



*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 de Biochimie-Microbiologie*

# *Mémoire de fin d'études*

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Alimentaires  
Option : Biochimie de la nutrition*

**Thème :**

*Essai de valorisation du lactosérum comme  
substituant d'eau de process par une simulation sur  
Excel dans la formulation d'une crème glacée*

*Présenté par :*

*M<sup>elle</sup> : DEKKAL Chahrazed*

*M<sup>elle</sup> : DOUMANE Amel*

*Soutenu devant le jury composé de :*

*Président : Mr HOUALI K.*

*Professeur à l'UMMTO*

*Promoteur : Mr SEBBANE H.*

*Maitre de conférences classe B à l'UMMTO*

*Examineur : Mr MSELA A.*

*Maitre de conférences classe B à l'UMMTO*

*Année universitaire : 2020-2021*



## *Remerciements*

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.*

*Nos remerciements vont particulièrement à notre promoteur Monsieur SEBBANE HILLAL, nous tenons à lui exprimer nos remerciements les plus sincères de nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail, son aide scientifique inestimable, sa disponibilité, ainsi que ses qualités humaines nous ont profondément marquées, j'espère que ce travail témoignera sur notre grande estime et de profondes reconnaissances.*

*On remercie également Madame ALMI DALILA qui s'est toujours montrée à l'écoute, ainsi pour l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer.*

*Nous remercions vivement les membres du jury pour le temps qu'ils ont accordé à la lecture de ce modeste travail et leurs observations pertinentes.*

*Nos remerciements vont aussi à nos parents ; une source abondante de courage et de persévérance on pourra pas vous remercier assez pour vos encouragements durant nos cursus scolaires et universitaires, merci infiniment à vous. Nos amis pour leurs soutiens et leurs constantes présences dans les moments de doute.*

*Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce modeste travail.*



*Je dédie ce modeste travail à :*

*À la mémoire de mon cher père oncle papa Meziane paix à ton âme ;*

*Ma très chère mère, la femme qui m'a donné le désir d'apprendre et de savoir vivre, ma fierté et mon bonheur, celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation ;*

*Mon très cher père qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les miracles ;*

*A ma très chère jumelle Amel, à mon petit ange mon frère Syllas ;*

*A mes cousins et cousines ;*

*A toute ma famille ;*

*A mes adorables amies Dilia, Mouna, Melissa, Thifelli ;*

*A mes grands-parents ;*

*A ma binôme Amel et toute sa famille ;*

*A tous les étudiants de la promotion biochimie de la nutrition (2020-2021) ;*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis  
merci.*

*Chahrazed*



*Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents, Meziane et Malha, qui m'ont apporté leur soutien et leur encouragement durant toutes mes études, qui m'ont incité pour aller toujours vers de l'avant, et qui n'ont jamais cessé de ménager leur effort pour m'épargner soucis et besoin. Nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments et mon profond amour que je vous porte, ni l'immense gratitude que je vous témoigne pour tous vos efforts. Que Dieu tout puissant vous garde pour moi et vous procure santé bonheur et longue vie.*

*A mon cher frère Ahcen, et mes chères sœurs Lynda et Aldjia qui n'ont pas cessé de m'encourager et de me soutenir durant mon cursus.*

*A ma petite princesse ma nièce Cynthia qui nous apporte une bouffée de bonheur et de joie pour toute la famille.*

*A la mémoire de mes deux chères grandes mères ; puisse dieu les accueillir dans son infinie miséricorde.*

*A toute ma famille*

*A mes adorables amies Céline, Saida, Dahbia, Mélissa, Dilia, Mouna, Imane*

*A ma binôme chahrazed et toute sa famille*

*A tous les étudiants de la promotion biochimie de la nutrition (2020-2021)*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

*AMEL*

## Sommaire

Liste des tableaux .....	(i)
Liste des figures .....	(ii)
Liste des abréviations .....	(iii)
<i>Introduction</i> .....	1

### *Synthèse bibliographique*

#### **I. Généralités sur les crèmes glacées**

I.1. Origine et historique .....	3
I.2. Définition .....	4
I.3. Consommation et place des crèmes glacées en Algérie et dans le monde entier .....	4
I.4. Classification des crèmes glacées .....	6
I.5. Structure des crèmes glacées.....	7
I.6. La composition et la fonction des ingrédients des crèmes glacées .....	7
I.7. La valeur nutritionnelle des crèmes glacées .....	11
I.8. La qualité organoleptique des crèmes glacées .....	12
I.9. Les Propriétés microbiologiques .....	13
I.10. Technologie de fabrication des crèmes glacées .....	13

#### **II. La valorisation du lactosérum**

II.1. Définition du lactosérum .....	18
II.2. Composition et valeur nutritionnelle du lactosérum.....	18
II.3. Types de lactosérum .....	23
II.4. Pouvoir polluant du lactosérum .....	24
II.5. Valorisation du lactosérum et ses constituants .....	25
II.6. Les techniques de récupération des différentes fractions du lactosérum.....	30

### *Partie expérimentale*

#### **I. Matériel et méthodes**

I.1. Matériel .....	32
I.2. Méthodes.....	33
I.2.1. Échantillonnage .....	33
I.2.2. Modèle de simulation de la valorisation du lactosérum.....	33
I.2.2.1. Principe de calcul du modèle Excel .....	33
I. 2.3. Modèle mathématique adopté .....	34
I.2.3.1. Détermination des quantités des matières premières à utiliser dans la formule lactosérum .....	34
I.2.4. Étude technico commerciale .....	38
I.2.5. Estimation de l'effet environnemental de la valorisation du lactosérum.....	38
I.3. Préparation de la recette de crème glacée à base de lactosérum.....	39
I.4. Analyses physico chimiques .....	40
I.5. L'analyse organoleptique.....	44
<b>II : Résultats et discussions</b>	
II.1. Résultats de l'analyse physico-chimique .....	46
II.2. Résultats de la simulation .....	47
II.2.1. Résultats de la simulation mathématique de la nouvelle recette .....	47
II.2.2. Etude comparative des résultats physico chimique (théorique et pratique) des trois mix .....	48
II.2.3. Résultats technico-commerciaux .....	49
II.2.4. Aspect environnemental .....	52
II.3. Résultats de l'analyse sensorielle .....	54
II.3.1. Interprétation des résultats de l'analyse sensorielle .....	57
<i>Conclusion et perspectives</i> .....	59
<i>Références bibliographiques</i>	
<i>Annexes</i>	

## Résumé

Le rejet industriel du lactosérum constitue une véritable perte économique sèche du fait de sa richesse en éléments nutritifs. Ce travail vise à valoriser le lactosérum brut par son incorporation dans la formulation d'une crème glacée. Les différentes fractions des matières premières utilisées pour la préparation de la crème glacée sont basées sur un modèle mathématique sur Excel. Les caractéristiques physicochimiques des différentes matières premières utilisées dans sa fabrication, sont intégrées dans le model adopté afin d'en déduire et d'estimer les nouvelles proportions des ingrédients à utiliser dans la formulation de crème glacée à base du lactosérum, tout en gardant à la fin les mêmes caractéristiques du produit fini. Les résultats de l'analyse sensorielle ont révélé l'acceptabilité du produit par le panel de dégustation. Les résultats de l'étude technico-commerciale ont dégagé une marge bénéficiaire très considérable dans les crèmes glacées à base de lactosérum. Ce type de travail offre de nouvelles perspectives et un plus à gagner pour les industriels en Algérie tout en réduisant l'importation de la poudre de lactosérum et les matières premières utilisées dans la fabrication des crèmes glacées. L'impact écologique positif de cette étude a été évalué par la réduction de quantités du lactosérum à valoriser annuellement par l'industrie et qui est calculée en équivalent de pollution par habitant, en se basant sur les teneurs en matières sèches totales valorisées dans le produit fini. Les résultats de cette simulation montrent également une réduction très appréciable de l'effet de pollution du lactosérum évalué à l'ordre de 30969162,52 équivalent habitant.

Mots clés : Excel, Crème glacée, Lactosérum, Modèle mathématique, Qualité, Valorisation

## **Abstract**

The industrial rejection of whey constitutes a real economic loss due to its richness in nutritive elements. This work aims to valorize the raw whey by its incorporation in the formulation of an ice cream. The different fractions of the raw materials used for the preparation of the ice cream are based on a mathematical model on Excel. The physicochemical characteristics of the different raw materials used in its manufacture, are integrated in the model adopted in order to deduce and estimate the new proportions of the ingredients to be used in the formulation of ice cream based on whey, while keeping in the end the same characteristics of the finished product. The results of the sensory analysis revealed the acceptability of the product by the tasting panel. The results of the technical-commercial study showed a very considerable profit margin in whey-based ice creams. This type of work offers new prospects and a gain for industrialists in Algeria while reducing the import of whey powder and raw materials used in the manufacture of ice cream. The positive ecological impact of this study has been evaluated by the reduction of quantities of whey to be recovered annually by the industry and which is calculated in pollution equivalent per capita, based on the contents of total dry matter recovered in the finished product. The results of this simulation also show a very appreciable reduction of the pollution effect of whey evaluated at the order of 30969162,52 equivalent inhabitants.

Keywords: analyzes, Excel, ice cream, whey, mathematical model, Quality, valorization

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : Consommation des crèmes glacées dans le monde .....	5
<b>Tableau II</b> : Composition de la crème glacée .....	8
<b>Tableau III</b> : Composition des crèmes glacées de diverses origines .....	8
<b>Tableau IV</b> : La teneur moyenne par kg en vitamines de la crème glacée .....	12
<b>Tableau V</b> : Composition moyenne du lactosérum doux et acide .....	18
<b>Tableau VI</b> : Activité biologique des protéines et des peptides du lactosérum .....	20
<b>Tableau VII</b> : Les protéines du lactosérum.....	20
<b>Tableau VIII</b> : Acides aminés essentiels (g/100g) .....	21
<b>Tableau IX</b> : Teneurs en vitamines du lactosérum .....	22
<b>Tableau X</b> : Teneurs en minéraux du lactosérum .....	22
<b>Tableau XI</b> : Applications des protéines du lactosérum .....	28
<b>Tableau XII</b> : Quantités des matières premières de la recette de base .....	34
<b>Tableau XIII</b> : Tableau regroupant les analyses physico-chimiques des matières premières et des produits finis utilisés .....	40
<b>Tableau XIV</b> : Résultats de l'analyse physico chimique des matières premières et des produits finis.....	46
<b>Tableau XV</b> : Quantités exactes des matières premières à peser dans la formule –lactosérum	47
<b>Tableau XVI</b> : Quantités exactes des matières premières à peser dans la formule-lactosérum corrigé avec de l'eau .....	47
<b>Tableau XVII</b> : Résultats physico-chimique des trois recettes.....	48
<b>Tableau XVIII</b> : Coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum .....	49
<b>Tableau XIX</b> : Estimation du pourcentage d'économie en matières premières utiles.....	50
<b>Tableau XX</b> : Estimation du pourcentage d'économie en matières premières utiles .....	51
<b>Tableau XXI</b> : Estimation des quantités annuelles produites et régénérées par le lactosérum.	52

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Crème glacée .....	4
<b>Figure 2</b> : Schéma représentant la structure de la crème glacée .....	7
<b>Figure 3</b> : Représentation schématique d'une crème glacée .....	8
<b>Figure 4</b> : Diagramme de fabrication des crèmes glacées.....	17
<b>Figure 5</b> : Schéma technologique d'obtention des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait .....	23
<b>Figure 6</b> : Schéma de valorisation de lactosérum.....	30
<b>Figure 7</b> : Echantillonnage et récupération du lactosérum.....	33
<b>Figure 8</b> : Photo originale d'une sorbetière.....	40
<b>Figure 9</b> : Courbe d'étalonnage de dosage des protéines .....	44
<b>Figure 10</b> : Photo originale des échantillons et déroulement du test organoleptique.....	45

## Liste des abréviations

AT : acidité titrable

D : densité

EH : équivalent habitant

ESD : Extrait sec dégraissé

ESDL : extrait sec dégraissé laitier

EST : extrait sec total

H : humidité

Kg/m<sup>3</sup> : kilo grammes par mètre cube

KJ/100 g : kilo joules par 100 grammes de produit

L/an /habitant : litre par an et par habitant

mg/mL : milligramme par millilitre

Mpa : milli pascal

NE : normes européenne

OMS : organisation mondiale de la santé

pH : potentiel d'hydrogène

ppm : particules par molécule

S : secondes

SLNG : solide du lait non gras

TH : titre hydrométrique

## Introduction

Le monde a connu un développement très important dans le secteur industriel tandis qu'il y a toujours des risques et des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé publique. Pour cela, les écologistes et les biologistes se sont intéressés depuis longtemps aux procédés et techniques qui servent à limiter la pollution engendrée par les industries (Boudjema *et al.*, 2009).

