

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**

**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département des sciences Agronomiques**



**Mémoire de fin d'étude**  
**En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Science alimentaire**  
**Spécialité : Agroalimentaire et contrôle de qualité**

***Thème***

**Réduction de l'impacte de la pollution du lactosérum  
par sa valorisation comme substitution d'eau dans la  
formule de fromage fondu**

**Réalisé par :**

**HASDANE Meriem et KACI Fatma**

**Membres de jury :**

**Président : M<sup>r</sup> HOUALI K. Professeur**

**Promoteur : M<sup>r</sup> SEBBANE H. Maitre de conférences classe (B) à L'UMMTO**

**Examineur : M<sup>r</sup> MSELA A. Maitre de conférences classe (B) à L'UMMTO**

**2021-2022**

## *Remerciement*

Nous remercions le bon Dieu de nous avoir offert la vie, la foi et la force pour aller de l'avant et être la fierté de nos proches.

Nous tenons à exprimer notre remerciement respectueux et profonde reconnaissance à notre encadreur **M<sup>r</sup> SEBBANE H.** Maitre de conférences classe (B) à L'UMMTO pour toute votre gentillesse, votre disponibilité à toute épreuve, vos conseils et surtout votre confiance qui nous a permis d'exprimer nos compétences durant ce travail.

Nous remercions aussi les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer et de juger ce travail et pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant de présider ce modeste travail, tout particulièrement **M<sup>r</sup> HOUALI K.** Professeur à L'UMMTO ainsi **M<sup>r</sup> MSELAA.** Maitre de conférences classe (B) à L'UMMTO examinateur du jury.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à tous les enseignants de département des Sciences Agronomiques qui, par leur enseignement, leur contribution dans notre formation de nos cursus universitaire.

Enfin, nous tenant également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## *Dédicace*

À ce moment de bonheur, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail:

À

Les plus chers personnes dans ce monde ma mère **FERROUDJA** et mon père **HAMID** pour leurs sacrifices et soutiens qu'ils ont entrepris afin de me voir réussir. Je les remercie pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué, pour leur présence permanente et leur disponibilité tout au long de ma vie.

Je prie, Dieu le tout puissant de vous protéger et de vous procurer santé, bonheur et longue vie.

À très chères sœurs **RYMA** et **KATIA**

À mon cher frère **KACI**

Dieu vos apporte et vos aide à réaliser tous vos vœux.

À la mémoire de ma défunte grand-mère **YAMINA** ;

Que dieu l'accueil dans son vaste paradis

À toute la famille **KACI**

À mon binôme et amie **MERIEM** avec qui j'ai partagé les moments difficiles.

À tous mes amis proches

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur et de santé.

**FATMA**

## *Dédicace*

À ce moment de bonheur, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail:

À

Les plus chers personnes dans ce monde mon père **Abdellah** et ma mère **Fazia** pour leurs sacrifices et soutiens qu'ils ont entrepris afin de me voir réussir. Je les remercie pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué, pour leur présence permanente et leur disponibilité tout au long de ma vie.

Je prie, Dieu le tout puissant de vos protéger et de vous procurer santé, bonheur et longue vie.

À mes très chères sœurs : **Nassima, Samira, Lamia** et leurs maries **Mouh, Djamel, Lounes**.

Mon cher neveu : **Midou**

Et

Ma nièce : **Mina**

Votre joie, votre insouciance me comble de bonheur. Puisse dieu vous garde et éclaire votre chemin.

À mes chers frères : **Mohammed** et **Nabil**

Dieu vos apporte et vos aide à réaliser tous vos vœux.

À mon binôme et amie **FATMA** avec qui j'ai partagé les moments difficiles.

À ma meilleure amie **Safia** qui ma toujours aidé et encouragé

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur et de santé.

**MERIE M**

# Sommaire

Résumé	
Abstract	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction.....	1

## Synthèse bibliographique

### Chapitre I. Fromage

I.1.Historique.....	3
I.2. Définition.....	3
I.3. Composition du fromage.....	4
I.4. Technologie de fabrication.....	5
I.4.1. Étapes principale de fabrication.....	5
I.4.1.1. Coagulation du lait.....	6
I.4.1.1.1. Coagulation acide.....	6
I.4.1.1.2. Coagulation par présure.....	6
I.4.1.2. Égouttage.....	7
I.4.1.3. Salage.....	8
I.4.1.4. Affinage.....	8
I.5. Grandes familles des fromages.....	9
I.6. Fromage fondu.....	10
I.6.1. Historique.....	10
I.6.2. Définition.....	10
I.6.3. Principaux avantages du fromage fondu.....	10
I.6.4. Différent types du fromage fondu.....	11
I.6.5. Caractéristiques nutritionnelles du fromage fondu.....	12
I.6.5.1. Valeur nutritionnelle.....	12
I.6.5.2. Composition.....	12
I.6.6. Technologie de fabrication du fromage fondu.....	15
I.6.6.1. Ingrédient.....	15
I.6.6.2. Préparation.....	19

## **Chapitre II. Lactosérum**

II.1. Historique.....	24
II.2. Définition.....	24
II.3. Types du lactosérum.....	25
II.3.1. Lactosérum doux.....	25
II.3.2. Lactosérum acide.....	25
II.4. Composition.....	26
II.4.1. Eau.....	26
II.4.2. Lactose.....	26
II.4.3. Élément minéraux.....	27
II.4.4. Vitamine.....	27
II.4.5. Matière grasse.....	27
II.4.6. Protéine.....	28
II.5. Source industrielle du lactosérum.....	28
II.6. Valorisation du lactosérum.....	29
II.6.1. Effet polluant du lactosérum.....	29
II.6.2. Intérêt de valorisation du lactosérum.....	30
II.6.3. Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles du lactosérum.....	31
II.7. Domaines d'utilisation du lactosérum.....	32
II.8. Bienfaits du lactosérum sur la santé humaine.....	34

## **Etude expérimentale**

### **I. Matériel et Méthode**

Problématique et objectif d'étude.....	36
I.1. Matériel.....	38
I.2. Méthodes.....	39
I.2.1. Origine du lactosérum.....	39
I.2.2. Valeur nutritionnelles et caractéristiques physico-chimiques de produit fini.....	40
I.2.3. Méthode de simulation de la valorisation du lactosérum.....	41
I.2.3.1. Principe du calcul par logiciel Excel.....	41
I.2.3.2. Modèle mathématique adopté.....	41
I.2.4. Diagramme de fabrication du fromage fondu.....	47
I.2.5. Analyses physico-chimiques.....	48
I.2.5.1. Analyse des paramètres physico-chimiques des matières utilisées.....	48

I.2.5.1.1. Préparation des échantillons pour le dosage de lactose et protéines.....	48
I.2.5.1.2. Dosage du lactose en utilisant l'acide 3,5 dinitrosalicylique (DNS).....	49
I.2.5.1.3. Dosage des protéines par la méthode de Lowry (1951).....	51
I.2.5.1.4. Détermination des paramètres physico-chimiques des matières premières utilisées et des produits finis .....	53
I.2.6. Étude de l'activité antioxydant.....	57
I.2.7. Analyse sensorielle.....	67

## **II. Résultats et discussions**

II.1. Résultats des analyses physico-chimiques de la matière première.....	68
II.2. Résultats de la simulation.....	71
II.2.1. Détermination des quantités de matières premières dans les deux formules de fromage à fabriqué.....	71
II.2.2. Etude comparative des résultats physico-chimiques (simulation et pratique) des deux produits finis.....	73
II.2.3. Résultats technico-commerciaux .....	75
II.2.4. Aspect environnemental.....	76
II.3. Résultats des analyses de l'activité antioxydant.....	79
II.4. Résultats de l'analyse sensorielle .....	83
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>86</b>

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

## ❖ Liste des abréviations

- AFNOR : French national organisation for standardisation (Association Française de Normalisation).
- AG : Acide gallique.
- AGS : Acide gras insaturée.
- AA : Acide ascorbique.
- aw : Activité de l'eau.
- BSA : Sérum albumine sérique.
- DBO : Demande biologique en oxygène.
- DCO : Demande chimique en oxygène.
- DNS : Acide 3,5 dinitrosalicylique.
- DPPH : Test de piégeage de radicaux libre.
- EST : Extrait Sec Total.
- FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- F-E : Fromage Eau.
- F-L : Fromage Lactosérum.
- FRAP : Test de réduction de fer.
- G/S : Gras sur Sec.
- GMP : Glycomacropéptide.
- H : Humidité.
- I(%) : Pourcentage d'inhibition.
- Ig : Immunoglobuline.
- JORA : Journal Officiel de la République Algérienne.
- MG : Matière grasse.
- MP : Matière première.
- MS : Matière sèche.
- OMS : Organisation mondiale de la santé.
- TAC ASSAY : Phosphomolybdete.
- $\alpha$ -LA : Lactalbumine.
- $\beta$ -LG : Lactoglobuline.

## ❖ Liste des Figures

- Figure 1 : Mécanisme et différent types de coagulation du lait .....	7
- Figure 2 : Diagramme de fabrication du fromage fondu.....	8
- Figure 3: Composition générale du fromage fondu .....	14
- Figure 4 : Les différents types de sels de fonte .....	17
- Figure 5 : Réaction d'échange d'ions lors de la fonte du fromage fondu .....	18
- Figure 6 : processus d'émulsification lors de cuisson d'un fromage fondu.....	20
- Figure 7 : Les principales étapes de fabrication du fromage fondu .....	23
- Figure 8 : Lactosérum liquide de couleur jaune verdâtre.....	24
- Figure 9 : La pollution des cours d'eau par le lactosérum .....	30
- Figure 10 : Dommage du lactosérum sur les espèces aquatiques.....	30
- Figure 11 : la valeur nutritionnelle et les propriétés fonctionnelles du lactosérum .....	31
- Figure 12 : Domaines d'usage du lactosérum .....	33
- Figure 13 : Diagramme d'obtention du lactosérum issu d'une fromagerie industrielle de Tizi-Ouzou .....	39
- Figure 14:Diagramme de fabrication de fromage fondu à base d'eau et fromage à base de lactosérum au niveau de laboratoire pédagogique à l'UMMTO.....	47
- Figure 15 : Courbe étalon de dosage du lactose par l'acide DNS à partir d'une solution de 10mg/ml de lactose.....	50
- Figure 16: Courbe étalon de dosage des protéines par la méthode de Lowry et <i>al</i> , (1951) .....	52
- Figure 17:Butyromètre Gerber à fromage et à lait .....	53
- Figure 18 : Dessiccateur infrarouge .....	55
- Figure 19 : pH-mètre .....	56
- Figure 20 : Protocole de dosage des polyphénols totaux .....	59
- Figure 21 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des poly phénols totaux .....	59
- Figure 22 : Solution contenant le radical DPPH avant et après addition de l'échantillon à tester .....	60
- Figure 23: Protocole de piégeage des radicaux libres DPPH.....	61
- Figure 24 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour le DPPH .....	62
- Figure 25 : Réaction redox pour le complexe ferrique dans le test FRAP.....	62

- Figure 26: Protocole de test de la réduction du fer..... 64
- Figure 27: courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour la FRAP..... 65
- Figure 28 : Protocole de dosage de Phosphomolybdete..... 66
- Figure 29: Courbe d'étalon d'acide ascorbique pour le test Phosphomolybdete..... 66

## ❖ Liste des tableaux :

- Tableau I : Moyennes globales pour la composition du fromage.....	4
- Tableau II : Composition nutritionnelles selon le de fromage (g/100 g de fromage ou en % de la matière sèche.....	5
- Tableau III : Influence des sels de fontes sur la qualité physico-chimique et organoleptique du fromage fondu.....	19
- Tableau IV : Les différents types du lactosérum.....	25
- Tableau V : Composition moyenne des deux types du lactosérum (doux et acide) ...	26
- Tableau VI : Les quantités des principales vitamines présentes dans le lactosérum...	27
- Tableau VII : Les propriétés et les fonctions biologiques des protéines du lactosérum .....	28
- Tableau VIII : Matériel utilisé dans la partie expérimentale.....	38
- Tableau IX : Caractéristiques physico-chimiques fixées du produit fini à fabriquer .....	40
- Tableau X : Tableau récapitulatif de la production national du fromage.....	43
- Tableau XI : Analyses physico-chimiques des matières premières et des produits finis.....	48
- Tableau XII : Gamme d'étalon pour le dosage de lactose .....	49
- Tableau XIII : La gamme d'étalon de BSA.....	51
- Tableau XIV : la gamme d'étalon suivi pour faire la courbe d'étalonnage d'acide gallique.....	58
- Tableau XV: préparation de la gamme d'étalon de l'acide ascorbique.....	60
- Tableau XVI: Préparation de la gamme des dilutions de l'acide ascorbique.....	63
- Tableau XVII : Résultats des paramètres physico-chimique des matières premières .....	70
- Tableau XVIII : La composition les et quantités des matières premières à utiliser dans la formule-eau et la formule- lactosérum pour 100g de fromage fondu .....	72
- Tableau XIX : Résultats des analyses et de la simulation physico-chimiques des deux produits finis (formule-eau et formule-lactosérum).....	74
- Tableau XX: Coût de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum .....	75

-	Tableau XXI : Estimation du pourcentage d’amortissement de matière première (MP).....	76
-	Tableau XXII:Estimation des quantités annuelles du lactosérum régénérée et de fromage produit en Tonnes.....	77
-	Tableau XXIII : Pollution humaine causée par 1L du lactosérum/1EH.....	78
-	Tableau XXIV: Quantités élémentaires annuelle récupérer par lactosérum(Tonnes) .....	79
-	Tableau XXV : Teneur en moyenne des polyphénols totaux dans les produits finis .....	80
-	Tableau XXVI: Résultats de test de l’activité antioxydante DPPH et FRAP.....	81
-	Tableau XXVII : Évaluation de la teneur en TAC ASSAY dans les produits finis .....	82
-	Tableau XXVIII : Résultats de l’analyse sensorielle.....	84

# Résumé

## Résumé

Le lactosérum est un sous-produit de l'industrie fromagère, caractérisé par sa richesse en élément nutritif de haute valeur. Cet effluent constitue une perte économique énorme avec des effets néfastes sur l'environnement s'il n'est pas valorisé, car il est riche en matière organique. Ce travail vise à exploiter le lactosérum et à réduire son pouvoir polluant en le valorisant comme substituant d'eau dans la fabrication du fromage fondu. Un modèle mathématique sur Excel est élaboré afin de déterminer les proportions du lactosérum et les ingrédients impliqués dans cette formulation. Les résultats physico-chimiques des produits finis sont conformes aux normes en vigueur. Ces résultats montrent qu'il n'y a pratiquement pas de différence entre les simulations théoriques et les fromages fondus fabriqués (à base d'eau et au lactosérum). Ces résultats ont permis de valider le modèle de simulation adopté. Les résultats de l'analyse sensorielle des deux fromages ont révélé une appréciation des dégustateurs du fromage fondu au lactosérum par rapport au fromage fondu standard (à base d'eau). L'étude de l'activité antioxydante des deux produits finis a montré que le fromage fondu au lactosérum possède un pouvoir antioxydant important par rapport au fromage fondu-eau. Au vu des résultats obtenus, il apparaît que l'aboutissement de ce travail et la concrétisation pratique de ce genre d'étude vont avoir des impacts positifs : sur le modèle économique algérien (par la réduction des importations des matières premières laitières), environnemental (réduction de la pollution du lactosérum) et sur la préservation des ressources hydrique qui se raréfient ces dernières années (en substituant l'eau par le lactosérum) pour générations à venir.

**Mots clés :** Activité antioxydant, Analyse Physico-chimique, Fromage fondu, Lactosérum, Modèle mathématique, Pollution, Sensorielle, Valorisation.

## Abstract

Whey in common represents a by-product of the cheese industry, characterized by its high nutrient value. This effluent constitutes an enormous economic loss with adverse effects on the environment if not valorized, since it is rich in organic matter. This work aims at exploiting whey and reducing its polluting power by employing it as a water substitute in the manufacture of processed cheese. A mathematical model on Excel is developed to determine the proportions of whey and the ingredients involved in that formulation. The physicochemical results of the finished products are in conformity with the standards in force. These results show there is practically no difference between the theoretical simulations and the manufactured processed cheeses (water-based and whey-based). The results allowed the validation of the adopted simulation model. The results of the sensory analysis of the two cheeses revealed an appreciation of the whey processed cheese by the tasters compared to the standard processed cheese (water-based). The study of the antioxidant activity of the two finished products showed the whey processed cheese possesses a significant antioxidant power compared to the water processed cheese. In view of the results obtained, it appears that the outcome of this work and the practical realization of this type of study will have beneficial impacts: on the Algerian economic model (by reducing imports of dairy raw materials), environmental (reduction of pollution of whey) and on the preservation of water resources that are becoming scarce in recent years (by substituting water with whey) for the next generations.

**Key words:** Antioxidant activity, Physicochemical Analysis, Processed cheese, Whey, Mathematical model, Pollution, Sensory, Valuation.

# **Introduction**

# Introduction

---

L'évolution de secteur agroalimentaire, l'amélioration des rendements fromagers, l'émergence de la notion de qualité et le développement industriel ont des répercussions négatives sur l'environnement. Parmi les industries les plus actives dans le monde, c'est celle des produits laitiers et ses dérivés. L'industrie fromagère s'inscrit parmi les plus polluantes en raison des grandes quantités de sous-produits rejetés dans la nature, en particulier le lactosérum. Ce dernier occupe une place importante dans la liste des polluants et qui pose un sérieux problème environnemental.

Le fromage et le lactosérum sont des produits découverts il y a plus de 3000 ans avant Jésus-Christ, par des Bédouins lors du transport du lait : l'acidification et la coagulation par la chaleur, provoquant la formation d'une phase solide "fromage" et une phase liquide "lactosérum" (De Witt, 1981).

Le lactosérum est le principal sous-produit de l'industrie laitière, du fait de sa richesse en éléments nutritifs. Il est devenu avec le temps une source importante de composés actifs et inégaux en termes de nutrition et de fonctions techniques, comme le lactose, les protéines solubles, les vitamines hydrosolubles, les matières grasses et les éléments minéraux (Benaissa, 2018). Ce qui le rend un excellent milieu de culture pour les microorganismes. En effet, sa biodégradabilité fait de lui un facteur de pollution redoutable en raison de sa forte demande en oxygène, ceci appauvrit l'oxygène dissous dans l'eau et réduit la vie aquatique. C'est ainsi que sa valorisation permet de réduire au maximum sa pollution (Agnès, 1986).

Les fromages sont des produits précieux d'une grande valeur nutritionnelle et de haute qualité gustative. Ils jouent un rôle important dans l'alimentation humaine, car ils sont très riches en éléments nutritifs (Feinberg et *al.*, 1987). Le fromage constitue une forme ancestrale de conservation des protéines, de la matière grasse, ainsi que d'une partie du calcium et du phosphore, dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées dans chaque régions du globe (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).

Selon CNIS 2015, les fromages les plus produits et les plus consommés en Algérie sont les fromages fondus. La quantité consommée a été de 101 273 tonnes en 2015 soit une

# Introduction

---

moyenne de 2,51kg/an/habitant. Malgré l'immense diversification des types de fromage dans le marché, les fromages fondus en portions ressortent avec une meilleure prédilection du consommateur Algérien au dépend des autres types de fromage qui sont considérés comme des produits de luxe (Chemache, 2011).

Cependant, notre pays rejette, actuellement la totalité du lactosérum produit par les industries laitières en raison du manque de moyens « C'est plus facile de le jeter que de le récupérer », ce qui pose un sérieux problème du point de vue écologique et économique.

L'objectif de notre travail est centré en premier lieu sur une partie bibliographique consacrée pour le fromage, fromage fondu et du lactosérum. La deuxième partie ayant pour objectif, la préparation d'un fromage fondu tout en substituant la quasi-totalité de l'eau par le lactosérum sans modifier les caractéristiques physicochimiques du produit fini. Cette partie a pour objectif la réduction des importations des matières premières, de préserver les ressources hydriques et de protéger l'environnement. La partie pratique s'articule sur :

- La détermination des caractéristiques physico-chimiques (matière grasse, extrait sec total, humidité, pH, lactose, protéine) des matières premières (Fromage, poudre du lait P<sub>26</sub> et P<sub>0</sub>, lactosérum) et produit finis (Fromage fondu de référence et ceux à base du lactosérum) ;
- Le développement d'un modèle mathématique sur Excel pour réaliser les deux simulations tout en se basant sur l'extrait sec total (EST) et définir les taux d'incorporation de chaque ingrédient impliqué dans les deux formules ainsi que la quantité du lactosérum qui va remplacer l'eau dans la nouvelle formule ;
- Une comparaison entre la simulation adoptée théoriquement et celle obtenue pratiquement ;
- L'étude de l'activité antioxydant du fromage fondu à base d'eau et celui à base du lactosérum et faire une comparaison ;
- Une séance de dégustation est réalisée pour étayer et évaluer le degré d'appréciation des deux fromages fondus préparés : fromage fondu standard à base d'eau et fromage fondu à base du lactosérum.

# Etude bibliographique

# **Chapitre I : Le fromage**

# Chapitre I. Le fromage

---

## I.1. Historique du fromage

La naissance du fromage remonte à la nuit des temps, ce qui a favorisé l'apparition et la transmission de récits légendaires sur les fromages décrits dans la nouvelle discipline émergente, l'histoire de l'alimentation (Gillis et Ayerbe, 2018).

Le mot 'fromage' vient du latin *formaticus* signifiant 'Ce qui fait dans une forme'. Cependant, l'origine exacte de la transformation du lait en fromage est incertaine (Gelai et Tirard, 2002). Le fromage est l'une des formes les plus anciennes d'aliments manufacturés, leur fabrication remonte à 10 000 ans avant Jésus-Christ, lorsque les moutons et les chèvres ont été domestiqués au Moyen Orient (Fox et *al.*, 1995). En Europe et en Asie centrale, un phénomène de coagulation du lait est observé pour la première fois lors du transport de ce dernier dans des sacs en peau de bête, ce phénomène a été à l'origine de la découverte du fromage et ses variétés (Walther et *al.*, 2008).

## I.2. Définition du fromage

Selon la norme **FAO/OMS n° A-6 (1978, modifiée en 1990)** le fromage a été défini comme suit :

«Le fromage est le produit frais ou affiné, solide ou semi-solide, dans lequel le rapport protéines de lactosérum/caséine n'excède pas celui du lait, obtenu :

- Par coagulation du lait, lait écrémé, lait partiellement écrémé, crème de lactosérum ou babeurre, seul ou en combinaisons, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés, et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation ;
- par l'emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation du lait et/ou des matières obtenues à partir de lait, présentant des caractères physiques, chimiques et organoleptiques similaires à ceux du produit défini plus haut».

# Chapitre I. Le fromage

## I.3. Composition du fromage

La composition du fromage dépend de celle du lait (vache, chèvre, brebis...), comme le montre le tableau suivant :

**Tableau I** : Moyennes globales pour la composition du fromage (Politis *et al.*, 1988).

Fromage	(%)	PDM
Solide totaux	61,00	3,47
Matière grasse	29,51	4,94
Protéines	24,86	2,89
Sel	1,43	26
MNFS	55,32	3,25
S/M	3,75	66
FDM	48,38	6,97
PDM	40,75	5,52

**Légende** : MNFS : humidité par apport à la matière non grasse ; S/M : sel dans la phase aqueuse du fromage ; FDM : matière grasse dans la matière sèche ; PDM : protéines dans MS.

Cette composition est variable selon la qualité des matières premières utilisées et la technologie de fabrication suivie, comme le montre le tableau mentionné ci-dessous :

## Chapitre I. Le fromage

**Tableau II** : Composition nutritionnelles selon le type de fromage (g/100 g de fromage ou en pourcentage de la matière sèche) (Renner ,1983 ; Scott et *al.*, 1998).

<b>Fromage Composants</b>	<b>Parmesan</b>	<b>Cheddar</b>	<b>Edam</b>	<b>Cottage cheese</b>	<b>Feta</b>
<b>Eau (g)</b>	18,4	36	43,3	79,9	58
<b>Protéines (g)</b>	36,5	25,4	25,5	14,7	17,8
<b>Lipides (g)</b>	32,7	34,4	25,4	4	21
<b>Cholestérol (µg)</b>	100	100	80	13	70
<b>Energie (Kcal)</b>	452	412	33	98	250
<b>Vitamines (µg)</b>					
<b>Vit A</b>	345	325	175	-	-
<b>Vit D</b>	0,25	0,26	0,19	0,03	0,5
<b>Vit E</b>	700	480	480	80	370
<b>Minéraux (mg)</b>					
<b>Sodium</b>	1090	670	1020	380	1440
<b>Potassium</b>	110	77	97	89	95
<b>Calcium</b>	1200	720	770	73	360
<b>Magnésium</b>	45	25	39	9	20
<b>Phosphore</b>	810	490	530	160	280
<b>Zinc</b>	5,3	2,3	2,2	0,6	0,9
<b>Sulfure</b>	250	230	-	-	-
<b>Chloride</b>	1820	1030	1570	550	2350

### I.4. Technologie de fabrication du fromage

#### I.4.1. les étapes de fabrication du fromage

Le fromage est un produit qui résulte de la concentration sélective du lait tout en suivant une technologie bien déterminée qui comprend essentiellement les trois étapes illustrées ci-dessous:

# Chapitre I. Le fromage

## I.4.1.1. Coagulation du lait

Elle constitue une étape importante dans la préparation du fromage, définie comme étant un phénomène complexe correspond à une déstabilisation de la structure micellaire des caséines du lait. Ce dernier aboutit à la formation d'un gel appelé coagulum ou caillé (El-Bendary et *al.*, 2007 ; Mohamed Ahmed et *al.*, 2010). Le processus de la coagulation est provoqué par l'action d'un coagulant (riche en chymosine) : coagulation enzymatique, ou l'action du pH contrôlée qui correspond à la coagulation acide (Boudjenah, 2012) ou encore par l'action combinée des deux (coagulation mixte) (Vignola, 2002; Fox et *al.*, 2004).

### I.4.1.1.1. Coagulation acide

Elle correspond à la coagulation des caséines à leur point isoélectrique ( $pH_i = 4,6$ ) soit :

- Par acidification chimique (injection de  $CO_2$  ou addition de glucono-delta-lactone comme "additif pour améliorer l'acidification" ou également ajout de protéines sériques à pH acide) (Mahaut et *al.*, 2000).
- Par acidification biologique à l'aide de bactéries productrices d'acide lactique (bactéries lactiques qui transforment le lactose en acide lactique) (Mahaut et *al.*, 2005).

### I.4.1.1.2. Coagulation enzymatique

Cette étape se déroule en deux phases :

#### ➤ Phase primaire

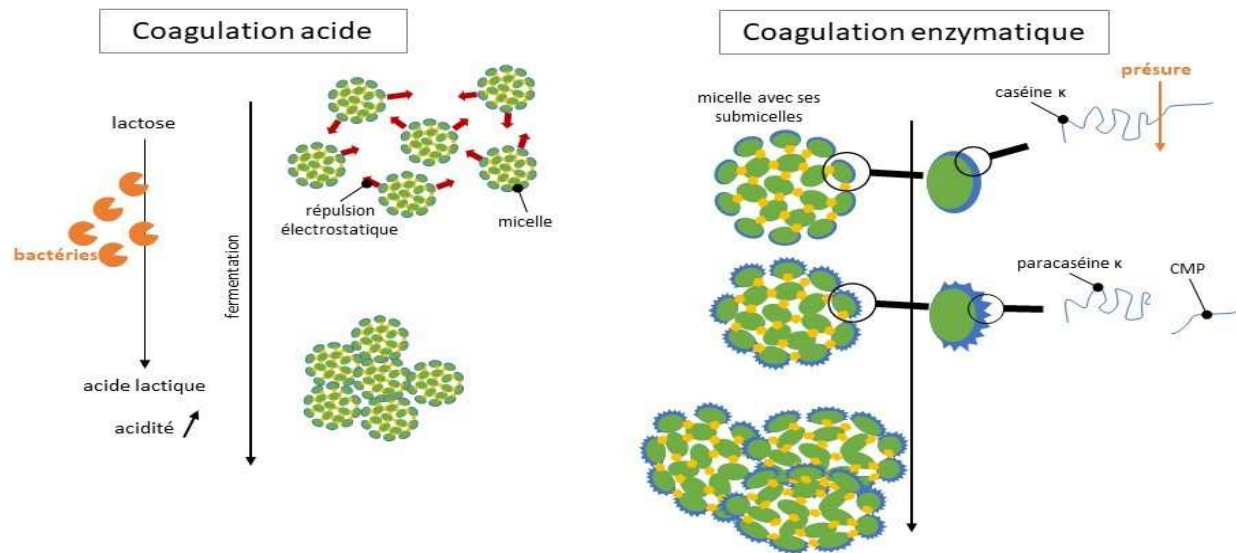
C'est la première phase de la coagulation. Elle correspond à la protéolyse de la caséine K, responsable de la stabilité de la micelle en solution. La chaîne peptidique (PHE 105-MET 106) de la caséine K est divisée en deux segments : la para caséine K et le caséinomacropéptide (CMP) (Glais et Tirard, 2002). Lorsque le CMP est libéré de la surface des caséines et passe dans le lactosérum, il se produit une diminution importante de la charge électrique et de l'hydratation des micelles qui seront par la suite déstabilisées ce qui conduit à leur agrégation.

#### ➤ Phase secondaire

Lors de cette phase, les micelles déstabilisées se rapprochent et se lient par des liaisons hydrophobes pour former un réseau protéique qui retient les globules gras, l'eau et les

# Chapitre I. Le fromage

constituants solubles. Les ions de calcium se regroupent à la partie chargée négativement des micelles, diminuant ainsi les répulsions électrostatiques et favorisent l'agrégation (Iris, 2019). La figure illustrée ci-dessous montre le mécanisme et les différentes voies de coagulation du lait lors de fabrication du fromage (Florian, 2012).



