduit aseptiquement 1 ml de la solution mère précédente afin de réaliser une solution de 1/100 (10^{-2}).
- à l'aide d'une nouvelle pipette stérile, on a prélevé ensuite 1 ml de la dilution 10^{-2} et on l'a introduit dans un tube contenant 9 ml de TSE, ce qui donnera la dilution 1/1000 (10^{-3}).

- Cas des produits liquides : Lactosérum et l'eau de procès.**

On met notre lactosérum dans un erlenmeyer stérile, ce qui constitue donc la solution mère (SM). Pour réaliser les solutions décimales on procède de même manière que dans le cas des produits solides. (Schéma 2. Annexe 2)

Remarque :

Au moment de la réalisation des dilutions décimales, il est impératif de changer les pipettes entre chaque dilution. Contrairement à cela, lors de l'ensemencement, il est recommandé de commencer par la faible dilution, dans le but de ne pas changer de pipettes.

3.4.3.3. Recherche et dénombrement de Staphylococcus aureus

Les Staphylococcus aureus appartiennent à la famille des Micrococcaceae. Ce sont des cocci à Gram positif, non sporulés, aéro-anaérobies facultatifs, immobiles, halophiles, se divisent en plusieurs plans en formant des amas irréguliers, coagulase, protéase et catalase positives. (Bourgois et al., 1996). C'est un germe pathogène capable de produire une entérotoxine pouvant causer une intoxication alimentaire. Sa recherche permet de savoir si le produit présente des risques d'atteinte à la santé du consommateur.

L'enrichissement sur Giolitti Contonii est basé sur le principe de l'inhibition par tellurite de potassium et le chlorure de lithium des bacilles et la plupart des micrococques.

Le milieu d'isolement Chapman, grâce à son taux élevé en NaCl (7.5%) permet aux staphylocoques de se développer.

Au moment de l'emploi, on ouvre aseptiquement le flacon de 225 ml contenant le milieu Giolitti Contoni pour y ajouter 15 ml de la solution de Tellurite de potassium. On mélange soigneusement. Le milieu est alors prêt à l'emploi.

À partir des dilutions décimales retenues, on porte aseptiquement 1 ml par dilution dans un tube à vis stérile. On ajoute par la suite environ 15ml du milieu d'enrichissement. On mélange le milieu et l'inoculum. (Annexe N°3)

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48h.

Seront considérés comme positifs, les tubes ayant virés au noir.

Pour s'assurer qu'il s'agit bien d'un développement de Staphylococcus aureus, ces tubes feront l'objet d'un isolement sur milieu gélose Chapman préalablement fondu, coulée en boîtes de pétri et bien séchée.

Les boîtes de Chapman ainsiensemencées seront incubées à leur tour à 37°C pendant 24 à 48h. Après ce délai, on va repérer les colonies suspectes à savoir les colonies de taille moyenne, lisses, brillantes, pigmentées en jaune et pourvues d'une coagulase et d'une catalase.

3.4.3.4. Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs : (N.A N°12 97 73)

Les Clostridium sulfito-réducteurs sont des germes appartenant à la famille des Bacillaceae (bacille + cocci sporulée), des bactéries telluriques, Gram (+), catalase (-), mobile, anaérobies stricts et généralement mésophiles, mais supportent les variations du pH et de température, et dont quelques espèces sont thermophiles.

Ils sont souvent utilisés comme des indicateurs pour l'appréciation de la qualité hygiénique.

Leur dénombrement s'effectue par inoculation profonde dans le milieu VF (viande-foie), contenant du sulfite de sodium et l'alun de fer.

Leur présence dans les produits laitiers est à l'origine d'intoxication alimentaire.

Au moment de l'emploi, on fait fondre un flacon de gélose Viande foie, le refroidir dans un bain d'eau à 45°C puis on ajoute une ampoule d'Alun de Fer et une ampoule de sulfite de sodium.

On mélange soigneusement et aseptiquement. Le milieu est ainsi prêt à l'emploi.

Les tubes contenant les dilutions 10^{-3} , 10^{-2} et 10^{-1} seront soumis :

- d'abord à un chauffage à 80°C pendant 8 à 10 minutes,
- puis à un refroidissement immédiat sous l'eau de robinet afin d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées.

A partir de ces dilutions, on met aseptiquement 1 ml de chaque dilution en double dans deux tubes à vis stériles, puis on ajoute environ 15 ml de gélose VF prête à l'emploi, dans chaque tube comme l'indique l'Annexe N° 4. Enfin on laisse se solidifier sur paillasse pendant 30 minutes.

Ces tubes seront ainsi incubés à 37°C pendant 16, 24 ou au plus tard 48 heures.

3.4.3.5. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

La présence des coliformes indique le plus souvent une contamination par défaillance technologique ou hygiénique (pollution d'origine fécale). Ils se distinguent des autres entérobactéries par leur aptitude à fermenter le lactose, mais elle n'est pas particulière à ce groupe, pour cela leur détection est rendue sélective par l'utilisation de la Gélose Désoxycholate d'un après incubation à 37°C pendant 24 heures.

A partir des dilutions décimales 10^{-3} à 10^{-1} , on ensemence aseptiquement 1ml de chaque dilution dans une boîte de pétri dans un milieu préparée à cet usage et numérotée comme l'indique l'Annexe N°05

Cette opération doit être effectuée en double pour chaque dilution car :

- la première série de boîtes sera incubée à 37°C et sera réservée à la recherche des coliformes totaux.
- la deuxième série de boîtes sera incubée à 44°C et sera réservée à la recherche des coliformes fécaux.

On complète ensuite avec environ 15 ml de gélose Désoxycholate à 1‰ fondue puis refroidie à $45\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Faire ensuite des mouvements circulaires et de va et vient en forme de « 8 » pour bien mélanger la gélose à l'inoculum. Puis on laisse solidifier les boîtes sur pailleuse puis couler à nouveau environ 5 ml de la même gélose ; cette double couche va bloquer le développement des germes aérobies qui en se multipliant vont fausser la lecture.

Les boîtes seront donc incubées couvercle en bas pendant 24 à 48 heures à :

- 37°C pour la première série (recherche des coliformes totaux).
- 44°C pour la deuxième série (recherche des coliformes fécaux).

3.4.3.6. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

La recherche des streptocoques fécaux ou streptocoques du groupe « D » de la classification de Lancefield, se fait en milieu liquide par la technique du nombre le plus probable (NPP).

Cette technique fait appel à deux tests consécutivement à savoir :

- le test de présomption : qui se fait sur milieu de Rothe S/C.
- le test de confirmation : qui se fait sur milieu Eva Lytsky.

Test de présomption :

On prépare dans un portoir une série de tubes contenant le milieu sélectif de Rothe S/C à raison de trois tubes par dilution.

A partir des dilutions décimales 10^{-3} à 10^{-1} , on porte aseptiquement 1 ml dans chacun des trois tubes correspondant à une dilution donnée comme l'indique l'Annexe N°6.

On mélange l'inoculum dans le milieu.

L'incubation se fait à 327°C pendant 24 à 48 heures.

Remarque :

Aucun dénombrement ne serait à ce stade, les tubes positifs feront l'objet d'un repiquage.

Test de confirmation :

Chaque tube de Rothe positif fera donc l'objet d'un repiquage à l'aide d'une anse bouclée sur tube contenant le milieu Eva Lytsky. On mélange l'inoculum dans le milieu.

L'incubation se fera à 37°C pendant 24 heures.

Sont considérés comme positifs les tubes d'Eva présentant à la fois :

- Un trouble microbien et / ou
- Une pastille blanchâtre ou violette au fond du tube.

Le nombre de streptocoques fécaux est exprimé par le NPP selon la table de Mac Grady.

(Annexe 07).

3.4.3.7. Recherche et dénombrement des germes totaux : (N.A N°12 97 73).

Appelés aussi « Flore totale » ou nombre très approximatif des germes qui se trouvent dans les produits alimentaires.

Ces micro-organismes peuvent par leurs quantités dégrader la denrée, altérer sa qualité marchande et provoquent des troubles digestifs ou allergiques chez le consommateur.

La flore peut être saprophyte ou pathogène, originelle ou apportée lors des manipulations. Cette technique permet le dénombrement de la flore mésophile totale susceptible de donner des colonies visibles en se développant en anaérobiose et dont la propriété est d'avoir un optimal de croissance.

À partir des dilutions décimales allant de 10^{-3} à 10^{-1} , on porte aseptiquement 1 ml dans une boîte de pétri vide préparée à cet usage et numérotée comme l'indique l'Annexe 08. On complète ensuite avec environ 20 ml de gélose PCA fondue puis refroidie à $45 \pm 1^\circ\text{C}$. On va 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 utilisée.

On laisse solidifier sur paillasse, puis on rajoute une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose. Cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations diverses.

Les boîtes seront incubées couvercle en bas à 30°C pendant 72 heures avec lecture à intervalle de 24 heures.

3.4.3.8. Recherche des levures et moisissures

Les levures :

Les levures sont des champignons microscopiques, se présentent sous formes unicellulaires.

Les cellules sont généralement ovoïdes et leurs tailles varient de quelques microns jusqu'à 25 à 30 microns. Certaines levures peuvent former des associations cellulaires (Pseudo-mycélium) ou se présentent sous forme filamenteuses mycélium à certains stades de leurs vies (Bourgeois et *al.*, 1996).

Les moisissures :

De nombreux champignons filamenteux appelés souvent moisissures. Elles sont aérobies, en général acidophiles (pH compris entre 3 et 7) et mésophiles (température optimale 20 à 30°C), cependant certaines espèces sont osmophiles. Ils ont un besoin en eau faible par rapport aux autres micro-organismes et peuvent se développer sur des aliments à faible teneur en eau. Leurs métabolismes peut être oxydatif mixte. (Bourgeois et al. 1996)

Le dénombrement est réalisé sur milieu O.G.A (Oxytetracycline Glucose Agar) qui permet la croissance de toutes les levures et moisissures rencontrées dans les produits alimentaires tout en inhibant totalement le développement des bactéries.

A partir des dilutions décimales retenues (de 10^{-1} à 10^{-3}), on porte 0,1 ml par dilution sur la boîte d'O.G.A correspondantes puis les étaler à l'aide d'un râteau stérile en commençant par la plus haute dilution (Annexe N°09).