Le lactosérum, considéré comme un coproduit de l'industrie laitière, est incontestablement une matière noble et riche. En effet, il est devenu une source intéressante de composés actifs et de nutriments spécifiques, présentant des propriétés incomparables, tant sur le plan nutritionnel que sur le plan techno-fonctionnel, tels que le lactose, les protéines solubles, les vitamines hydrosolubles, les matières grasses et les éléments minéraux (Benaïssa, 2018).

De par sa richesse en éléments nutritifs le lactosérum constitue un excellent milieu de culture pour les microorganismes, ce qui fait de ce produit un facteur de pollution redoutable (Agnes, 1986).

En Algérie, l'inexistence d'une mise en valeur du lactosérum se pose avec acuité en raison de l'absence d'une réglementation stricte, émanant des pouvoirs publics, pouvant interdire le rejet de ce produit dans la nature. Le rejet de lactosérum dans les égouts représente une perte sèche en élément nutritif (FAO-ONU, 2017).

Les quantités massives du lactosérum produites par les industries fromagères font de sa gestion un enjeu à la fois économique et écologique. Économique puisque la gestion de chaque kilogramme de produit (le terme produit inclut produits finis, coproduits et sous-produits) représente un coût pour le transformateur industriel, et écologique puisque le lactosérum, s'il n'est pas géré correctement, représente un polluant majeur, il serait à l'origine de pollution grave due à la fermentation de ses matières organiques (lactose et matières azotées) et à la diminution de la teneur en oxygène dissous de l'eau au-dessous d'un seuil acceptable (Smithers, 2008).

Il n'y a pas si longtemps, le lactosérum liquide était souvent traité comme un déchet tandis qu'aujourd'hui on le considère comme un sous-produit utile qui est utilisé dans de nombreux domaines de l'industrie agroalimentaire parmi eux le domaine de l'alimentation humaine notamment les crèmes glacées, notre objectif est de remplacer l'eau par le

lactosérum et le mélanger avec les matières premières pour obtenir un produit similaire au produit standard.

La crème glacée gagne toujours une importance croissante en tant que produit laitier, sa popularité auprès du consommateur s'explique par ses qualités rafraichissantes et sa grande valeur nutritive, et auprès du fabricant par les bénéfices qu'offre ce produit (Kruijer, 1954).

Les industriels Algériens importent de la poudre de lactosérum qui est utilisée comme ingrédient dans de nombreux produits alimentaires, suite aux inconvénients causés par le rejet du lactosérum liquide il est indispensable de le recycler et de le valoriser afin d'éviter l'importation du lactosérum en poudre.

Cette étude a pour objectif d'estimer la rentabilité économique par rapport au gain de la matière première et la réduction de la pollution environnementale causée par le rejet du lactosérum, par l'incorporation du lactosérum brut dans la formulation d'une crème glacée.

Pour mener à bien cette étude nous avons réparti le travail en deux parties comme suit

- ✓ Développer un modèle mathématique sur Excel pour définir les taux d'incorporation du lactosérum dans la formule de base de la crème glacée.
- ✓ Faire des tests de dégustations et des analyses physico chimique pour confirmer la conformité de notre produit et afin d'avoir un produit satisfaisant pour le consommateur et garder sa valeur nutritionnelle.

### **I.1.Origine et historique**

La crème glacée que nous connaissons aujourd'hui est en existence depuis au moins 330 ans, bien que ses origines remontent probablement plus loin dans le passé (Medjoub, 2017). Les glaces sont des préparations alimentaires relativement ancestrales qui ont connu une évolution parallèle à celle de l'utilisation du froid par les hommes (Boutonnier, 2001).

L'histoire a commencé par les informations rapportées sur l'empereur Romain Néron, qui a consommé des fruits refroidis avec de la neige. En outre, il a été rapporté que ce sont les Chinois de l'antiquité qui ont inventé la crème glacée. En effet, la préparation originale était obtenue en mélangeant du miel et des fruits à de la neige. La recette de la crème glacée fut introduite en Italie au 13<sup>ème</sup> siècle par Marco Polo au cours de son retour d'un voyage en Chine. Pendant les premiers temps, ce dessert était réservé à la classe royale, puis s'y répandait dans toute l'Europe, ensuite en Amérique. En 1846, une ménagère américaine, Nancy JOHNSON, invente l'une des premières machines à glace à manivelle baptisée sorbetière mais la crème glacée avec du lait n'est incorporée dans la recette qu'en 1848 pour la première fois aux États-Unis, suite à l'invention du premier freezer (Boutonnier, 2001).

En 1921, un glacier de l'Iowa lance le premier chocolat glacé que Harry BUST présente sur bâtonnet à partir de 1923. Le freezer réfrigéré par compression et expansion d'ammoniaque dans la chemise du cylindre de congélation, ramène la durée de congélation à 5 ou 6 min. C'est en 1924, qu'en France s'ouvre la première usine de crème glacée de conception américaine, et le freezer continu révolutionne l'industrie de la crème glacée. Le premier décret définissant les glaces, crèmes glacées et sorbets est promulgué en France en 1937, et le 1<sup>er</sup> janvier 1996, les industriels glaciers publient le premier guide européen des bonnes pratiques définissant notamment la composition des produits, c'est le code Euroglaces. En 1999, un équipementier allemand commercialise un extrudeur de crème glacée à basse température qui permet de ce fait de supprimer le tunnel de surgélation (Boutonnier, 2002).

## I.2.Définition

La dénomination crème glacée est réservée au produit obtenu par la congélation d'un mélange pasteurisé de lait, de crème, de sucre, parfumé à l'aide de fruits ou de jus de fruits ou de l'un des arômes naturels prévus, ce mélange appelé « Mix » (Kacer et Chetba, 1996).

Ce sont des aliments agréables au goût et nutritifs, leur valeur nutritive est élevée qui consiste à la présence du lactose, protéines et d'un pH presque neutre allant de 6 à 7 (El ouali lalami, 2013).

La crème glacée (figure 1) est un produit complexe présentant un système alimentaire quadriphasique (émulsion, gel, suspension et mousse). C'est une mousse partiellement congelée contenant 40-50%d'air en volume. Les bulles d'air sont maintenues en suspension par la matière grasse émulsifiante et par un réseau de cristaux de glaces le tout étant dispersées dans une phase aqueuse dite continue, contenant des sucres, des protéines et les hydrocolloïdes (Mahaut *et al.*, 2000).



Figure 1 : Crème glacée (Hedh, 2012)

## I.3.Consommation et place des crèmes glacées en Algérie et dans le monde entier

La crème glacée est fabriquée et consommée dans presque tous les pays du monde. La production mondiale totale de la crème glacée et des desserts glacés a été estimée à 14,4 milliards de litres en 2001, soit une moyenne de 2,4 litres par personne (Clarke, 2004).

Les produits laitiers sont d'une grande diversité dans leurs compositions et leurs richesses nutritionnelles. Les crèmes glacées qui en font partie trouvent une place exceptionnelle dans la société algérienne. En effet leur production voit une expansion remarquable à partir des années 2000 (60 unités)., cependant avec une consommation de 30 millions de litres par an, l'Algérie reste bien en arrière en comparaison avec les états unies et l'Europe qui atteignent les 5 milliards de litres (Boudi et Hami, 2015).

Aux Etats unis, les crèmes glacées sont consommées par 91% de la population avec plus de 22 l/ an /habitant. Dans ce pays elles sont considérées comme aliment alors que d'autres pays elles restent un dessert (Boudi et Hami, 2015). Le tableau I montre la consommation des crèmes glacées dans le monde.

En dépit des quelques progrès que connaît l'industrie algérienne des glaces par la présentation de nouvelles recettes ou l'introduction de nouvelles techniques de production, l'Algérien reste un petit amateur de glace qui la consomme uniquement comme rafraichissant et jamais comme un dessert qui se déguste toute l'année (Boudi et Hami, 2015).

**Tableau I :** Consommation des crèmes glacées dans le monde selon Duval (1983).

<b>Pays</b>	<b>Consommation /habitant en litre/an</b>
<u>Europe occidentale</u>	
Royaume uni	5,2
France	3,5
Danemark	8,0
Italie	6,1
<u>Amérique du nord</u>	
Etats unis	22,3
Canada	15,4
<u>Amérique latine</u>	
Argentine	1,8
Brésil	0,7
<u>Afrique et moyen orient</u>	
Egypte	1,2
Jordanie	1,1
Liban	2,0
Maroc	0,1
<u>Asie et Océanie</u>	
Malaisie	0,6
Australie	18

#### **I.4. Classification des crèmes glacées**

La préparation de différents types de glaces se fait par l'association de plusieurs composants tels que le lait, sucre, émulsifiant, stabilisant mélangés avec d'autres ingrédients autorisés.

##### **I.4.1. Les crèmes glacées**

Ce sont des produits alimentaires congelés contenant 8% de matière grasse exclusivement laitière, fabriqués à partir d'un mélange d'ingrédients laitiers tels que le lait, la crème et le lait écrémé qui sont mélangés avec du sucre, des arômes, des fruits et des noix (Wong, 2012). Leur poids minimal est de 450 g/l (Boudi et Hami, 2015).

##### **I.4.2. Les glaces aux œufs**

Ce sont des produits à base de matière grasse exclusivement laitière obtenu par congélation d'un mélange pasteurisé de lait, de sucre, de jaune d'œufs en proportion de 7%. Leur poids minimal est de 550 g/l (Arabi et Lounnas, 2018).

##### **I.4.3. Les sorbets**

Les sorbets sont des produits obtenus par le mélange d'eau et de sucre combinés à d'autres ingrédients autorisés ainsi on distingue :

. **Les sorbets aux fruits** : ils sont aromatisés de fruits frais ou de leurs équivalents en fruits congelés, atomisés, lyophilisés ou jus de fruits (Arabi et Lounnas, 2018).