**Figure 1 :** Mécanisme et différent type de coagulation du lait (Florian, 2012).

## I.4.1.1.3. Coagulation mixte

Elle résulte de l'action conjuguée de la présure et de l'acidification lactique. Il consiste à précipiter les caséines à leur pH isoélectrique ( $pH_i = 4$ ) à l'aide des ferments lactiques. Les ferments transforment le lactose en acide lactique (le pH dépend du type de fromage à fabriquer) suivi d'une coagulation enzymatique par addition d'un enzyme coagulant comme la chymosine (Mahaut et *al.*, 2003).

## I.4.1.2. Egouttage

Elle correspond à une évacuation progressive du lactosérum et l'obtention d'une masse de caillé dont l'extrait sec est plus ou moins concentré et qui correspond au fromage formé (Ramet, 1997). Selon deux phénomènes physiques principaux: le phénomène actif consiste à éliminer une grande partie des éléments solubles dans le lactosérum; et un phénomène passif: c'est l'exsudation spontanée du sérum, liée à la perméabilité du coagulum (Alais, 1984).

# Chapitre I. Le fromage

## I.4.1.3. Salage

C'est l'étape qui suit l'égouttage, il s'agit d'incorporation de sel soit par dépôt ou dans la masse ou bien par immersion dans la saumure afin de freiner le développement des micro-organismes et les activités enzymatiques au cours de l'affinage ; d'arrêter l'acidification du caillé et prévenir la déminéralisation excessive de la pâte et enfin de favoriser la bonne conservation du fromage (Eck et Gillis, 1997 ; Mahaut et *al.*, 2003).

## I.4.1.4. Affinage

L'affinage est l'étape qui permet au caillé égoutté de développer les caractéristiques organoleptiques (aspect, la texture, saveur et arôme) du fromage final sous l'action des enzymes (Gelais et Tirard, 2002). La durée de cette étape varie d'une à plusieurs semaines, en fonction du type du fromage et de l'affinage désiré. Le diagramme ci-dessous présente les différentes étapes de fabrication du fromage.

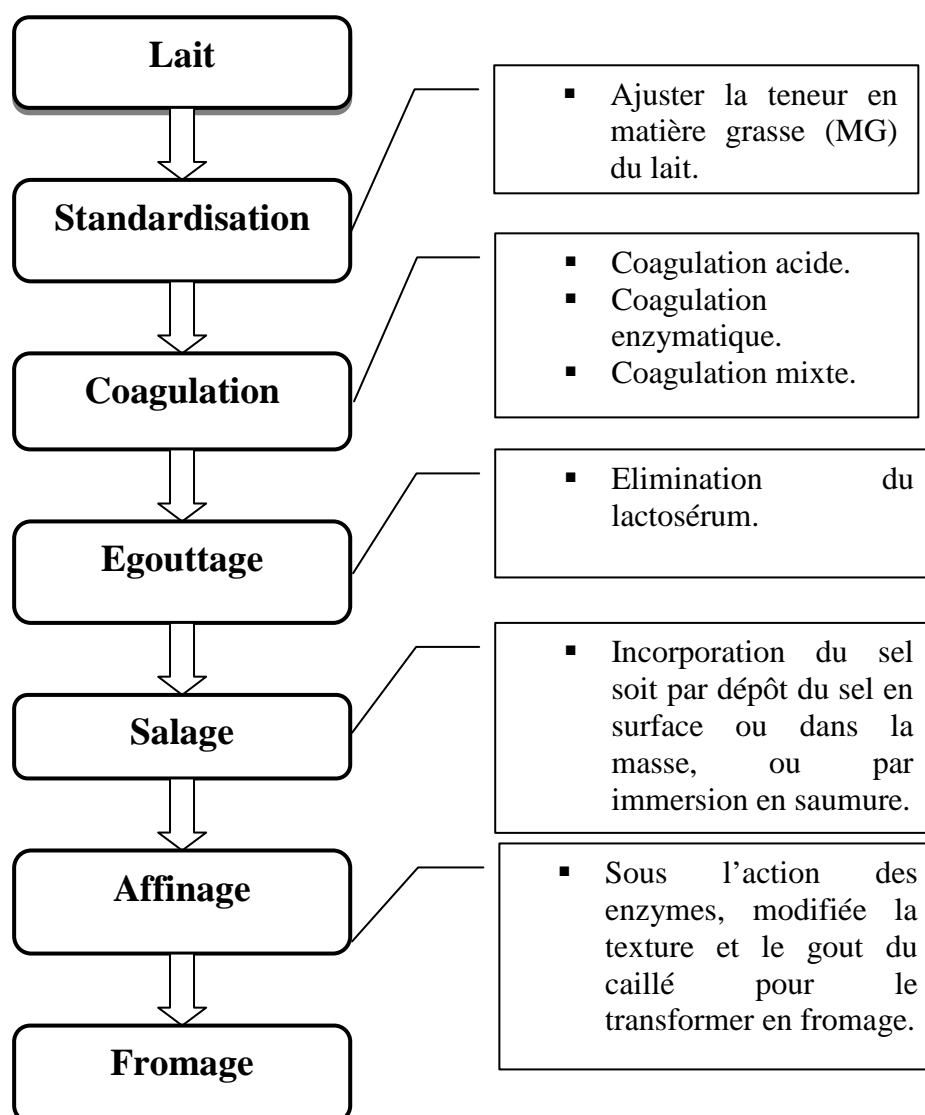


Figure 2 : Diagramme de fabrication du fromage (Garric, 2020).

# Chapitre I. Le fromage

---

## I.5. Classification des fromages

La classification des fromages peut être basée sur : le type du lait utilisé, la technique de fabrication, le mode d'affinage, la teneur en eau, la teneur en matière grasse ou d'autres facteurs. Selon les méthodes de fabrication, les fromages sont classés en six familles (Anonyme 1, 2001).

### I.5.1. Fromages à pâte fraîche

Un produit issu d'une simple transformation du lait en poudre qui est ensuite additionnée de la crème fraîche (Larpen, 1997).

### I.5.2. Fromages à pâte molle

Ces fromages sont affinés ou non, dont la pâte n'est ni cuite ni pressée (Vignola, 2002). Leur taux d'humidité est autour de 50% (Courtine, 1972).

### I.5.3. Fromages à pâte pressée

Ce sont des fromages dont le caillé est pressé après soutirage, puis mis à l'affinage, comprenant deux types : les fromages à pâte cuite et non cuite. Leur taux d'humidité est entre 45% et 50% (Delpal, 2003).

### I.5.4. Fromages à pâte persillée

Ils sont caractérisés par un développement interne de la moisissure *Penicillium roqueforti*, en se développant donne les marbrures vertes ou bleues qui persillent la pâte des fromages (Gouedranche et al., 2002).

### I.5.5. Fromages de chèvre

Ce sont bien des produits frais et extrêmement secs. Peuvent être fabriqués exclusivement à partir du lait de chèvre ou le mélange de matières premières provenant de la chèvre et de la vache (Larpen, 1997).

### I.5.6. Fromages fondus

Ces fromages sont constituées d'un mélange de fromages avec éventuellement d'autres produits laitiers (Fredot, 2006).

# Chapitre I. Le fromage

---

## I.6. Fromage fondu

### I.6.1. Historique

L'existence de certains fromages remonte à plusieurs siècles, par rapport aux fromages fondus qui sont récemment développés. En 1911, deux suisses, Walter Gerber et Fritz Stetter, ont commercialisé le premier fromage fondu en suisse, grâce à leur innovation de procédé de fabrication de ce fromage qui consiste à l'utilisation du citrate de sodium et d'emmental pour avoir une émulsion stable pouvant se conserver longtemps (Berger, 1988). Les dernières années de la première Grande Guerre marquent le début de l'industrialisation des fromages fondus et la première usine européenne fut montée à Dôle en 1917 (Richonnet, 2016).

En 1929, la découverte de Polyphosphate de sodium a permis leur utilisation comme sel de fonte émulsifiante dans la fabrication des fromages fondus aux textures encore plus moelleuse.

### I.6.2. Définition et réglementation

Le fromage fondu est un produit laitier obtenu par le mélange des fromages de différentes origines à différents stades d'affinage avec des sels de fonte. Ce mélange est broyé puis chauffé sous vide partiel sous agitation constante jusqu'à obtention d'une masse homogène lisse et stable conditionnée dans un emballage protecteur. L'incorporation éventuellement ou non d'autres produits laitiers et ingrédients aromatiques permet de réaliser ce fromage (Chambre et Daurelles, 2006).

Sur le plan réglementaire, la dénomination « fromage fondu » est réservée au produit obtenu par la fonte et l'émulsification, à l'aide de la chaleur (à une température d'au moins 70°C pendant 30 secondes ou toute autre combinaison équivalente), de fromage ou d'un mélange de fromages, additionné éventuellement d'autres produits laitiers. Le fromage fondu présente une teneur minimale en matière sèche de 40 % de produit fini. Par dérogation, un fromage fondu allégé en matière grasse et dont la dénomination "fromage fondu" est complétée sur l'étiquetage d'une mention faisant état de cet allègement en matière grasse présente une teneur minimale en matière sèche de 30% de produit fini (JORF, 2013).

### I.6.3. Les principaux avantages du fromage fondu

D'après Eck et Gillis (2006) le fromage fondu présente plusieurs avantages parmi les quels :

# Chapitre I. Le fromage

- Un produit plus stable dû au traitement thermique, ceci lui confère d'excellentes qualités de conservation et de commercialisation à différents climats ;
- Un produit à différentes saveurs et formes, provenant de mélange de différentes matières premières laitières et non laitières ;
- Produit d'une excellente valeur nutritionnelle, une source de calcium et de protéines pour les enfants ;
- Produit aux larges possibilités de présentation, d'usage et d'aromatisation : consommable à tout moment de la journée, à froid comme à chaud, pour le grignotage, le tartinage ou la cuisine.

## **I.6.4. les différents types de fromage fondu**

D'après Boutonnier (2000), ce produit issu de la fonte de fromage peut être regroupé en cinq familles classées par ordre d'apparition sur le marché mondial.

### **I.6.4.1. Fromage fondu type << bloc >>**

C'est le plus ancien des fromages fondus. Le bloc est obtenu par le mélange dans l'emballage formé préalablement, le traitement thermique subi est modéré de manière à conserver au produit fini une élasticité marquée.

Sa stabilité est assurée par sa teneur en matière sèche élevée et il est fondu partiellement ou totalement avec le citrate de sodium (Richonnet, 2016).

### **I.6.4.2. Fromage fondu type << Coupe >>**

Moins ferme que le bloc, il contient 3 à 4 % de moins de matière sèche que le précédent, ce qui le rend plus agréable à la dégustation.

### **I.6.4.3. Fromage fondu type <<Tartinable>>**

C'est le processus de crémage qui permet en partie de régler la consistance du produit fini et de lui conférer une certaine tartinabilité. Ces produits peuvent être aromatisés et conditionnés en emballages souples (portions) ou rigides (pots, barquettes, tubes). Ils existent principalement sous trois formes: La portion aluminium (la plus répandue), la présentation en barquette et, plus marginale, la présentation en tube (Tamime, 2011). Ils peuvent aussi être proposés en produit de goûter, associés avec des crackers ou des biscuits.

# Chapitre I. Le fromage

## **I.6.4.4. Fromage fondu type «Toastable» (pour refonte)**

Originnaire d'Amérique du Nord, il se présente généralement sous forme de tranches adaptées à une utilisation dans les cheese-burger.

Ce produit doit refondre rapidement sans carbonisation superficielle 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 (carraghénanes en général) (Boutonnier, 2000; Roustel, 2014).

## **I.6.4.5. Fromage fondu type «Thermostable»**

Issu d'une demande en extrême-orientale, à l'inverse du précédent, ce fromage fondu subit un crémage très poussé pour ne pas fondre lorsqu'on le soumet à une nouvelle source de chaleur.

Les blocs obtenus sont découpés puis incorporés dans des plats cuisinés à base de légumes ou de poissons. Ces préparations peuvent être appertisées à des températures élevées, et les cubes de fromage fondu doivent rester intacts après la stérilisation (Oliveira et al., 2016; Richonnet, 2016).

## **I.6.5. Caractéristiques nutritionnelles de fromage fondu**

### **I.6.5.1. Valeur nutritionnelle**

Le fromage fondu comporte toutes les caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui le composent. Au cours de son processus de fabrication, le fromage fondu perd certaines quantités en nutriments essentiels et éléments énergétiques et structuraux (lipides, glucides, protéines, minéraux, vitamines...) nécessaires pour avoir un bon équilibre alimentaire et un bon fonctionnement de l'organisme (Chambre et Daurelles, 2006).

### **I.6.5.2. Composition du fromage fondu**

Selon Eck et Gillis (1997), les fromages fondus sont de vrais bâtisseurs de l'organisme avec leurs protéines, sels minéraux et lipides (Figure 03).

# Chapitre I. Le fromage

## **I.6.5.2.1. Eau**

Selon Codex alimentarius (2015), la teneur en matière sèche du fromage fondu varie de 29, 34 et 57% pour les fromages fondus avec une teneur minimale en fromage de 75% pour un rapport G/S allant de  $G/S < 30\%$ ,  $G/S = 30\%$  et  $G/S > 50\%$  respectivement. Alors que pour les fromages fondus avec une teneur minimale en fromage de 51%, la teneur minimale en extrait sec est de 29, 34 et 50% avec un rapport du G/S allant de  $G/S < 30\%$ ,  $G/S = 30\%$  et  $G/S > 50\%$  respectivement. Tandis que pour les fromages fondus tartinable la teneur en matière sèche est de 25, 30 et 40% avec un rapport du G/S allant de  $G/S < 30\%$ ,  $G/S = 30\%$  et  $G/S > 50\%$  respectivement.

L'activité biologique d'eau est primordiale en alimentation car il permet la protection des aliments en contrôlant les détériorations physicochimiques et les activités enzymatiques la multiplication des populations microbiennes. L'activité de l'eau ( $a_w$ ) d'un aliment permet de déterminer sa stabilité, sûreté et sa durée de conservation (Ramesh, 2011).

## **I.6.5.2.2. Protéines**

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

## **I.6.5.2.3. Lipides**

Les lipides sont exclusivement issus des matières grasses laitières apportées par leurs ingrédients : fromage, lait, beurre, crèmes. Ils se présentent sous forme bien émulsionnée, leur digestibilité est optimale et elle est caractérisée par sa richesse en acides gras saturés (AGS) : 60-65% des acides gras (Legrand, 2008).

Les fromages fondus, surtout dans leurs versions allégées, peuvent être de bons choix puisqu'ils apportent environ 22 % de matières grasses, ou 15 % dans les versions allégées, contre 26 % pour les pâtes molles (camembert 20 %) et 28 % pour les pâtes pressées (Crédoc, 2013).

## **I.6.5.2.4. Lactose**

La teneur en lactose dans les fromages fondus est de l'ordre 6,5 à 7g/100g de fromage fondu. Ce lactose a un effet favorable sur la plastification et la structuration du gel, ce qui

## Chapitre I. Le fromage

favorise la tartinabilité du fondu. Cependant, son taux d'incorporation ne doit pas être trop élevé pour éviter l'apparition du goût sucré et les réactions de Maillard, voire la cristallisation du lactose (EFSA, 2010).

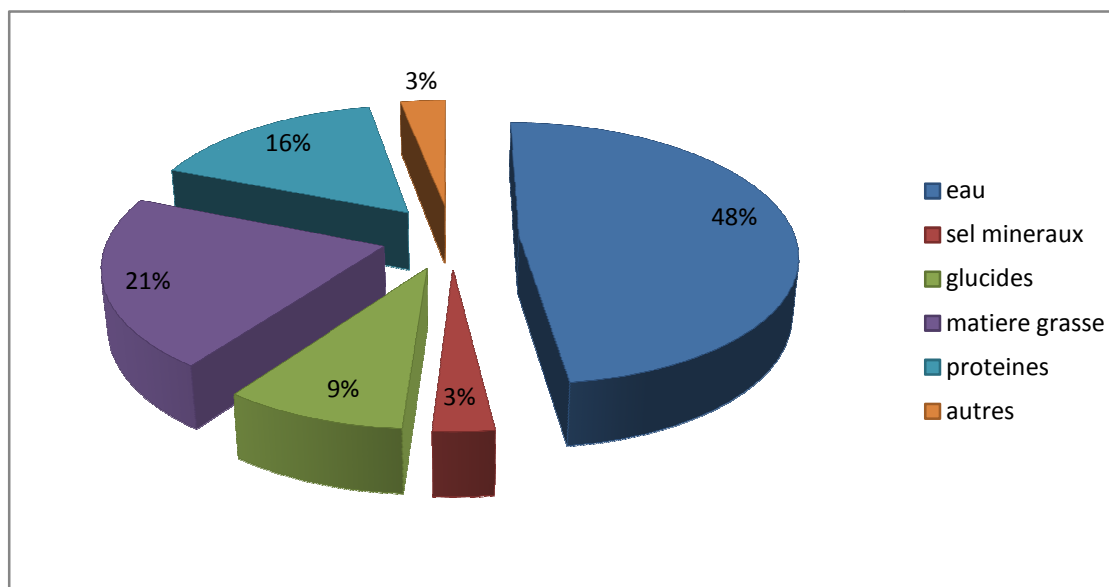
### I.6.5.2.5. Calcium

D'après Fredot (2006), le taux de calcium varie en fonction de la teneur en eau et du mode de fabrication pour le fromage fondu < 150mg pour 100g de produit. Ce fromage est un constituant d'excellente source de calcium qui est bien assimilés par l'organisme humain.

### I.6.5.2.6. Sodium

Le sodium présent dans les fromages fondus sont soit d'origines des fromages ingrédients soit les sels de fontes sodiques soit de chlorure de sodium (sel de table) ajouter lors de la production. Sa teneur dans le fromage fondu est de 737mg à 1600mg (Richonnet, 2016).

Ce sodium présent un rôle au niveau biochimique, microbiologique et organoleptiques en intervenant également sur le développement des saveurs et texture de fromage (Guinee et *al.*, 2004).



**Figure 3:** Composition générale du fromage fondu (Feinbeg, 2002).

# Chapitre I. Le fromage

## I.6.6. Technologie de fabrication

La fonte des fromages est la même pour tous types de fromages mais avec une différence dans certains ingrédients, pour les fromages fondus différentes matières premières sont incorporer dans le processus de fabrication (Eck et Gillis, 1997).

### I.6.6.1. Matière première laitière

Les matières premières d'origine laitière représentent la majeure partie des matières premières utilisées en fonte (Chambre et Daurelles in Eck, 1997).

#### I.6.6.1.1. Fromage de fonte

Généralement, le fromage fondu est fabriqué à partir d'une ou d'un mélange de différents variétés fromagères, souvent affinés et sélectionnés selon leur saveurs, type, maturités, compositions, leur textures et acidités. Ces critères permettent de garantir la fabrication d'un fromage fondu de qualité. Parmi les fromages les plus utilisés: le gruyère, l'emmental et le cheddar (Caric, 2000).

#### I.6.6.1.2. Pré-fonte

Représente un fromage déjà fondu, 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 pré-fonte doit être de bonne qualité texturale. Son rôle est d'accélérer le crémage et stabiliser l'émulsion (Boutonnier, 2000).

#### I.6.6.1.3. Poudre du lait P<sub>26</sub>, P<sub>0</sub> (26%et 0% de MG)

C'est un produit final d'un lait ayant subi une déshydratation par chaleur réduisant son volume et permettant ainsi une longue durée de conservation. Les poudres de lait sont réparties en trois catégories : la poudre de lait entier (26% de MG), la poudre de lait demi-entier (22% de MG), la poudre de lait écrémé (0% de MG) (Carole et Vignola, 2002).

#### I.6.6.1.4. Beurre

Le beurre est une émulsion solide et malléable obtenu par barattage de la crème, du lait ou de ces sous produits. Il contient une teneur élevée en lipides environ 80% avec 15% d'eau. Ce produit est incorporé lors de la production pour ajuster la teneur en MG du produit fini (Jeantet et *al.*, 2008).

# Chapitre I. Le fromage

---

## **I.6.6.1.5. Autres matières laitières**

Selon Fox et *al.*, (2000), d'autres matières premières laitières sont aussi utilisées fabrication de fromage fondu comme les concentrés protéiques laitiers, la poudre de lait, lactosérum, lactose, caséines-caséinates, protéines de sérum, coprécipités, crème.

## **I.6.6.2. Matière première non laitière**

### **I.6.6.2.1. Eau**

L'eau est un paramètre physicochimique jouant un rôle déterminant dans la fabrication de tous les produits alimentaires. La teneur en humidité dans le fromage fondu généralement faible environ 20% à 45% de matière première à cause de l'ajoute des poudres. Cette eau est injectée sous forme de vapeur, qui va solubiliser et disperser les protéines et émulsionner les MG et de manière à éviter toute contamination (Boutonnier, 2000).

### **I.6.6.2.2. Sels de fonte**

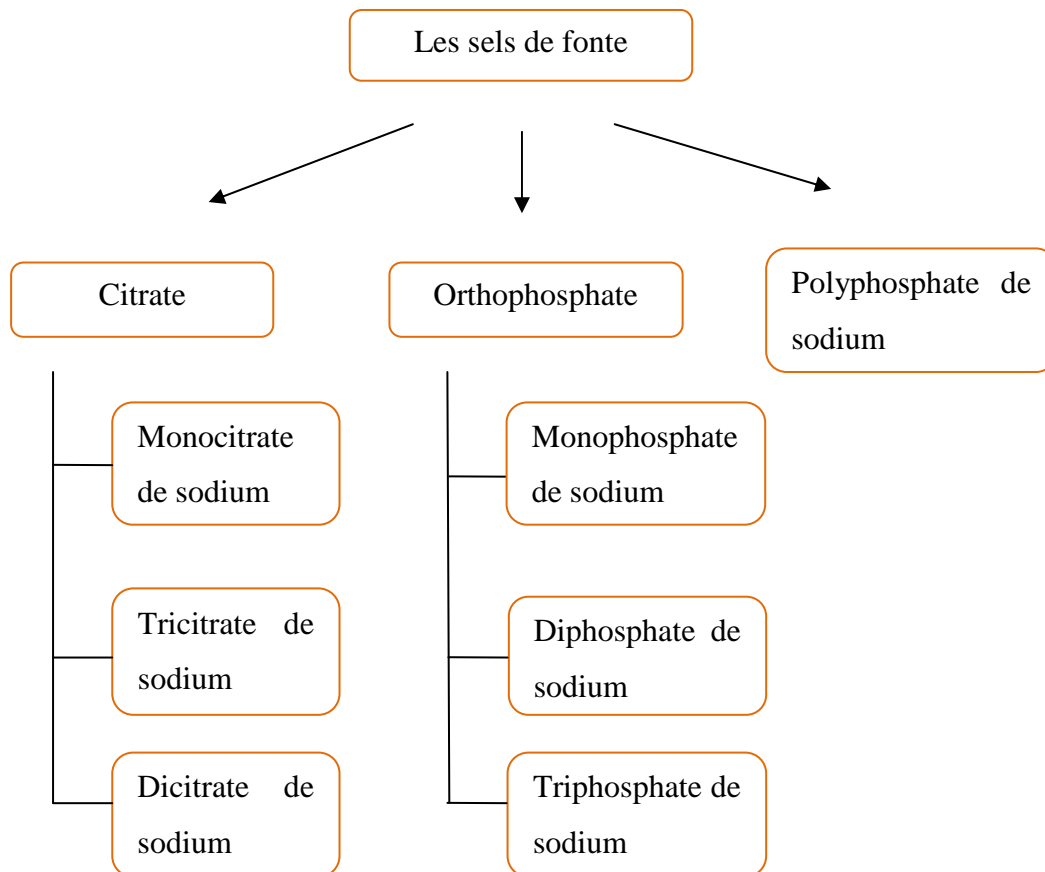
Ce sont des additifs de base employés dans la fabrication du fromage fondu en faible quantité. Ils agissent comme émulsifiants et permettant de donner au produit fini une texture homogène et coulante (Luquet, 1987).

D'après Roustel (2014), les phosphates et les citrates sont pratiquement les sels de fonte utilisés.

#### **1. Différent types de sels de fonte**

Les sels de fonte qui s'influencent sur la qualité du produit fini sont classés en trois groupes (Luquet, 1990)

# Chapitre I. Le fromage



**Figure 4 :** les différents types de sels de fonte selon (Berger, 1985).

## ➤ Citrate

Sont employés généralement en combinaison avec les phosphates dans le but de production de fromage fondu à couper ou en bloc. Ils possèdent à la fois une bonne propriété séquestrant du calcium et un fort pouvoir tampon (Berger, 1985).

Les propriétés de fusion d'un fondu à base de Cheddar sont améliorées par l'emploi de citrate en remplacement de phosphate. Par contre l'utilisation des citrates seuls est délicate quand on veut un fromage fondu à tartiner en raison de leur faible pouvoir crémant (Sutheerawattan et Bastian, 1998).

## ➤ Orthophosphate

Sont surtout utilisés dans la production des fromages fondus tartinables. Ces sels donnent la meilleure émulsion à un pH entre 6 et 6,3 (Berger, 1985).

# Chapitre I. Le fromage

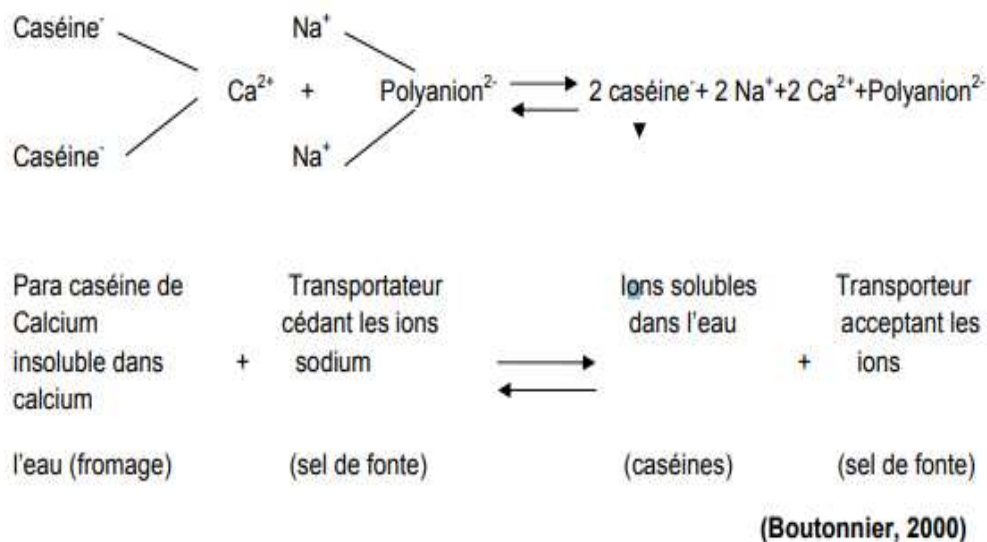
## ➤ Polyphosphate de sodium

Obtenus par réactions chimiques à partir de l'Orthophosphate. Ils se distinguent par leur pouvoir de crémage considérable, c'est un excellent échangeur d'ions (Berger, 1985).

## 2. Propriétés des sels de fonte

Les sels de fonte d'une part permettent de solubiliser la caséine avec formation d'une masse homogène. Ce phénomène est lié à un échange d'ion. En effet le calcium est lié à la caséine et la liaison du calcium bivalent avec les caséines assure au fromage sa nature et une structure ferme. (Boutonnier, 2000)

Pour le fondre, il faut provoquer un échange de calcium avec le sodium monovalent de ce fait l'ajoute d'un mélange des sels de fonte permet une émulsion complète de la masse (figure 5) :



**Figure 5:** Réaction d'échange d'ions lors de la fonte du fromage fondu (Boutonnier, 2000).

D'autre part, les sels de fonte sont utilisés pour modifier le pH du mélange à fondre. La valeur du pH souhaité à obtenir est liée à la texture du fromage. Si la valeur est au dessus de 5, la structure de produit fini devient friable, par contre, si le pH dépasse la valeur 6.5 la structure est molle (Eck et Gillis, 1997).

La modification du pH dépend du degré d'affinage et du pouvoir tampon du fromage et des autres matières premières (Berger, 1985).

Les sels de fonte jouent autres rôles comme indiqué par Chambre *et al.*, (2004) :

# Chapitre I. Le fromage

- Solubilisation des protéines et séquestrations du calcium : la capacité d'un sel de fonte à solubiliser la caséine dépendant essentiellement de sa capacité à échanger le calcium du produit laitier contre le sodium qui contient initialement ;
- Une propriété d'hydrolyse : elle peut être due soit à l'activité enzymatique (action des phosphatases) soit à l'élévation de température ou à l'abaissement du pH. Les Polyphosphate sont stables en solution neutre à température ambiante ;
- Fonction antimicrobienne : il s'agit plutôt d'un effet bactériostatique

**Tableau III** : Influence des sels de fonte sur la qualité physico-chimique et organoleptique du fromage fondu (Berger, 1985).

Propriétés	Citrate	Orthophosphate	Polyphosphate
Echange d'ion	+	+	++
Variation du pH	++	++	+
Crémage	-	-	++
Changement de la couleur	+	-	-
Influence sur le goût	++	+	-
Influence sur la conservation	-	-	++
_ : aucune réaction      + : réaction normal      ++ : réaction forte			

### I.6.6.3. Procédé de fabrication

La préparation d'un fromage fondu est plus précisément un mélange et une stabilisation qui comporte différentes voies selon le type de fromage fondu fabriqué ou la matière utilisée et le traitement thermique visé (Boutonnier, 2000).

L'action de chaleur et l'ajout du sel de fonte dans le processus de fabrication des fromages permet la modification de leur structure (Mahaut *et al.*, 2003).