L'incubation de ces boîtes se fait à 22°C, donc à température ambiante, couvercle vers le bas pendant 5 jours.

Chapitre 4

Résultats et discussion

4.1. Analyses physicochimiques

4.1.1. Matières premières

4.1.1.1. Poudre de lait, beurre, cheddar

Les analyses physico-chimiques des matières premières utilisées sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Analyses physico-chimiques des matières premières

	Poudre du lait Echantillon	Normes AFNOR(1986)	Beurre Echantillon	AFNOR(1986)	Echantillon Cheddar	AFNOR(1986)
pH	6.7	6.7-6.75	6.6	6 Max	5.22	5.1-5.5
Acidité (°D)	16.5	15-18	0.28	0.35 Max	*	*
N.G (%)	*	*	2.2	2	*	*
M.G (%)	25.5	26	83	80 Min	61.3	61 Min
EST %	96.4	96	85.2	84	61.3	61Min
H %	3.6	Inf 4	14.8	16 Max	38.7	39 Max

* Analyses non effectuées au niveau de l'unité.

Les résultats relatifs aux analyses physico-chimiques de la poudre de lait montrent que :

Le pH répond parfaitement aux normes AFNOR (1986) qui se situe entre 6.5 et 6.75.

L'acidité qui est un indice de l'auto-oxydation des lipides et de la présence d'acides gras libres, donnerait un goût de rance à la poudre de lait que nous n'avons pas observé. Cette acidité est de 16°Dornic et conforme aux normes (15- 18°D).

La poudre de lait utilisée au niveau de l'unité à un taux de 26 % de matière grasse, cette teneur a été adaptée durant le processus de fabrication pour éviter les risques d'auto-oxydation rapide de la matière grasse durant la conservation en évitant la prolifération de la flore lipolytique.

Pour ce qui est de l'humidité, les normes AFNOR la fixent à 4% car c'est un paramètre important dans la conservation.

Notre résultat qui est de 3.6 % est en accord avec cette norme. En ce qui concerne l'extrait sec total, il évolue dans le sens inverse de l'humidité.

Le beurre utilisé par l'unité Berbère est conforme aux normes. Son taux de matière grasse est de 83%, sa teneur en humidité est de 14,8%, son acidité grasse est de 0,28% et son pH est de 6,6.

Les résultats des analyses physico-chimiques effectués sur le cheddar montrent que :

La valeur du pH est de 5,22, et est en accord avec la norme AFNOR (1986).

Selon Eck (1987), le rôle du pH est essentiel pour plusieurs raisons :

- Du point de vue organoleptique, il joue un rôle très important sur la texture et le goût.
- Il est favorable au développement des levures et moisissures qui ont une grande affinité pour les milieux acides.
- Il maintient l'équilibre chimique du produit.
- Il joue un rôle important comme régulateur du milieu (acido-basique).
- Il est considéré comme un paramètre très important dans la conservation du produit (il empêche le développement des microorganismes constituant la flore interne et superficielle).

Le cheddar est riche en M.G, la norme est de 30,5% au minimum. Elle peut atteindre une valeur de 34% tel qu'il est mentionné dans nos résultats.

L'EST augmente au cours de l'affinage par suite d'une perte d'eau par le phénomène d'évaporation (où diminution de l'humidité).

La norme AFNOR (1986) fixe l'extrait sec total à 61% au minimum ; nous remarquons que notre résultat est de 61,3%, ce qui est en accord avec cette norme.

La teneur en eau est en relation avec l'extrait sec, et évolue dans le sens inverse

4.1.1.2. Eau de procès

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau utilisée dans la fabrication du fromage fondu sont représentés dans le tableau 13

Tableau 13 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau utilisée.

Eau	Echantillon	Normes OMS
Analyses		
pH	7,1	6,5-8,5
TA (F°)	0	0

Il apparaît que le titre alcalimétrique simple (TA) correspond à 0, cela se traduit par une absence de carbonates dans l'eau.

La valeur du titre alcalimétrique complet (TAC), semble inférieur à la norme ce qui indique une faible teneur en bicarbonates.

En effet, la précipitation des sels de CaCO₃ contenus dans l'eau forme le tartre qui implique souvent des problèmes tels que :

- diminution du débit d'eau.
- les dépôts formés peuvent fixer les souillures et servir de base au développement des microorganismes.
- corrosion des parties métalliques.

- rétrécissement progressif des canalisations et des buses d'injection

4.1.1.3. Produits finis

Les résultats des analyses physico-chimiques des deux Fromages sont mentionnés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Analyses physico-chimiques des deux types de Fromages

Type de fromage	Fromage fondu	Spécialité fromagère
Analyses		
pH	5.75	5.80
EST (%)	43.3	42
Matière grasse (%)	18	19
Matière Grasse/extrait sec(%)	41.57	45.23
Taux de Protéines (%)	11.55	9.02
Taux de Glucides (%)	10.03	11.69
Humidité(%)	50.6	55.8

Les résultats obtenus montrent :

Une stabilité du pH pour les deux types de fromages. En effet, l'ajustement du pH lors de la formulation du fromage fondu constitue une étape importante dans le procédé de fabrication. Cet ajustement permet d'obtenir un produit à consistance uniforme et sans variation dans le goût recherché. Pour cela, les sels de fonte permettent par leur pouvoir tampon d'ajuster le pH du produit à la bonne valeur. Toutefois la plage de pH toléré se situe entre 5.2 et 6.2 en dehors de laquelle les qualités de texture et de consistance ne peuvent pas être atteintes (Karahadian,1984)

MG/MS total permet d'apprécier d'une façon précise la teneur en matière grasse dans 100 g d'extrait sec total. Il est important de le mentionner avec nos résultats car il permet d'exprimer une large gamme de texture : fluide à ferme, tartinable à tranchable, onctueux à croquant.

Les différents rapports MG/MS augmentent sensiblement au fur et à mesure en fonction des quantités de matière première utilisés dans les deux types de fromage.

Cette augmentation est due à l'amidon incorporé dans la spécialité fromagère qui augmente la valeur de l'extrait sec total. D'autant plus, on note une légère augmentation du taux de la matière grasse de ce dernier, cela est dû à l'ajout de la graisse végétale contenant une petite quantité de MG.

Pour ce qui est des protéines, les résultats nous montrent nettement une augmentation d'un type de fromage à un autre en fonction de la quantité et la qualité de beurre utilisé (soit graisse végétale pour la spécialité fromagère et le beurre pour le fromage fondu).

Toutefois, les mêmes résultats montrent une élévation très nette du taux de sucres qui passe de 11.69% dans la spécialité fromagère comparé à 10.09% pour le fromage fondu, ce résultat est justifié par la richesse de la spécialité fromagère en amidon ; ce dernier présente l'avantage de procurer un aspect onctueux et une viscosité élevée avec un bon rendement dû au gonflement des granules d'amidon réticulé (E1422) suite à l'absorption de l'eau (Mounsey et O'riodan, 2001)

4.2. Analyses microbiologiques

4.2.1. Matières premières

On a utilisé le même échantillon pour tous nos essais c'est-à-dire le même cheddar, le beurre, graisse végétale et la poudre du lait pour le fromage fondu et la spécialité fromagère.

4.2.1.1. Le cheddar

Le cheddar est considéré comme une matière première qui doit être contrôlé toujours avant la répartition de la fonte. Aussi, en premier lieu, nous présentons les résultats des analyses microbiologiques affectant la qualité du cheddar utilisé (Tableau 15)

Tableau 15: Résultats d'analyses microbiologiques du cheddar

Analyses	Echantillon	Normes JORA (2017) Germes/gr
Germes totaux	90	< 3000
Coliformes totaux	Absence	< 100
Coliformes fécaux	Absence	10
Staphylococcus aureus	Absence	100
Clostridium sulfito-réducteur	Absence	01
Levures et moisissures	Absence	1000

Les résultats des analyses microbiologiques du cheddar résumés dans le tableau N°4 montrent l'absence de tous les germes recherchés sauf pour les germes totaux, on constate une présence de 90 germes / gramme; qui est une quantité négligeable (<3000), pour cela notre cheddar est conforme aux normes, ce qui témoigne de la qualité conforme de la matière première et du respect des conditions de stockage.

4.2.1.2. Poudre de lait

La poudre de lait est une matière première utilisée pour la fabrication du fromage fondu à tartiner. Sa nature déshydratée ne favorise pas la multiplication de la plupart des germes pathogènes, néanmoins, nous avons effectué quelques analyses concernant la qualité microbiologique de cette poudre afin de justifier son utilisation en production fromagère (Tableau 16).

Tableau 16: Résultats d'analyses microbiologiques de la poudre de lait à 26 % de M.G

Analyses	Echantillon	Normes JORA (2017) Germes/gr
Germes totaux	2 10 ³	Max 2.10 ⁵
Coliformes totaux	Absence	Max 1
Coliformes fécaux	Absence	Absence
Staphylococcus aureus	Absence	Max 10
Clostridium sulfito-réducteur	Absence	Absence
Levures et moisissures	Absence	50-100

D'après les résultats du tableau 16, la poudre du lait destinée à la production du fromage fondu est de bonne qualité bactériologique si on se réfère sur les normes du JORA (2017).

4.2.1.3. Beurre

Nous avons également vérifié la qualité microbiologique du beurre utilisé en fromagerie (tableau 17).

Tableau 17 : Résultats d'analyses microbiologiques du beurre

Analyses	Echantillon	Normes JORA (2017) Germes/gr
Germes totaux	35	< ou = 100
Coliformes totaux	Absence	10
Coliformes fécaux	Absence	Absence
Staphylococcus aureus	Absence	10
Clostridium sulfito-réducteur	Absence	01
Levures et moisissures	Absence	Absence

Les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessus montrent une absence totale des germes recherchés dans le beurre, ceci nous amène à dire que le beurre utilisé est de bonne qualité microbiologique, toutefois le beurre étant stocké dans de bonnes conditions au niveau de l'unité, nous n'avons pas noté d'odeur de rancissement, ni de changement de couleur ; ce qui aurait été un signe d'oxydation (peroxydation et acidité).

4.2.1.4. Eau de procès

L'eau consommée directement doit satisfaire des critères de potabilité assurant la protection du consommateur.

L'eau est considérée comme un vecteur possible des germes dangereux, provoquant des maladies à transmission hydrique.