. **Les sorbets aux vins et aux alcools** : ils sont additionnés d'une quantité suffisante de vins d'appellation d'origine, de la liqueur et de l'alcool auquel il fait référence assurant au produit les caractéristiques organoleptiques appropriées (Irland *et al.*, 2002).

##### **I.4.4. Les glaces aux laits**

Ce sont des produits congelés obtenus à partir d'une combinaison de produits laitiers, de sucre et d'un ou plusieurs autres ingrédients, similaires à ceux couramment utilisés dans la fabrication des glaces, il est fait pour contenir en minimum 2,5% de matières grasses laitières supérieure à celle qui est spécifiée par la loi pour les sorbets et celle nécessaire pour la crème glacée et au moins 6% d'extrait sec dégraissé, avec un poids minimal de 450g/l (Termoul et Foularsen, 2018).

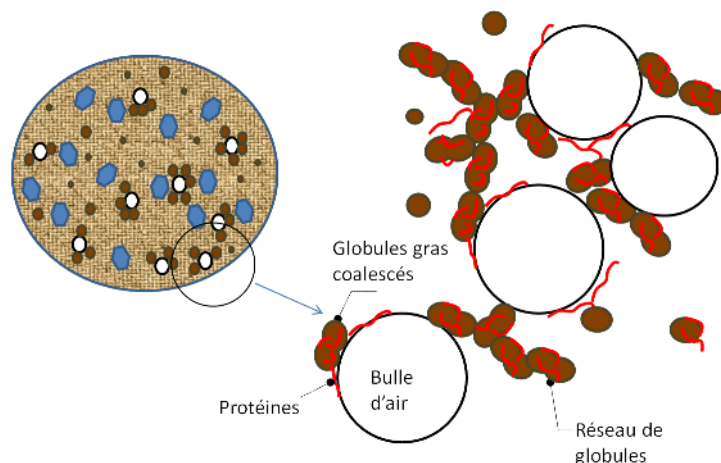
### I.4.5. Les glaces aux fruits

Ayant un poids minimal de 450g/l, leurs dénominations sont suivies toujours du nom du fruit utilisé, contiennent au moins 15% de fruits, variant avec le type de fruit (10% pour les fruits acides, exotiques ou spéciaux, 5% pour les fruits à coque) (Boudi et Hami, 2015).

### I.5. Structure de la crème glacée

La crème glacée est une dispersion colloïdale complexe comme le montre la figure 2, constituée de particules de crème glacée et de bulles d'air, c'est une émulsion (ou dispersion) de graisse semi solide, d'agrégats de protéines, de sucres et de modificateurs de viscosité (polysaccharides). L'émulsion stabilisée par les protéines est rapidement refroidie de sorte que la graisse commence à cristalliser et à devenir des particules semi-solides (Termoul et Foularsen, 2018).

Les éléments structurels de la crème glacée sont des cristaux de glace de diamètre de  $50\mu\text{m}$ , de bulles d'air de  $60\text{-}150\mu\text{m}$  de diamètre, des globules gras de  $5\text{-}10\mu\text{m}$ . La matière grasse est principalement attachée aux bulles d'air. Les bulles d'air ont une fonction triple : ils réduisent la valeur nutritionnelle, ramollissent le produit et empêchent une forte sensation de froid pendant la consommation (Belitz *et al.*, 2009).



**Figure 2 :** Schéma représentant la structure de la crème glacée (Akkouche et Djerrada, 2018)

### I.6. La composition et la fonction des ingrédients des crèmes glacées

Les principaux constituants de la crème glacée sont la matière grasse, la matière sèche laitière dégraissée, le sucre, les stabilisants et l'eau. Les colorants et les arômes sont ajoutés selon le type et la nature de la crème glacée (Pruthi, 1999). Généralement des ingrédients fonctionnels supplémentaires sont ajoutés tels que les stabilisants, des émulsifiants et des modificateurs de congélation (tableau II et III).

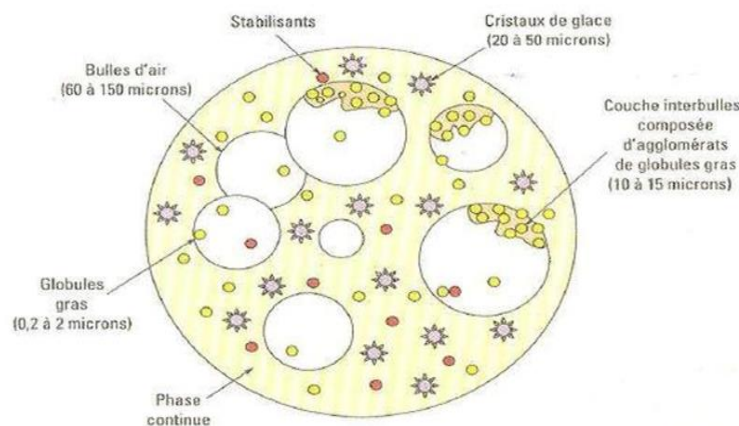
**Tableau II** : Composition de la crème glacée (Marshall et Arbuckle, 1996).

Air	45-55%(en volume)
Eau	60-62%(en masse)
Solide de lait	9 à 11,5 % (en masse)
Matière grasse	7 à12% (en masse )
Sucre	12 à 16%(en masse)
(sirop de glucose et fructose)	4-6%(en masse)
Emulsifiant+Stabilisant	0,45-0,65%(en masse)
Aromes et Colorant	<0,2%(en masse)

**Tableau III** : Composition des crèmes glacées de diverses origines (Lupin, 1998)

	Teneur moyenne100%				Valeur énergétique (KJ/100g)
	MSD	Lipide	Glucide	protéine	
Crème glacées à 10% de MG	38,30	11,20	21,4	3,64	840
Crème glacées à 7% de MG (origine lactique)	34,23	7,48	15,47	3,12	593
Crème glacées au fruits	38,64	5,49	22,07	-	575
Sorbet	31,30	-	20-31	0,1-0,3	450-500
Glace au lait	-	3-3,5	26-28	2,9-3,1	624

Pendant la congélation il y'a élimination rapide de la chaleur en même temps qu'un battage accéléré qui incorpore des bulles d'air dans la crème glacée comme le montre la figure 3.

**Figure 3** : Représentation schématique d'une crème glacée (Gibert *et al.*, 2011)

### **I.6.1. L'air**

C'est un ingrédient important dans la crème glacée, il est incorporé pour la rendre plus légère et plus agréable. Les bulles d'air rendent la crème glacée douce et produisant un joint d'étanchéité solide, servent également à isoler et à protéger la bouche du froid de la crème glacée dont la température peut être loin du point de congélation de l'eau (Board, 2012).

### **I.6.2. L'eau**

C'est le solvant de tous les autres composants ; il est l'un des facteurs de texturation car il est le principal élément modifiant le point de congélation du produit (Sobolewski, 2004), elle est nécessaire pour reconstituer les produits en poudre et ceux lyophilisés, pour hydrater les stabilisants et les protéines. Elle constitue 60% du poids total de la crème glacée, elle doit être douce et de titre hydrométrique allant de 10 à 15°F (Gelin et Tailiez, 2002).

### **I.6.3. La matière grasse**

Elle peut être d'origine laitière ou incorporée par le biais de la crème fraîche, du beurre ou encore du beurre concentré mais la matière grasse végétale est de plus en plus utilisée (huile de palme, huile de coprah ...) (Boutonnier *et al.*, 2002). Elle contribue au goût du produit mais surtout au développement de la structure et l'apparence sèche du produit (Madden, 1989., Andreasen et Nielsen, 1998).

Sa présence dans une crème glacée présente de nombreux avantages tels que la réduction de la vitesse de foisonnement, la stabilisation de la mousse, l'amélioration de la texture du produit fini, ainsi que l'accroissement de la valeur énergétique (Boutonnier, 2000).

### **I.6.4. La matière sèche dégraissée (MSD) ou poudre de lait**

Elle est apportée par différentes sources tel que le lait frais, le lait concentré en matière sèche ou du lait en poudre.

D'autres poudres sont également utilisées dans l'industrie des glaces comme les poudres de lactosérum ou de babeurre dans le but de réduire les coûts en matières premières tout en améliorant les fonctionnalités des constituants laitiers (Mesmoudi et Benamar, 2014).

Une augmentation de la teneur en matière sèche donne une plus grande résistance à la fonte en rendant la crème glacée plus compacte et crée une texture plus fondante car la quantité d'eau à congeler est moins importante (Mahaut *et al.*, 2000).

### **I.6.5. Le sucre et ou édulcorant**

La crème glacée contient 10 à 18% de sucre en poids. Il est possible d'utiliser différents types de sucres tels que le saccharose, le glucose en sirop ou en poudre, le lactose... L'ajout de sucre permet d'ajuster la teneur en matière sèche de la crème glacée et de lui conférer le caractère sucré que le consommateur préfère et permet d'obtenir une saveur riche, il favorise aussi la formation de petits cristaux de glace qui empêche la crème d'être collante et dure (Pascal, 1998). Il joue un rôle important sur la qualité d'eau liée, la nature et la dose de sucre apportée dans la formulation qui va influencer de manière prépondérante sur la stabilité thermique de la glace et sa vitesse de fonte à la sortie du congélateur. Le sucre et l'édulcorant limitent le taux de foisonnement du mix et ils peuvent en cas de dosage important générer une texture collante en bouche (Mesmoudi et Benamar, 2014).

Pour satisfaire les personnes qui suivent un régime, dont les diabétiques sont une catégorie importante, les édulcorants sont utilisés. Un édulcorant n'a aucune valeur nutritive mais a un goût très sucré même en doses infimes (Pascal, 1998).

### **I.6.6. Les émulsifiants**

Les émulsifiants sont des molécules à la fois hydrophobes et hydrophiles qui se fixent à l'interface huile-eau, la partie hydrophobe d'émulsifiant est constituée d'acide gras et la partie hydrophile peut être constituée de glycérol, parfois estérifiée avec les acides acétique, lactique, tartrique ou citrique. Ce sont des substances qui améliorent la texture et le foisonnement du produit fini, autorisés à raison de 0,3g/100g de produit (Boudi et Hami, 2015).

Les émulsifiants les plus utilisés pour la fabrication des crèmes glacées sont :

- ✓ Les mono et les di glycérides ;
- ✓ Les polyoxyethylene ;
- ✓ Les dérivés phospholipidiques ;
- ✓ Les protéines (Segall *et al.*, 2002).

### **I.6.7. Les stabilisants**

Les stabilisants sont des hypocyloïdes c'est-à-dire des polymères qui se dispersent dans l'eau et qui ont comme principale propriété d'absorber une partie importante de l'eau libre. Certaines sont des polysaccharides ou dérivées, d'autres sont des protéines ou des amines. Leur addition dans les crèmes glacées est nécessaire car ils permettent d'améliorer la viscosité du mix et facilitent l'incorporation de l'air lors du foisonnement, ils permettent

également par leur fixation à la surface des cristaux de glace d'inhiber leur croissance et d'obtenir ainsi une crème de texture douce et agréable (Belaout et Salhioui, 2016).

#### **I.6.8. Les aromatisants et colorants**

Les arômes sont ajoutés pour augmenter l'acceptabilité et améliorer la qualité sensorielle, les plus couramment utilisées sont la vanille, le nougat, le chocolat, la fraise la pistache, et la noix (Termoul et Foularsen, 2018).