# Chapitre I. Le fromage

## I.6.6.3.1. Découpage et broyage du fromage

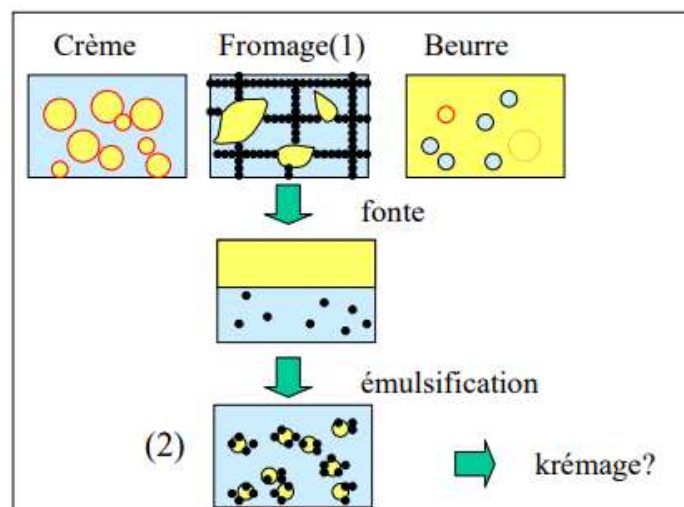
Les fromages de grand format à pâte dure et le beurre sont découpés à l'aide de lames ou de couteaux, Cette découpe grossière est suivie d'un broyage plus fin dans un appareil à double vis sans fin qui conduit les morceaux vers une grille dont les perforations mesurent 2 à 10 mm de diamètre (Boutonnier, 2000).

## I.6.6.3.2. Mélange et cuisson

Les ingrédients peuvent être pesés et mélangés dès que le broyage est fini, dans un coupeur-cuseur, un pétrin-cuseur ou un mélangeur en fonction de la taille de la ligne de production (Roustel et Boutonnier, 2015).

Dans cette étape, l'eau et les sels de fonte peuvent être ajoutés afin d'ajuster l'extrait sec et assurer l'homogénéité de la pâte et cela en désagrégeant le système protéique et réorganisant les chaînes protéiques en présence d'eau, suivi d'une cuisson à une température d'au moins 70°C pendant 30 secondes. La pasteurisation limite la prolifération microbienne et garde la saveur et la valeur nutritionnelle du produit (Richonnet, 2016).

Le chauffage conduit généralement à un déphasage au cours de cuisson. Sous l'effet des sels de fontes, les protéines sont suffisamment solubilisées et le cisaillement violent exercé pendant la phase de cuisson va conduire à la formation d'une émulsion monomodale d'autant plus fine que l'action mécanique est intense. Ce sont les caséines qui majoritairement stabilisent cette émulsion (Chambre *et al.*, 2004).



**Figure 6:** processus d'émulsification lors de cuisson d'un fromage fondu (Chambre *et al.*, 2004).

# Chapitre I. Le fromage

---

## ➤ Péptisation

Cette étape va se poursuivre lors du traitement thermique, les sels de fonte chélatent le calcium lié aux protéines et transforment ainsi le paracaséinate de sodium soluble. Après l'échange du calcium contre du sodium, les chaînes peptidiques sont en partie déroulées et dissociées, c'est la péptisation (Schaffer *et al.*, 2001).

## ➤ Crémage

Après la fonte et la stérilisation, la pâte a perdu sa texture. Pour obtenir une consistance tartinable, l'étape de crémage permet un épaississement du produit en contrôlant la gélification des protéines, c'est-à-dire leur restructuration partielle en réseau tridimensionnel. Cette étape est essentielle pour les fromages fondus à tartiner en portion. En effet, leur texture crémeuse suppose une déstructuration (péptisation) poussée, contrairement aux fromages fondus en tranche ou en bloc. Ces produits sont des gels (Chambre *et al.*, 2004).

Au cours de crémage ou bien phase de restriction, ce passe des nouvelles interactions inter-protéiques. Il correspond à un épaississement du produit qui a deux origines (Chambre *et al.*, 2004):

- La péptisation des protéines : permet l'hydratation des chaînes conduisant à un gonflement du milieu et à une augmentation de la viscosité ;
- Les pyrophosphates de calcium : formés au cours du traitement thermique ont une taille qui leur permet de s'insérer entre les chaînes protéiques pour former des liaisons ioniques inter-protéiques ce qui entraîne la gélification du réseau.

### **I.6.6.3.3. Homogénéisation**

L'homogénéisation améliore d'une part la stabilité de l'émulsion de la matière grasse en diminuant la taille des globules gras, améliore aussi la consistance, la structure, l'apparence et de l'onctuosité des spécialités fromagères. D'autres parts elle favorise une dispersion plus fine des globules gras et généralement l'épaississement (Walstra et Jenness, 1984).

### **I.6.6.3.4. Conditionnement**

Le conditionnement du fromage fondu doit faire l'objet d'assurer d'une fermeture étanche garantissant au fromage fondu le statut de semi-conserve. Le produit fini est emballé à chaud et le met dans des feuilles d'aluminium laquées (rectangulaires, rondes, carrés,

## Chapitre I. Le fromage

triangulaires) par la suite sont emballées manuellement dans des boîtes en carton contenant des portions de forme triangulaires, mais on trouve aussi des conditionnements en boîtes métalliques ou verre de type moutarde et diverses autres présentations d'originales (Mayer, 1973).

### **I.6.6.3.5. Refroidissement**

Une fois conditionné, le fromage fondu est refroidi rapidement pour éviter tout brunissement enzymatique dû aux réactions de Maillard, grâce à des tunnels de refroidissement. Dans cette phase, le réseau protéique va continuer sa structuration pour former un gel qui va emprisonner la matière grasse émulsionnée et l'eau d'hydratation (Chambre et *al.*, 1997).

### **I.6.6.3.6. Étiquetage**

L'étiquette permet au consommateur de connaître les principales caractéristiques du produit, selon Boutonnier (2000) il doit contenir :

- Une teneur en matière grasse dans l'extrait sec ;
- 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).

### **I.6.6.3.7. Stockage du produit**

Les produits mis en carton sont stockés dans des entrepôts dans des chambres à basses températures de 10 à 15°C pendant 6 à 12 mois, Cette température est suffisante pour éviter la poursuite du crémage (Eck et Gillis, 1997).

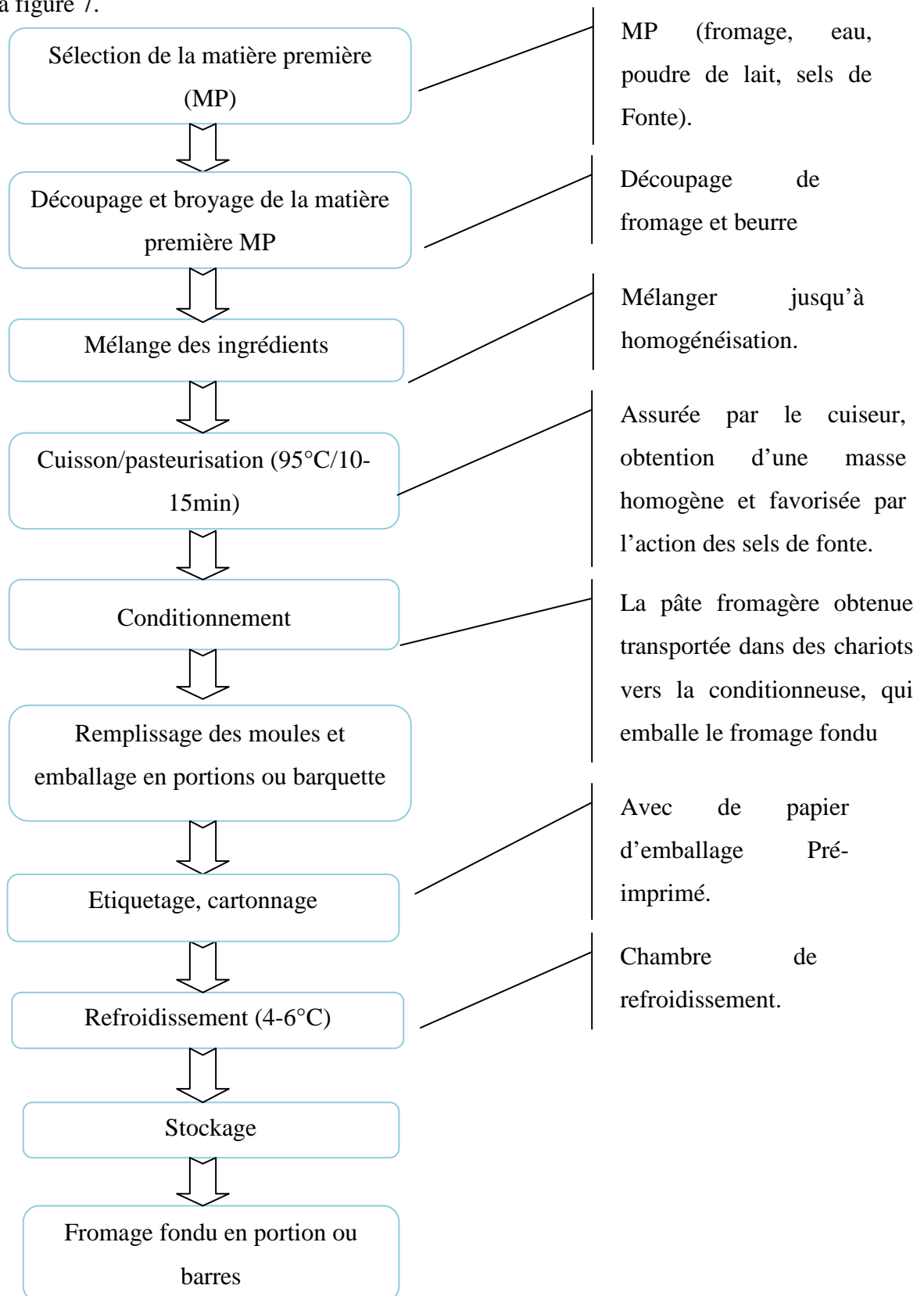
Dans cette étape faut éviter toute sorte de risques tout au long de cheminement du produit dès sa sortie de l'usine jusqu'à consommateur. Notamment se qui concerne les pays chauds :

- Eviter l'écrasement par surcharge et le mouillage (pour boîtes en carton) ;
- Eviter toute exposition au soleil et le stockage à une température ambiante notamment le passage brutal du froid au chaud.

A la fin, la teneur en compte des conditions optimales des différentes étapes de fabrication permet d'obtenir un produit de bonne conservation qui va durée jusqu'à 12 mois. Les

# Chapitre I. Le fromage

principales étapes de fabrication du fromage fondu adapté de Luquet (1990) sont résumées dans la figure 7.



**Figure 7** : Les principales étapes de fabrication du fromage fondu (Luquet, 1990).

## **Chapitre II : Le lactosérum**

## Chapitre II. Lactosérum

### II.1. Historique:

Le Lactosérum est un terme qui désigne généralement la partie liquide translucide du lait qui reste après le processus de fabrication du fromage (Shankar et Bansal, 2013). Depuis 2500 ans avant Jésus-Christ, les Grecs sont les premiers à consommer le lactosérum sous la forme liquide afin d'améliorer le système immunitaire, la puissance et le taux de croissance musculaire du corps. À la fin du 16<sup>e</sup> siècle, la Suisse était l'endroit où l'importance des protéines du lactosérum a été redécouvert (Gangurde et *al.*, 2011).

Le petit-lait était un sous produit important de la production du fromage, il est déversé en grandes quantités dans les lacs et les rivières ou utilisé pour irriguer les cultures. Ce qui cause des dommages environnementaux difficiles à résoudre (Tunick ; Onwulata ; Huth, 2008). Au cours des 20 dernières années, le lactosérum est passé de la fabrication du fromage et d'un polluant environnemental à un produit très apprécié, riche en propriétés nutritionnelles et fonctionnelles, incorporé comme ingrédient principal dans plusieurs préparations alimentaires (Krissansen, 2007). La figure illustrée ci-dessous représente le lactosérum et montre sa couleur jaune verdâtre :



**Figure 8:** Lactosérum liquide de couleur jaune verdâtre (Subhadra, 2017).

### II.2. Définition :

Le lactosérum appelé également le petit-lait est un coproduit de l'industrie fromagère et de la préparation des caséinates (Jouan, 2002). Il représente 90 % du volume original du lait utilisé en fromagerie et en est le principal sous produit (Moletta, 2002). Le lactosérum est un liquide de couleur jaune verdâtre, composé d'environ 94 % d'eau, de lactose, de protéines de très grande qualité et de sels minéraux solubles et d'une petite quantité de matière grasse

## Chapitre II. Lactosérum

(luquet, 1990). Obtenue soit par coagulation acide, soit par l'action de la présure. Il est notamment utilisé en alimentation animale et entre dans la fabrication de nombreux aliments (produits diététiques, biscuits, glaces, sauces...).

### II.3. Types du lactosérum

Selon le mode de fabrication des fromages, le lactosérum est divisé en deux types :

#### II.3.1. Lactosérum doux

Son acidité varie entre 15 et 22 ° Dornic (pH  $\approx$  6,5), issus essentiellement de la production de fromages à pâtes pressées cuites ou non (emmental, saint-paulin, edam) utilisé généralement à l'état déshydraté (Moletta, 2002). Il est obtenu après la coagulation de la caséine sous l'action de la présure sans acidification préalable, on obtient alors un sérum doux, qui contient une petite quantité de sels minéraux et une quantité importante de lactose et de protéines. En plus des protéines solubles du lait, ce type de lactosérum possède d'une glycoprotéine qui provient de l'hydrolyse de la caséine Kappa par la présure (Sottiez, 1990 ; De La Fuente et *al.*, 2002).

#### II.3.2. Lactosérum acide

Atteignent une acidité de 120° Dornic (pH  $\approx$  4,5), il est issu de la production des fromages à pâtes fraîches et molles ou lors de la production de caséine utilisé à l'état liquide (Moletta, 2002). Il est obtenu après la coagulation du lait par précipitation des caséines à leurs pH-isoélectrique 4,6 par ajout d'acide fort ou d'acide lactique (Violleau, 1999). L'acidification provoque la déminéralisation des caséines accordées à des sels de calcium qui fait passer dans le sérum une grande partie d'éléments minéraux notamment le calcium et le phosphore ce qui explique ça forte teneurs en ces derniers et en acide lactique (Sottiez, 1990). Le tableau ci-dessous présente les différents types de lactosérum.

**Tableau IV:** Les différents types du lactosérum (Tanguy-Sai, 2018).

	Lactosérum doux	Lactosérum acide
Extrait sec (ES en %)	6,5	6,0
pH	6,7	4,6
Cendres (g/100g ES)	8	12
Acide Lactique (g/100g ES)	1,8	10
Production	Fromage à pâte pressée Fromage à pâte cuite Caséinerie présure	Fromage à pâte fraîche Fromage à pâte molle Caséinerie acide

## Chapitre II. Lactosérum

### II.4. Composition du lactosérum

La composition biochimique du lactosérum est très variable, dépend essentiellement de la source du lait utilisée (alimentation et conditions d'élevage), de la spécialité fromagère dont il est issu et de procédé de coagulation des caséines. Le tableau ci-dessous présente la composition moyenne de lactosérum doux et acide (Boudier et *al.*, 1976 ; François, 1990 ; Jouan, 2002).

**Tableau V:** composition moyenne des deux types du lactosérum (doux et acide) (François, 1990 ; Jouan, 2002).

Composition moyenne d'un lactosérum doux et d'un lactosérum acide		
	Lactosérum doux	Lactosérum acide
Eau (%)	93,5	94
Extrait sec (%)	6,5	6
pH	6,70	4,6
Composition en g.L <sup>-1</sup>		
Lactose	76	74
Protéines	13,50	12,00
Cendres	8,00	12,00
Acide Lactique	<1,8	>1,8
Matière grasse	1	0,5
Calcium	0,6	Jusqu'à 1,8-2
Phosphore	0,6	1,50
Chlorure de sodium	2,50	7,50

#### II.4.1. Eau

Le lactosérum est un substrat constitué en majorité par une grande partie d'eau contenue dans le lait. (Boudier et *al.*, 1976). Il contient en moyenne 94 % d'eau (Morr et Ha, 1993).

#### II.4.2. Lactose

Il représente 70-80 % de la matière sèche du lactosérum, c'est le principal constituant du sérum 76 g/l (Sottiez, 1990), Constitue une source de carbone et d'énergie pour le

## Chapitre II. Lactosérum

développement des microorganismes. Le lactose est un disaccharide réducteur fermentescible formé de deux molécules :  $\beta$  D-Galactose et  $\alpha$  D-Glucose réunis entre elles par une liaison osidique (1-4) (Luquet et François, 1990).

### II.4.3. Minéraux

Le lactosérum à une forte teneur en matière minérale, il représente généralement 7à12 % de matières sèches du sérum. Constituée principalement du calcium, phosphore, potassium, sodium, magnésium, chlore, fer...etc (Fick Michel, 2016).

### II.4.4. Vitamines

Le lactosérum contient également des vitamines hydrosolubles essentielles pour l'organisme telles que la riboflavine (B<sub>2</sub>) responsable de la couleur jaune verdâtre du lactosérum, l'acide pantothénique (B5), la thiamine (B1), la pyridoxine (B6) et l'acide ascorbique (Vit C) (Woo, 2002). Le tableau suivant montre les vitamines importantes présentes dans le lactosérum.

**Tableau VI** : Quantités des principales vitamines présentes dans le lactosérum (Mereo, 1971).

Vitamines	Quantités en (mg/l)
Thiamine(B1)	0,83
Riboflavine (B2)	1,24
Acide nicotinique (B3)	0,85
Acide pantothénique (B5)	3,34
Pyridoxine (B6)	0,85
Cobalamine (B12)	0,03
Acide ascorbique (C)	2,2

### II.4.5. Matière grasse

La quantité de matière grasse (MG) contenu dans le lactosérum est très faible, généralement estimée à un taux de 0,3 g pour 100 g du lactosérum liquide, puisque la quasi-totalité de matière grasse du lait est retenue dans le caillé. Le lactosérum est considéré comme étant sans graisse, ce qui en fait un aliment idéal pour les personnes qui suivent un régime amaigrissant (Vasey, 2006).

## Chapitre II. Lactosérum

### II.4.6. Protéines

Les protéines du lactosérum constituent 20 % des protéines totales contenues dans le lait (Morr, 1982 ; Bardy et *al.*, 2016). Elles possèdent un véritable intérêt nutritionnel en raison de leur composition élevée en acides aminés essentielles (Benaissa, 2018). L'ensemble des protéines du lactosérum et leurs propriétés sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau VII** : Les propriétés et les fonctions biologiques des protéines du lactosérum (Alimoradi Foad, 2016; Papademas et Kotsaki, 2019).

Protéines du lactosérum	Teneur (%)	Concentration (g/l)	Point isoélectrique	Fonction et avantages
<b><math>\beta</math>-lactoglobuline (<math>\beta</math>-LG)</b>	50-55	3,3	5,13	Source d'acide aminé essentiel et à chaîne ramifiée. Fixation du rétinol et des acides gras.
<b><math>\alpha</math>-lactalbumine (<math>\alpha</math>-LA)</b>	20-25	0,7	4,2-4,5	Source d'acides aminés essentiels et à chaîne ramifiée, production de lactose, transport de calcium, immunomodulateur ; anti carcinogène.
<b>Immunoglobulines</b>	10-15	0,7	5,5-8,3	Inhibition de la fixation des agents pathogènes (chélate le fer), antimicrobien, activation de la phagocytose, anti-inflammatoire.
<b>Lactoferine</b>	1-2	0,1	8,81	Antioxydant, antibactérien, anti carcinogène, antiviral, antifongique, favorise la croissance des bactéries bénéfiques, supprime le développement des tumeurs
<b>Lactoperoxydase</b>	0,50	0,03	7,7-9,6	Antibactérien et antioxydant.
<b>BSA</b>	5-10	0,3	4,7-4,9	Inhibe le développement des bactéries.
<b>GMP</b>	10-15	1	3,08-3,58	Antiviral, bifidogène.

### II.5. Source industrielle du lactosérum

Le lactosérum issu généralement de deux industries alimentaires différentes : la fromagerie et la beurrerie. La première est spécialisée dans la fabrication du fromage à partir

## Chapitre II. Lactosérum

du lait mature, ce dernier passe par un processus de coagulation et de synérèse, aboutissant à la formation de deux phases hétérogènes, une est solide "fromage" et l'autre liquide "lactosérum". Au niveau de la beurrerie, le "lactosérum" est obtenu après écrémage total du lait suivi d'une extraction de la caséine par précipitation (Laplanche, 2004).

### II.6. Valorisation du lactosérum

Le lactosérum est la substance la plus polluante issue de la fabrication du fromage dû à son haut contenu de matière organique, et en même temps, c'est une substance qui présente plusieurs avantages et intérêts nutritionnels et fonctionnels. Donc, sa valorisation ayant une grande valeur sur le plan économique et écologique. Permet d'une part d'éviter les dégâts environnementaux et d'autre part de réduire les frais de pollution exigés par la loi (Smithers, 2008; Brandelli *et al.*, 2015).

La législation algérienne oblige les industries dont l'activité cause où sont susceptibles de causer des dommages à l'environnement comme le lactosérum de payer les frais de toutes mesures de prévention et de réduction de la pollution selon, « **Le principe pollueur payeur** » (JORADP, 2003).

#### II.6.1. Effet polluant du lactosérum

Dans le monde entier et en particulier dans certains pays, l'inexistence d'une mise en valeur du lactosérum, les difficultés à gérer les déchets industriels, les coûts élevés des technologies de valorisation et l'absence d'une réglementation stricte fait du lactosérum un facteur de pollution croissant et un sérieux problème environnemental (Benaïssa, 2018) à cause de :

➤ **Sa demande chimique en oxygène (DCO) et sa demande biologique (DBO) élevés**

La DCO du lactosérum est de 100 000 mg d'O<sub>2</sub>/l et la DBO varie entre 40 000 et 60 000 mg d'O<sub>2</sub>/l (Yorgun *et al.*, 2008). Cela génère une diminution du contenu en oxygène dissous et provoque des problèmes de toxicité et de modification des propriétés physico-chimiques des écosystèmes aquatiques (Valencia *et al.*, 2009 ; Cordoba, 2013).

➤ **Ses volumes élevés générés**

Les quantités massives produites de lactosérum le rendent un polluant majeur pour l'environnement. 10 L de lait donne 1 Kg de fromage et environ 9 L de lactosérum (Essadaoui, 2012). En effet, l'industrie fromagère rejette 47 % du lactosérum produit dans les cours d'eau et les rivières (Papademas et Kotsaki, 2019). Depuis 2013, la production

## Chapitre II. Lactosérum

algérienne de fromage est estimée à 1540 tonnes, ce qui se traduit par une production d'environ 14 millions de litres de lactosérum (FAO, 2017).



**Figure 9 :** Image qui montre la pollution des cours d'eau par le lactosérum (La dauphine, 2017).



**Figure 10 :** Dommage du lactosérum sur les espèces aquatiques (Le progres, 2022).

### II.6.2. Intérêt de valorisation du lactosérum

La valorisation du lactosérum présente plusieurs avantages et intérêts non seulement sur le plan écologique, mais également économique.

#### II.6.2.1. Intérêt écologique

Le lactosérum déversé dans la nature affecte la vie aquatique et diminue les rendements des cultures agricoles, donc sa récupération apporte du bien pour l'environnement. Parmi ces bienfaits, on cite :

- Réduction des quantités importantes rejetées dans l'environnement ;
- Réduire la pollution des eaux et les espaces verts ;

## Chapitre II. Lactosérum

- Réserve des ressources hydriques ;
- Réduire la consommation d'énergie ;
- Diminution de l'utilisation des engrais chimiques (Banu et *al.*, 2020).

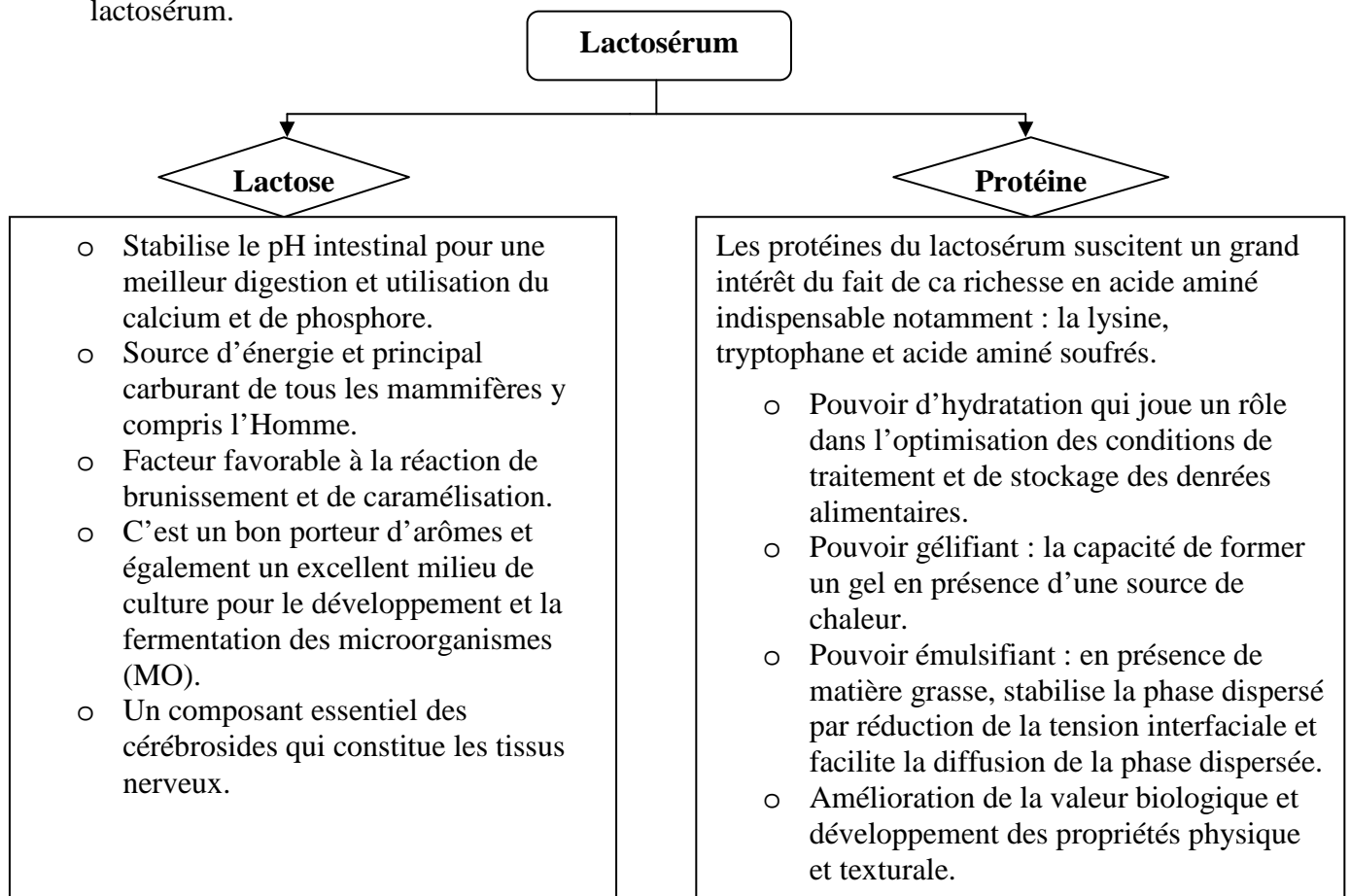
### II.6.2.2. Intérêt économique

L'utilisation du lactosérum dans une variété de produits telle que les produits alimentaires, pharmaceutiques, agricoles, réduit la demande d'importation des matières premières et entraînent d'importants avantages économiques et de nouvelles opportunités pour l'industrie laitière (Bardy et *al.*, 2016).

### II.6.3. Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles du lactosérum

Le lactose et les protéines sont les deux principaux constituants du lactosérum qui lui confèrent une valeur nutritionnelle importante et des propriétés fonctionnelles intéressantes telles que : la gélification, émulsification, stabilité thermique et l'hydratation qui influencent la qualité finale des produits alimentaires (Lupin, 1998).

La figure suivante résume les différentes propriétés fonctionnelles et nutritionnelles du lactosérum.



**Figure 11 :** la valeur nutritionnelle et les propriétés fonctionnelles du lactosérum

(Sottiez, 1990 ; Gerard et Debry, 2001;Minj et Anand, 2020).

## Chapitre II. Lactosérum

### II.7. Les domaines d'utilisation du lactosérum

L'Homme et les animaux pouvant bénéficier du lactosérum par l'intermédiaire de différentes applications pour extraire et incorporé sa valeur nutritionnelle élevé dans plusieurs usages et produits.

#### II.7.1. L'alimentation animale

Depuis de nombreuses années, l'alimentation animale est le principal débouché du lactosérum, il est utilisé par les éleveurs de porcs et de bovins pour l'engraissement de ces derniers à moindre coût possible. Puisque les prix des céréales étant une charge importante pour celui-ci.

L'utilisation du lactosérum dans ce domaine permet de valoriser un sous-produit de bonne valeur nutritionnel et énergétique, mais aussi de réduire la pollution organique (Fick Michel, 2016).

#### II.7.2. L'alimentation humaine

Le lactosérum trouve son emploi dans diverses industries alimentaires : dans la préparation des produits laitiers, en boulangerie, biscuiterie, confiserie, les glaces et crèmes glacés, utilisé comme substrat de fermentation et comme complément alimentaire.

##### II.7.2.1. L'industrie laitière

Le lactosérum est incorporé à des quantités bien précises dans la fabrication des laits fermentés comme le yaourt et de lben, sans atteinte à la qualité ni à l'arome de ces derniers (Luquet et Boudier, 1984).