Les résultats des analyses microbiologiques de l'eau sont représentés dans le tableau 18

Tableau 18 : résultats des analyses microbiologiques de l'eau de procès

Analyses	Echantillon	Normes JORA (2017) Germes/gr
Germes totaux	2	20
Coliformes fécaux	Absence	Absence
Staphylococcus aureus	Absence	Absence
Clostridium sulfito-réducteur	Absence	Absence
Levures et moisissures	0	< 5

D'après nos résultats, nous remarquons que l'eau utilisée pour la fabrication de fromage fondu pasteurisé ne contient pas de germes pathogènes tels que : Staphylococcus aureus, Streptocoques fécaux, coliformes fécaux, ainsi que la flore banale (germes totaux).

Donc, les résultats des analyses microbiologiques effectuées sur l'eau utilisée dans la fabrication du fromage fondu montrent qu'elle répond aux critères de potabilité.

4.2.1.5. Produits finis

L'analyse bactériologique du produit fini doit être considérée comme un test de vérification d'hygiène de fabrication. Il est essentiel de maîtriser les paramètres qui agissent sur la contamination du produit fini, qui peut être due d'une part à la qualité des matières premières, d'autre part à la présence ou au développement des micro-organismes au cours de la chaîne de fabrication.

.Le tableau 19 donne les résultats d'analyses microbiologiques des deux types de fromages.

Tableau 19: Résultats d'analyses microbiologiques des deux types de fromages

Echantillon Analyses microbiologiques (germes/ g)	Fromage fondu	Spécialité fromagère	Normes JORA (2017) Germe/ gr
Germe totaux	180	300	<3000
Coliformes totaux	Absence	Absence	<100
Coliformes fécaux	Absence	Absence	10
Staphylococcus aureus	Absence	Absence	100
Clostridium sulfito- réducteur	Absence	Absence	01
Levures et moisissures	38	57	1000

En ce qui concerne le produit fini, on note une absence totale des germes pathogènes à l'exception des levures et moisissures, dont la présence est due aux causes suivantes :- Soit la pasteurisation a été insuffisante pour tuer les spores.- Soit une contamination par l'atmosphère de l'atelier vu que le produit est sans couvercle dès sa sortie du pétrin et lors du conditionnement.- Soit due à une insuffisance ou une inefficacité du nettoyage et de la désinfection des machines tels que le broyeur et le mélangeur.- Soit due à un mauvais prélèvement, mauvaise manipulation ou une contamination par le personnel (Guiraud,et Galzy , 1998).

4.3.Etude de la conservation des fromages à 4°C La qualité d'un fromage n'est pas seulement évaluée sur la base de sa composition intrinsèque au moment de sa fabrication ou à la sortie de la fromagerie, mais aussi sur sa capacité à être stable dans sa composition et ses qualités organoleptiques pendant une certaine durée de conservation à basse température de +4°C. Pour cette raison nous avons procédé à des essais de conservation dont nous vous présentons les résultats

4.3.1.Etudes physico-chimique après conservation

Le tableau suivant est un tableau récapitulatif montrant l'évolution du pH , de l'EST, l'humidité , la matière grasse, le gras/se, les protéines ainsi que les sucres totaux pendant une durée de 45 jours à +4°C.

Tableau 20 : évolution des paramètres physico-chimiques lors de la conservation des fromages à 4°C.

Durée Fromages	J		J+15		J+30		J+45	
	F.F.	P.F.	FF	PF	FF	PF	FF	PF
Ph	5.75	5.80	5.72	5.79	5.68	5.76	5.66	5.73
EST (%)	43.3	42	43.7	43.3	45.3	44.6	45.7	46.3
Humidité	50.6	55.8	50.2	55.3	48.6	54.2	48.2	52.8
MG (%)	18	19	18	19	18	19	18	19
Gras/ Sec	41.55	45.2	41.18	43.8	39.7	42.6	39.3	41.03
Protéines	11.55	9.02	11.51	8.98	11.49	8.94	11.41	8.87
Sucres totaux	10.03	11.69	10.02	11.09	9.72	11.08	8.92	10.68

Une légère diminution du pH durant les 45 jours de conservation à 4°C pour tous les types de fromages malgré le traitement thermique de pasteurisation. Nous pouvons émettre l'hypothèse que cette dernière pourrait être insuffisante pour détruire toute la flore acidifiante

.En effet, selon Guiraud, (2003), la flore banale acidophile et acidifiante peut entraîner un certain nombre d'altération malgré le traitement de pasteurisation.

Selon Vignola, (2002), la transformation graduelle du lactose en acide lactique fait abaisser le pH. Donc, la légère diminution du pH observée est peut-être dû aussi à la transformation du lactose en acide lactique.

Les fromages conservés à 4°C, présentent une diminution en humidité se traduisant par une augmentation de l'extrait sec environ de 2 %, cela est dû probablement à une évaporation d'eau suite à un mauvais conditionnement ou à une faible hygrométrie. L'auto-oxydation d'un corps gras au cours de son stockage conduit à l'apparition de produits légers, odorants et sapides (aldéhydes, alcools, acides...) qui altèrent la saveur d'origine et sont une cause de dépréciation de la matière, allons dans certains cas jusqu'au refus par le consommateur lorsque le produit est rance. Nous allons à présent énumérer les différents résultats de l'évolution de la matière grasse ainsi que le rapport gras/ sec lors de la conservation à 4°C pour les quatre durées de conservation de fromages.

Selon **Karleskind, (1992)** l'eau apporté par l'aliment se dégage sous forme de vapeur et peut provoquer une hydrolyse de la matière grasse avec libération d'acides gras, suivi de l'apparition de glycérides et de glycérol. Cette vapeur d'eau entraîne des produits les plus

volatils. Ce qui n'est pas le cas pour nos résultats car on remarque que le taux de M.G reste globalement stable durant la conservation. En l'occurrence le rapport G/S diminue légèrement durant la période de conservation.

Les résultats des analyses ont révélé une légère diminution des protéines au cours du stockage, cela est peut-être dû à la présence des levures et moisissures d'après ce que montrent nos résultats bactériologiques.

Nous avons noté une légère diminution du taux des sucres cela est peut-être dû à la transformation du lactose en acide lactique ou peut-être dû à l'utilisation des sucres comme source de carbone par les levures et moisissures. Pratiquement tous les composés organiques peuvent être utilisés comme source de carbone et d'énergie par les moisissures. La plupart d'entre elles peuvent métaboliser le glucose et le saccharose avec quelques polysaccharides comme l'amidon et la cellulose (Boiron1996 ; Nicklin et al, 2000)

4.3.2 .Etude bactériologiques des deux types de fromages durant laconservation à 4°C

L'évaluation bactériologique est très importante pour l'estimation aussi bien de la qualité des fromages obtenus mais aussi de la réussite et de l'efficacité du mode de conservation.

Le tableau 21 montre les résultats de l'évolution bactériologique des fromages fabriqués durant la conservation.

D'après les résultats du tableau ci-dessous, et après 45 jours de conservation à 4°C, nous notons la présence de germes totaux, de levures et moisissures.

On peut estimer que le taux de la multiplication microbienne a été multiplié par 2 à 2.7, cette prolifération avec la durée de conservation est un indice de mauvaises conditions de stockage ou alors concernant une multiplication de bactéries psychotropes pouvant se développer même basse température.

Nous remarquons également que les levures et les moisissures ont tendance à augmenter pour les deux types de fromages durant toute la durée de conservation, leur implication évalue l'état de l'avancement de l'altération de produit.

Tableau 21 : évolution bactériologiques de fromage lors de la conservation à 4°C

Analyses	Fromage fondu	Spécialité fromagère	Durée de conservation
Germes totaux	180	300	J+0
Coliformes totaux	Absence	Absence	
Coliformes fécaux	Absence	Absence	
Staphylococcus aureus	Absence	Absence	
Clostridium sulfito-réducteur	Absence	Absence	
Levures et moisissures	38	57	
Germes totaux	200	310	J+15
Coliformes totaux	Absence	Absence	
Coliformes fécaux	Absence	Absence	
Staphylococcus aureus	Absence	Absence	
Clostridium sulfito-réducteur	Absence	Absence	
Levures et moisissures	50	100	
Germes totaux	210	520	J+30
Coliformes totaux	Absence	Absence	
Coliformes fécaux	Absence	Absence	
Staphylococcus aureus	Absence	Absence	
Clostridium sulfito-réducteur	Absence	Absence	
Levures et moisissures	85	150	
Germes totaux	300	610	J+45
Coliformes totaux	Absence	Absence	
Coliformes fécaux	Absence	Absence	
Staphylococcus aureus	Absence	Absence	
Clostridium sulfito-réducteur	Absence	Absence	
Levures et moisissures	110	185	

Mis à part quelques germes totaux qui restent dans les normes, aucune présence de germes pathogènes n'a été noté.

4.4. Valeur nutritionnelles

Tableau 22 : Valeur nutritionnelles du produit fini

	Fromage fondu	Spécialité fromagère
Protéines %	11.55	9.02
Lipide %	18	19
Glucide %	8	12
Ca ²⁺ (mg/100g de produit)	610	580
Valeur énergétique (Kcal)	241.6	255.8

Les valeurs énergétiques de nos fromages sont toutes deux proches de 250 Kcal, Cependant l'atout majeur du fromage fondu est sa richesse en calcium (610 mg/100g), ainsi que le taux de glucide qu'est remarquablement présent dans la spécialité fromagère (12%), ce qui lui confère un supplément énergétiques, ceci est du probablement à la présence de l'amidon.

Les protéines sont supérieures dans le fromage fondu ceci est certainement dû aux protéines du cheddar dont la quantité est beaucoup supérieur à dans la préparation fromagère.

Il resta à noter que les protéines de la préparation fromagère restent acceptables

4.5. Etude économique

Il est nécessaire d'évaluer son prix de revient (Tableaux 17 et 18).Celui-ci s'obtient en additionnant les frais fixes (énergie, main d'œuvre, etc.) et le prix del'emballage au prix de revient de la matière première.Le Tableau 23 indique les prix unitaires des ingrédients de notre fromage.

Tableau 23 : Les prix unitaires des ingrédients d'un fromage (Fromagerie Berbère, 2023.)