Les colorants sont des additifs qui donnent à la crème glacée une apparence attrayante et améliorent la couleur des aromatisants de fruits (Termoul et Foularsen, 2018).

#### **I.7. La valeur nutritionnelle des crèmes glacées**

La crème glacée est un aliment complet agréable, très riche en protéides, lipides, glucides, sel minéraux et vitamines, de digestion plus facile en raison de l'homogénéisation qu'elle a subie. Toutes les glaces à base de lait ont les qualités diététiques du lait avec un apport en protéines, lipides, calcium et sucre, augmenté éventuellement par l'ajout d'œuf et de crème (Patton, 2004).

La valeur nutritionnelle des crèmes glacées et des sorbets diffère selon les ingrédients utilisés. Un sorbet riche en fruits contient des vitamines alors qu'une crème glacée apporte du calcium et des protéines, sont aussi des produits très caloriques liées à l'ajout de sucre, de fruit et d'autres ingrédients, En terme de volume, la crème glacée est constituée principalement d'air, ce qui réduit le taux de calories par volume équivalent 100g de crème glacée contient en moyenne 180 calories, 3 à 4 % de protéines, 7 à 8% de lipides et 26% de glucides (Berne, 2011).

Les crèmes glacées sont riches en vitamines et leurs teneurs varient selon la composition des formules (tableau IV), mais aussi les traitements technologiques mis en œuvre dans l'élaboration de chacun des ingrédients (Boudi et Hami, 2015).

**Tableau IV** : La teneur moyenne par kg en vitamines de la crème glacée (Lupin, 1998)

Vitamines	Crème glacée
Carotène	1,96
A	11,4
Bi	0,42
B2	2,0
B6	0,55
Acide nicotinique	1,25
B12	Traces en µg
Folates	0,08
Acide pantothénique	5,0
Biotine	0,02
C	5
D	$10 \times 10^3$
E	1,2
K	2,1

### 1.8. La qualité organoleptique des crèmes glacées

D'après Benazouz (1984), les glaces alimentaires sont en fait consommées pour le plaisir qu'elles procurent et non comme aliment. Ceci revient à souligner l'importance prépondérante des propriétés organoleptiques dans la motivation de consommation des glaces.

L'aspect visuel de la glace joue un rôle dans son acceptabilité, elle n'est que d'évoquer chatoyement de couleur, de forme ou d'autres compositions, la température froide, principale caractéristique de la glace par rapport aux autres aliments ; alors qu'au moment de juger la crème glacée, on doit s'assurer que le produit n'est pas maintenu à une froideur intense ; la T° optimale semble se situer aux environs de -12°C (Termoul et Foularsen, 2018).

La teneur en matière grasse influence la rétention d'arôme dans une crème ainsi que son goût, cependant des crèmes glacées à faible teneur en matière grasse (0-30%) avec de fortes concentrations en vanilline et hexanal, collantes, cristallisées, au goût de rassis et à fusion rapide. Des arômes comme les méthylcétones qui ont une saveur grasse sont corrélés avec un goût de crème glacée riche en matières grasses. Le goût crémeux correspond à une grande solubilité des extraits dans la matière grasse, le goût le plus équilibré est celui de la vanille commerciale naturelle (Mathlouthi, 2004).

Selon Deveaux (1985), les qualités recherchées par le consommateur de glaces sont :

- La fraîcheur : absence de cristaux de glace ;
- La texture fine, assez résistante ;
- La fusion lente dans la bouche ;
- L'onctuosité. ;
- L'arôme et parfum subtils et vrai ;
- Pas trop de sucre.

### **I.9. Les propriétés microbiologiques**

Les membres de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), ont exprimé leur inquiétude au sujet de la sécurité sanitaire des crèmes glacées au niveau international. L'incidence croissante des maladies d'origine alimentaire aux cours des dernières décennies semble dans de nombreux pays être liée à une augmentation des maladies dues à la présence de microorganismes dans les aliments (El ouali lalami *et al.*, 2010).

Les crèmes glacées comme tous autres aliments risquent d'être contaminées soit par les germes aérobies, coliformes fécaux ou autres ; ou soit à cause du manque d'hygiène ou le non-respect des règles.

La crème glacée est un produit à base de lait, ce dernier est un bon support pour la croissance microbienne, sa composition fait qu'elle constitue un milieu propice à la survie et à la croissance des germes. Les principales sources de contamination microbienne des crèmes glacées incluent l'eau et le lait cru, alors que les sources secondaires incluent les agents aromatisants, la manipulation des ustensiles. De nombreux psychrophiles et microorganismes psychotolérants comme *Listeria monocytogens*, *Salmonella*, *Saphylococcus aureus*, *Bacillus*, *Shigella*, *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Campylobacter*, *Brucella* et *Yersinia enterocolitica* sont généralement présents dans la crème glacée et peuvent survivre dans les aliments même à basse température (Mahmud hossain, 2012).

### **I.10. Technologie de fabrication des crèmes glacées**

Le procédé se déroule en deux étapes. La première consiste à préparer le mélange des ingrédients, il s'agit du mix, la deuxième consiste à glacer le mélange, le conditionner, puis le surgeler. L'étape la plus délicate consiste à établir une recette équilibrée techniquement. La

proportion des ingrédients doit respecter certaines règles pour obtenir un résultat satisfaisant : bonne texture, goût agréable de crème glacée (Dudez *et al.*, 2017).

### **I.10.1. Mélange et agitation des ingrédients**

Le mélange d'ingrédients se fait selon un ordre préétabli ; les ingrédients liquides entre eux (lait, sirop de glucose) en premier, puis les produits secs déjà mélangés préalablement entre eux afin de faciliter leur dissolution dans les ingrédients liquides (lait en poudre, sucre et autres ingrédients en poudre). Cependant, le lait employé pour la préparation doit obligatoirement être pasteurisé, l'agitation doit être permanente et la T° de chauffage peut aller jusqu'à +50°C, en suite l'ajout de la matière grasse (crème fraîche ou beurre ...), cette dernière est incorporée sous agitation intense afin de disperser correctement c'est ce qu'on appelle « mix » pour la préparation obtenue (Dudez *et al.*, 2017).

### **I.11.2. Pasteurisation du mix**

Elle consiste à détruire les microorganismes contenus dans le mix par un processus de chauffage, c'est une étape obligatoire afin de garantir la sécurité des aliments au consommateur. Elle facilite également la dispersion et la dissolution des ingrédients secs, elle s'effectue à des T° de +85° C pendant 15 secondes ou à des T° d'environ 70°C pendant 10-30 minutes dans des petites cuves de pasteurisation. Si le mix pasteurisé n'est pas utilisé dans l'heure qui suit, il doit être conservé à +4°C et la congélation doit obligatoirement intervenir dans les 24 heures (Dudez *et al.*, 2017).

### **I.10.3. Refroidissement et maturation physique**

Le refroidissement doit se faire aussi rapidement que possible pour éviter les modifications du goût ainsi que la prolifération microbienne. C'est lors de cette étape que se fait l'ajout d'ingrédients qui n'ont pas besoin de subir une pasteurisation (aromes et colorants, purée ou morceaux de fruits, yaourt) (Dudez *et al.*, 2017).

La maturation du mélange se fait dans des cuves pendant 4 heures et plus, cela permet l'hydratation des protéines et des stabilisants du lait, la cristallisation des globules gras et le réarrangement de la membrane pour une texture plus lisse et un produit de meilleure qualité ; cependant la T° doit être maintenue aussi faible que possible (au-dessous de 4° C) sans congélation (Goff et Hartel, 2004).

#### I.10.4. Foisonnement et glaçage

Le foisonnement consiste à aérer le mix afin de lui donner une structure de type mousse ; on l'obtient soit par l'incorporation d'air au-dessus du mélange et l'activité modérée d'un racleur rotatif, c'est ce que permet une turbine discontinue ou une sorbetière il faut compter alors 20 à 30 minutes, soit par l'injection d'air en continue grâce à une pompe et l'activité intense d'un batteur rotatif, c'est ce que permet un freezer continu qui nécessite seulement une minute (Dudez *et al.*, 2017).

Le taux de foisonnement peut être exprimé comme suit :

$$\text{Foisonnement} = \frac{\text{volume de la mousse} - \text{volume de liquide initial}}{\text{Volume liquide initial}} \times 100$$

Le glaçage a pour objectif de répartir les cristaux de glace et de stabiliser la mousse. On passe d'une température de +4° à -6°C. La réussite de cette opération dépend de la rapidité du refroidissement tout particulièrement entre -2 et -5°C, zone critique pour la cristallisation. Les inclusions en morceaux (brisures, fruits entiers) sont ajoutées directement dans la turbine, ou en sortie du freezer ; il est important de les incorporer froids (+4°C) pour ne pas révéler la température du mix (Gret, 2002).

#### I.10.5. Moulage et conditionnement

A la sortie du freezer, la crème glacée est conditionnée dans les emballages plastiques quand elle est encore malléable (-4 à -5°C), elle reçoit sa forme définitive par deux moyens différents :

- Moulage- démoulage
- Remplissage direct des conditionnements commerciaux, à l'aide de doseuses volumétriques (Jeantet *et al.*, 2008).

Cette opération est manuelle dans le cas des productions fermières. Il faut prendre soin de bien respecter la quantité exprimée en litre et mentionnée sur l'étiquette (Gret, 2002).