##### II.7.2.2. En boulangerie

Le lactosérum doux est de plus en plus utilisé dans les produits de boulangeries en raison de nombreux avantages qu'il apporte avec lui :

- Il améliore la valeur nutritionnelle grâce à l'apport important d'acide aminé essentielle.
- Lute contre le rancissement grâce à la réaction du Maillard qui donne des complexes stables.
- Améliore le goût et l'arôme du pain (APRIA, 1980).

## Chapitre II. Lactosérum

### II.7.2.3. Dans les boissons

Le lactosérum a également de nombreuses propriétés qui le rendent apte à la préparation des boissons aromatisées du fait de sa grande valeur diététique, avec une digestion facile et rapide. Elles sont légères, désaltérantes et très agréables à boire (Nelson et *al.*, 1978).

### II.7.2.4. En confiserie

Le lactosérum est utilisé en confiserie, car il est moins coûteux par rapport au produit laitier employé dans cette filière. Il est caractérisé par son goût lacté sucré et sa forte teneur en eau (Vrignaud, 1983).

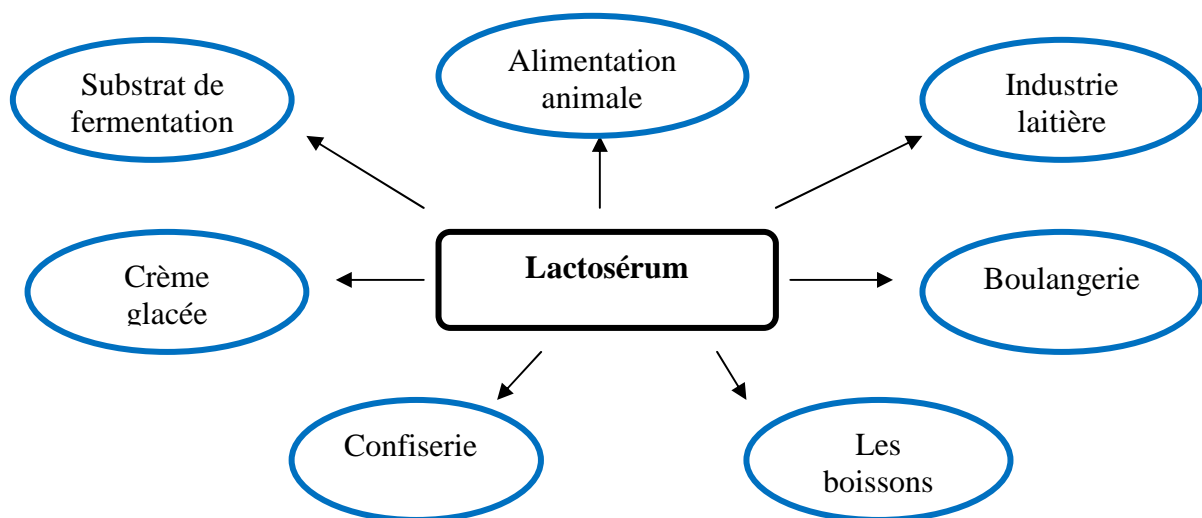
### II.7.2.5. Dans les crèmes glacées

25 % de la quantité de lait écrémé utilisé dans la préparation de la crème glacée peut être remplacée par la poudre du lactosérum doux, alors que le lactosérum acide peut remplacer une partie du sucre nécessaire pour la fabrication des sorbets de haute qualité (APRIA, 1973).

### II.7.2.6. Substrat de fermentation

Le lactosérum est considéré comme un bon milieu de culture pour la production d'acide lactique par les bactéries lactiques (Poget- Ramseier, 1993), permettant également le développement de nombreuses espèces microbiennes principalement les levures qui utilisent le lactose comme source de carbone (Omar et Sabry, 1991).

Le schéma au dessous représente les différents domaines d'utilisation du lactosérum :



**Figure 12 :** Domaines d'usage du lactosérum (APRIA, 1980 ; Poget- Ramseier, 1993 ; Fick Michel, 2016).

## Chapitre II. Lactosérum

### II.8. Bienfaits du lactosérum sur la santé humaine

Plusieurs études ont démontré que le lactosérum et les protéines de lactosérum exerçant des effets bénéfiques sur les fonctions corporelles, ainsi qu'il participe à la lutte contre diverses maladies telles que le diabète, le cancer, l'athérosclérose et le vieillissement...etc (Minj et Anand, 2020).

Parmi les fonctions et les activités bénéfiques de lactosérum, on cite :

#### II.8.1. Activité antioxydant du lactosérum

Le stress oxydatif dans le corps peut entraîner plusieurs troubles donc la protéine de lactosérum est le précurseur de glutathion (GEH) antioxydant et présente une activité antioxydant puissante en inhibant les effets nocifs des facteurs de stress, protège également les cellules contre les dommages causés par les radicaux libres, les toxines, la pollution, les infections et l'exposition aux UV et constitue alors la pièce maîtresse du système de défense antioxydant de l'organisme (Minj et Anand, 2020).

#### II.8.2. Activité antidiabétique

La consommation de compléments alimentaires riches en protéines de lactosérum réduit le taux de sucre dans le sang chez les individus en bonne santé, améliore également la masse musculaire et augmente la sécrétion d'hormones de satiété (Sousa et *al.*, 2012).

#### II.8.3. Activité anticancéreuse

Plusieurs études ont montré que la consommation d'aliment contenant des protéines de lactosérum présente des effets bénéfiques sur les patients atteints de cancer, parmi ces effets on distingue :

- Amélioration de la masse corporelle maigre ;
- Ralentissement de développement des cellules tumorales ;
- Augmentation de la chance de vie et de guérison (Attaallah et *al.*, 2012).

#### II.8.4. La santé cardiovasculaire

Le lactosérum aide à lutter contre les maladies cardio-vasculaires par réduction de taux de cholestérol dans le sang, abaissement de la tension artérielle et aussi considéré comme un excellent régime nutritif pour les personnes qui souffrent de problème cardiaque (Walzen et *al.*, 2002).

## Chapitre II. Lactosérum

---

### **II.8.5. Immunité et soutien gastro-intestinal**

De plus, le lactosérum contient des composants bioactifs susceptible d'offrir une protection contre les infections et les virus et d'améliorer l'immunité ; le lactosérum présente également un effet protecteur sur la muqueuse gastrique en réduisant les lésions ulcératives causées par l'alimentation incontrôlé (Kadam et *al.*, 2018).

### **II.8.6. Cicatrisation et gestion du poids**

La protéine de lactosérum est une protéine de haute qualité et souvent recommandé pour la cicatrisation des plaies surtout après les interventions chirurgicales; Peuvent également jouer un rôle important dans la gestion du poids en augmentant la satiété ; Mais aussi constitue un excellent choix pour les femmes enceintes qui ont besoin de quantités accrues de protéine (Solak et Akin 2012 ; Kadam et *al.*, 2018).

## **Partie expérimentale**

# **Matériel Et Méthodes**

### **Problématique et objectif d'étude**

Le lactosérum est un sous- produit issu de la production fromagère, reconnu par sa richesse importante en élément nutritif comme le lactose et les protéines et diverses propriétés technico-fonctionnelles très intéressantes. Cette richesse a fait de lui le centre d'intérêt de plusieurs recherches afin de le valoriser dans les divers domaines (agroalimentaire, pharmaceutique, cosmétique...).

Dans les pays développés, le lactosérum est considéré comme un élément de valeur et recherché comme matière première précieuse en raison de sa richesse en matière utile qui possède des bienfaits innombrables sur plusieurs niveaux et représente, ainsi, une opportunité pour la fabrication de nouveaux produits.

Ce n'est pas le même cas dans les pays en voie de développement notamment l'Algérie qui n'a pas pu à ce jour gérer les grandes quantités de lactosérum rejetées dans la nature. Ce qui provoque des dommages environnementaux irréversibles avec des pertes sèches des substances de hautes valeurs qui peuvent être réutilisables comme matière première ou ingrédient principal dans de nombreuses préparations alimentaires. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude ayant pour objectif la valorisation du lactosérum dans la préparation d'un fromage fondu. Le principe de cette valorisation est basé sur la substitution de la quasi-totalité de l'eau par le lactosérum dans la formulation du fromage tout en gardant les mêmes paramètres physico-chimiques du produit fini. Cette valorisation va permettre d'obtenir en premier lieu un avantage économique, en deuxième lieu environnemental et en dernier lieu un avantage hydrique:

- Sur le plan économique : la valorisation du lactosérum va permettre de réduire les dépendances et les facteurs d'importations en termes de matière première. En effet, la substitution d'eau par le lactosérum va comporter une réduction importante de matières premières utilisées dans la formulation ce qui permet de faire un gain économique considérable pour les industries alimentaires ;
- Sur le plan environnementaux : Cette valorisation va conduire à la diminution des quantités du lactosérum déversée dans les cours d'eau résiduelle et à la récupération de maximum des composants secs qui sont à l'origine de cette pollution en raison de leurs forte demande biochimique (DBO) et chimique (DCO) en oxygène. Donc le traitement de ce dernier constitue un pas important vers la protection de l'environnement et les espèces aquatiques ;

- Sur le plan hydrique : La teneur élevée du lactosérum en eau (>92%) peut remplacer les quantités d'eau utilisée en agroalimentaire. La substitution d'eau de processus par son équivalent en humidité du lactosérum va avoir sûrement un impact positif sur la préservation des ressources hydrique pour les futures générations. De plus le lactosérum a un effet positif sur la santé due à son excellent pouvoir antioxydant reconnu par la littérature scientifique.

## I.1. Matériel

L'ensemble des réactifs, solvant et appareillage utilisés dans cette étude sont présentés dans le tableau VIII.

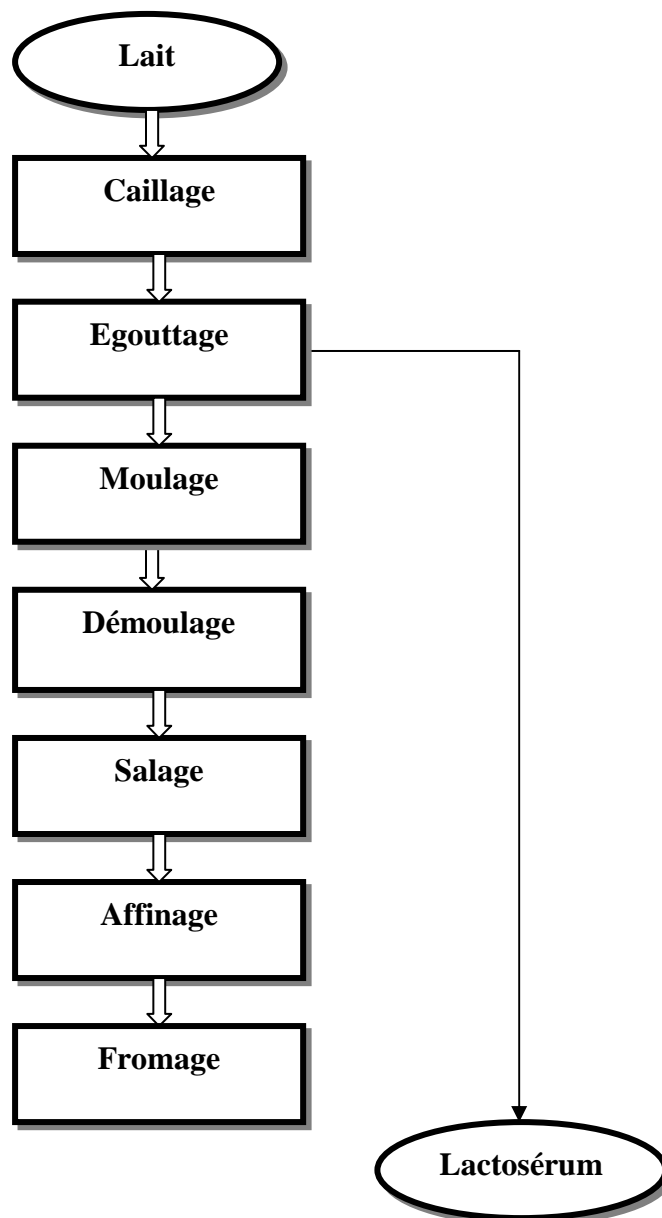
**Tableau VIII** : Matériel utilisé dans la partie expérimentale.

Matériels biologiques	Matériels non biologiques		
	Appareillage	Ustensiles et verreries	Produits et réactifs
Cheddar	Balance de précision Bain marie Spectrophotomètre Plaque chauffante Vortex Agitateur Dessiccateur infrarouge Centrifugeuse pH mètre	Micropipette	Acide 3.5-dinitrosalicylique (DNS) Acide phospho-tungsto-molybdique (Folin-Ciocalteu) Tompon phosphate $K_3Fe(CN)_6$ à 1% Acide trichloracétique (10%) $FeCl_3$ (0.1%) Solution A Solution B Solution C Acide trichloracétique (TCA) $Na_2CO_3$ (7%) Folin- Ciocalteu (dilué 10x) Phosphomolybdate Tartrate de Na et K à 1% Acide gallique Lactose BSA Acide ascorbique (Vit C) Solutionfromagèreacidifiée
Beurre		Pipette gradué	
Sel de fonte		Tube à essai	
Sel de table		Bécher	
Eau		Flacon	
Lactosérum		Entonnoir	
Poudre de lait ( $P_{26}$ )		Verre de montre	
		Falcon a fond Picon	
		Coupelle	
		Cuves	
		Spatule	
		Couteau	
		Pissette d'eau distillée	
		Embouts	
	Butyromètre (Gerber)		
	Mortier et pilon		
	Barreau magnétiques		

## I.2. Méthodes

### I.2.1. Origine du lactosérum

Le lactosérum doux utilisé dans cette étude provient de l'égouttage du lait au cours de la fabrication du fromage type « Camembert » qui est récupéré au niveau d'une fromagerie industrielle situé à la wilaya de Tizi-Ouzou, selon le diagramme suivant :



**Figure 13 :** Diagramme d'obtention du lactosérum issu d'une fromagerie industrielle de Tizi-Ouzou.

**I.2.2. Valeur nutritionnelles et caractéristiques physico-chimiques de produit fini**

La valeur nutritionnelle et les caractéristiques physico-chimiques de la formulation choisis sont fixées selon les données du tableau suivant :

**Tableau IX:** Caractéristiques physico-chimiques fixées du produit fini à fabriquer.

EST(%)	H (%)	G/S (%)	EST+H (%)	Protéine (%)	Glucide (%)	MG (%)	Valeur énergétique (Kcal)
51,1627907	48,8372093	43	100	12	9	22	282

Le choix de ces paramètres est justifié comme suit :

- Dans le fromage fondu, l'extrait sec (E.S.T) est fixé par la législation à 50% au minimum. C'est ainsi que l'EST dans cette étude est fixé à 51,16% répond à la législation et à la valeur rapporté par (Veissyere Roger, 1975) ;
- La teneur en matière grasse fixé dans cette étude est de l'ordre de 22 %, cette valeur répond à l'intervalle décrit par (Richonnet, 2016) ;
- Selon Eck et Gillis(1997), le fromage fondu contient entre [10- 18] de protéines /100g de fromage, c'est à partir de cette valeur qu'on a fixé la teneur en protéines à 12 % ;
- pour le lactose, la teneur est fixé à 9%, mais dans la réglementation le taux de lactose exigé c'est minimum 5%, donc notre choix est justifier comme suit : la teneur en lactose est trouvé par déduction pour garder la valeur énergétique à 282 K/cal, cette étude consiste à préparer un fromage fondu donc on n'a pas le droit de faire une préparation alimentaire;
- Le rapport G/S est fixé à 43%, c'est un choix puisque la plupart des fromages fondus et les préparations alimentaires ont un rapport G/S de l'ordre de 43%, sauf que la réglementation exige un rapport G/S de 40% au minimum ;
- D'après Caric et *al.*, (1985) et EL-Bakry et *al.*, (2010), les Sels de fonte sont ajoutés à hauteur de 2-3 % du produit fini.
- La valeur énergétique de l'ordre de 282Kcal est fixée tout en se référant à la valeur décrite par (Meyer, 1973).

### I.2.3. Méthode de simulation de la valorisation du lactosérum

#### I.2.3.1. Principe du calcul par logiciel Excel

La formulation utilisée pour la production du fromage fondu est élaborée selon un modèle mathématique réalisé sur Excel. Ce dernier est basé sur la quantification des paramètres physico-chimiques des matières premières impliquées (Cheddar, poudres du lait ( $P_{26}$  et  $P_0$ ), beurre et lactosérum), de façon à garder la même quantité de la matière sèche (MS) que la recette standard "Fromage fondu à base d'eau", tout en remplaçant la quantité d'eau par son équivalent en lactosérum. Le lactosérum va apporter une certaine teneur en substance élémentaire qui sera comptabilisée par le modèle adopté afin de garder les mêmes caractéristiques physico-chimiques du produit fini, tout en diminuant les matières premières laitières à utiliser dans la nouvelle formulation (à base du lactosérum).

D'une autre manière, le produit fini préparé à base du lactosérum doit contenir la même teneur en MS que celle présente dans le produit de référence à base d'eau.

#### I.2.3.2. Modèle mathématique adopté

##### I.2.3.2.1. Détermination des quantités de matière première (MP) à utiliser ( $P_{26}$ , $P_0$ Cheddar, Beurre) dans la formule eau

En admettant le fait que la teneur en lactose totale est apportée par les trois matières premières  $P_{26}$  (98%), cheddar (1%) et beurre (1%) avec 0 % de matière protéique et une teneur en matière grasse de 84% et 16% d'humidité, le modèle mathématique permet de déterminer les quantités de matière première à utiliser dans le fromage fondu standard (à base d'eau) selon l'équation N°1 mentionnée ci-dessous :

$$QMP_{FE} = \Sigma QMP_{FE} * XMP(\%)$$

N°1

- $QMP_{FE}$  : Quantité (gramme) de matière première élémentaire a utilisé ( $P_{26}$ ,  $P_0$ , cheddar, beurre) dans la formulation à base d'eau ;
- $\Sigma QMP_{FE}$  : Ensemble de quantité de matière première élémentaire fixé dans le produit fini;
- %  $XMP$  : Pourcentage de paramètre physico-chimique élémentaire (EST, Lactose, protéine, MG, H%) de la matière première utilisée prise en considération dans le modèle de calcul.

**I.2.3.2.2. Détermination de la quantité du lactosérum de substitution d'eau**

La quantité du lactosérum à rajouter dans la formule pour substituer à 100% l'eau utilisée dans la préparation standard est calculée à partir de l'équation N°2 :

$$Q_{\text{Lact}} (\text{g}) = [Q_{\text{ERS}} * 100] / H_{\text{Lac}} (\%) Q_{\text{EL}}$$

N°2

- $Q_{\text{Lact}} (\text{g})$ : Quantité du Lactosérum a utilisé ;
- $Q_{\text{ERS}}$  : Quantité d'eau dans la recette standard ;
- $H_{\text{Lac}}$  : Teneur en humidité dans 100 g du Lactosérum.

**I.2.3.2.3. Détermination des quantités élémentaires totales de la formule complémentaire**

Les quantités élémentaires fixées dans le model adopté (EST, MG, H ou protéines) de la formule complémentaire sont obtenues par soustraction entre leurs équivalents de la recette standard et celle ramener par le lactosérum.

**I.2.3.2.4. Détermination des quantités de matières premières (P<sub>26</sub>, P<sub>0</sub>, Cheddar, Beurre) à utiliser dans la formule-lactosérum**

En se basant sur l'E.S.T (le paramètre physico-chimique fixer dans la simulation de la formulation), en gardant le même pourcentage d'élément élémentaire pris en considération par le modèle dans la formulation standard, les quantités de matières premières a utilisés dans la formule-lactosérum sont calculées selon l'équation présenté ci-dessous N°3 :

$$Q_{\text{MP}_{\text{FL}}} = \Sigma Q_{\text{MP}_{\text{FL}}} * X_{\text{MPL}_E} (\%)$$

N°3

- $Q_{\text{MP}_{\text{FL}}}$ : Quantité (gramme) de matières premières laitières a utilisé (P<sub>26</sub>, P<sub>0</sub>, cheddar, beurre) dans la formule-lactosérum ;
- $\Sigma Q_{\text{MP}_{\text{FL}}}$ : Ensemble de quantité (gr) élémentaire (EST, MG, H%, Lactose, Protéines) a apporté par la matière première (P<sub>26</sub>, cheddar, beurre) dans la formulation à base du lactosérum ;
- $X_{\text{MPL}_E}$ : Pourcentage élémentaire (EST, MG, H%, Lactose, Protéines) dans 100 grammes de matière première (P<sub>26</sub>, cheddar, beurre).

**I.2.3.3. Etude technico-commerciale et environnementale**

La valorisation et la gestion des quantités massives du lactosérum déversé sans traitement, fait de cette étude un enjeu économique mais aussi écologique.

Cette partie est utilisée pour estimer les retombés positifs de cette valorisation sur le plan économique et environnementale. Elle est calculée sur la base de données économique nationale qui a permis d'estimer la quantité de fromage fondu produite et les quantités de lactosérum déversées en Algérie. Effectivement, selon le tableau suivant.

**Tableau X :** Tableau récapitulatif de la production national du fromage.

Fromage	Fromage total	Fromage fondu	Autres types de fromage	Quantité du lactosérum régénérée	Equivalent De pollution
<b>Quantité produite en 2020</b>	5215	4172	1043	938,7	1L/1EH 920,2994(équation N°8)
<b>Source</b>	(ONS, 2021)	(CEFAM, 2015)	Obtenu par soustraction	Obtenu à partir de l'équation 7	(Muller &Lefrileux, 2000)

**I.2.3.3.1. Etude technico-commerciale**

En se basant sur les prix des matières premières dans le marché national, le coût de production de 100 kg du fromage fondu est déterminé selon l'équation N°4 :

$$A = (\Sigma QMP * Pu * QV) / 100$$

N°4

- **A :** Prix de revient soit de la formule-eau, soit formule-lactosérum;
- **$\Sigma QMP$  :** L'ensemble des quantités des matières premières utilisés (soit dans la formule standard, soit celle du lactosérum) ;
- **Pu :** Prix unitaire des matières premières/kg ;
- **QV :** Quantité total de fromage fondu à produire.

L'amortissement de coût de revient de cette valorisation, est obtenu en faisant une soustraction entre les coûts de revient de deux formulations (le coût de revient de la formule standard – le coût de revient de la nouvelle formule "lactosérum"). Cet amortissement est calculé sur la base de l'équation N°5 :

$$TR = [(AF_E - AF_L) / PU_E] * 100$$

N°5

- **TR** : Taux de réduction de coût de revient de production du fromage fondu au lactosérum ;
- **AF<sub>E</sub>** : Prix de revient de la formule-eau ;
- **AF<sub>L</sub>** : Prix de revient de la formule-lactosérum ;
- **PU<sub>E</sub>** : Prix unitaire de la formule standard (eau).

En plus de coût d'amortissement, la valorisation du lactosérum permet également de faire des économies en termes d'argent. La somme d'argent économiser dans cette valorisation est déterminée, selon l'équation N°6 :

$$Ed = (QF_{ft} * \Delta P) / 100$$

N°6

- **Ed** : L'argent économiser dans la valorisation du lactosérum ;
- **QF<sub>ft</sub>** : Quantité totale de fromage fondu ;
- **ΔP** : Différence entre le prix de revient de la formule-eau ET de la formule-lactosérum.

#### I.2.3.3.2. Estimation de l'impact environnemental

La valorisation du lactosérum constitue une étude importante sur le plan environnemental. Elle permet de déterminer les quantités du lactosérum régénérées et d'estimer leur degré de pollution tout en se référant au tableau X.

##### ❖ Détermination de la quantité de lactosérum annuelle régénérée au niveau national par les industries fromagères

Les quantités des lactosérums annuels régénérés pour la production annuelle de fromage fondu (voir tableau X), tout en estimant que le rendement fromagère est de 10% (RF 10%) sont calculées selon l'équation suivant :

$$QL_{an} (Kg) = 90 * QF_{pan} / 100$$

N°7

- $QL_{an}$  (Kg) : Quantité annuelle du Lactosérum ;
- $QFp_{an}$ : Quantité d'autre type de fromage produite annuellement.

#### ❖ Estimation de l'équivalent en pollution humaine

L'appréciation et l'évaluation de l'effet positif de la valorisation du lactosérum sur le plan écologique est déterminer en calculant et en multipliant la quantité annuelle du lactosérum ( $QL_{an}$ ) par son équivalent en pollution humaine qui est de 1 EH (1 litre de lactosérum est équivalent d'une pollution causée par un habitant 1L / 1EH), selon l'équation suivant :

$$X_{ph} = (QL_{an} * 1) / d_L$$

N°8

- $X_{ph}$ : Pollution humaine;
- $QL_{an}$ : Quantité du Lactosérum régénérée annuellement;
- $d_L$ : Densité du Lactosérum.

#### ❖ Estimation de la quantité de l'eau nécessaire pour répondre au besoin de production en fromage fondu

La détermination de la quantité d'eau annuelle qui entre dans la fabrication du fromage fondu est calculée selon la production totale du fromage fondu et le volume d'eau utilisé dans la formule-eau (équation N°9).

$$X_E = (XTF_F * X_{EF}) / 100$$

N°9

- $X_E$  : Quantité d'eau nécessaire pour la production totale du fromage fondu ;
- $XTF_F$  : Quantité totale du fromage fondu produite annuellement ;
- $X_{EF}$  : Quantité d'eau a utilisé pour 100 tonne de fromage fondu dans la formule-eau.

#### ❖ Estimation de la quantité du lactosérum comme substituant d'eau

La quantité du lactosérum qui va remplacer l'eau est déterminée selon l'équation N°10 :

$$X_{Ls} = (QL_{an} * QE_{FE}) / QL_{FL}$$

N°10

- $X_{LS}$ : Quantité du lactosérum qui va substituer la quantité d'eau dans la formule-lactosérum;
- $QL_{an}$  : Quantité du Lactosérum régénérée annuellement;
- $QE_{FE}$ : Quantité d'eau utilisée dans la formule-eau;
- $QL_{FL}$ : Quantité du Lactosérum utilisée dans la formule-lactosérum.

#### ❖ Estimation de taux de couverture : quantité d'eau préservée par lactosérum

La valorisation du lactosérum présente un intérêt hydrique indéniable dont il permet de préserver les ressources hydrique par réduction de l'eau utilisée dans la fabrication du fromage fondu de la formulation standard.

La substitution d'eau par lactosérum permet de réduire les quantités utilisées en eau puisque, le lactosérum va couvrir le taux d'humidité dans la formulation.

Le taux de couverture est donné par la formule N°11 :

$$XTC = (X_{Es} * 100) / Q_{TEFF}$$

N°11

- **XTC**: Pourcentage d'eau préserver annuellement par le Lactosérum (taux de couverture);
- $X_{LS}$ : Quantité du lactosérum qui va substituer l'eau dans la formule-lactosérum;
- $Q_{TEFF}$  : Quantité totale d'eau qui entre dans la fabrication du fromage fondu.

#### I.2.3.4. Estimation des teneurs en matières utiles dans le lactosérum

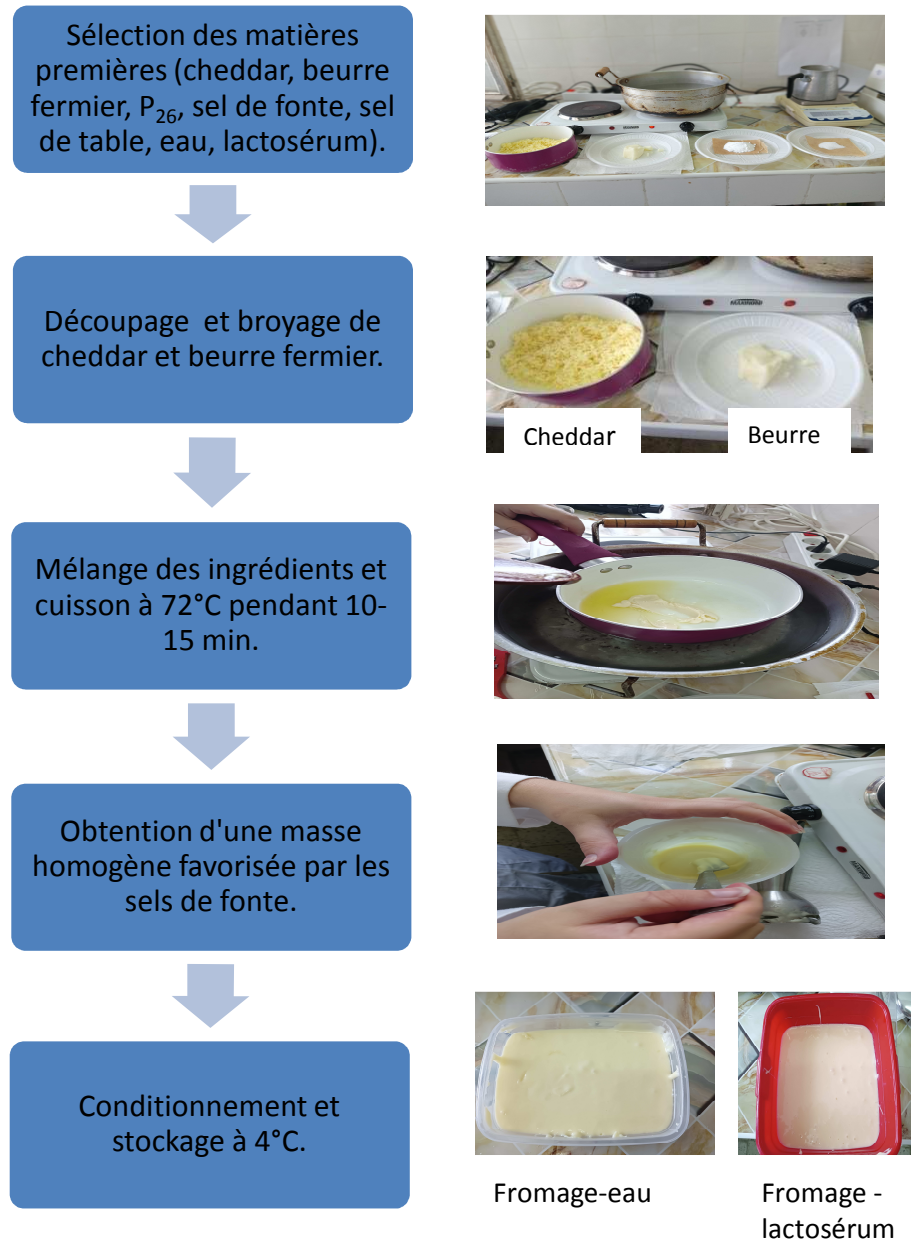
La valorisation du lactosérum permet également de récupérer et de valoriser dans d'autres domaines les matières utiles contenues dans ce dernier (matière sèche, matière grasse, lactose et protéine) qui possédants une valeur nutritionnelle élevée.