Ingrédients	Prix unitaire en DA/ Kg
Cheddar	1200
Poudre de lait	485
Beurre	900
Matière grasse végétale	400
Sels de fonte	1450
Pré- fonte	600
Amidon modifiée	600
Arome	1250

Tableau 24 : le prix de revient du fromage fondu et spécialité fromagère non conditionnés.

Matière première	Quantités (%) Fromage fondu	Quantités (%) spécialité fromagère
Cheddar	45	9
Poudre de lait	23	16
Beurre	10	00
Sels de fonte	1.6	1.6
Pré- fonte	0	10
MGV	00	24
Amidon	1	3
Eau	40	48
Sel de table	1	1
Arome	0-1	1
Colorant	0.001	0.001
Prix de revient du fromage non conditionné	783.25	395.3

Selon le prix de revient de la matière première utilisée, le fromage fondu a été évalué à un prix de 783.25Da /kg ; par rapport à la spécialité fromagère qui est de 395.3Da/kg. Nous remarquons ici une nette différence de prix évaluée à 38%.

La différence de prix est dû au prix des matières première qui a flambé, surtout le cheddar, ce qui pousse la fromagerie Le Berbere à produire une plus grande quantité de préparation fromagère vue que c'est la plus demandée sur le marché de par son prix et aussi sa qualité. Ce travail intéressera sans doute toutes les fromageries pour augmenter leur chiffre d'affaire puisque leur rendement est supérieur. Mais il ne faut pas rester dans le contexte de prix seulement il faut travailler qualité, quantité et cout.

Conclusion

Conclusion

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

Nos deux fromages (fromage fondu et spécialité fromagère) sont des produits de haute qualité énergétique et gustative, ils constituent l'une des principales sources alimentaires en calcium, protéines, lipides, et vitamines rééquilibrant ainsi dans un sens plus favorable la ration alimentaire du consommateur. Cette étude a été conduite dans le but de l'appréciation de la qualité des fromages fondus et de la spécialité fromagère.

Nous avons pu suivre l'évolution des paramètres physicochimiques des deux fromages pendant le procédé de fabrication et de conservation dans la fromagerie "Le Berbère".

Les résultats d'analyses physicochimiques des produits finis sont conformes aux normes exigés et ils ont une qualité physicochimique satisfaisante. Grace aux propriétés des sels de fontes, par leur pouvoir tampon, qui justifient le PH en adéquation avec la plage toléré qui le situe entre 5,2 et 6,2.

Au cours de la conservation notre PH tend vers une légère diminution celui-ci s'appuie notamment sur le fait que la flore acidifiante transforme graduellement le lactose en acide lactique.

Pour l'extrait sec, il est à son tour sujet à une diminution très nette soit 42% à cause de l'injection des quantités importante de l'eau respectivement 48 litres pour la spécialité fromagère et 40 litres dans le fromage fondu dont on a enregistré un taux de 43,3 % ce qui donne une texture différente dans les deux cas.

Les résultats du taux des protéines, révèlent une augmentation d'un type de fromage a un autre soit 11,55% pour le fromage fondue et 9,02% pour la spécialité fromagère cette teneur est justifiée par l'acquis des différentes matières premières qui entre dans la composition des deux fromages.

Certes, le taux de sucre augmente pour la spécialité fromagère par le fait d'incorporation de l'amidon, la présence d'une quantité d'eau suffisante accompagné d'un traitement thermique a 90 C° permet la dissolution des granules d'amidon, ce qui procure au fromage un aspect onctueux et une viscosité élevée.

D'après les résultats microbiologiques enregistrés, on note une légère présence des germes totaux et levure et moisissures, ces derniers utilisent les composés organiques comme

source de carbone, ce qui justifie la diminution du taux de sucre et des protéines lors de la période de conservation.

Les résultats d'analyses microbiologiques des deux fromages montrent l'absence des germes pathogènes aussi les germes d'altération concernant le contrôle, il nous a permis de garantir la sécurité et la salubrité.

En ce qui concerne les produits fini, on note une absence totale des germes pathogènes à l'exception des levures et moisissures, qu'on a enregistré une prolifération insignifiante par rapport aux normes (<1000 Germes/g) dont la présence est due aux plusieurs causes exhaustives.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que la spécialité fromagère a donné un produit fini de bonne qualité physicochimiques, microbiologiques , d'une valeur nutritionnelle intéressante et dont le prix de revient est beaucoup moindre que le fromage fondu.

Dans de nombreux cas, l'industrie alimentaire est en mesure de répondre aux exigences continue du marché agroalimentaire par l'emploi, soit de macromolécules de nature glucidiques ou protéiques, soit d'émulsifiant de faible poids moléculaire qui créent, modifient et stabilisent la structure physico-chimique de produit alimentaire.

En ce qui concerne les apports nutritifs, le taux de protéines est faible dans la spécialité fromagère mais pas nul, la valeur énergétiques est par contre supérieure à celle du fromage fondu.

La spécialité fromagère peut être la solution d'apport lactée pour les foyers à petit budget.

Références bibliographiques

1. AFNOR. Association française de normalisation recueil des normes français, contrôle de la qualité des produits laitiers.3^{ème} édition, 1986, p 647-651.
2. Al-Ismail, K. ., Al-Hiary, B. ., & Al-Dabbas, M. . (2015). Evaluation of Some Chemical and Sensory Properties of Processed Cheese Analogue with Selected Vegetable Oils. *International Journal of Chemical and Process Engineering Research*, 2(6), 75–85. <https://doi.org/10.18488/journal.65/2015.2.6/65.6.75.85>
3. Anonyme 2 : USDA FoodData Central - <https://fdc.nal.usda.gov/>
4. Bachmann H.P, 2000. Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*, vol 11, p 505-515.
5. Benaissa M. (2018) Valorisation du lactosérum par les bactéries lactiques. Thèse de Doctorat, Université Ahmed ben Bella .Oran.
6. Berger, W., Klostermeyer, H ., Merkenich, k., et al. Processed cheese manufacture-A. JOHA Guide, 1993, 93p.
7. Boutonnier, J.L. Fabrication du fromage fondu. *Techniques de l'ingénieur*, 2000, F6310: 1-14.
8. Bourgeois C-M ; Mescle JF ; Zucca J. (1996)*Microbiologie alimentaire . Tome 1 . Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*. 2e édition. Paris Londres New York: Tec & doc-Lavoisier, 1996. .
9. Carić M., 2000.Processed cheese. In, FRANCIS F.J., *Encyclopedia of Food Science and Technology*, 2nd ed, ed., John Wiley and Sons, New York. p. 1973–1987
10. Chambre, M et Daurelles, J. Le fromage fondu. In: Eck, A. et Gillis, J.C. *Le fromage*. Ed. Tec et doc, Lavoisier, 1997, p.691-708.
11. Chambre , M. ; Goldshmit B. ; Lecomte, M.C. , 2004. Minérux et fromage fondu. *Minéraux et produits laitiers*. 565-584.
12. Chemache L. 2011.Qualité de deux spécialité fromagères fabriquées et comercialisées en Algérie. Thèse de Magistèr. Université Mentouri Constantine.
13. Chen S.L., Wan P.J., LusaS E.W, Rhee K.C., 1979.Utilization of peanut protein and oil in cheese analogs. *Food Technol.* vol. 37, n. 7, p. 88–93.
14. Christensen J., Povlsen V.T., Sørensen J., 2003. Application of fluorescence spectroscopy and chemometrics in the evaluation of processed cheese during storage. *J. Dairy Sci.* vol. 86, p. 1101–1107.
15. Commission codex alimentarius, 2004. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires comité du codex sur le lait et les produits laitiers. Sixième Session,Auckland Nouvelle-Zélande. Avant-projet de norme pour le fromage fondu observations à l'étape 3, 3 p.

16. Commission du Codex Alimentarius. Projet de norme générale pour le fromage fondu (étape 6), CL 2015/34-MMP décembre 2015. Dantas cavalcante, A.B. Influence des facteurs de composition sur les propriétés texturales d'un fromage fondu de "TYPE REQUEIJAO", 1995, 9p.
17. Décret n. 2007- 628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères, 10 p.
18. Djenane, D., Bouchenak, M., & Nacer-Idres, N. (2014). Fatty acid composition and cholesterol content of some Algerian cheeses. *Journal of food science and technology*, 51(5), 918-922. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0401-9>
19. Eck, A et Gillis, J. C. le fromage. De la science à l'assurance qualité. 3 ème Ed. Paris : Tec et Doc-Lavoisier, 2006, p : 356, 691, 692-703, 715, 729-730 , 891
20. Eckner K.F., Dustman W.A., Rys-Rodriguez A.A., 1994. Contribution of composition, physicochemical characteristics and polyphosphates to the microbial safety of pasteurized cheese spreads. *Journal of Food Protein*, vol. 57, p. 295–300.
21. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS) (2017). Statement on the safety of synthetic zeaxanthin as an alternative to the use of marigold petals/flowers extract. *EFSA Journal*, 15(6), e04855.
22. European Commission. (2001). Règlement (CE) n° 1308/2001 du Conseil du 28 juin 2001 portant organisation commune des marchés dans le secteur des produits agricoles et modifiant les règlements (CEE) n° 922/72, (CEE) n° 234/79, (CE) n° 1037/2001 et (CE) n° 1234/2007. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32001R1308>
23. Feinberg M, Favier .j. Et Jreland T.R ,1987- répertoire générale des aliments, table de composition des produits laitiers : vache, brebis, chèvre, Ed. Tec et Doc, Lavoisier, paris, T3, 442 p.
24. Fox P.F., Guinee T.P., Cogan T.M., MCSweeney P.L.H., 2000. *Fundamentals of cheese science*. Maryland: Aspen Publishers Inc. p. 429–451
25. Fox P.F., Mcsweeney P.L.H., 1998. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Ed. Thomson Science, Germany, 396 p.
26. Guinee T.P., Carić M., Kaláb M., 2004. Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products. In: FOX P.F., MCSWEENEY P.L.H., COGAN T.M., GUINEE T.P. *Cheese Chemistry, Physics and Microbiology. Major Cheese Groups* vol. 2, 3rded. Elsevier Applied Science Ltd, London, p. 349-394
27. Gliguem H., Ghorbel D., Grabielle-Madelmont C., Goldschmidt B., Lesieur S., Attia H., Ollivon M., Lesieur P., 2009a. Water behaviour in processed cheese spreads DSC and ESEM study. *J Therm Anal Calorim*, vol. 98, p. 73–82