#### I.10.6. Surgélation/durcissement

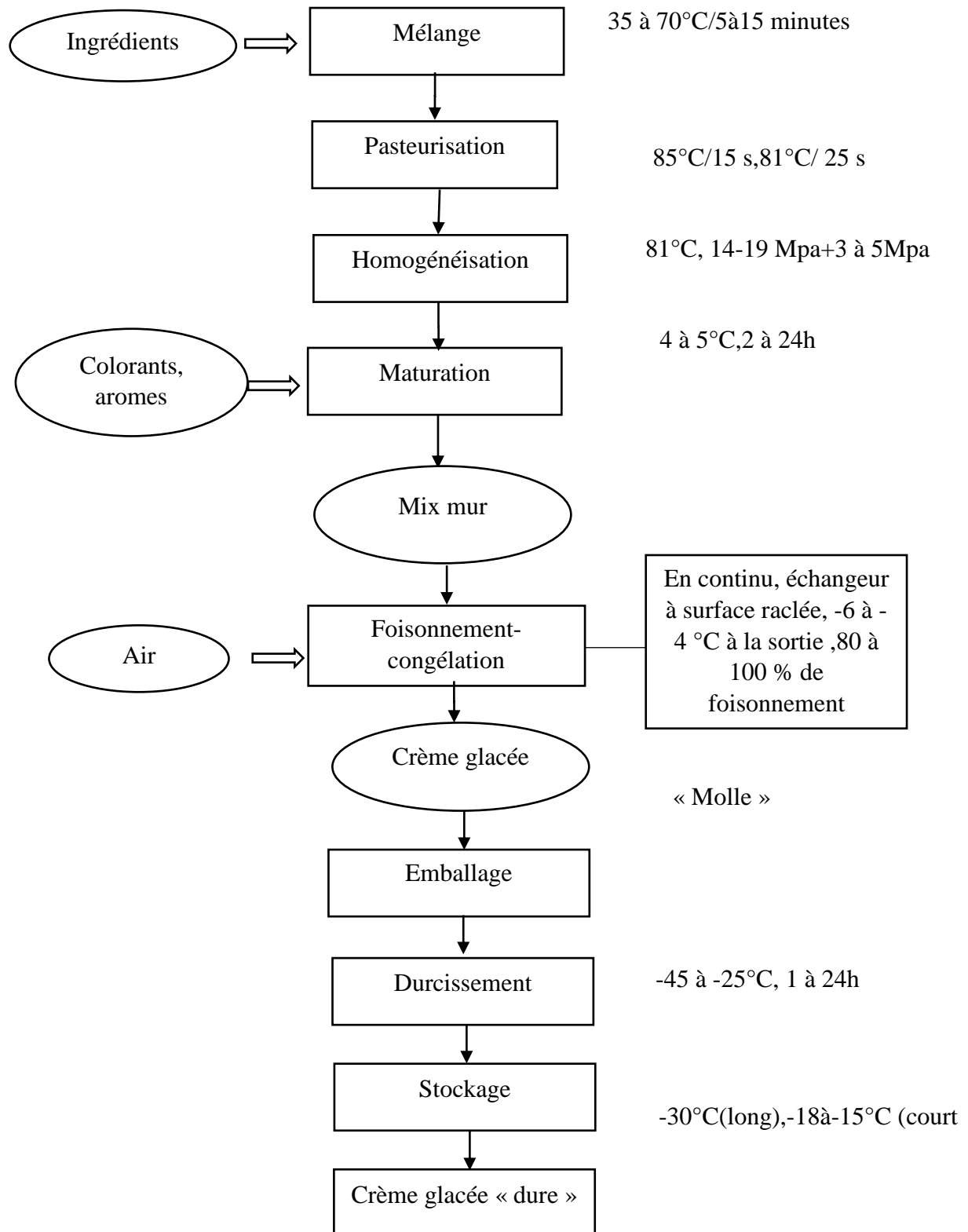
Lorsque la crème glacée est sortie de la turbine et conditionnée, son pourcentage d'eau converti en glace n'est que 50%. Dans cet état, le produit fini est mou. On constate que la crème glacée est suffisamment durcie lorsque le pourcentage d'eau congelée atteint 90%. La surgélation descend la température à 20/30°C. Le temps d'attente entre la sortie de la turbine

et le début de la congélation doit être le plus court possible. L'utilisation d'une cellule de surgélation est fortement conseillée (Gret, 2002).

#### **I.10.7. Stockage à l'état congelé**

Pour assurer une bonne conservation du produit, la chaîne de froid doit être respectée. Les crèmes glacées doivent être stockées à  $-20^{\circ}\text{C}$  et transportées à  $-25^{\circ}\text{C}/30^{\circ}\text{C}$  jusqu'à la vente au consommateur. La rupture de la chaîne de froid produit des fusions superficielles, se traduisant par des déformations, des pertes de foisonnement et une texture sableuse due à la cristallisation du lactose et à la croissance des cristaux de glace (Jeantet *et al.*, 2008).

Les différentes étapes du processus de fabrication des crèmes glacées sont représentées dans la figure 4 ci-dessous.



**Figure 4:** Diagramme de fabrication des crèmes glacées (Bruno et Chavez, 2002).

### II.1. Définition du lactosérum

Appelé aussi sérum ou encore petit lait, c'est un liquide jaune verdâtre, qui est un sous-produit issu de la fabrication fromagère, obtenu suite à la coagulation des caséines sous l'action de la présure ou par l'acidification du lait sous l'action des bactéries lactiques, il est obtenu par la séparation du caillé après coagulation du lait, son pH est compris entre 5 et 6,5, il représente près de 90 % du lait mis en œuvre (Vignola, 2002 ; Guimaraes *et al.*, 2010).

### II.2. Composition et valeur nutritionnelle du lactosérum

Selon le procédé de coagulation et la composition initiale du lait (donc la saison, la race des animaux, le type d'alimentation, etc.), la composition du lactosérum peut varier sensiblement (Bergel *et al.*, 2004). Le tableau V montre que les lactosérums sont riches en lactose et potassium. Dans le lactosérum acide une partie du lactose a été transformé en acide lactique ; les lactosérums doux sont pauvres en calcium (reste dans le caillé pour participer à la coagulation des protéines), alors que les lactosérums acides sont riches en calcium (Morr *et al.*, 1993).

**Tableau V** : Composition moyenne du lactosérum doux et acide (Morr *et al.*, 1993 ; Linden *et al.*, 1994).

	Lactosérum doux	Lactosérum acide
PH	6,3	4,6
Eau%	93	93,5
Lactose %	4,77	4,71
Protéines %	0,82	0,75
Matière grasse %	0,07	0,03
Acide lactique %	0,15	0,55
Cendres %	0,53	0,69
Calcium %	0,05	0,13
Sodium %	0,07	0,06
Potassium %	0,13	0,15
Phosphore %	0,06	0,09

### II.2.1. Lactose

Le lactose est le principal constituant du lactosérum de fromagerie, il représente 70 à 80% de matière sèche de lactosérum. C'est un diholoside constitué par l'union d'une molécule de  $\alpha$  ou  $\beta$ -D glucose et d'une molécule de  $\beta$ -D-galactose, ce qui est à l'origine de la présence de deux lactoses stéréo-isomères réducteurs (Luquet et Francois, 1990). Il peut subir des réactions de cristallisations de dégradation physique ou chimique et fermentation lactique microbienne.

La valeur nutritionnelle du lactosérum et ses propriétés fonctionnelles liée au lactose sont :

- ✓ Une solubilité limitée.,
- ✓ Un pouvoir sucrant faible.,
- ✓ Considéré comme un sucre de structure.,
- ✓ Intervient dans la fixation du calcium.,
- ✓ Contribue à la stabilisation de pH intestinale ; d'où une meilleure utilisation digestive du calcium et du phosphore.,
- ✓ Il représente un intérêt diététique fondamentale puisqu'il représente la seule source d'hydrate de carbone de tous les mammifères y compris l'homme.,
- ✓ Un facteur favorable aux réactions de caramélisation et réaction de Maillard, ainsi qu'il est un très bon support d'arômes (Lupin, 1998 ; Gerard et Debry, 2001).

### II.2.2. Protéines

Les protéines représentent 17% du total des matières azotées du lait, et représentent 0,6 à 0,7 % de la matière sèche du lactosérum. Elles ont une valeur nutritionnelle, surtout en raison de leurs compositions en acides aminés essentiels tels que la lysine, tryptophane et la méthionine. Les importantes sont la  $\beta$ -lactoglobuline ( $\beta$ -LG), l' $\alpha$ -lactalbumine ( $\alpha$ -LG), le glycopmacropeptide (GMP), les immunoglobulines bovines (IgG), l'albumine sérique bovine (BSA) et la lactoferrine bovine (LF). La  $\beta$ -lactoglobuline est la protéine la plus importante dans le lait de vache : elle représente 2,5-3g/L, ce qui correspond à 50% des protéines lactosériques (McIntoch,1998). Le tableau VI montre l'activité biologique et des peptides du lactosérum.

Comme il représente des propriétés fonctionnelles et une valeur nutritionnelle très intéressante :

- ✓ Source équilibrée en acides aminés indispensable notamment en lysine, acides aminés soufrés et tryptophane.,
- ✓ Pouvoir émulsifiant en présence de matière grasse.,

- ✓ Pouvoir gélifiant par coagulation à la chaleur.,
- ✓ Pouvoir moussant (Lupin, 1998 ; Gerard et Debry, 2001).

**Tableau VI** : Activité biologique des protéines et des peptides du lactosérum (Ali mahamane et Yacouba mai kodomi, 2016)

Protéines	Activité probable
Protéine du lactosérum brut	Anti-cancérogène Stimule le système immunitaire Prolonge la durée de vie Réduire le cholestérol
Beta lactoglobuline Beta lactorphine Alpha lactalbumine Alpha lactorphine	Facilite la digestion Augmente le contrôle de la douleur Anti-cancérogène Augmente le contrôle de la douleur
Lactoferrine	Antimicrobien (antiviral/anti-B) Contrôle de transport du fer Stimule le système immunitaire Anti-inflammatoire Favorise la croissance cellulaire
Immunoglobuline	Immunité passive
Lactoperoxydase	Antibactérien
Sérum albumine sérorphine	Augmente le contrôle de la douleur
Glucomacropeptide	Facilite la digestion .

Le tableau VII montre les pourcentages des différentes protéines du lactosérum.

**Tableau VII** : Les protéines du lactosérum (Vierling, 2008).

Protéines	Pourcentages respectifs %
$\beta$ -lactoglobuline	50
$\beta$ - lactalbumine	23
Immunoglobuline	10
Protéase peptone	17
Métalloprotéine	< 1

La teneur moyenne du lactosérum en acides aminés est donnée par le tableau VIII.

**Tableau VIII** : Acides aminés essentiels (g/100g) (Moletta, 2002).

Acides aminé	Protéine de lactosérum	Caséine
Tryptophane	1,38	1,22
Lysine	10,9	8,81
Méthionine	1,95	3,07
Cystéine	1,35	0,57
Leucine	7,09	9,8
Isoleucine	4,06	4,8
Phénylalanine	3,47	5,18
Valine	5,54	3,55
Thréonine	5,03	4,7

### II.2.3. Les lipides

Les lipides du lactosérum, entraînés lors de l'étape d'égouttage et de séparation du caillé, constituent une faible fraction de la matière sèche avec une teneur de l'ordre de 0,7 à 0,8g composés essentiellement d'environ de 66% de lipides neutres (glycérides) et de 33% de lipides polaires (phospholipides et sphingolipides). Lors des actions de valorisation, la matière grasse est récupérée par écrémage du lactosérum puis utilisée telle que dans la fabrication de beurre de second choix. Les lipides polaires amphiphiles (hydrophiles et hydrophobes) fractionnés du lactosérum ou du babeurre (co-produit de la beurrerie) peuvent être utilisés comme émulsifiant dans de préparations alimentaires (Belattar, 2018).

### II.2.4. Les vitamines

Sont des substances organiques non synthétisés par l'organisme et doivent être apportées par les aliments dans des proportions appropriées pour assurer diverses fonctions vitales en participant en tant que coenzymes à des réactions de dégradation ou de synthèse dans le métabolisme cellulaire (acides gras, des glucides, des acides aminés, des acides nucléiques, etc). Le lactosérum étant presque dépourvu de matière grasse (retenue dans la masse du caillé), la majorité des vitamines présentes sont hydrosolubles appartenant au groupe B ; la vitamine B2 (riboflavine) qui lui donne sa couleur verdâtre, car les vitamines liposolubles sont entraînées par la matière grasse du caillé égoutté (Belattar, 2018). Le tableau IX montre les teneurs en vitamines du lactosérum.