La multiplication de la quantité de chaque matière (MS ou MG ou ...) contenue dans 1 kg du lactosérum par la quantité annuelle de ce dernier permet de déterminé les teneurs totales en matières utile présente dans le lactosérum régénérée.

#### I.2.4. Diagramme de fabrication du fromage fondu

Deux portions de fromage on été fabriqués au niveau de Laboratoire Pédagogique de Microbiologie Département Biologie, UMMTO, l'un à base d'eau et l'autre à base du

lactosérum. La figure ci-dessous illustre le diagramme suivis pour l'obtention de ces deux formules.



**Figure 14 :** Diagramme de fabrication de fromage fondu à base d'eau et fromage à base de lactosérum au niveau de laboratoire pédagogique à l'UMMTO.

Fromage-eau : Fromage à base d'eau ;

Fromage-lactosérum : Fromage à base du lactosérum.

**I.2.5. Analyses physico-chimiques****I.2.5.1. Analyse des paramètres physico-chimiques des matières utilisées**

Les différentes analyses physico-chimiques sont réalisées à l'échelle de laboratoire pédagogique de microbiologie département biologie, UMMTO, elles permettent de déterminer les paramètres physico-chimiques des matières premières utilisées ainsi que le produit fini obtenues, selon des techniques standards reconnu par la réglementation. Le tableau suivant résume les analyses physico-chimiques effectuées.

**Tableau XI** : Analyses physico-chimiques des matières premières et des produits finis.

Produits Paramètres	Matières premières				Produit fini	
	Cheddar	P26	Beurre	Lactosérum	Fromage fondu à base d'eau	Fromage fondu à base du lactosérum
EST %	X	X	X	X	X	X
H %	X	X	X	X	X	X
MG %	X	X	X	X	X	X
Lactose %	X	X	X	X	X	X
Protéines %	X	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X	X

**I.2.5.1.1. Préparation des échantillons pour le dosage de lactose et protéines**

Avant d'initier les analyses physico-chimiques souhaitées, deux solutions (fromage et P<sub>26</sub>) ont été préparé tout en suivant les étapes illustrées ci-dessous :

**🧪 Fromage et poudre du lait (P<sub>26</sub>)**

- Peser 10g de l'échantillon (fromage ou P<sub>26</sub>);
- A l'aide d'un mortier et un pilon faire dissoudre les 10 g du fromage et de P<sub>26</sub> respectivement dans 20ml et 100ml d'eau distillée chauffé à 40°C, obtention d'une solution fromagère pour fromage et une solution reconstituée pour la P<sub>26</sub> ;

- Fractionner les solutions obtenues en deux parties : La 1<sup>er</sup> partie reste telle qu'elle (sans acidification) et la 2<sup>ème</sup> partie est acidifiée par l'acide HCl (2N) puis centrifuger à une vitesse de 4000 tour/15min/4°C ;
- Après centrifugation les solutions sont filtrées à l'aide d'un coton et un entonnoir pour obtenir le filtrat (surnageant) ;
- Les solutions (solution fromagère et solution reconstituée) non acidifiées sont utilisées pour le dosage des protéines alors que, les deux surnageants récupérés après acidification et centrifugation sont pratiqués pour le dosage de lactose.

#### I.2.5.1.2. Dosage du lactose en utilisant l'acide 3,5 Di-Nitro-Salicylique (DNS)

##### ➤ Principe

Selon Miller G.L (1959), le dosage du lactose est effectuée par l'acide 3,5 dinitrosalicylique (DNS), qui en milieu alcalin et sous l'effet de la chaleur il se dégrade en acide 3-amino-5-nitrosalicylique avec apparition de couleur orange rouge. La teneur en lactose est déterminée par spectrophotométrie ( $\lambda_{530\text{nm}}$ ) à partir d'une gamme d'étalonnage réalisée avec une solution mère de lactose à 10 mg/ml (tableau XII).

##### ➤ Mode opératoire

##### 🚦 Dosage de lactose pour les échantillons préparés (fromage, poudre du lait (P<sub>26</sub>) et lactosérum)

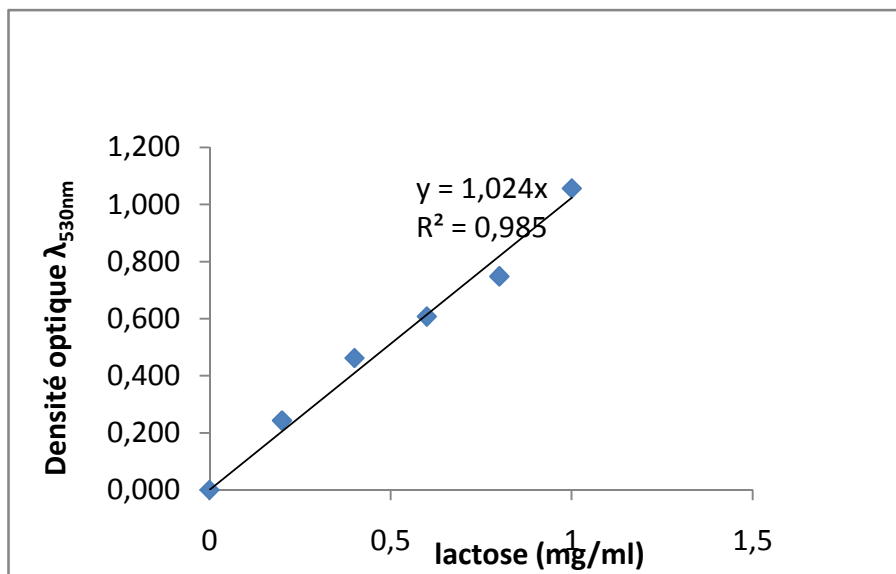
- A fin de déterminer la quantité de lactose présente dans différents échantillons analysés une courbe d'étalonnage est réalisée à partir de la gamme d'étalon figurée dans le tableau XII.

**Tableau XII : Gamme d'étalon**

N° de Tube	01	02	03	04	05	06
Solution de lactose (ml)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Eau distillée	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Réactif DNS (ml)	2	2	2	2	2	2

- Prélever 1 ml de surnageant récupéré après acidification (surnageant de la solution fromagère et celui de la solution reconstituée) puis le verser dans un tube à essai propre et séché, ensuite lui rajouter 2ml de DNS ;
- Agiter les tubes à l'aide d'un vortex pour mieux homogénéiser les solutions ;

- Placer les tubes préparés pour chaque échantillon dans un bain marie réglé à 100°C pendant 5 min ;
- A la sortie de bain marie les tubes sont refroidis par un écoulement d'eau sous le robinet ;
- Puis ajouter à chaque tube 7ml d'eau distillée et agiter ;
- Laisser reposer pendant 15 min à température ambiante ;
- Faire la lecture à  $\lambda_{530\text{nm}}$  à l'aide d'un spectrophotomètre.
- ✓ Les mêmes étapes sont suivies pour lactosérum sauf que ce dernier est utilisé à l'état pur (sans acidification).
- ❖ **Expression des résultats**
- ✓ **Dans le cas de fromage et de poudre du lait P<sub>26</sub> :**
- La teneur en lactose totale est exprimée en % dans le fromage, la P<sub>26</sub> et la P<sub>0</sub>. Tout en se référant à une courbe d'étalonnage (Figure 15).



**Figure 15:** Courbe étalon de dosage du lactose par l'acide DNS à partir d'une solution de 10mg/ml de lactose.

- La concentration en lactose des produits analysés est déterminée selon l'équation N°12 :

$$\% \text{ l} = 10 * [\text{X}] * 1/\text{d}$$

N°12

Avec :

- **%L** : Pourcentage de lactose contenus dans les échantillons analysés ;
  - **[X]** : Equivalent de concentration obtenue sur la courbe d'étalonnage ;
  - **1/d** : Inverse de dilution pris en considération.
- ✓ **Dans le cas du lactosérum :**
- Les teneurs en lactose sont exprimées en g/l. Puisque ce dernier est utilisé à l'état pur sans dilution.

### I.2.5.1.3. Dosage des protéines par la méthode de Lowry

#### ➤ Principe

La méthode Lowry (1951) est une méthode colorimétrique permet d'évaluer le taux des protéines sériques d'un produit. Cette méthode utilise le réactif Folin-Ciocalteu (Acide phospho-tungsto-molybdique) il est plus ou moins réduit par les protéines (groupements oxydés des acides aminés) notamment les groupements phénoliques du tryptophane et de tyrosine et ceux de la cystéine et histidine (Delobette et *al.*, 1991).

Le complexe obtenu est de couleur bleu de molybdène, dont la teneur en protéines est déterminée par spectrophotométrie ( $\lambda_{750\text{nm}}$ ) à partir d'une gamme d'étalonnage réalisée avec BSA (protéine de référence) (Tableau XIII).

#### ➤ Mode opératoire

#### 🚦 Dosage des protéines pour les échantillons préparés (fromage, poudre du lait (P<sub>26</sub>) et lactosérum)

Pour déterminer la teneur en protéines dans les échantillons analysés une courbe est réalisée à partir d'une gamme d'étalonnage avec BSA (protéine de référence) (Tableau XIII).

**Tableau XIII:** La gamme d'étalon de BSA.

$\mu\text{g}/\mu\text{l}$	0	30	50	80	100
<b>Solution mère d'albumine sérique (BSA) (<math>\mu\text{l}</math>)</b>	0	300	500	800	1000
<b>Eau distillée (<math>\mu\text{l}</math>)</b>	1000	700	500	200	0

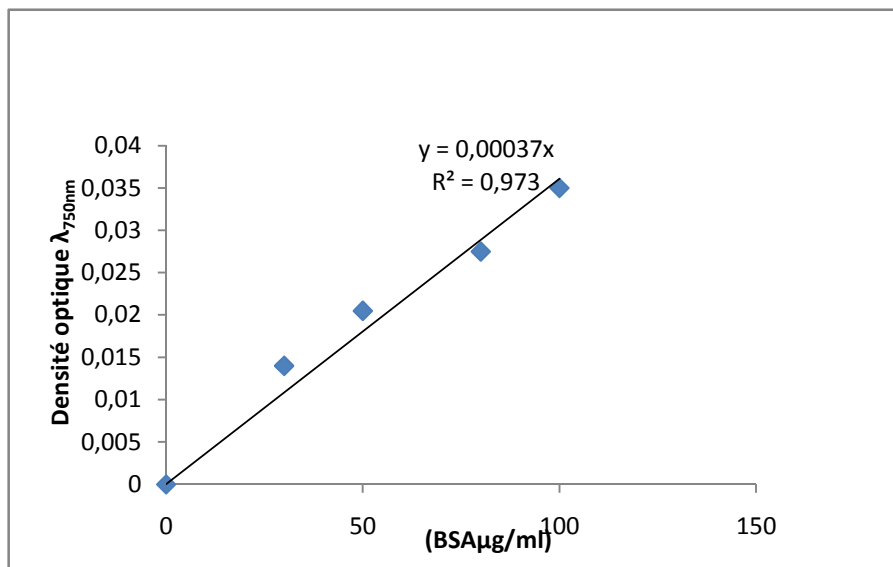
- Prélever 1ml de la solution non acidifié puis le verser dans un tube à essai propre et lui ajouter 5ml de la solution C ;
- Agiter le tube à l'aide d'un vortex pour mieux homogénéiser la solution ;

- Ajouter 5ml de la solution C à l'échantillon et mélanger ;
- Laisser 5 à 10min à température ambiante ;
- Ajouter au volume de la solution 0.5ml de réactif Folin-Ciocalteu ;
- Homogénéiser et mettre les tubes 30min à l'obscurité ;
- Agiter les tubes et faire la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre à DO  $750\text{nm}$ .

#### ❖ Expression des résultats

#### ✓ Dans le cas de fromage et poudre du lait

C'est le même raisonnement que celui de lactose : la teneur en protéines totale est exprimée en pourcentage (%) de l'échantillon analysé (fromage, P<sub>26</sub>), tout en se référant à une courbe d'étalonnage réalisé par une solution mère de BSA (Figure 16).



**Figure 16:** Courbe étalon de dosage des protéines par la méthode de Lowry.

- La teneur en protéines est déterminée selon les formules suivant :

$$\% P = 10^{-3} * [X] * 1/d \%$$

N°13

- %P : Pourcentage de protéines dans 100 ml des échantillons analysés (fromage, P<sub>26</sub>) ;
- [X] : Equivalent de concentration dans la courbe d'étalonnage ;
- 1/d : Inverse de la dilution pris en considération.

#### ✓ Dans le cas du lactosérum

La teneur en protéines est exprimée en mg/ml de l'échantillon.

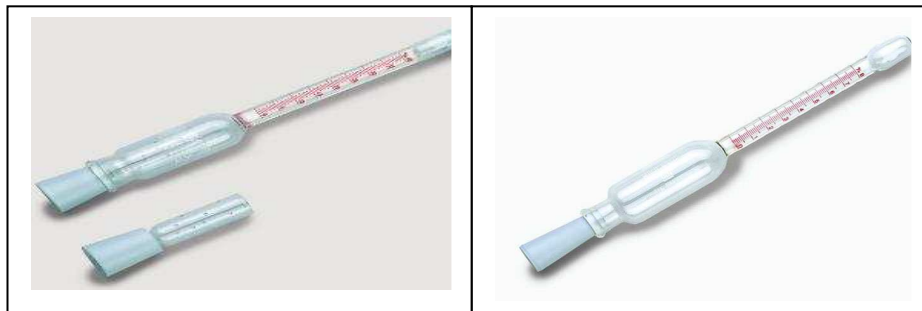
### I.2.5.1.4. Détermination des paramètres physico-chimiques des matières premières utilisées et des produits finis

#### I.2.5.1.4.1. Détermination de la matière grasse (MG) par méthode acido-butyrométrique

##### ➤ Principe

C'est une technique conventionnelle qui, lorsqu'elle est appliquée à un lait, donne une teneur en matières grasses exprimée en gramme par 100g de lait ou 100 ml de lait.

La teneur en matière grasse est déterminée par la méthode acido-butyrométrique (méthode de Gerber). Le principe de cette méthode est basé sur la dissolution du produit à doser (excepté la matière grasse) par l'acide sulfurique, sous l'influence d'une force centrifuge et grâce à l'adjonction de l'alcool iso-amylique, la matière grasse se sépare en couche claire dont la graduation du butyromètre révèle le taux en MG. La matière grasse est déterminée selon la norme (AFNOR, 1980).



**Figure 17:** Butyromètre Gerber à fromage et à lait.

##### ➤ Mode opératoire

##### ✚ Pour les produits solides (Cheddar, Beurre et produit fini : 'fromage fondu')

- A l'aide d'une balance de précision peser une quantité de l'échantillon (3g pour le cheddar et le fromage fondu et 5g pour le beurre) dans un godet adapté (fromage ou beurre) ;
- Introduire le godet dans la chambre du butyromètre adapté (Niklaus Gerber pour le fromage) ;
- Ajouter l'acide sulfurique jusqu'à remplissage de godet et l'immersion de l'échantillon pesé (cheddar, beurre ou le fromage fondu) ;
- Mettre le bouchon, et placer le butyromètre dans un bain marie à une température de 80°C pendant 45min, avec une agitation rapide chaque 15min pour faire dissoudre tous les composants de l'échantillon sauf la matière grasse ;

- Après la dissolution complète de l'échantillon et ces composants le butyromètre est retiré du bain marie puis lui ajouter 1ml de l'alcool iso amylique ;
- Centrifuger pendant 5 min à une vitesse de 360 tours/mn ;
- Lire les résultats directement sur le butyromètre.

### **Pour le lactosérum (produit liquide)**

- Verser 10ml de l'acide sulfurique dans le butyromètre. (Gerber pour lait et produit liquide) ;
- A l'aide d'une pipette graduée, ajouter 11ml de l'échantillon (Lactosérum). (le verser doucement sur les parois du butyromètre a fin d'éviter un mélange prématuré de l'échantillon avec l'acide) ;
- Puis ajouter 1 ml de l'alcool iso amylique, fermer le bouchon et agiter le butyromètre avec précaution ;
- Faire passer à la centrifugeuse pdt 5min à 360 tours/mn ;
- La teneur en MG est lue directement sur le butyromètre, chaque graduation correspond à 1% de MG.

### **Pour les poudres du lait "P<sub>26</sub>" et "P<sub>0</sub>" (Solution reconstituée)**

Dans le cas de poudre du lait il faut d'abord préparer une solution liquide, il suffit donc de rajouter une quantité d'eau tiède bien déterminer afin de faire dissoudre la poudre et obtenir une solution homogène nommé "Solution reconstituée" selon les étapes suivant :

- Peser 10g de poudre du lait ;
- Faire dissoudre les 10g de P<sub>26</sub> dans 100ml d'eau distillée chauffé à 40°C ;
- Obtention d'une solution reconstituée à 10% utilisée pour analyser les paramètres physico-chimiques (MG, EST, H% et pH).

La matière grasse à été déterminé à partir d'une solution reconstituée à 10% selon le protocole suivant :

- Verser 10ml de l'acide sulfurique dans le butyromètre à lait (même principe de dosage de MG pour le lait et les produits liquide) ;
- A l'aide d'une pipette graduée, ajouter 11ml de la solution reconstituée. (le verser doucement sur les parois du butyromètre a fin d'éviter un mélange prématuré de l'échantillon avec l'acide) ;
- Puis ajouter 1 ml de l'alcool iso amylique, fermer le bouchon et agiter le butyromètre avec précaution ;

- Centrifuger à 360 trs/min/5min à 4°C ;
- Le résultat est lu directement sur le butyromètre, chaque graduation correspond à 1 % de matière grasse.
- La teneur en matière grasse de la P<sub>26</sub>, P<sub>0</sub> est calculé selon l'équation suivant :

$$X_{P_{26}-P_0} = XMG * 10 * d$$

N°14

- o **X<sub>P<sub>26</sub>-P<sub>0</sub></sub>** : Paramètre physico-chimique de poudre du lait ;
- o **XMG** : Pourcentage de matière grasse lu sur le butyromètre ;
- o **d** : Densité de la solution.

### I.2.5.1.4.2. Détermination de l'extrait sec totale (EST) et l'Humidité (H%)

L'EST est la quantité de la matière sèche contenue dans un litre du produit, il est exprimé en pourcentage massique ou en g/l.

#### ➤ Principe

Le principe repose sur la dessiccation complète par évaporation de la totalité de l'eau de l'échantillon par la technique infrarouge, la quantité de résidu sec restante après dessiccation constitue la matière sèche de l'échantillon. (AFNOR, 1980).



**Figure 18** : Dessiccateur infrarouge.

➤ **Mode opératoire**

✚ **Pour les produits suivant : (Cheddar, Beurre, lactosérum et produit fini : fromage fondu)**

- Sur une coupelle d'aluminium propre, séchée et préalablement tarée peser une quantité de l'échantillon (5g pour le Cheddar, le beurre et le fromage fondu, 3g pour lactosérum) ;
- Faire étaler l'échantillon sur toute la surface de la coupelle ;
- Introduire la coupelle dans le dessiccateur infrarouge réglé à 115°C/15min ;
- L'extrait sec total est lu directement sur l'afficheur du dessiccateur.
- Le taux d'humidité est obtenu en parallèle avec celui de l'EST sur l'écran de dessiccateur infrarouge.

✚ **Pour les poudres du lait**

L'EST et l'humidité sont déterminés à partir de la solution reconstituée à 10 % par dessiccation à l'aide d'un dessiccateur infrarouge.

Dans la poudre du lait ( $P_{26}$ ,  $P_0$ ), l'extrait sec total, l'humidité % sont déterminé selon l'équation N°15 :

$$X_{P_{26}-P_0} = X * 10 * d$$

N°15

- **X** : Paramètre physico-chimique (EST ou H%) à déterminer pour la  $P_{26}$ ,  $P_0$  ;
- **d** : Densité de la solution ;
- **$X_{P_{26}-P_0}$**  : Paramètre physico-chimique de poudre du lait  $P_{26}$  et  $P_0$ .

#### 1.2.5.1.4.3. Détermination du pH

➤ **Principe**

Le pH « pouvoir hydrogène » s'exprime en fonction de la concentration en ions d'hydrogène dans une solution dont le but est de déterminer quantitativement l'acidité ou la basicité de celle-ci. (AFNOR, 1980). Il est mesuré à l'aide d'un pH-mètre par immersion de l'électrode de ce dernier dans l'échantillon à tester.



Figure 19 : pH-mètre.

➤ **Mode opératoire**

✚ **Pour les produits solides (Cheddar et produit fini : fromage fondu)**

- Introduire les électrodes du pH-mètre dans l'échantillon (Cheddar et fromage fondu) ;
- La valeur du pH de l'échantillon est affichée sur l'écran du pH-mètre.

✚ **Pour les produits liquides (Lactosérum et solution reconstituée de P<sub>26</sub>)**

- Introduire l'électrode du pH-mètre dans un bécher contenant un échantillon du lactosérum ou de P<sub>26</sub> (solution reconstituée 10g/100ml d'ED) ;
- La valeur du pH est affichée directement sur l'écran du pH-mètre.

### I.2.6. Étude de l'activité antioxydant

Quatre tests (poly phénol, DDPH, FRAP et Phosphomolybdate) ont été effectués pour évaluer l'activité antioxydant des deux produits finis préparés.

#### I.2.6.1. Dosage des polyphénols totaux

➤ **Principe**

Les poly phénols sont déterminés par spectrophotométrie selon la méthode de Folin-Ciocalteu (Singleton et Rossi, 1965). Ce réactif de couleur jaune est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Lorsque les polyphénols sont oxydés, ils réduisent ce dernier en un complexe de couleur bleue à 760 nm L'intensité de la couleur est proportionnelle au taux des polyphénols oxydés. (Boizot et Charpentier, 2006).

➤ **Mode d'opératoire**

Avant de procéder au test de l'activité antioxydant il faut d'abord préparer des solutions fromagères pour chaque produit fini (fromage à base d'eau et fromage à base du lactosérum).

Les solutions sont préparées comme suit :

- Peser 20g du produit fini (fromage à base d'eau, fromage à base du lactosérum), puis

Les dissoudre dans 40ml d'eau distillée chauffé à 40°C ;

- Fractionner les solutions obtenues en deux parties : La 1<sup>er</sup> partie reste telle qu'elle (sans acidification) ; la 2<sup>ème</sup> partie est acidifiée par l'acide HCl (2N), puis centrifuger à une vitesse de 4000 tour/mn/15min;
- Après centrifugation la solution est filtrée à l'aide d'un coton et un entonnoir pour obtenir le filtrat (surnageant).

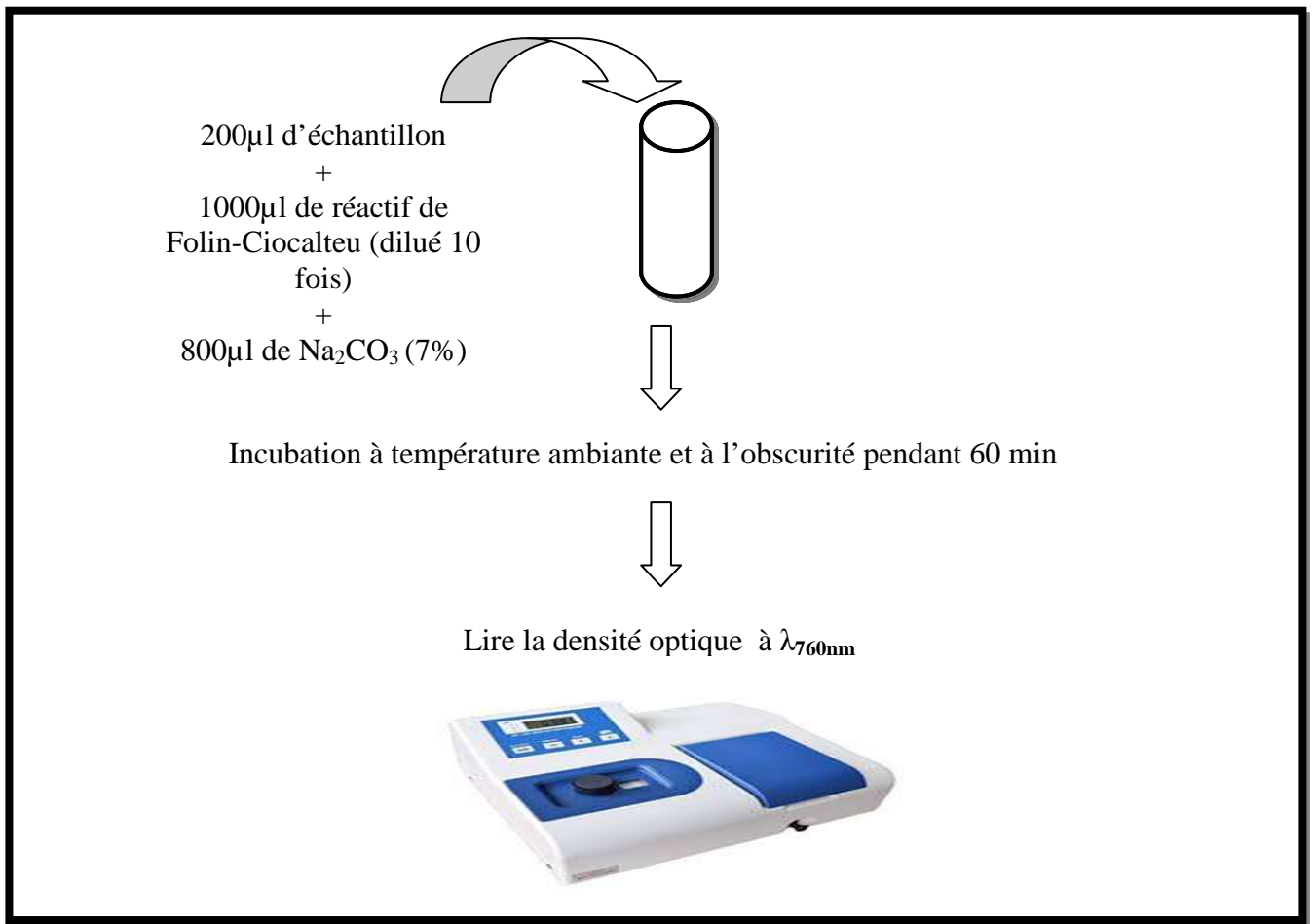
- la fraction centrifugée est utilisée pour l'étude d'activité antioxydante de : DPPH et Phosphomolybdate et la fraction non acidifiée pour : Polyphénols, DPPH, FRAP et Phosphomolybdate.

Afin de déterminer le taux de polyphénol contenu dans chaque produit testé une courbe d'étalonnage est réalisée à partir de la gamme suivante :

**Tableau XIV** : la gamme d'étalon suivie pour faire la courbe d'étalonnage d'acide gallique.

<b>Concentration (µg/ml)</b>	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<b>Quantité d'acide gallique (µl)</b>	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
<b>Quantité en eau distillée (µl)</b>	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0

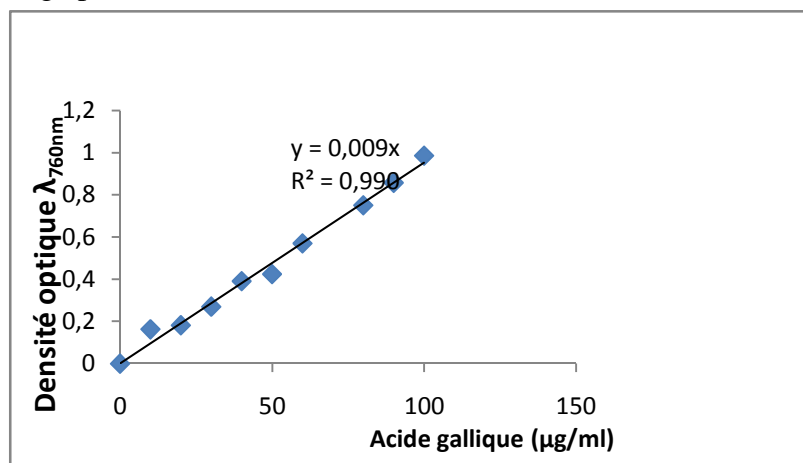
- A partir de chaque produit fini (soit acidifié ou non) prélever 200µl ;
  - Lui ajouter 1000µl de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois) et 800µl de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (7%) ;
  - Agiter les tubes à l'aide d'un vortex pour mieux homogénéiser la solution ;
  - Incubation à température ambiante et à l'obscurité pendant 60 min ;
  - Faire la lecture à une DO <sub>760nm</sub>.
- 📌 La figure N° 20 illustre les étapes de ce protocole.