28. Gliguem H., Ghorbel D., Lopez C., Michon C., Ollivon M., Lesieur P., 2009b. Crystallization and polymorphism of triacylglycerols contribute to the rheological properties of processed cheese. *Journal of Agriculture and Food Chemical*, vol. 18, p. 3195–3203
29. Gómez-Castro, A.G., García-Rodríguez, A., González-Martínez, C. et al. (2019). Nutritional Properties of Processed Cheese: A Review. *Foods*, 8(6), 215. DOI: 10.3390/foods8060215.
30. Groupe d'étude des marchés de restauration collective et de nutrition (GEMRCN). Laits et produits laitiers; spécification technique de l'achat public. 2009, 47p. Spécification technique n° B3-07-09 destinée à l'achat public, approuvée par décision n° 2009-03 du 30 juillet 2009 du comité exécutif de l'OEAP. Disponible sur : http://www.minefe.gouv.fr/directions_services/daj/guide/gpem/table.html
31. He FJ, et al. (2013). Salt intake and cardiovascular disease: Mechanisms and evidence. *Nature Reviews Cardiology*, 10(7), 413-422.
32. Health Canada. (2015). Canadian Nutrient File, version 2015. <https://food-nutrition.canada.ca/cnf-fce/index-eng.jsp>
33. Huang V.T., Panda F.A., Smith E.B., 2010. Cheese composition and related methods. United states patent, US 7807207 B2, 12 p
34. Jeantet, R., Croguennec, T et Brule, P. *Science Des Aliments : Biochimie, Microbiologie, Procédés, Produits*. 2 : 12, 15. Londres-Paris New York: Tec & Doc Lavoisier. *L Scienza e Tecnica Lattiero-Casearia*, 32, 2007, 203–221p
35. JORA, 2017 Arrêté interministériel du 2 Moharram 1438 correspondant au 4 octobre 2016 fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires. N°39 du 02 juillet
36. JORF (Journal Officiel de la République Française), 2007. Décret n. 2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères, 10 p.
37. Karahadian 1984 technological aspect of reduced-sodium process american cheese, volum3, 2ème édition, p 32.
38. Karleskind, A Verlag Manuel des corps gras, Lavoisier, Tec. & Doc., 1992
39. Kim S.Y., Park P.S.W., Rhee K.C., 1992. Textural properties of cheese analogs containing proteolytic enzyme modified soy protein isolates. *J. Am. Oil Chem. Soc.* vol. 69, p. 755–759.
40. Kiziloz M.B., Cumhuri O., Kilic M., 2009. Development of the structure of an imitation cheese with low protein content. *Food Hydrocolloids*, vol. 23, p. 1596–1601.
41. Lee B.O., Paquet D., Alais C., 1986. Etude biochimique de la fonte des fromages. Effet du type de sels de fonte et de la nature de la matière protéique sur la peptisation. Utilisation d'un système modèle. *Le Lait*, vol. 66, n. 3, p. 257-267.
42. Lucey J.A., Johnson M.E., horne D.S., 2003. Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese. *Journal of Dairy Science*, Vol. 86, n.9, p. 2725 - 2743.

43. Luquet .F.M, (1990) .Lait et produit laitiers. Vaches, brebis, chèvres. Ed. Tec et Doc, Lavoisier, paris, T3, 442 P.
44. (Mahaut et al, 2000)
45. Luquet.F M ,1985 - laits et produits laitiers. Vache, brebis, chèvre. Ed. Tec et Doc,Lavoisier, paris, T1 396 P.
46. Marshall R.J., 1990. Composition, structure, rheological properties and sensory texture of processed cheese analogues. *Journal of Science and Food Agriculture*, vol. 50, p. 237–252.
47. Meyer A., 1973.Processed Cheese Manufacture, Food Trade Press Ltd., London,201p.
48. Mounsey J.S., O’riordan E.D., 1999.Empirical and dynamic rheological data correlation to characterize melt characteristics of imitation cheese.*Journal of Food Science*, vol. 64, n. 4, p.701–703.
49. Mozaffarian D, et al. (2010). Trans fatty acids and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine*, 363(25), 2518-2529.
50. Nayouf M. 2003. Étude rhéologique et structurale de la qualité texturante du système amidon/kappa-carraghénane en relation avec le traitement thermomécanique. Thèse de Doctorat. Université de Nantes France.
51. Nicklin, J., Graeme-Cook, K., Paget, T. et Killington, R. (2000). L’essentiel en microbiologie. Berti. Paris, p. 210-216.
52. Ortega-Fleitas O., Real-del-sol E., Cabrera M.C., Oretga A.,Suarezsoli S V., Cardoso F., Iniguez C., 2001. Manufacture of a cheese substitute for pizzas. *Alimentaria*, vol. 322, p. 87–89. LEE Y.H., MARSHALL T., 1981. Microstructure and texture of process cheese, milk curds, and caseinate curds containing native or boiled soy proteins. *Journal of Dairy Science*, vol. 64, p. 2311–2317.
53. Paquet D., 1988.Processed cheeses: physico-chemical aspects. In: Lorient D.,Colas B., Le Mestre M. *Functional properties of food macromolecules*. Ed. Lescahiers de l’ENSBANA. Paris: Technique & Documentation Lavoisier, p. 227–241.
54. Patart, J.P. Les fromages fondus. In : Eck, A. *Le fromage* Edition Lavoisier, 1987, p. 385-398.
55. Roustel S. 2014. Fromage fondu : physico-chimie du processus de fonte <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/filiere-de-production-produits-d-origine-animale-42432210/fromage-fondu-physico-chimie-du-processus-de-fonte-f6310/presentation-de-l-univers-des-produits-f6310v2niv10001.html>
56. . Ross AC, Taylor CL, Yaktine AL, Del Valle HB, 2011, Dietary Reference Intakes for Vitamin D and Calcium. Institute of Medicine (US) Committee to Review editors. Washington (DC): National Academies Press (US); 2011. PMID: 21796828.

57. Schär W., Bosset J.O., 2002. Chemical and physicochemical changes in processed cheese and ready-made fondue during storage. A review. *Lebensm. Wissen. Technol.*, vol. 35, p. 15–20
58. St-Gelais, D., Tirard-Collet, P., Bélanger, G., Couture, R., & Drapeau, R. (2002). Fromage. *Science et technologie du lait: transformation du lait*, 349-415
59. Taranto M.V., Yang C.S.T., 1981. Morphological and textural characterization of soybean Mozzarella cheese analogs. *Scanning Microsc.*, vol. 3, p. 483–492.
60. U.S. Department of Agriculture. (2021). Basic Report: 01001, Cheese, pasteurized process, American, without added vitamin D. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170155/nutrients>
61. U.S. Department of Agriculture. (2021). Basic Report: 01001, Cheese, pasteurized process, American, without added vitamin D. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170155/nutrients>
62. U.S. Food and Drug Administration. (2018). Food Additives & Ingredients - Cheese and Cheese Products. <https://www.fda.gov/food/food-additives-ingredients/cheese-and-cheese-products>
63. Vignola C.L. 2002. *Science et technologie :du lait.-Transformation du lait-Fondation de technologie du lait*. 600p.
64. Wagner K.H., Wagner-Hering E., 1981. Qualitätsmerkmale des Schmelzkäses –praktische Erfahrungen und wissenschaftliche Erkenntnisse. *Milchwissenschaft*, vol. 36, p. 744–747.
65. Weaver CM, et al. (2019). Processed cheese and dairy products. In: *Encyclopedia of Food Chemistry*, 314-320.
66. Yang C.S.T., Taranto M.V., 1982. Textural properties of Mozzarella cheese analogs manufactured from soybeans. *Journal of Food Science*, vol. 47, p. 906–910.
67. Yang C.S.T., Taranto M.V., Cheryan M., 1983. Optimization of textural and Morphological properties of a soy-gelatin Mozzarella cheese analogue. *Journal of Food Process Preservation*, vol. 7, p. 41–64.
68. Zemel, M. B., & Sun, X. (2008). Dietary calcium and dairy products modulate oxidative and inflammatory stress in mice and humans. *Journal of nutrition*, 138(6), 1047S-1052S. <https://doi.org/10.1093/jn/138.6.1047S>
69. Zhang D., Mahoney A.W., 1991. Iron fortification of process Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, vol. 74, p. 353–358

Annexes

Annexe 01 : appareillages et réactifs

Réactifs :

- Acétate de plomb à 10%
- Acétate de zinc à 30%
- Acide sulfurique (d=1,525)
- Acide sulfurique concentré
- Alcool iso amylique
- Carbonate de sodium
- Eau distillée
- Ether diéthylique
- Hexacyanoferrate de potassium à 15 % $K_4(Fe(CN)_6)$,
- Oxalate de potassium
- Phénolphtaléine 1%.
- Solution tampon de référence à pH 7.
- Solution tampon de référence à pH connu avec précision (entre 4 et 5)
- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH (N/9).
- Solution de phénol à 5%

Appareillages :

- Agitateur vortex
- Balance analytique
- Bec benzène
- Bécher de 500 ml, 250 ml et 100 ml.
- Burette à robinet graduée
- Butyromètre « GERBER » gradué
- Butyromètre de VAN GULIK centrifugeuse à 1200 tr/mn
- Capsule cylindrique en acier.
- Dessiccateur
- Etuve bien ventilée munie d'un système de réglage thermostatique permettant d'obtenir une température de $103 \pm 2^\circ C$.
- Fiole de 1 l
- Fiole jaugée de 100 ml

- Godet
- Lactodensimètre
- Papier à filtre.
- Pipette de 10ml.
- pH mètre avec électrode de verre.
- Plaque chauffante
- Réfrigérateur (température 2 à 5°C).
- Récipient en métal
- Spectrophotomètre à 490 nm

Annexe 02 : Préparation de la solution mère et des dilutions.