**Tableau IX** : Teneurs en vitamines du lactosérum (Linden et Lorient, 1994).

	Concentration (mg/ml)	Besoin quotidien (mg)
Thiamine (vit.B1)	0,38	1,5
Riboflavine(vit.B2)	1,2	1,5
Acide nicotique (vit.B3)	0,85	10-20
Acide pantothénique (vit.B5)	3,4	10
Pyridoxine (vit.B6)	0,42	1,5
Cobalamine (vit.B12)	0,03	2

### II.2.5. Les minéraux

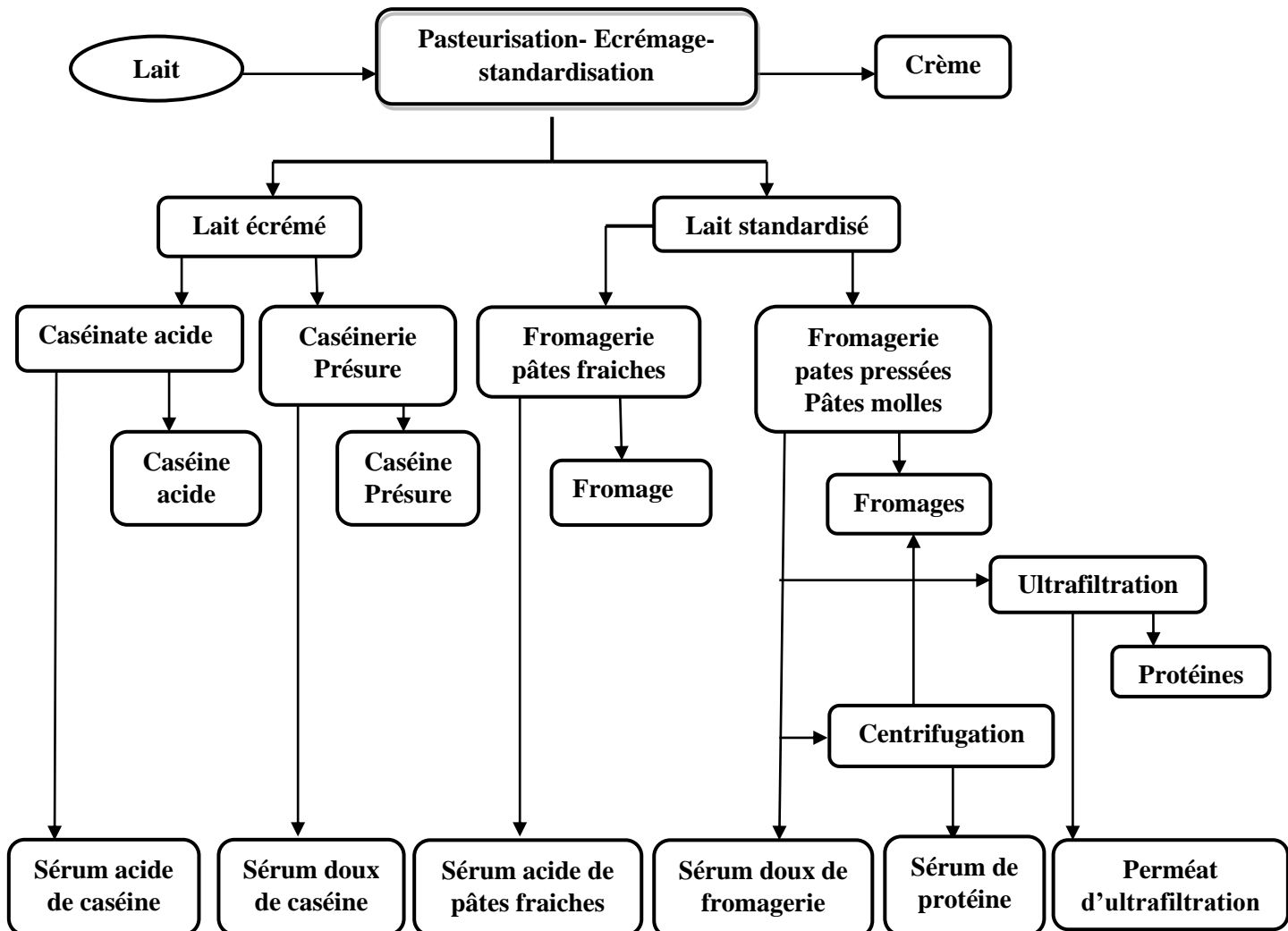
Ils représentent 7 à 12 % de matière sèche du lactosérum, sont indispensables à l'organisme. Le calcium (Ca) et le phosphore (P) sont deux minéraux clés qui doivent être fournis par les aliments en quantité suffisantes car ils contribuent avec la vitamine D à la croissance et au maintien du l'édifice squelettique (tissu osseux). Le zinc et le sélénium participent à la protection de l'organisme contre les radicaux libres à l'origine d'une diversité de pathologies dégénératives. Ses constituant minéraux et particulièrement le Ca et le P et au regard de ses teneurs très appréciables qui varient selon le type doux ou acide, constitue une source de très grande importance dans la couverture des besoins quotidiens de l'organisme. Le tableau X montre les teneurs en minéraux du lactosérum (Boudjema *et al.*, 2009 ; Benslama, 2016).

**Tableau X** : Teneurs en minéraux du lactosérum (Boudjema *et al.*, 2009).

	Lactosérum doux		Lactosérum acide		
	Pâte pressée cuite (Emmental)	Pâte pressée non cuite (Edam)	Pate fraîche	Caséines	Camembert
Ca en %	0,60	0,65	1,90	1,80	0,70
P en %	0,60	0,65	1,50	1,50	0,70
Chlorure (NaCl) en %	2,25	2,50	2,50	7,50	2,50

### II.3. Type de lactosérum

Le lactosérum doit être considéré comme un produit dérivé plutôt qu'un sous-produit de la fabrication des fromages, ou de la caséine. Selon le mécanisme de la coagulation du lait, il en résulte deux types de lactosérums : acide et doux (Linden et Lorient, 1994 ; De la fuente *et al.*, 2002). Comme le montre la figure 5 ci-dessous.



**Figure 5** : Schéma technologique d'obtention des principaux types de lactosérums issus de la transformation du lait (Luquet, 1990).

#### II.3.1. Lactosérum acide

Le lactosérum « acide » est obtenu après acidification lente du lait. Ce type de lactosérum est obtenu soit par l'activité des lactobacilles soit par l'addition d'acides organiques (acide lactique) ou minéraux et séparation du caillé (Ryan et Walsh, 2016). Il est obtenu lors de fabrication de pâtes fraîches, de pâtes molles (Camembert, etc.) et aussi de la fabrication de

la caséine-acide). Le pH du lactosérum acide varie entre 4 et 5, son acidité est de 120 ° Dornic (Benslama, 2016).

Les lactosérums acides ont une composition plus variable que les lactosérums doux. Ils renferment moins de lactose et plus de sels minéraux que les lactosérums doux. Par sa faible teneur en lactose et protéines, et sa forte minéralisation, le lactosérum acide est moins bien valorisé (Saulnier *et al.*, 1996).

### **II.3.2. Lactosérum doux**

Le lactosérum « doux » est le liquide d'exsudation obtenu lors de la fabrication des fromages à pâte cuite ou pressée, résulte également de la caséine-présure (Adrian *et al.*, 1980), pauvre en sel minéraux e riche en lactose et en protéines. En plus des protéines solubles du lait ce type de lactosérum contient une glycoprotéine qui provient de l'hydrolyse de la caséine Kappa par la présure (Sottiez, 1990), lorsque le lactosérum issu de la fromagerie n'est pas traité avec toutes les précautions nécessaires, la poursuite de la fermentation naturelle augmente son acidité. Le pH du lactosérum doux varie entre 5,7 et 6,5, son acidité varie entre 15 et 22 ° D (Benslama, 2016).

Il serait un ingrédient optimal pour les crèmes glacées, laits glacés et sorbets. Pour 2,8% de poudre de lactosérum doux dans un mix de crème glacée, soit un taux de remplacement du lait de 24,7%, et 10 à 15% de la matière sèche non grasse dans les crèmes glacées, 7 à 12 % dans les sorbets, et peut atteindre 20% dans les glaces à l'eau (Luquet et Boudier, 1989).

### **II.4. Pouvoir polluant du lactosérum**

Il est évident que les contrôles anti-pollution seront de plus en plus sévères et qu'il arrivera un jour où des normes très strictes seront prises quant à l'élimination des effluents d'usines en général et de lactosérum de fromagerie en particulier (Apria, 1973).

Les effluents produits par l'industrie fromagère sont caractérisés par leur charge polluante élevée. Bien qu'il existe des possibilités de valorisation du lactosérum, approximativement la moitié de la production mondiale n'est pas exploitée mais rejetée comme effluents, ce qui consiste une perte importante de matière alimentaire (Souza *et al.*, 2016). Son rejet dans l'environnement constitue une source de pollution à cause de sa demande biochimique en oxygène qui est très élevée variant entre 32000 à 60000 mg d'O<sub>2</sub>/l, (Cheryan, 1998), et en raison de sa haute teneur en matière organique présentant une demande biologique en oxygène de 30000 à 50000 ppm et une demande chimique en oxygène de 60000

à 80000 ppm (Siso, 1996). Comme il engendre aussi une pollution organique importante soit : 1litre correspond à environ 85% de la pollution journalière générée par habitant (Laplanche *et al.*, 2006). Un litre de lactosérum correspond pratiquement à la charge polluante rejetée par un habitant (un équivalent-habitant ou EH = 60 g/l d'EST). En d'autres termes, la transformation de 1000 kg de lait en fromage produit une charge polluante équivalente à celle d'une commune d'environ 750 habitants (Laplanche, 2004).

Une fois libéré dans l'eau (les rivières, les canaux d'irrigation, ou sur terre) le lactosérum conduit à des problèmes environnementaux. En effet, il met en danger la structure physique et chimique du sol, diminue le rendement des cultures et réduit la vie aquatique par l'épuisement de l'oxygène dissous. Si tout le sérum récupérable était réellement transformé, la pollution serait ainsi réduite de 16800T/jour soit de 8518000 équivalent-habitants (Yang *et al.*, 1980 ; Mc auliffe *et al.*, 1982).

## **II.5. Valorisation du lactosérum et ses constituants**

Le lactosérum est avant tout une matière noble et riche dont il y'a encore beaucoup à tirer en qualité et en quantité. Il peut être utilisé aussi bien sous sa forme la plus simple, en tant qu'aliment de bétail, que sous sa forme la plus élaborée en alimentation humaine et en industrie chimique et pharmaceutique qui est devenue possible grâce aux craquage pour obtenir par fractionnement, des composés protéiques et glucidiques (Moletta, 2002 ; Christansen *et al.*, 2004), ces extrêmes sont économiquement possible et encadrent toute une série de possibilités technologiquement faisables ; l'objectif de cette valorisation est basé sur sa transformation en produits à plus haute valeur économique (Guidou et Larras, 2018).

### **II.5.1. Utilisation du lactosérum à l'état brut**

Le lactosérum est un aliment intéressant, mais la teneur relativement élevée en matière salines constitue un inconvénient, qui limite la consommation à l'état brut, de ce produit par l'homme. C'est la raison pour laquelle l'alimentation animale est restée pendant longtemps le débouché privilégié (Rerate *et al.*, 1984).