**Figure 20** : Protocole de dosage des polyphénols totaux (Singleton et Rossi, 1965).

#### ❖ Expression des résultats

La teneur en poly phénol totaux est estimée par la méthode de Folin-Ciocalteu pour chaque fromage fabriqué. Les résultats obtenus sont exprimés en  $2.10^{-3}$  mg équivalent d'acide gallique par gramme de fromage ( $2.10^{-3}$  mg eqAG/g de fromage), tout en se référant à la courbe d'étalonnage présentée ci-dessous.



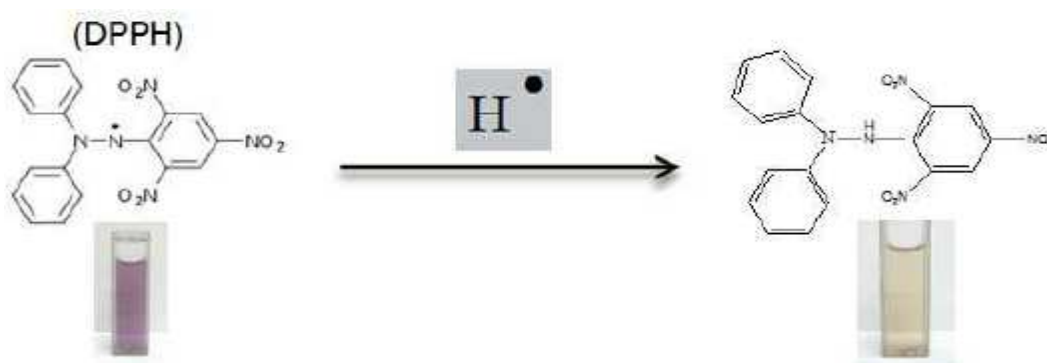
**Figure 21** : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des poly phénols totaux (Singleton et Rossi, 1965).

### I.2.6.2. Test de piégeage des radicaux libres DPPH

#### ➤ Principe

L'activité de piégeage des radicaux libres par les poly phénols extraits est mesurée selon le protocole décrit par (Benhamou et *al.*, 1999).

Le DPPH, radical libre de couleur violette est réduit en un composé de couleur jaune en présence de composés anti-radicalaires (figure N°22). L'intensité de la coloration, mesurée au spectrophotomètre à une  $\lambda$ 515 nm, est inversement proportionnelle à l'activité anti-radicalaire des composés phénoliques dont on souhaite déterminer l'activité.



**Figure 22 :** Solution contenant le radical DPPH avant et après addition de l'échantillon à tester. (Cahyana A.H et *al.*, 2015).

#### ➤ Mode d'opérateur

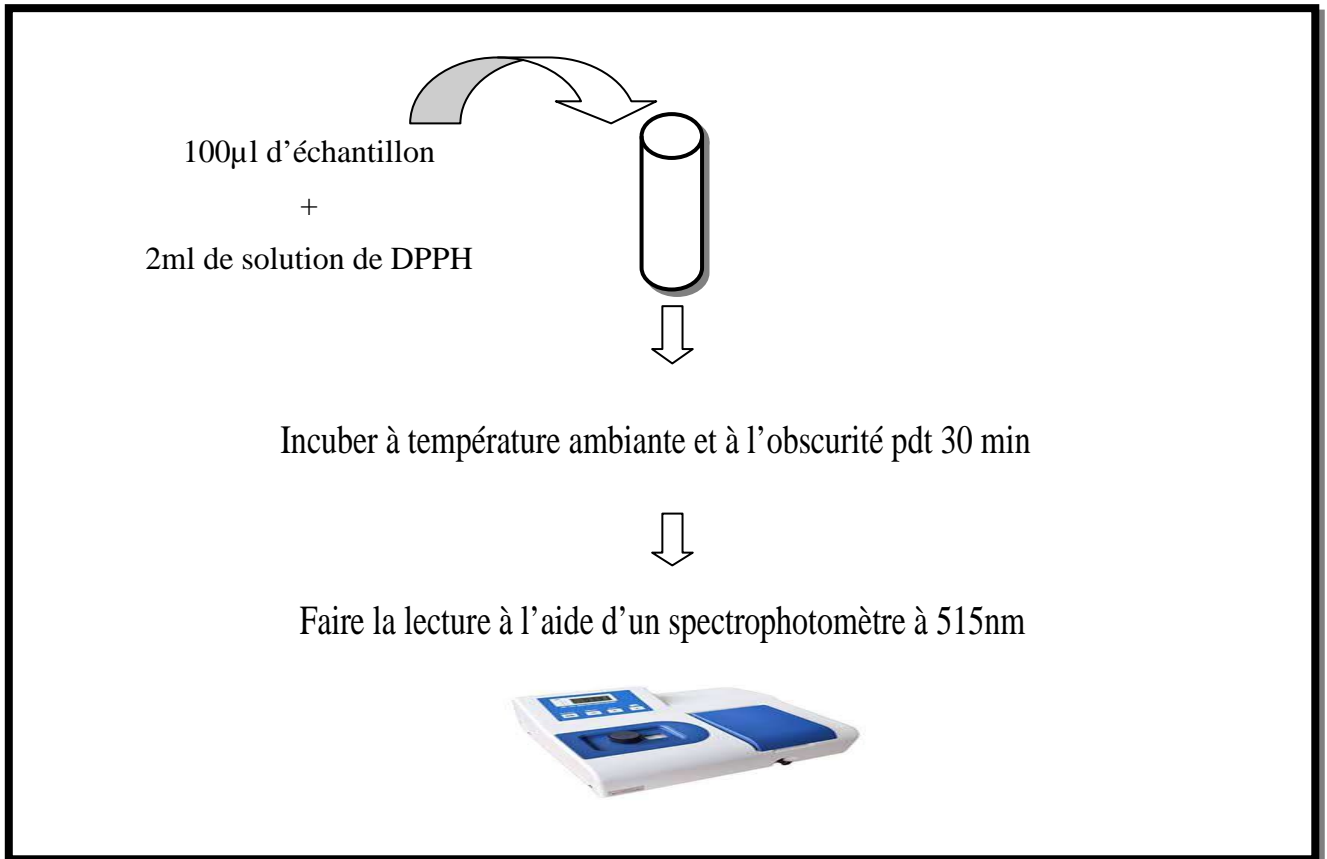
Dans le but de déterminer le pourcentage d'inhibition de radicaux libres dans chaque produit tester par DPPH une courbe d'étalonnage est réalisée à partir de la gamme d'étalon suivant :

**Tableau XV:** préparation de la gamme d'étalon de l'acide ascorbique.

<b>Concentration g/l</b>	0	5	2,5	1,25	1	0,5	0,25
<b>Quantité en Vit C (µl)</b>	0	1000	800	600	400	200	0
<b>Quantité en eau distillée (µl)</b>	1000	0	200	400	600	800	1000

- Prendre 3ml de chaque solution (acidifiée et non acidifiée), puis les verser dans 27ml d'eau distillé ;

- Agiter les tubes a l'aide d'un vortex pour homogénéiser les solutions ;
  - Ensuite Prélever 100µl de l'échantillon et le verser dans un tube à essai propre et lui ajouter 2ml de DPPH ;
  - Incuber à température ambiante et à l'obscurité pdt 30 min ;
  - Faire une lecture à  $DO_{\lambda 515 \text{ nm}}$  ;
- 📌 Le protocole est résumé dans la figure N°23.



**Figure 23:** protocole de piégeage des radicaux libres DPPH (Öztürk et *al.*, 2017).

### ❖ Expression des résultats

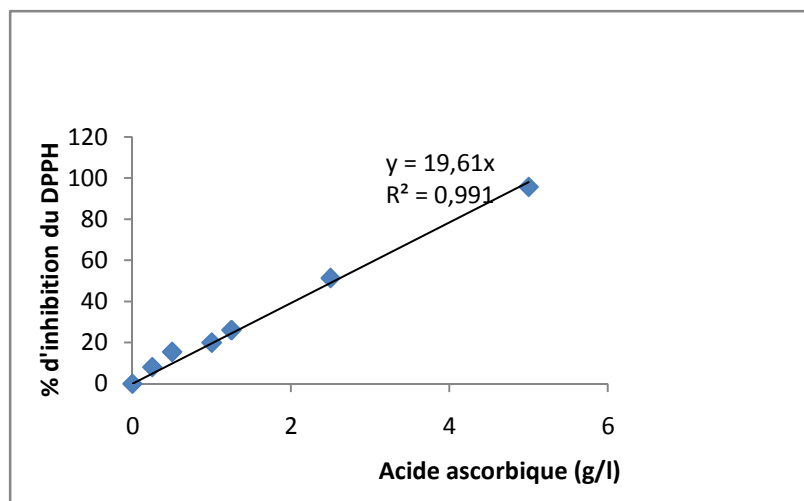
Dans le test de piégeage des radicaux libres DPPH les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition (%) en utilisant la formule suivante :

$$A(\%) = ((\text{Abs}_{\text{contrôle}} - \text{Abs}_{\text{échantillon}}) / \text{Abs}_{\text{contrôle}}) * 100$$

N°16

- **Abs<sub>contrôle</sub>**: Absorbance du contrôle négatif à  $\lambda_{515 \text{ nm}}$ ;
- **Abs<sub>échantillon</sub>** : Absorbance de l'échantillon à  $\lambda_{515 \text{ nm}}$ .

La courbe suivante représente le pourcentage d'inhibition de l'antioxydant standard utilisé comme contrôle positif "l'acide ascorbique".



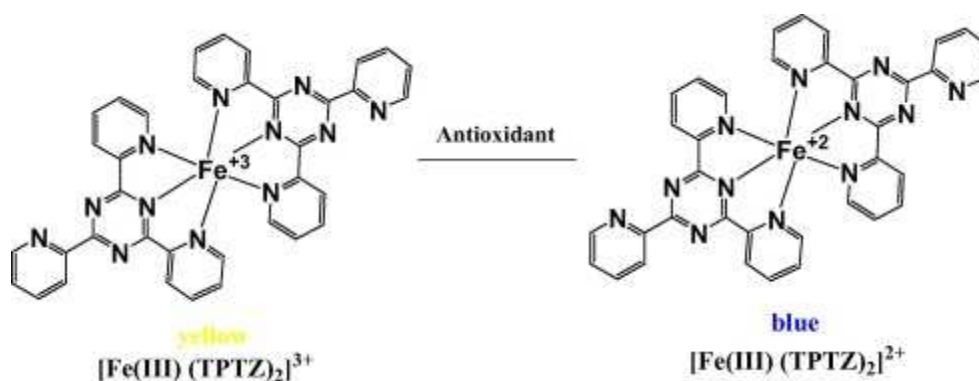
**Figure 24** : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour le DPPH.

#### I.2.6.4. Test de réduction de fer FRAP

##### ➤ Principe

L'activité réductrice du fer des échantillons est déterminée selon la méthode décrite par Oyaizu (1986).

La méthode de FRAP est basée sur la réaction de réduction du fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) est révélée par le virement de la couleur jaune du fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) à la couleur bleu-vert du fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ). (Chung et al., 2002).



**Figure 25** : Réaction redox pour le complexe ferrique dans le test FRAP (Pérez-Cruz K et al., 2015).

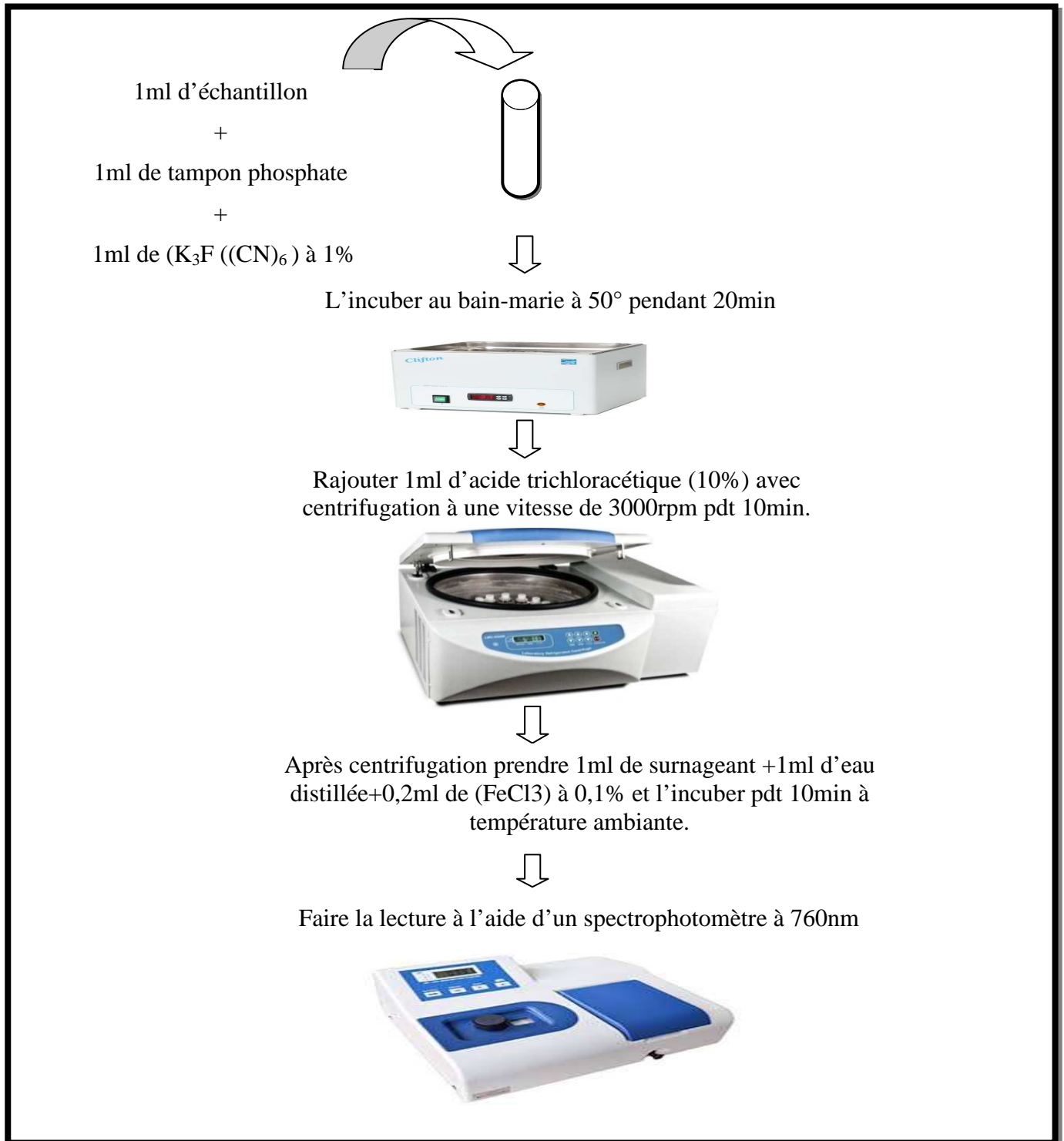
➤ **Mode opératoire**

Une série de dilution est préparée pour les échantillons à tester et l'acide ascorbique à partir d'une solution mère de 0,1 mg/ml selon le Tableau XVI.

**Tableau XVI:** Préparation de la gamme des dilutions de l'acide ascorbique.

<b>Concentration (mg/ml)</b>	0	0,01	0,025	0,05	0,075	0,1
<b>Quantité en Vit C (µl)</b>	0	100	250	500	750	1000
<b>Quantité en eau distillée (µl)</b>	1000	900	750	500	250	0

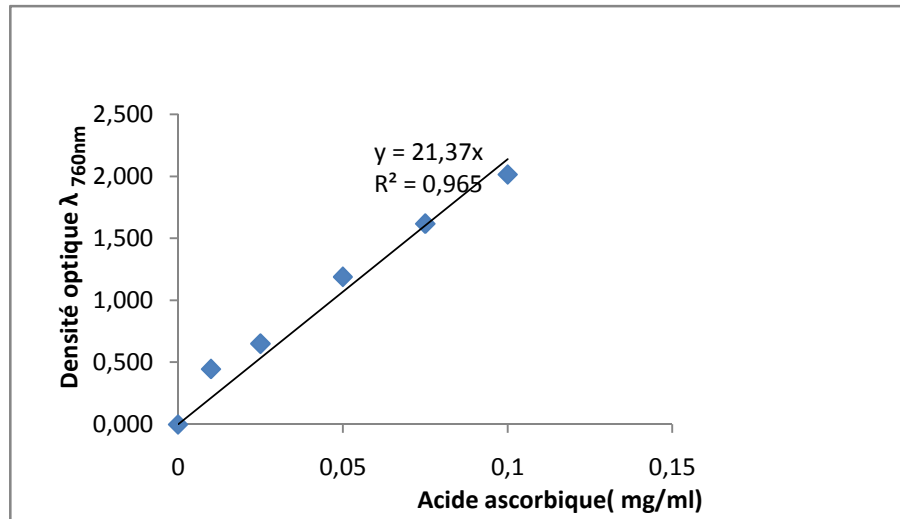
- Prélever 1ml de chaque solution préparer (fromage-eau et fromage lactosérum) et lui ajouter 1ml de tampon phosphate ;
  - ajouter 1ml de  $(K_3F((CN)_6))$  à 1% ;
  - Agiter le tube a l'aide d'un vortex homogénéiser la solution ;
  - Incuber dans un bain-marie à 50°C/ 20min ;
  - A la sortie de bain-marie rajouter à chaque tube 1ml d'acide trichloracétique (10%) avec centrifugation à une vitesse de 3000rpm/10min ;
  - Après centrifugation Prélever 1ml de surnageant obtenue pour chaque solution fromagère et lui ajouter 1ml d'eau distillée et 0,2ml de  $(FeCl_3)$  à 0,1% puis l'incuber pendant 10min à température ambiante ;
  - Faire la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre à  $\lambda_{760nm}$ .
- 🚧 Ces étapes sont représentées dans la figure N°26.



**Figure 26:** Protocole de test de la réduction du fer (Oyaizu, 1986).

#### ❖ Expression des résultats

L'intensité de cette coloration est mesurée par spectrophotomètre à 760 nm; une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation de réduction de fer (Chung et *al.*, 2002). Tout en se référant à la courbe d'étalonnage présenté ci-dessous.



**Figure 27:** courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour la FRAP.

### I.2.6.5. Teste de Phosphomolybdete (TAC ASSAY)

#### ➤ Principe

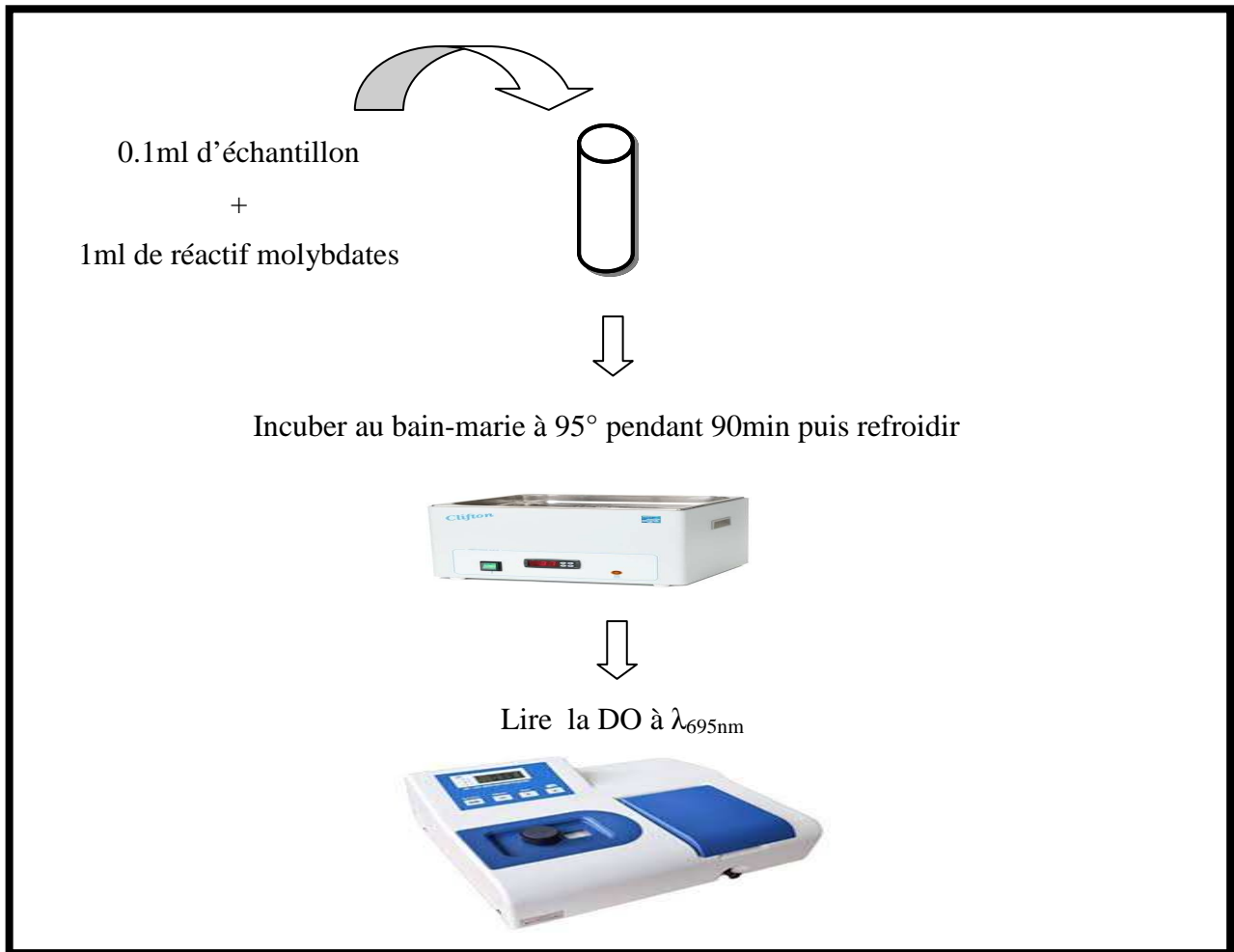
Le teste du Phosphomolybdete permet d'évaluer la capacité antioxydant totale des produit. Ce teste est basé sur la réduction des radicaux des ions molybdate (Mo) en molybdène. Les antioxydants rompent la chaine des radicaux libres un atome d'hydrogène (Prieto et *al.*, 1999), entrainant ainsi la formation d'un complexe vert avec une intensité proportionnelle au pouvoir réducteur des produits testés.

La courbe d'étalon pour le test de Phosphomolybdete est obtenue à partir d'une solution d'acide ascorbique ( $\mu\text{g/ml}$ ). (Même gamme d'étalon que la FRAP (voir tableau XVI).

#### ➤ Mode d'opérateur

- Prélever 0.1ml de l'échantillon (fromage-eau, fromage-lactosérum) et lui ajouter 1ml de réactif de molybdates (0,6M d'acide sulfurique, 28mM  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  et 4 mM molybdate d'ammonium) ;
- Agiter le tube a l'aide d'un vortex pour mieux homogénéiser la solution ;
- Incuber au bain-marie à 95°C pendant 90min puis refroidir avec de l'eau froide;
- Lire la densité optique à  $\lambda_{695\text{nm}}$ .

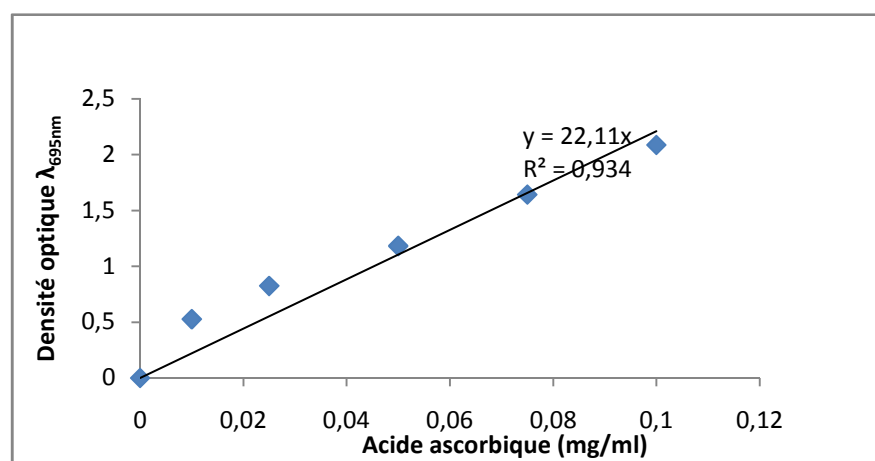
La figure N°28 démontre ces étapes.



**Figure 28** : Protocole de dosage de Phosphomolybdete (Prieto et *al.*, 1999).

#### ❖ Expression des résultats

Pour le test de Phosphomolybdete, les résultats obtenus sont exprimés en 2 mg équivalent d'acide ascorbique par gramme de fromage (2mg eqAA/g de fromage) tout en se référant à la courbe d'étalonnage illustré ci-dessous.



**Figure 29**: Courbe d'étalon d'acide ascorbique pour le test Phosphomolybdete.

### I.2.7. Analyse sensorielle

La sensation sensorielle est le résultat d'un ensemble de process complexe dont nos cinq sens interviennent, se pratique avec un groupe de sujet volontaire représentatif de la population ciblée.

Dans notre étude l'analyse sensorielle est une étape de base a fin d'évaluer la qualité de fromage préparé et d'avoir le degré d'appréciation, d'acceptation de notre fromage par les dégustateurs.

Après avoir préparé les deux types de fromage (Fromage fondu à base d'eau et le fromage fondu à base du lactosérum), nous avons sollicité un ensemble de personnes de différents âges et de différent niveaux intellectuel pour participer à la séance de dégustation organisé au niveau de notre faculté département sciences biologique et agronomique.

La méthode utilisée est la méthode de différence, elle consiste à comparer les deux échantillons de fromage préparé entre eux. 22 personnes ont participé a la dégustation, leurs avis et réponse a propos de notre fromage permet de faire ressortir la différence entre les deux fromages tout en se basant sur les principales caractéristiques sensorielles telle que : Couleur, odeur, goût, texture, amertume...de chaque fromage fondu tester et aussi de faire une description globale sur les deux fromages étudiée (**Hough et al., 1999 ; Leong et al., 2015**).

La séance de dégustation est accompagnée par un questionnaire auquel les dégustateurs ont répondu et donné leur point de vue. Le déroulement de la dégustation est présenté de façon détaillée dans l'annexe 06.

## **Résultats et discussions**

### II.1. Résultats des analyses physico-chimiques de la matière première

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les différentes matières premières (MP) utilisées (Cheddar, poudre du lait (P<sub>26</sub>, P<sub>0</sub>), lactosérum) sont résumés dans le tableau XVII :

#### Cheddar

Le cheddar est un fromage à pâte ferme dure et de bonne conservation sa teneur en lactose est faible il est de  $0,5 \pm 0,1\%$  comme mentionné dans le tableau ci-dessus, le cheddar n'en contient que des traces de lactose car, pendant le processus de fabrication du fromage, la majeure partie du lactose est éliminée lorsque le caillé est séparé du lactosérum.

L'EST ainsi que le rapport G/S du cheddar analysé sont respectivement de  $64,3 \pm 1,12\%$  et  $49,76\%$  sont conformes aux valeurs rapportées par (Gassi et *al.*, 2002). Tandis que, les valeurs du pH, le taux de MG, de protéines et d'H% du cheddar utilisé dans la préparation du fromage fondu, sont respectivement de  $5,43 \pm 0,09$  ;  $32 \pm 1,73\%$  ;  $25 \pm 1,73\%$  et  $35,7 \pm 1,12\%$  conforme à la norme AFNOR (1986).

#### La poudre du lait (P<sub>26</sub>)

La teneur en lactose obtenue dans la P<sub>26</sub> est d'environ  $42 \pm 3,60\%$ , Cette valeur est supérieure à la norme AFNOR (1986), mais lorsque on prend en considération la dispersion de valeur et les erreurs de manipulation nous obtenons des résultats optimaux et conformes aux normes (par exemple si nous faisons une soustraction entre la teneur en lactose obtenue et l'écart type mesuré nous obtenons une valeur égale à celle fixée par la norme (AFNOR, 1986). L'écart type mesuré revient aux erreurs commises lors de manipulation.

La teneur en protéines obtenue est de  $24 \pm 1,31\%$ , valeur conforme à celle décrite par (Carole et Vignola, 2002) ;

Les résultats de la P<sub>26</sub> portés sur le tableau ci-dessus montrent que les valeurs du pH, le taux de MG et de l'EST ainsi que d'H% du cheddar utilisé dans la préparation du fromage fondu, sont respectivement de  $6,55 \pm 0,2$  ;  $28 \pm 2\%$  ;  $96,8 \pm 1,7\%$  et  $3,2 \pm 1,7\%$  conforme aux normes fixées par le (*Codex alimentarius*, 1999) et (AFNOR 1986).

#### Beurre

La teneur de beurre en lactose et en protéines sont de 0%, le beurre ne contient pas de lactose et de protéines comme décrit par (Mocquot, 1969) ; les valeurs de pH, de MG, EST et d'H% enregistrées pour le beurre sont respectivement de  $5,69 \pm$

0,3 ;  $84,66 \pm 0,5$  ;  $84,66 \pm 0,5$  et  $15,33 \pm 0,5\%$  sont des valeurs proche de celle rapporté par (Mocquot, 1969).

### Lactosérum

Le lactosérum à enregistré une teneur en lactose de l'ordre de  $7,74 \pm 0,4 \%$ , Cette valeur est proche de celle décrite par (Sottiez, 1990). Lactosérum contenant la majeure partie de lactose, la richesse de ce dernier en lactose est due au processus de séparation du caillé de lactosérum où le lactose est éliminé avec le lactosérum ;

La teneur en protéines de lactosérum est évaluée à  $0,9 \pm 0,2\%$ , valeur proche de celle rapporté par (Morr and Ha, 1993) ;

Les valeurs du pH, d'EST d'H % et de MG du lactosérum, sont respectivement de  $6,3 \pm 0,6$  ;  $6,42 \pm 0,2\%$  ;  $93,58 \pm 0,2\%$  et de  $0,5 \pm 0,2 \%$  (généralement le lactosérum contient très peu de matière grasse) sont également conforme aux valeurs décrites par (Sottiez, 1990).