Schéma 1 : Cas des produits solides

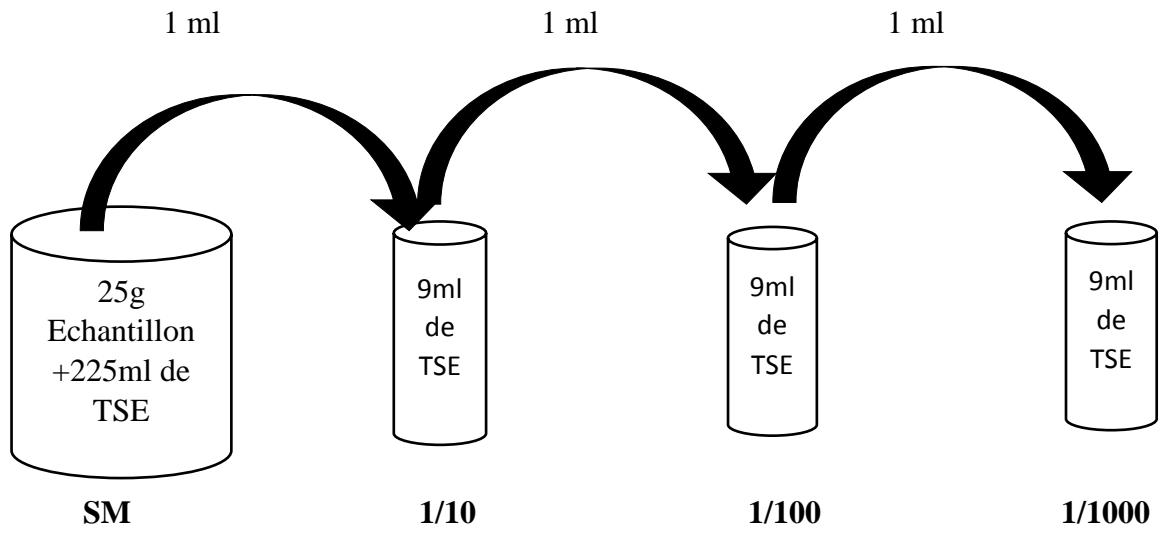
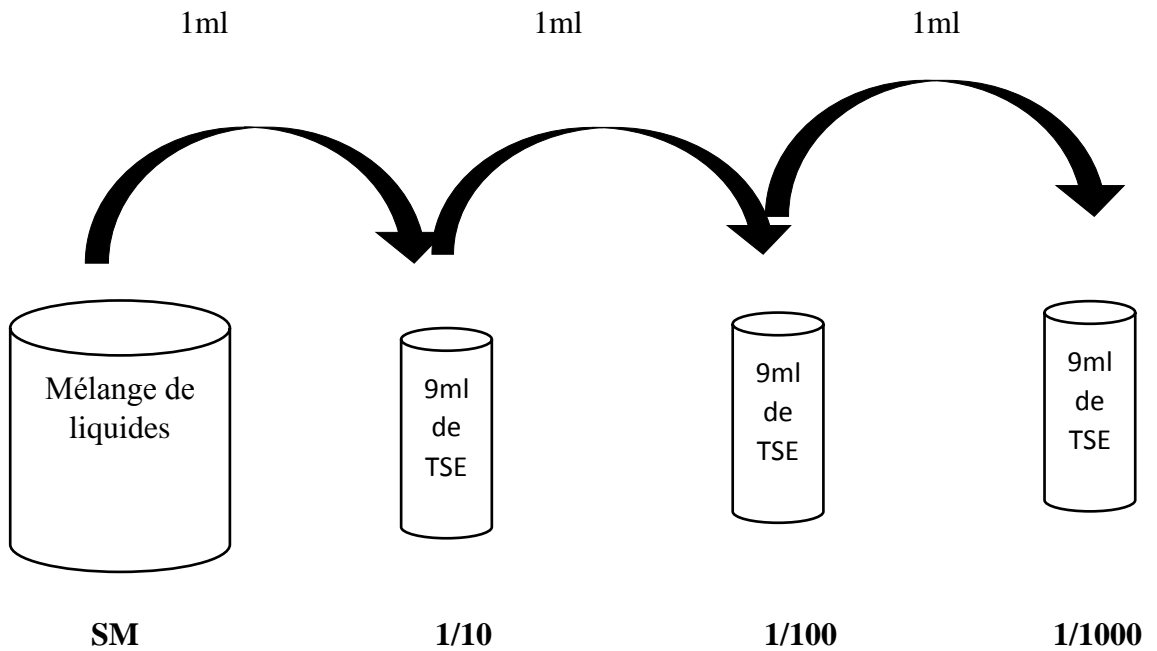
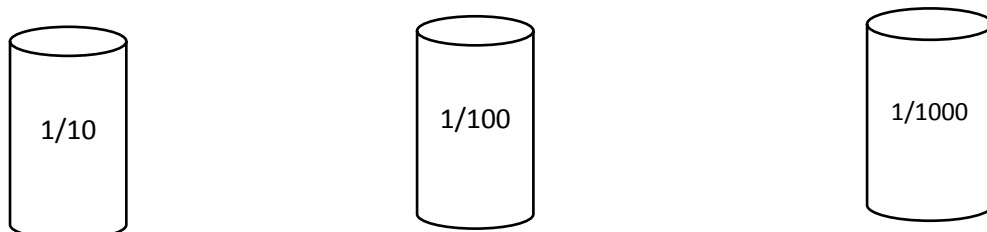
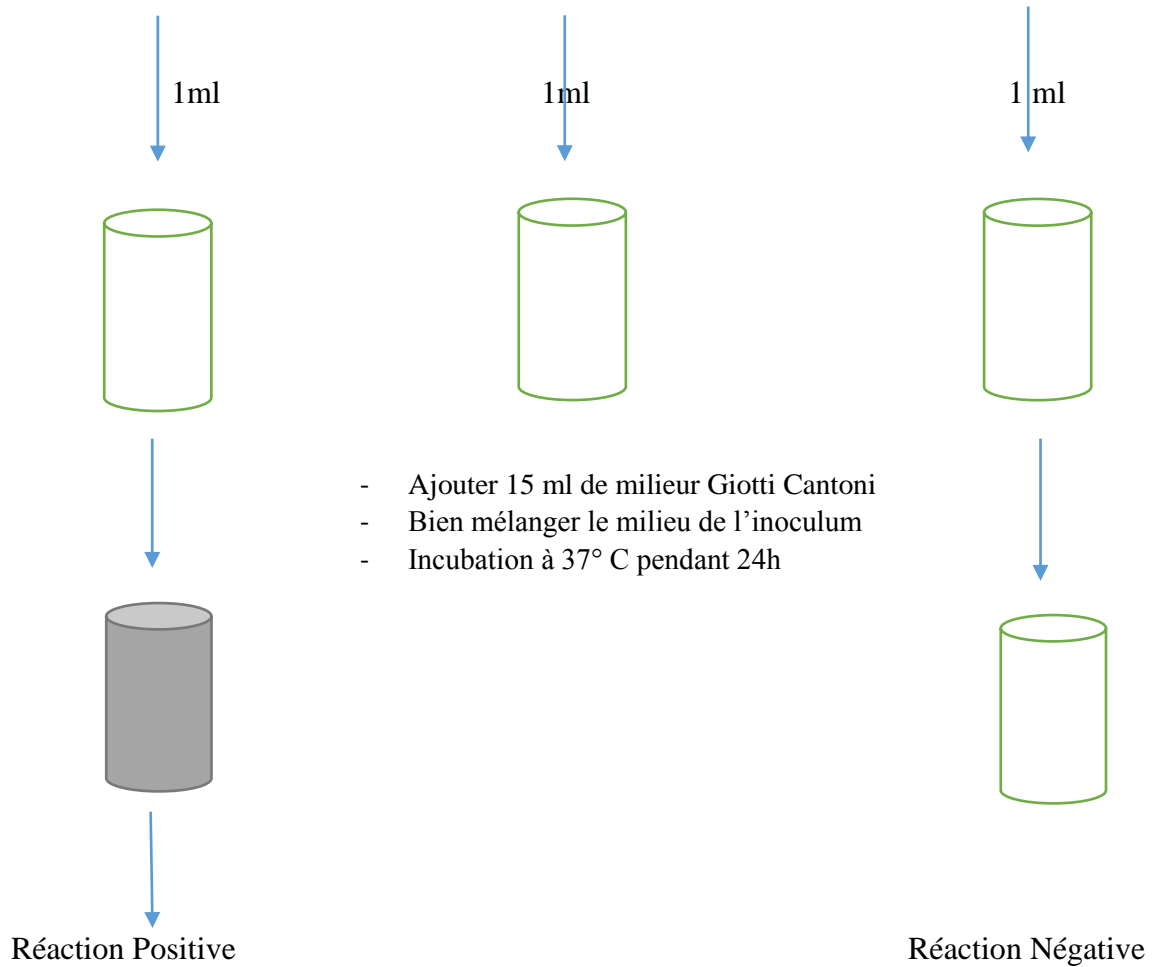


Schéma 2 : Cas des produits liquides

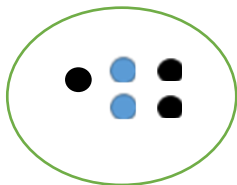


Annexes03 : Recherche de Staphylococcus aureus par la méthode de Giolitti Cantoni.