#### **II.5.1.1. En alimentation humaine**

Les protéines, en particuliers les albumines présentent un intérêt par leurs propriétés fonctionnelles : solubilité sur une large gamme de pH, pouvoir moussant ou texturant, capacité de rétention d'eau, aptitude à la gélification. (Morr et Ha, 1993) ; (Firebaugh *et al.*, 2005). Les propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des protéines du lactosérum ont rendu

son utilisation possible dans de nombreux domaines de l'industrie agroalimentaire (Damodaran, 1997) ; (Molleta, 2002) notamment en :

- **Industrie de boisson**

L'utilisation du lactosérum pour l'obtention de boissons nutritives, peut présenter un avantage économique manifeste si l'on peut utiliser la totalité du volume de liquide, sans traitement technologique (Luquet et Boudier, 1989). Les boissons à base de lactosérum, ont une grande valeur diététique, digestion facile et rapide. Elles sont légères, désaltérantes et très agréables à boire (Nelson et Coll, 1978).

- **Industrie laitière**

La poudre de lactosérum acide peut remplacer la poudre de lait écrémé à des taux précis pour la fabrication des yaourts, sans atteintes à la qualité ni à l'arôme de ces derniers (Luquet et Boudier, 1984). La fabrication de yaourt à partir de lait écrémé, de lactosérum acide, à PH 6,2-6,4, avec addition ou non de lait frais homogénéisé. Des tests d'évaluation sensorielle ont montré l'acceptabilité d'un tel produit fait avec 60% de lactosérum acide, 29% de lait entier homogénéisé et de 11% de poudre de lait écrémé (Luquet et Boudier, 1989).

Les études montrent que la concentration maximale de lactosérum pouvant remplacer le lait écrémé en poudre dans les yaourts est de 0,3%. A une concentration supérieure à 0,4%. Cependant 1 à 2% de matière sèche de lactosérum doux ou acide neutralisé pourrait remplacer un taux équivalent de poudre de lait écrémé dans les yaourts soit de 9,5% (Luquet et Boudier, 1989).

- **Dans la confiserie**

Le lactosérum a un potentiel d'utilisations dans la fabrication de certains bonbons, et il se trouve être le moins coûteux des produits laitiers couramment utilisés en confiserie. Le lactosérum liquide est difficilement utilisable du fait de son importante teneur en eau cependant le lactosérum concentré sucré est adapté à la fabrication des bonbons mais il contient beaucoup de saccharose ; il est utilisé, en particulier dans les proportions de 32 à 84% (Luquet et Boudier, 1989).

- **Dans les glaces et les crèmes glacées**

L'utilisation, à la place du lait écrémé, de poudre de lactosérum dans les mix de crèmes glacées, n'est pas seulement rentable, mais elle permet d'obtenir des produits d'aussi bonne qualité si le sérum est employé correctement. La poudre de lactosérum doux peut remplacer jusqu'à 25% de la quantité du lait écrémé, cependant le lactosérum acide peut remplacer une partie de sucre pour la fabrication des sorbets de bonne qualité (Luquet et Boudier, 1989).

- **En boulangerie**

Le lactosérum joue un rôle important dans la production boulangère ; il améliore le goût et l'arôme du pain ainsi que ses caractéristiques internes et externes, il rend aussi la pâte plus tendre et augmente le rendement boulanger (Apria, 1980).

Le tableau X montre les applications des protéines du lactosérum.

### **II.5.1.2. En alimentation animale**

Les poudres de lactosérum sont utilisées dans les aliments d'allaitement pour les veaux. Elles sont également employées, de même que les concentrés liquides, en mélange avec d'autres aliments (hachis de paille, farine...) pour animaux d'élevage (bovins, porcins, volailles) (Zadow, 1989). L'ultra filtra est bien toléré par le veau après sevrage. Il peut remplacer la totalité d'eau de boisson, et apporter jusqu'à 30-35% de la matière ingérée chez les animaux pesant 100 à 110 kg (Luquet et Boudier, 1989).

C'est sur cette utilisation croissante que ce sont penchées de nombreuses équipes de recherches spécialisées dans ce domaine pour améliorer cette alimentation et diminuer les troubles gastro-intestinaux ainsi :

- L'utilisation du lactosérum fermenté avec *Lactobacillus acidophilus* pour l'alimentation du veau a montré une meilleure croissance sans aucun désordre gastro-intestinale. Cet essai est également réussi chez les volailles et les porcs.
- L'enrichissement du lactosérum en azote non protéique par fermentation et neutralisation a donné des résultats satisfaisant pour l'alimentation des bœufs et des vaches laitières.
- De nombreux travaux ont signalé le développement réussi d'un ensilage de paille avec le lactosérum pour l'alimentation des ruminants (Bardy *et al.*, 2016).

**Tableau XI** : Applications des protéines du lactosérum (Linden *et al.*, 1994).

Produits	Fonctions
Produits de boulangerie – biscuiterie	Apport protéique, rétention d'eau, gélifiant, texture (interaction avec le gluten)
Pâtes alimentaires	Apport protéique, texture
Pâtisserie(meringue, génoise)	Emulsifiant, moussant, rétention d'eau, gélifiant
Confiserie (caramel, nougat...) Chocolat au lait	Emulsifiant, arômes, texture, dispersibilité
Potages, sauces	Epaississant (interaction avec amidon), émulsifiant
Plats cuisinés	Epaississant, émulsifiant, rétention d'eau
Farines lactées	Apport protéique, solubilité
Boissons lactées ou fruitées	Soluble à chaud ou/et Ph acide Epaississant
Aliments diététique et infantiles (aliments entérales)	Apport protéique, solubilité, épaississant
Fromages naturels et fondus	Emulsifiant, épaississant, gélifiant
Pâte à tartiner, crèmes glacées	Emulsifiant, épaississant,
Crèmes desserts, flans, yaourts	Emulsifiant, épaississant, gélifiant
Produits carnés (saucisses, pâtes, hamburgers)	Emulsifiant, épaississant, liant, gélifiant, rétention d'eau et de matières grasses

### II.5.2. Utilisation du lactosérum traité

L'un des développements les plus significatifs de l'industrie laitière concerne la transformation du lactosérum en de nombreux dérivés, dont les propriétés nutritionnelles et fonctionnelles intéressent différents secteurs de l'industrie agroalimentaire, ainsi qu'en dermatologie et en cosmétologie (Bentahar, 2018).

#### II.5.2.1. Domaine biotechnologique

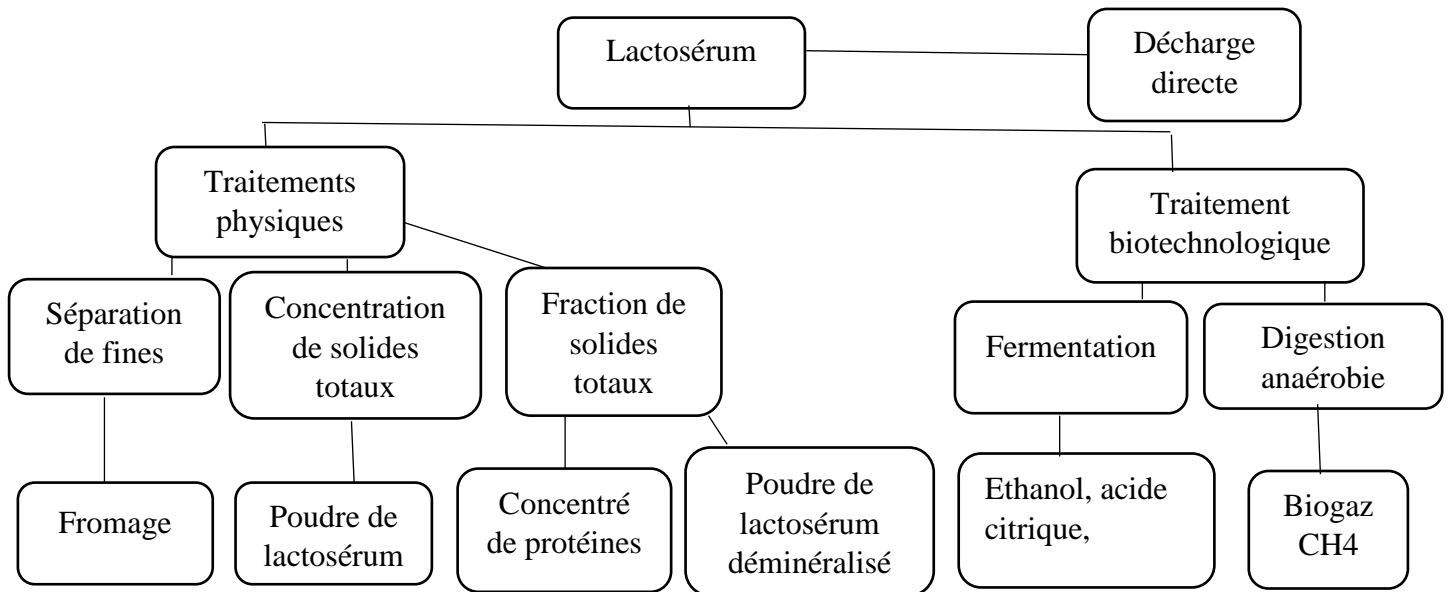
Il est basé sur l'application des technologies de valorisation dont le but est de récupérer les composés à haute valeur nutritive et fonctionnelle tels que les protéines et le lactose (environ 10g et 50g respectivement dans chaque litre de lactosérum) (Bentahar, 2018).

- ✓ La biotransformation de lactose : Production des solvants, des vitamines, des polysaccharides du méthane, des enzymes, des acides aminés et organiques et de nombreux autres composés à partir de lactose de lactosérum (Zadow, 1989). L'ensemble des procédés de fermentation du lactosérum montre que le système de production d'acide lactique est l'un des plus avantageux.
- ✓ Substrat de fermentation : Le lactosérum par sa composition biochimique possède d'intéressantes propriétés comme milieu de fermentation pour plusieurs microorganismes assimilant le lactose comme source de carbone et d'énergie (Alais, 1975) :
  - Les bactéries : à titre d'exemple *Lactobacillus casei* pour la production d'acide lactique (Morabito, 1994).
  - Les moisissures : à titre d'exemple *Penicillium camemberti* a permis la production des protéases acides, neutres et alcalines (Mechakra *et al.*, 1999).

### II.5.3. Autres utilisations

La production de produits chimiques précieux à partir du lactosérum a été considérée comme une option intéressante en raison de sa richesse en éléments nutritifs. Le lactosérum de fromage a été utilisé comme substrat pour la production d'acide organique, d'éthanol, et de méthane (Ghasemi *et al.*, 2009). Le lactosérum typique du fromage contient 5 à 6% de lactose, 0,8 à 1% de protéines et 0,06% de matière grasse constituant une matière première peu coûteuse et riche en nutriments. Le lactosérum a également été utilisé comme engrais agricole, mais avec l'inconvénient de laisser des dépôts salins élevés (Siso, 1996).

Il existe différents processus pour valoriser le lactosérum (figure 6). Il est transformé en poudre de lactosérum ou en ses variantes déminéralisées, déprotéinées ou délactosées. Il peut être également valorisé sous forme de concentrés protéiques, d'isolat de protéines sériques, du lactose ou d'autres fractions (Kosseva *et al.*, 2009 ; Macwan *et al.*, 2016).



**Figure 6** : Schéma de valorisation de lactosérum (Yadav *et al.*, 2015).

## II.6. Les techniques de récupération des différentes fractions du lactosérum

La valorisation du lactosérum réalisée à partir de diverses technologies qui permet d'obtenir de nombreux produits. Parmi les technologies les plus utilisées se trouvent le séchage, l'évaporation, l'osmose inverse, la nanofiltration, l'ultrafiltration (Yorgun *et al.*, 2008 ; De souza *et al.*, 2010).