Tableau XVII : Résultats des paramètres physico-chimique des matières premières.

Paramètres	Matières premières							
	Cheddar		Poudre du lait		Beurre		Lactosérum	
	Cheddar	Normes AFNOR(1986)	P <sub>26</sub>	Normes AFNOR(1986)	Beurre	Référence (Mocquot, 1969)	Lactosérum	Référence (Sottiez, 1990)
Lactose (%)	0,5±0,1	0,5	42±3,60	38	0	0,6	7,74±0,4	7,6
Protéines (%)	25±1,73	25,5	24±1,31	26 (Carole et Vignola, 2002)	0	0,4	0,9±0,2	0,82 (Morr and Ha, 1993)
pH	5,43±0,09	5,4-5,6	6,55±0,2	6,5-6,75	5,69±0,3	6 max	6,3±0,6	6,5-6,7
EST (%)	64,3±1,12	63,5-65,5 (Gassi et al., 2002)	96,8±1,7	≥96	84,66±0,5	84	6,42±0,2	5-6,5
H (%)	35,7±1,12	39	3,2±1,7	<5 (CXS, 1999)	15,33±0,5	16	93,58±0,2	93,5-95
MG (%)	32±1,73	30-38%	28±2	>26 et <40 (CXS, 1999)	84,66±0,5	80-90	0,5±0,2	1
G/S (%)	49,76	50-57	28,92	0 – 30	100	90	7,78	5-6,5

## II.2. Résultats de la simulation

### II.2.1. Détermination des quantités de matières premières dans les deux formules de fromage à fabriquer

Le modèle mathématique et les différentes équations adoptées dans cette étude sont basés sur la recette standard obtenue suite à un ensemble de caractéristiques physico-chimiques fixées dans la formule.

Les équations N° 1, 2, 3 décrites dans la partie expérimentale : matériel et méthode, nous a permis d'obtenir et de déterminer les différentes quantités de matières premières utilisées dans la préparation des deux fromages fondus (à base d'eau et à base du lactosérum) (Voir annexes 03). Le tableau mentionné ci-dessous récapitule la composition et les quantités de matières premières utilisées dans les deux recettes.

Les analyses physico-chimiques effectuées sur les différentes matières premières sont permis de répondre aux caractéristiques physico-chimiques fixées au départ.

La comparaison entre les quantités de matières premières utilisés dans chaque formule (eau et lactosérum), montre qu'il n'y a pas une différence soit dans le totale des quantités de matière première impliquée dans les deux recettes soit dans la quantité de fromage fondu produite (Tableau XVIII). En revanche, l'utilisation du lactosérum comme substituant d'eau dans la formule-lactosérum permet de réduire considérablement les quantités de matières premières utilisé dans la fabrication du fromage fondu, avec un taux de réduction d'environ 3,3 g/100g de production totale ce qui va amener à la diminution des facteurs d'importation.

**Tableau XVIII:** La composition et les quantités des matières premières à utiliser dans la formule-eau et la formule- lactosérum pour 100g de fromage fondu.

<b>Quantités de la recette standardisée selon les paramètres physico-chimiques initiaux et les quantités de la nouvelle recette pour 100g</b>			
<b>Recette standard à base d'eau</b>		<b>Nouvelle recette à base du lactosérum</b>	
<b>Matière première</b>	<b>Quantité</b>	<b>Matière première</b>	<b>Quantité</b>
<b>P<sub>26</sub></b>	23,07692308	<b>P<sub>26</sub></b>	21,75253369
<b>P<sub>0</sub></b>	0,065123145	<b>P<sub>0</sub></b>	0,061385714
<b>Cheddar</b>	25,84615385	<b>Cheddar</b>	24,36283774
<b>Beurre fermier</b>	8,584564502	<b>Beurre fermier</b>	8,091894572
<b>Sels de fonts</b>	3	<b>Sels de fonts</b>	3
<b>Sel de table</b>	1	<b>Sel de table</b>	1
<b>Eau</b>	38,5574172	<b>Lactosérum</b>	41,20677382
		<b>Eau</b>	0,647345896
<b>Total</b>	100,130	<b>Total</b>	100,122

### II.2.2. Etude comparative des résultats physico-chimiques (simulation et pratique) des deux produits finis

La comparaison des résultats obtenue pratiquement avec les résultats de la simulation des paramètres physico-chimiques montrent qu'ils n'a pas de différence entre les valeurs, Autrement dit les valeurs de paramètre fixé théoriquement sont proche de ceux obtenus pratiquement.

Les résultats de la simulation des paramètres physico-chimiques sont représentés dans le tableau XIX.

A partir des résultats physico-chimiques des deux fromages fondus mentionnés dans le tableau ci-dessous, nous observant d'une part une approximation et une conformité des valeurs de la simulation à ceux obtenus pratiquement et une conformité par rapport aux normes fixé :

L'ensemble des résultats obtenus montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux formules, bien que, l'eau ait été remplacée par du lactosérum. La conformité entre les deux fromages et l'absence de différence due au lactosérum qui apporte non seulement la matière hydrique, mais également des teneurs élevées en matière utile (lactose, protéines, matière sèche) permet d'enrichir la formule et de combler les carences en certaine caractéristique ainsi que, d'obtenir un fromage de haute valeur nutritionnelle et de bonne qualité a moindre coût.

L'objectif de notre étude était de préparer un fromage fondu en remplaçant la quantité de l'eau utilisée par le lactosérum sans modifier les paramètres physico-chimiques du produit. Les analyses obtenues dans notre étude montrent qu'il n'existe pas une différence significative entre les deux fromages par apport aux paramètres fixés telle que l'EST, H%, MG. La comparaison des résultats théoriques et pratique entre eux et pratique-pratique des deux fromages, nous permet de donner des valeurs proches, donc on a atteint l'objectif tracé dès le début de notre étude et on a réussi à garder les mêmes caractéristiques physico-chimiques du produit de référence.

**Tableau XIX** : Résultats des analyses et de la simulation physico-chimiques des deux produits finis (formule-eau et formule-lactosérum).

Paramètres	Formulation a base d'eau		Formulation a base de lactosérum		Les Normes
	Simulation	Pratique	Simulation	Pratique	
<b>EST (%)</b>	51,1627907	52,02 ± 1,99	50,1627907	51,29 ± 0,70	≥40
<b>H (%)</b>	49,83786053	49,83 ± 0,87	49,18774555	48,71 ± 0,70	50 max
<b>MG (%)</b>	22	23 ± 2	20,94529759	20 ± 1,3	21-22 (Richonnet, 2016)
<b>G/S (%)</b>	43	44,21 ± 1,00	41,68713187	38,99 ± 1,85	40 min
<b>Protéines (%)</b>	11,97964902	10,18 ± 2,19	11,66354938	12,21 ± 0,40	10-18 (Eck et Gillis, 1997)
<b>Lactose (%)</b>	9,096017965	8,79 ± 0,79	11,75873375	10,89 ± 0,65	6,5-7 (EFSA, 2010)

### II.2.3. Résultats technico-commerciaux

La valorisation du lactosérum dans une préparation d'un fromage fondu confère à l'industrie fromagère algérienne un bénéfice important en terme d'argent par réduction des coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum. Le tableau suivant représente les coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum.

**Tableau XX:** Coût de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum.

Unité/ Kg	Prix (Da)	Recette F-E	Recette F-L
Cheddar	1118	28896	27237,65259
P <sub>0</sub> %	450	-29,30541531	0
P <sub>26</sub> %	400	9230,769231	8701,013477
Beurre	850	7296,879827	6878,110386
Sels de fonte	540	1620	1620
Sels de table	35	35	35
Coût de revient	Recette (Da)	47049,34364	44471,77645
Amortissement (DA)		2577,567189	
% D'amortissement		5,478433894	

**Légende :** F-E : Fromage fondu à base d'eau ;

F-L : Fromage fondu à base du lactosérum ;

P<sub>26</sub>, P<sub>0</sub> : Poudre du lait.

Le tableau cité ci-dessus montre les coûts de revient de chaque formule (eau et lactosérum) pour les mêmes ingrédients utilisé pour une production de 100 gr, nous observant un abaissement de coût de revient de 47049,34364 DA vers 44471,77645DA dans la formule-lactosérum. Cette diminution présente un profit annuel de l'ordre de 2577,567189DA pour les industries algériennes, ce qui constitue un taux d'amortissement d'environ 5,478433894 %.

la valorisation du lactosérum présente un aspect positif à plusieurs niveaux, premièrement sur le plan financier des industries alimentaires car, il participe à l'amélioration de leurs chiffre d'affaire, deuxièmement il contribue à la réduction des quantités d'eau utilisé a fin de l'économiser puisque ce dernier connaît une grande pénurie en ces dernières années donc cette valorisation c'est une occasion pour préserver et protéger les ressources hydrique et de plus de fournir des produits alimentaires saines est de bonnes qualités.

L'intérêt économique de cette étude peut être exploité par les industries alimentaires algériennes. Tout en respectant et en appliquant les lois exigées par la réglementation

concernant l'interdiction du rejet de toute substance peuvent causer des dégâts dans la nature (JORA DP, 2003).

La substitution d'eau par lactosérum dans la formulation d'un fromage fondu fera non seulement diminuer le coût de revient (Tableau XX) mais également de réduire les quantités de matières premières impliquées. Le tableau mentionné ci-dessous présente le pourcentage d'amortissement de matières premières.

**Tableau XXI** : Estimation du pourcentage d'amortissement de matière première (MP).

	Recette F-E	Recette F-L
<b>Total de matière première</b>	57,44251828	54,14588029
<b>Amortissement MP kg</b>	3,296637992	
<b>% D'amortissement MP</b>	5,73902066	
<b>Coût d'amortissement annuel (Da)</b>	107536103,1	

**Légende** : Recette F-E : Recette de fromage fondu à base d'eau ;

**Recette F-L** : Recette de fromage fondu à base du lactosérum ;

**MP** : Matière première.

Les résultats de ce tableau montrent que l'utilisation du lactosérum comme substituant d'eau fera réduire les quantités de matières premières utilisés comme le cheddar, la poudre de lait et le beurre, soit 3,296637992 Kg/100 kg avec un taux d'amortissement de 5,73902066 % par apport à la formule à base d'eau. Et un coût d'économisassions annuelle en terme d'argent dépensé sur les matières premières de 107536103,1 Da, donc l'industrie agroalimentaire peuvent bénéficier d'un gain annuelle de dix milliard de centime en terme d'argent encaissé pour couvrir les frais de matières premières.

#### II.2.4. Aspect environnemental

La quantité du lactosérum utilisé à l'échelle nationale pour la production de 100 tonnes de fromage est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau XXII:** Estimation des quantités annuelles du lactosérum régénérée et de fromage produit en Tonnes.

Quantité du fromage produite annuelle en Algérie (Tonnes)		
fromage tous types	5215	
fromage fondu	4172	
fromages	1043	
Quantité du lactosérum régénérée annuellement et le rendement fromagère de référence		
	Tonnes	Litre
lactosérum produite annuellement	938,7	909593,023
rendement fromagère de référence	10	
Quantité totale d'eau nécessaire pour le fromage fondu	1608,618137	
Quantité de lactosérum comme substituant d'eau	878,3485029	851112,89
Lactosérum résiduaire	60,35149709	
Taux de substitution en eau (Tonnes)	730,2696344	
Taux de substitution en eau (%)	54,6026731	52909,567

Les quantités totales du lactosérum régénéré annuellement et celle de substitution d'eau dans la formule-lactosérum permettant de déterminer les quantités du lactosérum à valoriser annuellement. (Tableau XXII).

D'une autre manière, la quantité du lactosérum déversé annuellement dans les cours d'eau et les rivières par les industries fromagère algérienne est de 938,7 Tonnes c'est environ 909593,023 litres, sachant que cette valeur peuvent causer une pollution de 72767441,86 habitants/ans (voir tableau XXII). L'objectif fixé dans notre étude était de valoriser et de réutiliser le lactosérum dans une préparation d'un fromage fondu afin d'éviter leur rejet dans la nature et comme ça nous arrivons à réduire la pollution et les dégâts causée par ce dernier et d'exploiter sa richesse en élément nutritifs de haute valeur nutritionnelle.

La formulation adopté permet de valoriser 878,3485029 Tonnes du lactosérum, donc la recette utilisé permet de valoriser presque la totalité du lactosérum rejeté il ne reste qu'une Petite quantité à valoriser. Cette quantité est nommé lactosérum résiduaire est estimée de 60,35149709 Tonnes.

L'utilisation du lactosérum au lieu d'eau dans la fabrication d'un fromage fondu permet à l'industrie fromagère d'économisée la quantité d'eau utilisé dans le process cette réduction est estimée de 54,6026731 % c'est environ 52909,567 litres pour une production de 100 kg de fromage.

Le tableau cité ci-dessous est faite dans le but d'évaluer la pollution humaine causée par le lactosérum rejeté ainsi que le taux de réduction de pollution de ce dernier après la valorisation.

**Tableau XXIII** : Pollution humaine causée par 1L du lactosérum/ 1EH.

<b>Etude de l'impact environnementale</b>	
<b>Unité de base (1L/1EH)</b>	
<b>Lactosérum</b>	1
<b>Equivalent habitats</b>	1
<b>Pollution total</b>	909593,0233
<b>Pollution réduite</b>	851112,8904
<b>Pollution réelle</b>	52909,56695
<b>Taux de réduction de pollution</b>	93,57073643

1 Litre du lactosérum rejeté est l'équivalent de pollution causée par 1 habitants, on déduit alors une pollution totale estimée de 909593,0233 EH/ans comme la montre le tableau XXIII. La pollution réelle causée par lactosérum sur les systèmes aquatique et la nappe phréatique est estimée de 52909,56695EH/ans.

La fabrication du fromage fondu à base du lactosérum a permet de réduire cette pollution de 909593,0233 EH/ans vers 851112,8904 EH/ans, donc diminution de l'impacte négatif sur l'environnement avec un taux de réduction de pollution de 93,57073643 %.

Le lactosérum déversé dans la nature emporte avec lui des quantités élémentaires importantes comme la matière sèche, lactose, protéines, la matière grasse. L'ensemble de ces éléments présente une valeur nutritionnelle élevée surtout pour les protéines du lactosérum qui possède une valeur plus élevé que celle de blanc d'œuf (protéines de référence). Donc la valorisation de ce dernier permet de réduire ces pertes.

Le tableau suivant représente les quantités en matière sèche à récupérer par la valorisation du lactosérum.

**Tableau XXIV:** Quantités élémentaires annuelle récupérer par lactosérum (Tonnes).

Estimation des quantités annuelles de matière sèche à récupérer du lactosérum			
Pour 100 Kg	sans valorisation	avec valorisation	résiduaire
Quantité de matière sèche (MS)	60351,49709	56471,34028	3880,15681
Quantité de protéine	8448,3	7905,136526	543,163474
Quantité de lactose	72655,38	67984,17413	4671,20588
Quantité de MG	1819,186047	1702,225781	116,960266

Le tableau ci-dessus montre les quantités importantes de matière sèche rejeté chaque année avec le lactosérum. La richesse du lactosérum en ses matières le rendre une denrée alimentaires peut être incorporé dans divers domaines en raison de ces nombreux vertus. Donc la récupération de ce dernier présente un effet positif pour l'environnement et un plus pour l'industrie.

La valorisation du lactosérum permet de récupérer des quantités importantes pour chaque élément telle que :

- Quantité de matière sèche avec valorisation du lactosérum est estimée de 56471,34028 Tonnes ;
- Quantité de protéines est de 7905,136526 Tonnes ;
- Quantité de lactose est de 67984,17413 Tonnes ;
- Quantité de matière grasse récupérer avec valorisation du lactosérum est de 1702,225781Tonnes.

Les quantités résiduares qui restent non récupérer présentent toujours une perte en éléments nutritifs et en particulier une perte pour les industries agroalimentaire. Nous souhaitons que d'autre travaux vont être réalisé dans ce sens pour atteint a la valorisation totale du lactosérum et à la récupération de toutes ces richesse a fin de les incorporées dans des nouvelles formulations et dans de nouveau produits innovés par les industries alimentaires.

### II.3. Résultats des analyses de l'activité antioxydant

#### II.3.1. Résultats de Test de polyphénols totaux :

La teneur en poly phénols totaux est estimée par la méthode de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois) pour chaque produit. La teneur en poly phénols totaux de chaque produit fini a été

alors déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage et exprimée en mg d'équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau XXV.

**Tableau XXV** : Teneur en moyenne des polyphénols totaux dans les produits finis.

<b>Produits finis</b>	<b>Polyphénols totaux</b>
<b>Fromage standard à base d'eau</b>	45111,11 mg eqAG/gF
<b>Fromage à base de lactosérum</b>	51000 mg eqAG/gF

**Légende** : AG : Acide gallique ; eq : Equivalent ; F : Fromage.

A partir du tableau mentionnée au-dessus on remarque que les teneurs en poly phénol totaux sont clairement différentes entre les deux variétés étudié, pour fromage fondu à base de lactosérum la teneur en polyphénols totaux (51000mgeqAG /1g de fromage) est supérieure à celle de fromage fondu à base d'eau (45111,11mgeqAG/1g de fromage).

Ces résultats pourraient suggérer que le fromage à base de lactosérum est riche en poly phénols totaux, ces derniers peuvent piéger et neutraliser les radicaux libres, inhiber les enzymes responsables de la formation des radicaux libres et être des chélateurs de certains ions métalliques. Les polyphénols qui contiennent le noyau catéchol dans leur structure présentent un pouvoir réducteur du fer élevé, cela est dû à la participation des groupements OH liée au noyau catéchol (Degraft-Johnson et *al.*, 2007).

La richesse de lactosérum en protéine et glucides pourrait interférer le dosage des polyphénols totaux, ce qui explique la sensibilité de réactif de Folin-Ciocalteu à la réduction de tous les groupes hydroxyles ceux des certain sucres et protéines.

De nombreuses études ont montrées clairement que les polyphénols possèdent des effets bénéfiques pour la santé, due à leur activité antioxydante, antiallergique, antiviral, anticancinogénique, anti-inflammatoire et à leur capacité pour la protection contre les maladies cardiovasculaires et la prévention contre le cancer (Vicioli et *al.*, 1998 ; Di Carlo et *al.*, 1999 ; Andrikopoulos et *al.*, 2002 ; Fabiani et *al.*, 2006).

### II.3.2. Résultats de Test piégeage des radicaux libres DPPH et teste réduction de fer FRAP

Le profil d'activité anti-radicalaire DPPH et le pouvoir réducteur de FRAP pour chaque produit fini testé est présenté dans le tableau XXVI.

L'activité antioxydante mise en évidence par le teste DPPH sur les produits concernés (fromage fondu a base d'eau et a base de lactosérum) a été exprimée par leur pourcentages d'inhibition (I%) en fonction de leurs concentrations croissantes.

**Tableau XXVI :** Résultats de test de l'activité antioxydante DPPH et FRAP.

Produits analysés	Fromage standard à base d'eau	Fromage à base de lactosérum	Lactosérum
DPPH (I%)	23.22 ± 4.61	31.00 ± 4.475	11.39
FRAP (DO à 750nm)	0.0445	0.08316	/

Le teste du pouvoir réducteur est considéré comme un indicateur significatif de son potentiel antioxydant qui est un mécanisme important qui examine l'action antioxydante des composés phénoliques et qui met en évidence la capacité d'une molécule à réduire un oxydant en lui cédant un électron, permettant ainsi de bien apprécier l'activité antioxydante de produit testé. Cette activité est basée sur la réduction du Fer (3) présent dans le complexe  $K_3Fe(CN)_6$  en Fer (2) (Wang, 2008).

Les résultats obtenus pour le pourcentage d'inhibition du radical DPPH et le pouvoir réducteur de FRAP, montrent que le pourcentage d'inhibition et la densité optique des fromages inférieurs à celui de standard (acide ascorbique).

La comparaison entre les produits finis montre que les formules à base d'eau ont des pourcentages d'inhibitions et un pouvoir réducteur inférieur aux formules à base de lactosérum, cela revient aux teneurs en protéines retrouver dans le lactosérum qui est exprimés par ses hautes concentrations de glutamate et de cystéine (Walzem et coll., 2002).

Les propriétés antioxydante des protéines rend le produit un excellent antioxydant et ce pouvoir augmente lors de l'affinage.

Ces propriétés des protéines sont également liées à leur hydrophobicité, ainsi qu'à leur pouvoir chélateur des métaux (Diaz *et al.*, 2003 ; Elias *et al.*, 2008 ; Farvin *et al.*, 2010).

Le lactosérum est un antioxydant puissant en raison de sa richesse en polyphénols et flavonoïdes qui exerce un effet positif sur le stress oxydatif par neutralisation et piégeage des radicaux libres.

De ces résultats on conclut que l'utilisation de lactosérum dans la préparation fromagère lui confère un pouvoir antioxydant plus élevé.

### II.3.3. Résultats de Test de Phosphomolybdete (TAC ASSAY)

Les résultats obtenus par le test de réduction des radicaux des ions molybdates sont cités dans le tableau XXVII.

**Tableau XXVII** : Evaluation de la teneur en TAC-ASSAY dans les produits finis.

Produits finis	Phosphomolybdete TAC ASSAY
Fromage standard à base d'eau	0.1175 mgeqAA/gF
Fromage à base de lactosérum	0.9136 mgeqAA/gF

**Légende** : AA : Acide ascorbique.

L'activité antioxydante a été testée par la méthode du Phosphomolybdete ammonium, Les graphes obtenus montrent que l'absorbance des produits finis est variable pour chaque fromage. A chaque concentration nous observons que le fromage à base de lactosérum soit acidifié ou non présente une absorbance beaucoup plus élevée par rapport au fromage à base d'eau ; cela peut s'expliquer par la présence probable de composés antioxydants dans le fromage à base de lactosérum.

La différence significative entre le fromage à base d'eau et le fromage à base de lactosérum signifie que le lactosérum possède une forte capacité à transférer l'hydrogène et l'électron du composé réducteur vers le complexe oxydant (Phosphomolybdete), Cela pourrait être attribuée à la richesse du lactosérum en substance antioxydante telle que les flavonoïdes, les polyphénols... (Sumaira *et al.*, 2011).

La capacité réductrice d'un composé peut servir comme un indicateur significatif de son activité antioxydante potentielle (Djeridane et *al.*, 2006).

### II.4. Résultats de l'analyse sensorielle

La journée de dégustation était organisée de façon que chaque participant puisse donner son avis sans influence des autres, chacun est libre de son choix.

22 personnes ont assisté pour déguster notre produit préparé. Ce test permet de constater que la valorisation du lactosérum dans la fabrication d'un fromage fondu n'altère pas l'aspect organoleptique du produit de base comme l'indique l'objectif de notre étude. Tout de même, la comparaison des résultats des paramètres sensoriels entre les deux fromages fondus nous a autorisés de noter l'analogie de ces deux produits et l'appréciation, l'admiration des dégustateurs concernant le produit préparé à base de lactosérum qui a reçu énormément de commentaires positifs de satisfaction et d'acceptabilité.

Les réactions et les réponses des dégustateurs sur le questionnaire distribué concernant les paramètres organoleptiques (couleur, odeur, gout acide, la texture en bouche, l'amertume et la description finale du fromage) sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau XXVIII: Résultats de l'analyse sensorielle.

	Sensations ressenties	F <sub>aE</sub>	F <sub>aL</sub>	Dominance	
				F <sub>aE</sub>	F <sub>aL</sub>
Couleur	Blanche	1	0		
	Blanche cassée	9	4		
	Blanche jaunâtre	12	16	54,54 %	72,72 %
	Jaune	0	2		
Odeur	Absente	1	0		
	Faible	11	8	50 %	
	Moyenne	8	9		40,90 %
	Forte	2	3		
	Très forte	0	0		
Gout acide	Absente	17	17	77,27 %	77,27 %
	Moyenne	4	4		
	Forte	1	0		
	Très forte	0	1		
Texture	Crémeux	10	10	45,45 %	45,45 %
	Coulant	3	4		
	Pâteux	6	3		
	Dur	0	1		
	Homogène	3	3		
	Présente de grumeaux	0	1		
	Acceptable	1	1		
Amertume	Absente	11	14	50 %	63,63 %
	Faible	5	4		
	Moyenne	2	2		
	Forte	4	1		
	Très forte	0	1		
Description finale	Désagréable	1	0		
	Peu agréable	4	2		
	Agréable	14	9	63,63 %	
	Très agréable	3	11		50,00 %

Préférences	
F <sub>aE</sub>	F <sub>aL</sub>
18,18 %	81,81 %

**F<sub>aE</sub>** correspondent au fromage à base d'eau et **F<sub>aL</sub>** c'est le fromage à base du lactosérum.

- ✓ Les scores attribués par les dégustateurs pour les deux échantillons de fromage fondu selon les cinq critères présentés dans le tableau XXVIII :
  - **Couleur** : La couleur blanche jaunâtre était plus appréciable dans les fromages fondu F<sub>aE</sub> et F<sub>aL</sub> avec un pourcentage de dominance des autres critères respectivement 54,54% et 72,72% ;
  - **Odeur** : Apprécié dans les deux fromages, le fromage F<sub>aE</sub> a enregistré 50% pour une odeur faible alors que le fromage F<sub>aL</sub> le score enregistré pour une odeur moyenne est de 40,90% ;
  - **Gout acide** : Est absent dans les deux fromages avec un score de 77,27% ;
  - **Texture** : La texture est crémeuse pour le F<sub>aE</sub> mais aussi pour F<sub>aL</sub> avec un pourcentage de dominance de 45,45% ;
  - **Amertume** : N'est pas été ressenti dans les deux fromages fondu (F<sub>aE</sub> et F<sub>aL</sub>) avec un score de dominance respectivement de 50% et 63,63% ;
- Le F<sub>aL</sub> a enregistré des scores plus élevés comparés au F<sub>aE</sub> ;
  - Les dégustateurs préfèrent et choisissent le fromage fondu à base du lactosérum (F<sub>aL</sub>) pour le premier classement avec un pourcentage d'appréciation de 81,81 % par rapport au fromage fondu à base d'eau (F<sub>aE</sub>) qui arrive en deuxième lieu avec un pourcentage de 18,18%.

## **Conclusion et perspectives**

## Conclusion et perspectives

---

Les fromages sont la joie des enfants, la passion des adolescents et le plaisir des vieilles. Le fromage fondu est le fromage préféré, qui est très populaire et très demandé par la clientèle. Il est le produit issu de la deuxième transformation du lait. Considéré comme aliment de valeur nutritionnelle importante, mais aussi un excellent produit alimentaire recommandé pour la croissance et l'amélioration de la masse osseuse, surtout chez les enfants et les personnes âgées.

Ce travail avait pour objectif de valoriser le lactosérum, autant substituant d'eau dans une formulation d'un fromage fondu. Ce dernier est considéré comme une matière noble et une richesse renouvelable, reconnu par sa composition en élément nutritif de haute valeur nutritionnelle, peut être utilisé et ré-exploité dans de nombreux domaines et préparation. Il représente un trésor pour les industries agroalimentaires sur plusieurs aspects : économique, écologique et hydrique.

Le lactosérum valorisé dans cette étude est récupérée au niveau d'une fromagerie située à la wilaya de Tizi-Ouzou. Le lactosérum est utilisé dans une préparation d'un fromage fondu comme substituant de la quasi-totalité d'eau de la formule standard par la même quantité de lactosérum, à partir d'un modèle mathématique sur Excel. Cela a contribué dans la réduction des quantités de matières premières utilisées dans la formule standard.

Les résultats de toutes les analyses effectuées sur les matières premières et les produits finis ont montré que la substitution d'eau par lactosérum, permet d'obtenir un produit avec les mêmes caractéristiques physico-chimiques de fromage fondu standard et une valeur nutritionnelle améliorée dans le produit obtenu à base du lactosérum et aussi, nous avons enregistré une absence d'une différence significative entre les valeurs théoriques et pratiques ce qui permet de confirmer et de valider le modèle mathématique adoptée dans l'étude.

Cette valorisation nous a permis d'obtenir des avantages sur plusieurs aspects. Sur le plan économique, l'industrie alimentaire peut bénéficier d'un profit annuel de 107536103,1 DA ; sur le plan écologique, la quantité de lactosérum régénérée annuellement est estimé à 930,7 Tonnes, donc cette étude nous a permis de réduire la pollution environnementale causée par le lactosérum à 851112,8904 EH/ans. En dernier lieu, cette étude a permis de réduire l'eau utilisée dans le process de fabrication à 54,6026731% ce qui participe à la préservation des ressources hydriques.

## Conclusion et perspectives

---

Les résultats de l'activité antioxydante des deux produits finis obtenus ont montré que le fromage fondu à base du lactosérum possède une activité antioxydante importante par rapport au fromage fondu à base d'eau qu'est pauvre en cette activité. La richesse du lactosérum en composé bioactifs lui rend un excellent antioxydant qui présente des effets bénéfiques sur la santé notamment : la lutte contre le stress oxydatif causé par les radicaux libre ; les propriétés fonctionnelles et nutritionnelles des protéines du lactosérum apportent de bien pour la santé et participe à la prévention contre plusieurs maladies et infections.

L'analyse sensorielle du produit fini a démontré que le fromage à base du lactosérum a suscité l'admiration et l'approbation des dégustateurs, donc le produit préparé est satisfaisant.