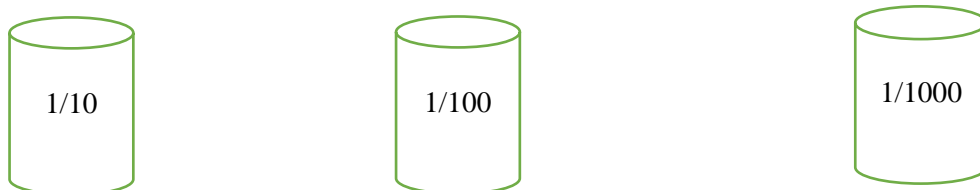


Isolement sur Gélose Chapman
A 37°C pendant 24h

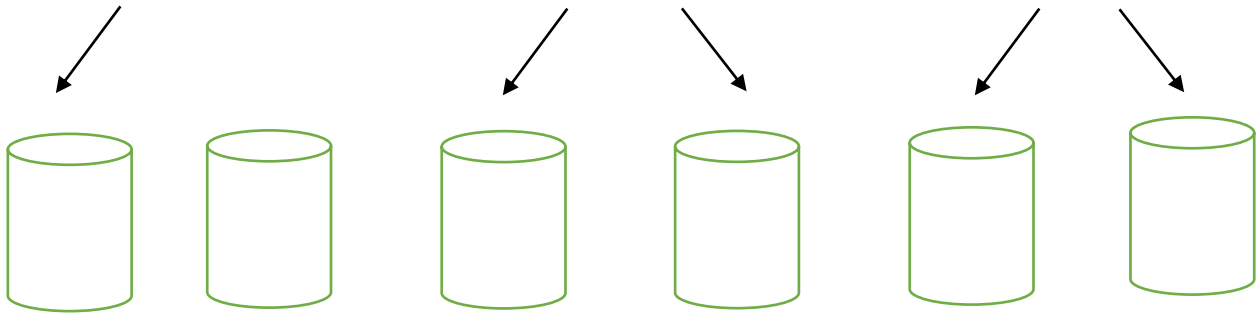


Dénombrement

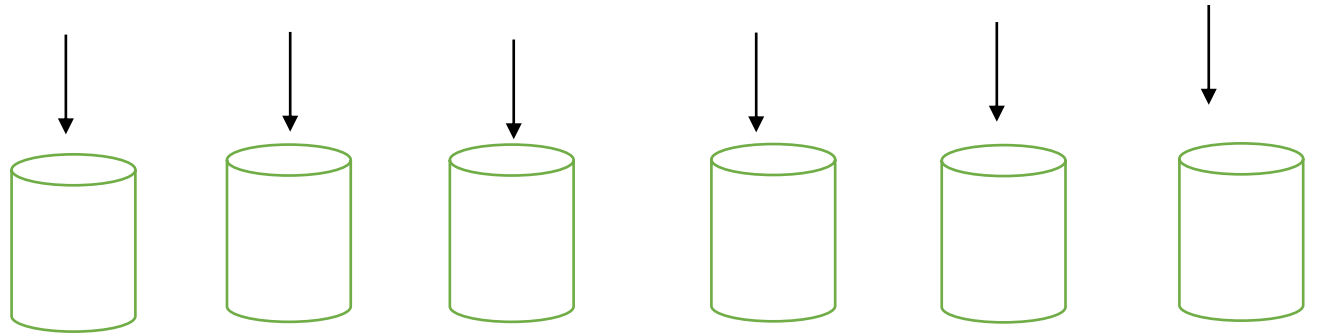
Annexe 04 : Recherche des Spores de Clostridium Sulfito – Réducteur



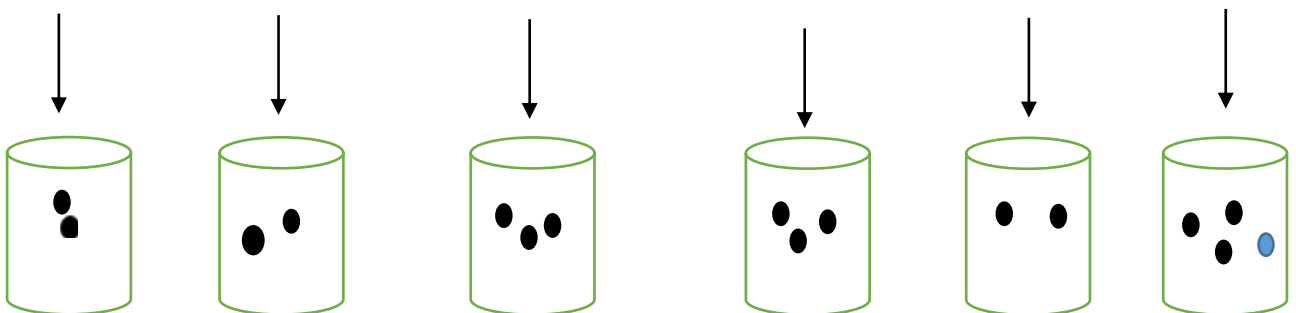
Chauffage à 80° pendant 8 à 10 minutes, refroidissement rapide



Ajouter 15ml de gélose V.F. par tube



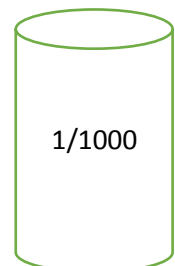
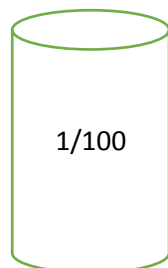
Incubation à 37°C, lecture après 16h, 24h et 48h

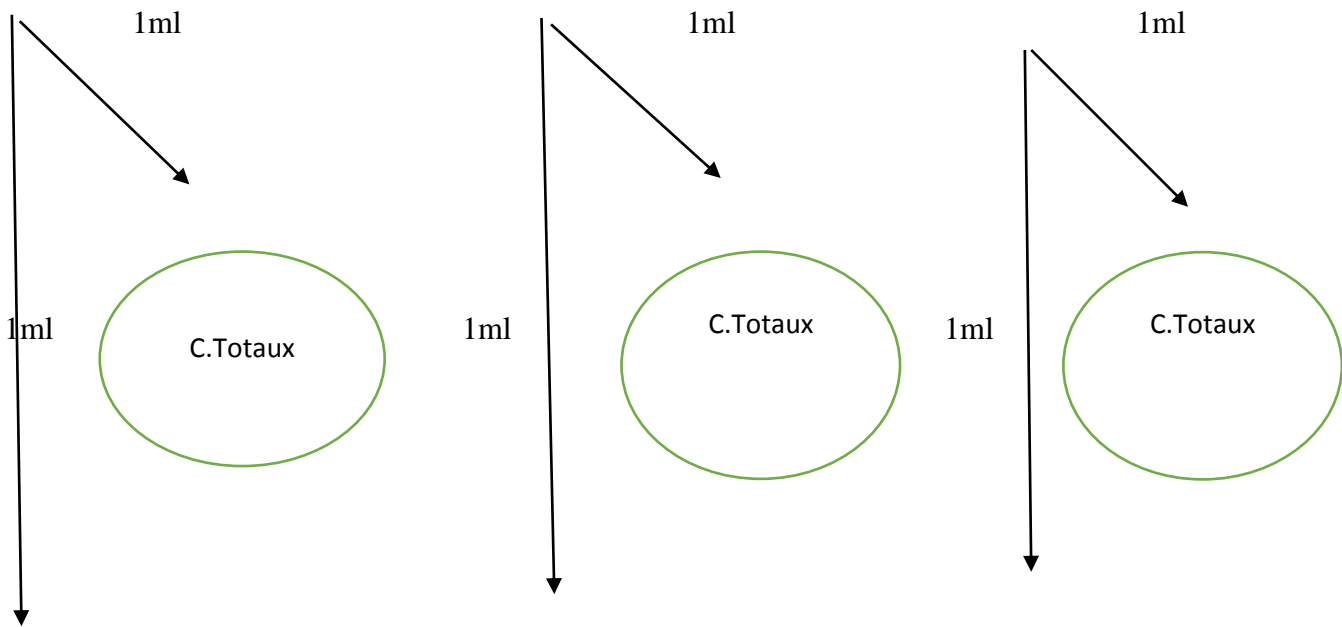


Dénombrement des colonies noires en masse, Identification.

Annexe 05 : Recherche des Coliformes en milieu solide à partir des dilutions décimales.

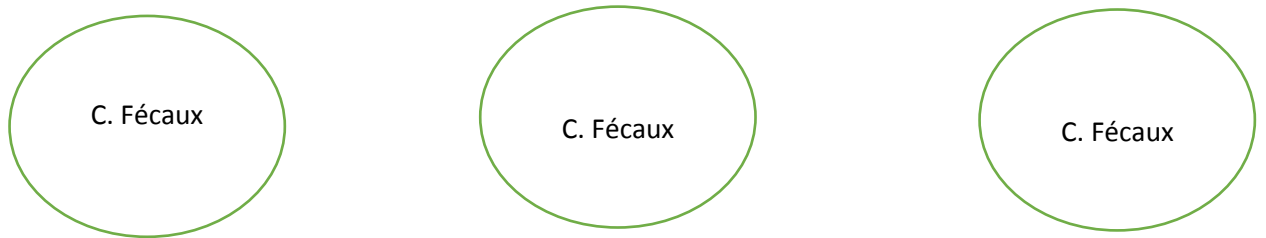
A partir des dilutions décimales.





Première série de boîtes à incuber à 37°C, 24 à 48heures

Ajouter 15 ml de Gélose Désoxycholate

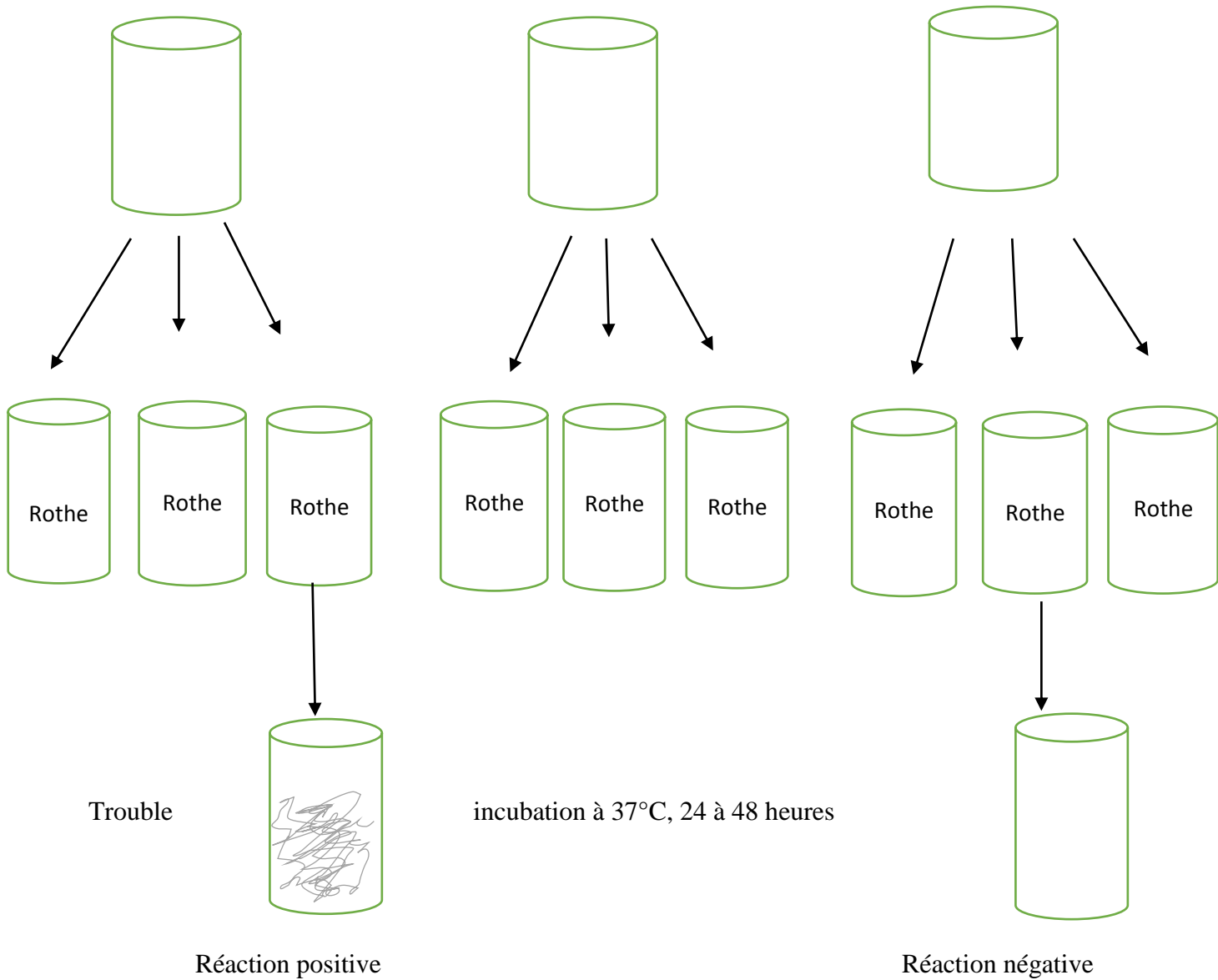


Deuxième série de boîtes à incuber à 44°C, 24 à 48 heures

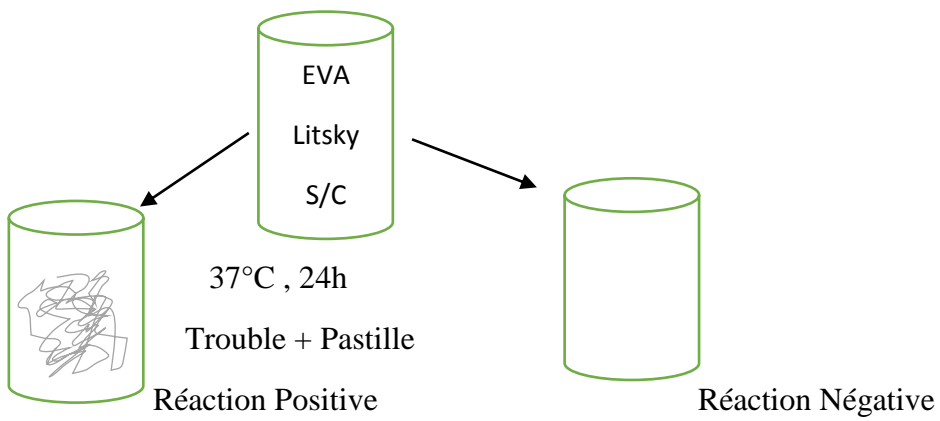
Ajouter 15 ml de Gélose Désoxycholate

Annexe 06 : Recherche des Streptocoques Fécaux

Test de Présomption



Test de confirmation



Annexe 07 : Table de Mac Grady pour dénombrements microbiens en milieu liquide

Nombre de tube positifs dans chacune des 03 dilutions consécutives	Nombre de germes
000	0,0
001	0,5
010	0,5
011	0,9
020	0,6
100	0,6
101	1,2
110	1,3
111	2,0
120	2,0
121	3,0
200	2,5
201	5,0
210	6,0
211	13,0
212	20,0
220	20,0
221	70,0
222	110,0

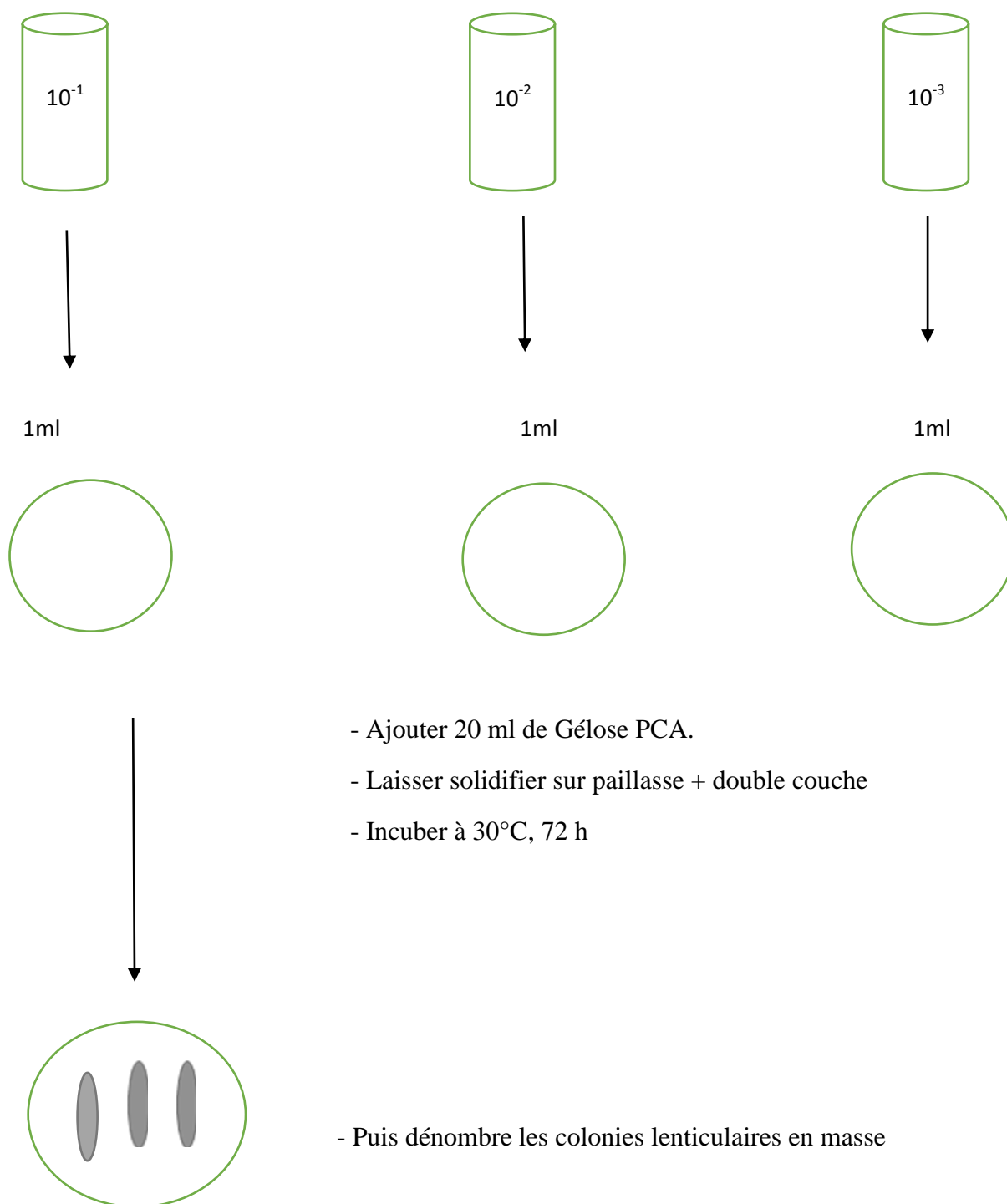
Nombre caractéristique :

0 : Aucun tube n'est positif

1 : Un tube positif

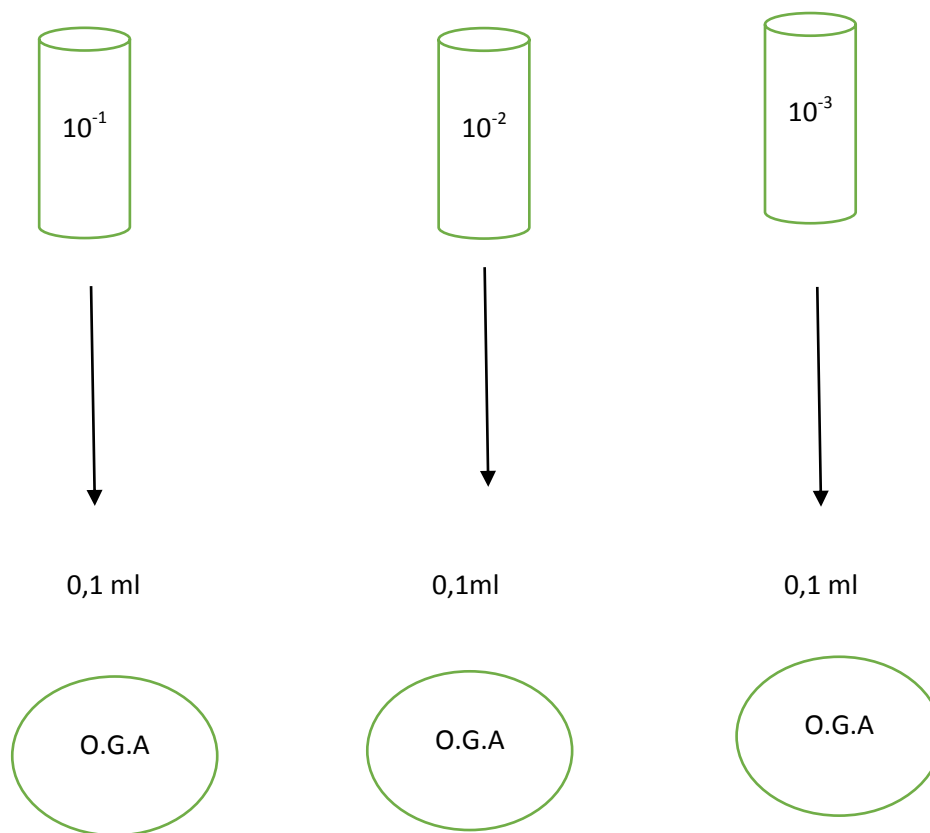
2 : Deux tubes positifs

Annexe 08 : Recherche des Germes Aérobie Mésophiles Totaux



Annexe 09 : Recherche et dénombrement des levures et moisissures.

A partir des dilutions décimales



- Etaler l'inoculum à l'aide d'un râtelier stérile en verre.
- Incuber à 22°C, 24 h, 48 h, 5 jours