À partir de cette recherche et les résultats obtenus, on peut conclure que ce travail peut ouvrir des perspectives intéressantes sur le plan économique, écologique et hydrique. Il est temps de réfléchir aux moyens de récupérer le lactosérum et de développer de nouvelles technologies pour la valorisation de ce dernier, surtout que les quantités régénérées par les industries fromagères sont en augmentation continue. Cette valorisation permet d'une part de limiter la pollution environnementale engendrée par ce coproduit, d'autre part d'exploiter sa richesse dans plusieurs applications et préparations.

L'incorporation du lactosérum dans le fromage fondu donne une chance aux industries laitières pour apporter des changements et entrer dans le domaine d'innovation pour améliorer d'une part la qualité, les rendements et d'autre part obtenir la confiance et la satisfaction des consommateurs qui cherchent toujours un produit riche de meilleures qualités et à moindre coût. Dans le souhait de continuer et de compléter l'objectif de cette étude et de définir en détail cette matière noble, nous proposons de :

- ❖ Essayer de substituer l'eau par lactosérum dans d'autre produit alimentaire pour profiter de ses composants nutritionnelles importants ;
- ❖ Ouvrir la porte sur l'importance nutritionnelle et fonctionnelle de lactosérum pour penser mieux à récupérer cette substance ;
- ❖ Essayer de préparer un fromage fondu à base du lactosérum avec l'ajout d'un condiment alimentaire comme l'ail et faire une comparaison entre différents avantages de chaque produit ;
- ❖ Faire une étude approfondie et détaillée sur les composants bioactifs de lactosérum et leurs intérêts sur la santé ;

## Conclusion et perspectives

---

- ❖ Étudier l'activité microbiologique des deux fromages (fromage-eau, fromage-lactosérum) ;
- ❖ Étudier la stabilité des produits au cours de conservation.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- AFNOR. (1980). Recueil de norme française lait et produits laitiers.ed.Paris.
- AFNOR. (1986). Association française de normalisation recueil des normes français, contrôle de la qualité des produits laitiers.3<sup>ème</sup> édition, 647-651.
- Agnes N. (1986). Production de protéines à partir de lactosérum brut, Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Lyon.
- Alais C. (1984). Science du lait, principes des techniques laitières, 4<sup>ème</sup> édition, SEPAIC, 848p.
- Alimoradi F., Hojaji E., Jooyandeh H., Moghadam S., & Moludi J. (2016). Whey proteins: Health benefits and food applications. Journal of International Research in Medical and Pharmaceutical Sciences, 9(2), 63-73.
- Anonyme, 2001. Commission canadienne du lait, novembre 2001.
- APRIA. (1973). Les lactosérums traitement et utilisation, association pour la promotion industrie agriculture, paris. P : 3-132.
- APRIA. (1980).Utilisation de lactosérum en alimentation humaine et animal.
- Attaallah W., Yılmaz A.M., Erdogan N., Yalçın A.S., Aktan A.Ö. (2012). Whey protein versus whey protein hydrolysates for the protection of azoxymethane and dextrin sodium sulfate induced colonic tumors in rats. Pathol. Oncol. Res.18, 817–822.
- Banu R., Kumar G., Gunasekaran M., Kavitha S. (2020). Food Waste to Valuable Resources: Applications and Management. Academic Press.
- Bardy S., Bentz M., Bussière T., Chatras J., Fontaine L., Gaugler M., Lechat L. et Lengronne O. (2016).Valorisation du lactosérum.
- Benaissa M. (2018). Valorisation du lactosérum par les bactéries lactiques. Thèse de Doctorat en science spécialité : Biotechnologie option écosystème microbiens complexes, Université d'Oran Ahmed Ben Bella.
- Berger W. (1985). JOHA. Les sels de fontes, propriétés et emploi, schruttmacher moderne product.
- Berger W., Klostermeyer H., Merkenich K., Uhlmann G. (1989): Processed cheese manufacture. Ladenburg: BK Ladenburg GmbH, 233p.
- Berger W.H. (1988). Cours aux étudiants de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, 42p.
- Berrocal R. (2000). Le lait aliment de santé. Résumés des conférences. INPL. 1-14.

## Références bibliographiques

---

- Boizot N., Charpentier J.P., (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre foustier. Le cahier des techniques de l'Institut National de la Recherche Agronomique. Pp: 79-82.
- Boudier J.F., Luquet F.M., Perre C. (1976). Utilisations de lactosérum en alimentation humaine et animale, Technique et Documentation, Paris, 1-113.
- Boudier K et Luquet N. (1984). le lait source d'ingrédients performant et versatiles journal of agriculture Food, Canada. 1233 -1246.
- Boudjenah H. (2012). Aptitude à la transformation du lait camelin en produits dérivés : effet des enzymes coagulantes extraits de caillètes de camelins. Thèse de doctorat en science biologique, Université UMMTO, Tizi-Ouzou.
- Boutonnier J.L. (2000). Fabrication du fromage fondu, technique de l'ingénieur.
- Boutonnier J.L. (2002). Fabrication de fromage fondu. Technique d'ingénieur. traité agroalimentaire, F6310-1.
- Brandelli A.; Daroit D.J.; Folmer Corrêa A.P. (2015). Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. Food Research International. 73, 149-161.
- Cahyana A.H., Wibowo W., Pratama A., & Ardiansah B. (2015). Synthesis, characterization and anti-oxidative properties of propolis-like compound prepared from prenylation of Indonesia's cinnamon (*Cinnamomum Burmanni*) essential oil using- $AL_2O_3/NaOH$ . Journal of chemical and pharmaceutical Research, 7 (1), 715-719.
- Caric M. (2000): Processed cheese. In, FRANCIS F.J., Encyclopedia of Food Science and Technology, 2nd ed., John Wiley and Sons, New York. p. 1973–1987.
- Caric M., Gantar M., & Kalab M. (1985). Effects of emulsifying agents on the microstructure and other characteristics of process cheese - a review. Food Microstructure, 4(2), 297-312.
- Carole E.L., Vignola M. (2002). Science et technologie du lait : Transformation du lait. Ed, presses internationales polyethniques, Québec Inc, 600p.
- Carole L., Vignola I. (2002): Science et Technologie du lait. 598p.
- CEFAM. (2015) : Centre de formation et d'études. Formation & Accompagnement sur-mesure. Dans le domaine de l'agriculture et de l'agroalimentaire.
- Chambre M., Daurelles J. (1997). Le fromage fondu. In: ECK A. ET GILLIS. Le fromage. Ed. Tech & doc, Lavoisier, Paris, p. 691-708.

## Références bibliographiques

---

- Chambre M., Daurelles J. (2006) : le fromage fondu, In <<le fromage : de La science à l'assurance qualité >> Ed.ECK A. et GILLIS J.C.Technique et Documentation : 3<sup>eme</sup> Ed. Lavoisier. Paris, p691-707.
- Chambre M., Goldschmidt B., & Lecomte M.C. (2004). Minéraux et fromage fondu. Minéraux et produits laitiers, 565-584. Emulsification image.
- Chambre M., Goldschmidt Benoit et Lecomte M.C. (2004). Minéraux et fromage fondu. pp 10-17.
- Chemache L. (2011). Qualité de deux spécialités fromagère fabriqué et commercialisé en Algérie. Mémoire magister en science alimentaire, université 2 Mentouri Constantine.
- Chung Y.C., Chang C.T., Chao W.W., Lin C.F. et Chou S.T. (2002). Antioxidant activity and safety of the 50 ethanolic extract from red bean fermented by *Bacillus subtilis* IMR-NKI. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(8): 2454-2458.
- CNIS : Centre national de l'informatique et des statistiques d'Alger. (2015). Statistiques d'importation du cheddar, Algérie.
- CODEX ALIMENTARIEUS. (2015) : Projet de norme générale pour le fromage fondu (étape 6), CL 2015/34-MMP décembre 2015.
- CODEX ALIMENTARIUS. (1999). Norme pour les laits en poudre et la crème en poudre CXS 207-1999.
- Córdoba R. (2013). Méthodologie alternative pour la réutilisation du lactosérum de fromage basée sur l'industrie de la canne à sucre dérivés de l'industrie de la canne à sucre. Université de Veracruz.
- Courtine RJ. (1972) << Dictionnaire des fromages >>, Librairie Larousse, p 73-74
- Crédoc, Cahier de la recherche. (2013): CCAF, Tris spécifiques BEL.
- De La Fuente M.A., Hemar Y., Tamehana M., Munro P.A. et Singh H. (2002). Process Induced changes in whey proteins during the manufacture of whey protein Concentrates. *International dairy journal* 12, 361-369.
- De Witt J.N. (1981). Structure and functional behavior of whey proteins Nether land milk and dairy journal, 35-47.
- De Witt J.N. (2001). Manuel de l'Enseignant sur le Lactosérum et les Produits de Lactosérum, 1ère édition. European Whey Products Association, Bruxelles, Belgique.
- Décret n° 2013-1010 du 12 novembre 2013 modifiant le décret no 2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères.

## Références bibliographiques

---

- Delobette J.B., Ormerod O.J. (1991). Mise au point de procédé de traitement des lactosérums et effluents de fromageries en production fermière .Compte rendu sur les techniques d'élevage et qualité Institut d'élevage .INRA.
- Delpel J.L. (2003). Fromage et vin. Losange.
- Eck A., Gillis J. (1997). Le fromage: de la science a l'assurance qualité. Edition Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- Eck A., Gillis J.C. (1997). Le fromage. 3ème édition. Lavoisier. Tec et Doc.891p.
- Eck A., Gillis J.C. (1997). Le fromage. Paris : Technique et documentation Lavoisier, 3<sup>rd</sup> Ed.
- EFSA: European Food Safety Authority (2010). Scientific opinion on lactose thresholds in lactose intolerance and galactosaemia.EFSA J; 8(9):1777.
- El Bendary M.A., Moharam Maysa E. and Ali Thanaa H. (2007). Purification and characterization of milk-clotting enzyme production by Bacillus sp Haericus. Journal of Applied sciences Research, 3 (8): 695-699.
- El-Bakry M., Duggan E., O'Riordan E.D., & O'Sullivan M. (2010). Effects of emulsifying salts reduction on imitation cheese manufacture and functional properties. Journal of Food Engineering, 100(4), 596-603.
- Essadaoui M. (2012). Institut Marocain de l'Information Scientifique et Technique (IMIST).BIT-IAA. N° 24, 19-22.
- FAO/OMS n°A-6 (1978, modifiée en 1990). Lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine, Chapitre 6 : Fromages.
- FAO-ONU. (2017). Production alimentaire : fromage en Algérie. Organisation des Nations Unies.
- Feiberg M. (2002). Répertoire générale des aliments. Tome 2 : Produits laitiers, 2ème édition. Tech & doc, Lavoisier, Paris.
- Feinberg M., Favier J et Ireland T.R. (1987). Répertoire générale des aliments. Table de composition des produits lactière : Vache, brebis, chèvre, Ed. Tec et Doc, Lavoisier, Paris, T3, 442p.
- Fick M. (2016). Valorisation du lactosérum. Université de lorraine.
- Florian R. (2012). Le lait et sa coagulation. Thèse de doctorat. Cheese-in-the-city.com.
- Fox P.F., Guinee, T.P., Cogan T.M., et al., (2000). Fundamentals of cheese science. Maryland: Aspen Publishers Inc, p. 429–451.
- Fox P.F., Kelly A.L. (2004). The caseins in proteins in Food processing, Yadar.Y.ed.Boca Raton, FL: CRC Press, 29-71.

## Références bibliographiques

---

- Fox P.F., O'connor T.P., McSweeney P.L.H., Guinee T.P., O'Brien N.M. (1995). Cheese: Physical, biochemical, and nutritional aspects, *Adv.Food Nutr.Res.*39, 163-328.
- François Luquet. (1990). lait et produits laitiers: vache, brebis, chèvre, t.2, Lavoisier, tec&Doc, p.375.
- Fredot E. (2006): Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Tec et Doc, Lavoisier : 25 (397 pages).
- Gangurde H., Chordiya M., Patil P., & Baste N. (2011). Whey protein. *Scholars' Research Journal*, 1(2).
- Garric G. (2020). La technologie fromagère: de la tradition aux technologies de rupture. *IAA la revue des industries agroalimentaires*.
- Gassi J.Y., Camier-Caudron B., Schuck P., Goudéranche H. (2002). Procédé de transformation fromagère (partie 3). *Technique de l'ingénieur*.
- Gaucheron F. (2004). Minéraux et produits laitiers, Québec. Edition Technique et Documentation, Paris 922p.
- Gerard B et Debry G. (2001). Lait nutrition et santé. Ed Tec et Doc. PP : 44-55.
- Gillis J.C., Ayerbe A. (2018). Le fromage 4<sup>ème</sup> édition .Tech&Doc/Lavoisier.1001.p3.
- Guinne T.P., Caric M., Kalab 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, 3rd ed.* Elsevier Applied Science Ltd, London, p. 349-394.
- Hough G., Puglieso M.L., Sanchez R., da Silva O.M. (1999). Sensory and Microbiological Shelf-Life of a Commercial Ricotta Cheese. *Journal of Dairy Science*, 82(3), 454–459.
- Iris Dussault-Chouinard. (2019). Amélioration des performances fromagères des concentrés laitiers d'osmose inverse : Phase de coagulation par la présure. *Mémoire maîtrise en science des aliments Québec, Canada*.
- J.O.R.A. (1998): *Journal Officiel de la République Algérienne...* N°35.
- Jeantet R., Groguenec T., Mahout M., Schuck P., Brulé G. (2008). Lait et produits laitiers. Paris : Lavoisier.
- JORF. (2013). *Journal Officiel de la République Française*.
- Jouan. (2002). Lactoprotéines et Lactopeptides: Propriétés biologiques. Ed.Quae.INA.127p.

## Références bibliographiques

---

- Kadam B., Ambadkar R., Rathod K., & Landge S. (2018). Health benefits of whey: A brief review. *Int J Livest Res*, 8(5), 31.
- Krissansen G.W. (2007). Emerging health properties of whey proteins and their clinical implications. *J Am Coll. Nutr*; 26:713S-23S.
- Laplanche J. (2004). Système d'épuration du lactosérum d'alpage par culture fixée sur lit de compost. *Revue suisse Agric.*, 36(5), 220-224.
- Larpent J.P., Copin M.P., Germonville A., Jacquet, M., Thétas J.L. (1997). Microbiologie du lait et des produits laitiers. In Larpent.JP. Microbiologie alimentaire. Paris : Lavoisier. P704-805.
- Legrand P. (2008) : Intérêt nutritionnel des principaux acides gras des lipides du lait. *Cholédoc*, P. 105.
- Leong J., Kasamatsu C., Ong E., Hoi J.T., Loong M.N.A. (2015). Study on sensory properties of sodium reduction and replacement in Asian food using difference-from – control test, *Food Science & Nutrition*.
- Lupin D. (1998). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO : Alimentation et nutrition. 25-38.
- Luquet F.M et François M. (1990). Lait et les produits laitiers, vache, brebis, chèvre. Tome II.
- Luquet F.M. (1990). Lait et produits laitiers Vache, Brebis, Chèvre. Transformation et Technologies. Tome 2. Tech & doc. Lavoisier, paris, 637p.
- Mahaut M. et al. (2003). Initiation a la technologie fromagère. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 180p.
- Mahaut M., Jeantet R., et Brule G. (2005). Initiation à la technologie fromagère. Tec et Doc Lavoisier. Paris, France.1-21p.
- Mahaut M., Jeantet R., et Brule G. (2000). Initiation à la technologie fromagère. Partie 2 Généralité sur la technologie fromagère. Edition Tec et Doc Lavoisier. Paris.194p.
- Mahaut M., Jeantet R., et Brulé G. (2003). Initiation à la technologie fromagère. Paris, Lavoisier, Technique et Documentation, France ; Pp 24-102.
- Mereo M. (1971). Les utilisations industrielles du sérum de fromagerie. *Agro-alim*, 817-823.
- Meyer A. (1973). *Processed Cheese Manufacture*, Food Trade Press Ltd. London.
- Meyer A. (1997). *Processed Cheese Manufacture*, Food Trade Press Ltd., London, 201p.

## Références bibliographiques

---

- Miller G.L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal Chem* 31 (3): 426-428.
- Minj S., & Anand S. (2020). Whey proteins and its derivatives: Bioactivity, functionality, and current applications. *Dairy*, 1 (3), 233-258.
- Mocquot G. (1969). *Beurrerie industrielle : science et technique de la fabrication du beurre, la maison rustique*, 27, 61, 102, 103, 308-335.
- Mohammed Ahmed I.A., Babiker E.E and Mori N. (2010). pH stability and influence of salts on activity of a milk-clotting enzyme from *solanum dubium* and its enzymatic action on bovine caseins. *LWT-food science and Technology*, 43: 759-764.
- Moletta R. (2002). *Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA*. Paris: Techniques et Documentation, xx-600p.
- Morr C.V and E. Ha (1993). Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 33 (6): 431-476.
- Morr C.V. (1982). Functional properties of milk proteins and their use as food ingredients. *Developments in dairy chemistry*, 197-200.
- Muller S., & Lefrileux Y. (2000). Le traitement des effluents en fromagerie. *L'égide* (18), 3.
- Nelson F et Coll. (1978). whey utilization in first flavored drinks. *Dairy and Food science* 14.
- Oliveira R.B.A., Margalho L.P., Nascimento J.S., Costa L.E.O., Portela J.R., Cruz A.G., and Sant'Ana A.S. (2016). Processed cheese contamination by spore-forming bacteria: a review of sources, routes, fate during processing and control. *Trends Food Sci Tech*, 57, 11-19. Doi: 10.1016/J.Tifs.2016.09.008
- Omar S et Sabry S. (1991). Microbial biomass and protein production from whey. *Journal of Islamic academy of sciences*, 4: 170-172.
- ONS. (2021) : Office National des Statistiques-Alger. *Activité industrielle : 2011-2020/office national des statistiques* 43p.
- Oyaizu M. (1986). Studies on products of products reaction and oxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44, 307-315.
- Öztürk H.I. & Akin N. (2017). Comparison of some functionality of water soluble peptides derived from Turkish cow and goat milk Tulum cheeses during ripening. *Food Science and Technology*, 38(4), 674-682.

## Références bibliographiques

---

- Papademas P. et Kotsaki P. (2019). Technological Utilization of Whey towards Sustainable Exploitation. *J Adv. Dairy Res*, 7, 231.
- Paule Neyrat, 2008, les fromages fondus.
- Pérez-Cruz K., Moncada-Basualto M., Morales-Valenzuela J., Barriga-Gonzalez G., Navarrete-Encina P., Nunez-Vergara L & Olea-Azar C. (2018). Synthesis and antioxidant study of new polyphenolic hybrid-coumarins. *Arabian journal of chemistry*, 11(4), 525-537.
- Poget-Ramscler C. (1993). Production d'acide lactique et acétique en vue d'une valorisation industrielle du petit lait et de son permeat par fermentation. Thèse de doctorat, école polytechnique fédérale de Lausanne.
- Politis I., & Ng. Kwai-Hang K.F. (1988). Effects of somatic cell count and milk composition on cheese composition and cheese making efficiency. *Journal of dairy science*, 71 (7), 1711-1719.
- Prieto P., Pineda M., & Aguilar M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of vitamin E. *Analytical biochemistry*, 269(2), 337-341.
- Ramesh C., Chandan Aru M. (2011). *Dairy Ingredient For Food Processing*. Wiley-Blackwell, USA, P225-226.
- Ramet J.P. (1997). Les agents de transformation du lait in le fromage, 3ème édition.
- Renner E. (1983). *Milk and dairy products in human nutrition*. München, Volkswirtschaftlicher Verlag. 450 pages.
- Richonnet C. (2016). Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus. *Cah Nutr Diet*, 51(1), 48-56.
- Roustel S. (2014) : Fromage fondu : physico-chimie du processus de fonte. *Techniques de l'ingénieur*, F6310: 2: 1-15.
- Roustel S. et Boutonnier J.L. (2015). Fromage fondu : Technologie de fabrication et contrôle qualité. *Techniques de l'ingénieur*, F6311: 1: 1-19.
- Schaffer B., Szakaly S., Lorinczy D., Schaffer B. (2001). Processed Cheese made with and without Peptisation: Submicroscopic structure and thermodynamic characteristics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 64.671-679.
- Scott R., Richard K.R., Wilbey A. (1998). *Cheese making practice*. 3rd edition. Springer, 449 p.

## Références bibliographiques

---

- Shankar J. R., & Bansal G.K. K. K. (2013). A study on health benefits of whey proteins. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 4(1), pp 15-19.
- Singleton V.L. et Rossi J.A. (1965). Colorimetric of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Technology and Viticulture*. 16:144-153.
- Smithers G.W. (2008). "Whey and whey proteins-from 'gutter-to-gold'." *International Dairy Journal* 18(7): 695-704.
- Solak B.B et Akin N. (2012). Health Benefits of Whey Protein: A Review. *Journal of Food Science and Engineering* 2: 129-137.
- Sottiez P. (1990). produit dérivés des fabrications fromagères, lait et produits laitiers, tome 2. Ed ; Lavoisier, Paris. (1990), pp 357- 392.
- Sottiez P. (1990). Produits dérivés des fabrications fromagères, « lait et produits laitiers vache, brebis, chèvre : transformation et technologie ». Ed. Luquet F.M. Tome 2, Technique et Documentation, 2ème éd. Lavoisier, Paris. 357-390.
- Sousa G.T.; Lira F.S.; Rosa J.C.; de Oliveira E.P.; Oyama L.M.; Santos R.V.; Pimentel G.D. (2012). Dietary whey protein lessens several risk factors for metabolic diseases: A review. *Lipids Health Dis.* 11, 67.
- ST-Gelais D., Tirard C. (2002). Fromage, in science et technologie du lait, transformation du lait coordonnateur Vignola C. Fondation de technologie laitière du Québec.
- Sumaira S., Muhammad R.K., & Rahmat A. K. (2011). Phenolic compound and antioxidant activities of *Rumex hastatus* D. Don. Leaves. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(13), 2755-2765.
- Sutheerawattan & Bastian (1988). Monitoring process cheese meltability using dynamic stress rheometry. *J. of Texture Studies*, 29 pp 169-183.
- Tamime A.Y. (2011). Processed cheese and analogues: An overview. *Processed cheese and analogues*. Oxford, UK.
- Tanguy-Sai G. (2018, March). Impacts de la succession d'étapes (nano filtration, évaporation, séchage) sur le lactosérum acide lactique: Qualité de la poudre et évaluation énergétique. Comparaison de stratégies. In Méta Séminaire CEPIA 2018 AgroParisTech (p. np).

## Références bibliographiques

---

- Tunick M.H., Onwulata C.I., Huth P.J. (2008). Whey protein production and utilization whey processing, functionality and health benefits. Ames, Iowa: Blackwell Publishing; IFT Press; p. 1-13.
- Valencia D., Ramírez M., Denicia V., Castillo R., Leticia M., Valencia E., & Ramírez M. L. (2009). Pollution de l'eau par l'industrie laitière. *Eléments: Ciencia Y Culture*, 16(73), 27-31.
- Vasey C.D.N. (2006). *The WHEY Prescription: The Healing Miracle in Milk*. Healing Arts Press. Rochester, Vermont : JON E. Graham. 45 pages.
- Vignola C. (2002). Science et technologie du lait : transformation du lait, fondation de technologie laitière du Québec 1, 12, 14, 15p.
- Vignola C. (2002). Science et technologie du lait. Transformation du lait. Edition presses internationales polytechniques, Fondation de technologie laitière du Québec.
- Violleau V. (1999). Valorisation du lactosérum par électrodialyse. Thèse de doctorat. Montpellier.
- Vrignaud Y. (1983). Valorisation du lactosérum, une longue histoire. *Revue laitière française* n°422, PP : 41-46.
- Walstra P. et Jenness R., 1984 : *Dairy Chemistry and Physics*, John Wiley & Sons, New York
- Walther B., Schmid A., Sieber R., & Wehrmüller K. (2008). Cheese in nutrition and health. *Dairy Science and Technology*, 88(4-5), 389-405.
- Walzem R.L, Dillard CJ and German JB. (2002). Whey components: millennia of evolution create functionalities for mammalian nutrition: what we know and what we may be overlooking. *Crit Rev Food Sci Nutr*; 42 (4): 353-75.
- Woo A. (2002). la grande diversité du lactosérum. *Agriculture et agroalimentaire*, Canada, p3-13.
- Yorgun M.S., Akmehmet Balcioglu I., & Saygin O. (2008). Performance comparison of ultra filtration, nano filtration and reverse osmosis on whey treatment. *Desalination*, 229, 204– 216.

## Webographie

---

- <https://Subbuccoks.com>. How to use whey water, leftover paneer water.
- <https://ensaia.univ-lorraine.fr>. (2016). Consultée le 20mai 2022 à 21:30.
- [https://www. le progres.fr](https://www.leprogres.fr) »Environnement» pollution des cours d'eau par le petit-lait.
- <https://www. le dauphine.com>»...«Bourg-Saint-Maurice. pollution au lactosérum. Consultée le 20 mai 2022 à 21 :40.

# **Annexes**

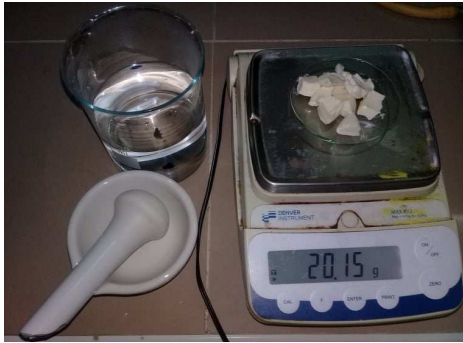
## Annexes

---

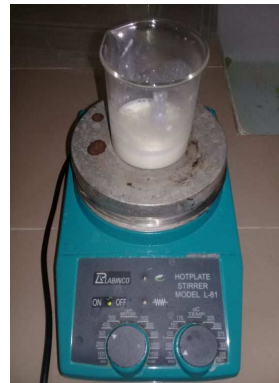
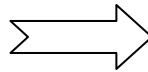
### Annexe 01 : Préparation de la solution mère de fromage

#### ✚ Mode opératoire

- Prélever 20g de fromage fondu et ajouter 40ml d'eau distillé (chaud) ;
- l'échantillon est verser dans un bicher et agiter par des mouvements de rotations au moyen d'une plaque chauffante et agitateur magnétique.



Prélèvement de l'échantillon



Homogénéisation de l'échantillon

- Faire une dilution en prélevant 1ml de l'échantillon à l'aide d'une micropipette et l'introduire dans un tube en ajoutant 10ml d'eau distillé (dilutions de 1/10)

## Annexes

---

### Annexe 02 : Préparation des solutions et réactifs

#### **Solution de dosage des protéines**

##### **1- Solution A**

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> anhydre 2% dans 100ml d'eau distillé

NaOH 0.1M dans 100ml d'eau distillé

##### **2- Solution B**

2ml de CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (0.5%)

2ml de tartrate de Na et K (1%)

##### **4- Solution C**

50ml de solution A

1ml de solution B

#### **Réactif de DNS**

##### **1- Solution A**

Dinitrosalicylique à 2g dans 40 ml d'eau distillé

##### **2- Solution B**

NaOH à 3,2g dans 30ml d'eau distillé

- Mélanger la solution A et B avec 60g de tartrate double de sodium et de potassium puis chauffer sur une plaque chauffante. Après ajuster le volume à 100ml avec l'eau distillé.

#### **Réactif de Phosphomolybdate**

100ml d'acide sulfurique (0.6 mM)

100ml de sodium phosphate (28 mM)

100ml de molybdate d'ammonium (4mM)

#### **Préparation de la solution NaCO<sub>3</sub> à 7%**

7g de NaCO<sub>3</sub> dans 100ml l'eau distillé

#### **Réactif de DPPH**

0.5g de DPPH dans 40ml d'éthanol



# Annexes

## Annexe 04 : Préparation des fromages



## Annexes

---

### Annexe 05 : Produits finis (Fromage fondu à base d'eau et Fromages fondu à base de lactosérum)



Fromage fondu à base de lactosérum



Fromage fondu à base d'eau

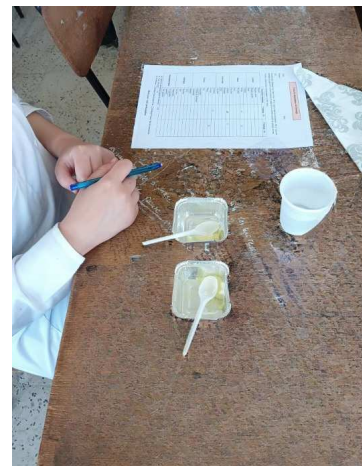
# Annexes

## Annexe 06: Déroulement de la dégustation



Fal : Fromage à base du lactosérum

Fae : Fromage à base d'eau



## Annexes

### Fiche de dégustation du fromage

Nom :

Prénom :

Age :

Date :

Pour les deux fromages (**Fae** et **Fal**), il vous est demandé de juger et d'évaluer le niveau de qualité de ces derniers à partir de tableau suivant.

Veillez cocher la case correspondante à votre choix.

	Sensations ressenties	Fromage : Fae	Fromage : Fal
<b>Couleur</b>	Blanche		
	Blanche cassée		
	Blanche jaunâtre		
	Jaune		
<b>Odeur</b>	Absente		
	Faible		
	Moyenne		
	Forte		
	Très forte		
<b>Gout acide</b>	Absente		
	Moyenne		
	Forte		
	Très forte		
<b>Texture</b>	Crémeux		
	Coulant		
	Pâteux		
	Dur		
	Homogène		
	Présente de grumeaux		
	Acceptable		
<b>Amertume</b>	Absente		
	Faible		
	Moyenne		
	Forte		
	Très forte		
<b>Description finale</b>	Désagréable		
	Peu agréable		
	Agréable		
	Très agréable		

🚩 Indice de satisfaction (qualité du produit) .... /10.

🚩 Gout personnel .... /10.

Préférence :  fromage : Fae ;  fromage : Fal.

**Merci pour votre participation**