### II.6.1. Osmose inverse

Les installations d'osmose inverse permettent d'atteindre en lactosérum un extrait sec de 20%. C'est-à-dire que si l'on part d'un lactosérum à 5% de matière sèche, il pourra être concentré quatre fois par osmose inverse. Dans ce cas, 79% de l'eau aura été éliminée par osmose inverse (Benabbou et Bentalab, 2015).

### II.6.2. Évaporation sous vide

Actuellement, la plupart des évaporateurs sous vide mis sur le marché de l'industrie laitière sont à recompression mécanique des vapeurs (Luquet et François, 1990). La concentration du sérum doux se fait sans problème. Par contre en ce qui concerne le lactosérum acide, il est indispensable de le désacidifier préalablement par électrodialyse sinon il y a risque de floculation des protéines (Vrignaud, 1983).

### II.6.3. L'extraction du lactose par cristallisation

Le sucre du lait constitue 75% de la matière sèche du lactosérum. Il existe sous forme amorphe, qui est très hygroscopique et qui risque de donner une poudre collante, et donc d'entraîner des phénomènes de collage dans la tour de séchage. Pour faciliter la cristallisation, on doitensemencer le lactosérum concentré par 0,5 à 1% de lactose en poudre. Chaque grain de poudre va servir d'amorce à la cristallisation : la taille des cristaux sera très fine et la vitesse de cristallisation accélérée (Luquet et Boudier, 1989).

### II.6.4. L'ultrafiltration

Est un procédé de séparation par membrane semi-perméables (Luquet et François, 1990). L'ultrafiltration permet de retenir les molécules d'un poids moléculaire de l'ordre de 5000 Da, sous pression relativement faible de 1 à 7 bars. Une étude a été faite par Kevin *et al.*,(2006) pour la récupération des concentrés protéiques de lactosérum par ultrafiltration, ils ont remarqué que ces concentrés protéiques ont toutes les propriétés désirées. Une autre étude d'ultrafiltration de lactosérum doux par une membrane minérale a été faite par Christine *et al.*,(1986), qui ont démontré que lors de l'ultrafiltration d'un lactosérum à 6g de protéine par litre l'évolution du transfert de solutés et de solvant au travers de cette membrane est en fonction des conditions opératoires.

La présente opération aboutit à l'obtention d'un concentré protéique ou rétenta et d'un liquide contenant le lactose ou perméat. Le rétenta, qui est séché, contient 70% de lactoprotéines, les 30% restant se répartissent entre le lactose, les lipides et les minéraux (Luquet et Boudier, 1989).

### Objectif

Le but de cette étude est de valoriser le lactosérum par son incorporation dans la formulation d'une crème glacée, par le remplacement de la totalité de l'eau par son équivalent apporté par le lactosérum issu de la coagulation du Camembert, tout en gardant les mêmes caractéristiques du produit fini. Cette incorporation du lactosérum va non seulement permettre de réduire les quantités des matières premières, et aussi la diminution de son impact sur la pollution de l'environnement et la quantité des eaux utilisée en industries alimentaires qui commence à se raréfier et à se sentir dans le monde. Dans notre étude nous avons procédé par deux approches pour la valorisation du lactosérum ; la première est de valoriser le lactosérum dans la préparation du lait reconstitué sans toucher au reste des ingrédients, la deuxième est de valoriser le lactosérum par une réduction totale d'EST de toutes les matières premières.

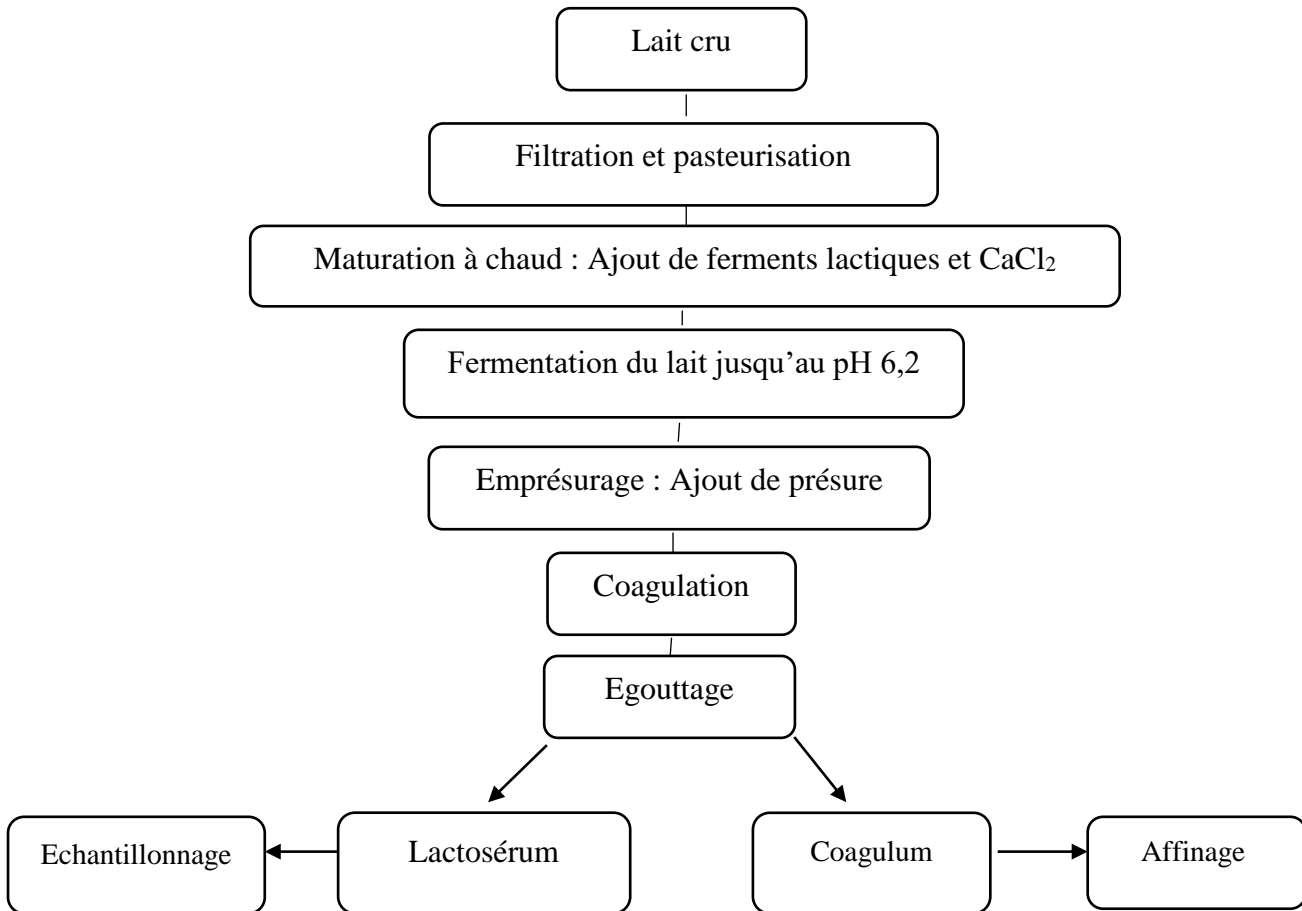
### I.1. Matériel

Appareillage	Ustensiles et verreries	Produits et réactifs
-Dessiccateur -Spectrophotomètre -Balance de précision -PH mètre -Agitateur magnétique -Agitateur (vortex) -Sorbetière	- Burettes -Eprouvettes -Entonnoir -Bécher -Pipettes, micropipettes -Spatules -Papier filtre -La gaz -Tubes à essai -Coupelles	-Lait cru -Lactosérum -Vinaigre -Présure -Eau distillé -Phénolphtaléine - Soude NaOH(1N) -CuSo4 -Tartrate de Na et K -NaCo3 -Albumine sérique bovine (BSA) -Réactif de folin-ciocalteu

## I.2. Méthodes

### I.2.1. Echantillonnage

Les échantillons du lactosérum nous ont été gracieusement offerts par la fromagerie STLD, FERMIER, issus de la coagulation et l'égouttage de fromage à pâte molle type Camembert (figure 7). Les échantillons sont acheminés au laboratoire LABAB (Laboratoire d'Analyses Biochimiques et Analyses Biotechnologiques) dans une glacière maintenue à 4°C.



**Figure 7** : Echantillonnage et récupération du lactosérum

### I.2.2. Modèle de simulation de la valorisation du lactosérum

#### I.2.2.1. Principe du calcul en mode Excel

La quantité de lactosérum ajoutée dans la formulation de la crème glacée doit permettre de remplacer l'équivalent en eau ajoutée dans la recette standard de la crème glacée. Cette quantité de lactosérum utilisée va non seulement apporter de l'eau mais également une certaine quantité en extrait sec dont il faut tenir en compte dans la modélisation en mode Excel.

La modélisation en mode Excel se base sur la quantification des teneurs en matières sèches ou extrait sec total (EST) apportées par les matières premières utilisées (sucre, crème liquide, lactosérum, vanille et la poudre de lait), qui une fois additionnées à la teneur en EST du lactosérum, vont permettre de garder la même teneur en EST des produits finis, aussi bien la crème glacée standard (produit de référence) que la crème glacée à base de lactosérum.

Ces quantités sont calculées sur la base des pourcentages en matière sèche (% EST) élémentaire de chaque ingrédient dans la formule à base d'eau. Ces pourcentages doivent être maintenus dans la recette qui complètera l'apport élémentaire (EST, protéines, humidité) apportées par le lactosérum. Sur la base des différents % EST élémentaires, leurs équivalents massiques seront déterminés pour la réalisation d'une crème glacée à base de lactosérum.

### **I.2.3. Modèle mathématique adopté**

#### **I.2.3.1. Détermination des quantités des matières premières à utiliser dans la formule-lactosérum**

La recette utilisée, pour la fabrication de la crème glacée de référence, a été choisie par nos soins en se basant sur les différentes formulations trouvées dans la bibliographie scientifique et selon la disponibilité de matières premières dont nous disposons. Celle-ci a été réalisée au niveau du laboratoire LABAB (laboratoire d'analyses biochimique et analyses biotechnologique).

Les différentes équations adoptées dans cette étude sont basées sur la recette standard de la crème glacée présenté dans la tableau ci-dessous

**Tableau XII** : Quantités des matières premières de la recette de base.

Ingrédients	Quantités (g)
poudre de lait 26%	31
crème entière	250
Sucre	100
d'arôme vanille	0,5
Eau	219
Total	600,5

➤ **Détermination des quantités élémentaires (H, protéines, EST) apportées par chaque matière première en g.**

Chaque matière première en (g) apporte avec elle des matières élémentaires (EST, protéines, humidité), ces dernières ont été obtenues en suivant l'équation n°1 :

$$\boxed{Q_{Emp} (g) = [\%_{Emp} * Q_{mp} (g)] / 100} \dashrightarrow \textcircled{1}$$

Avec :

**$Q_{Emp} (g)$**  : quantité élémentaire de la matière première en g que l'on veut calculer.

**$\%_{Emp}$**  : pourcentage élémentaire de la même matière première.

**$Q_{mp} (g)$**  : quantité de la matière première dans la recette.

Après avoir déterminé les quantités élémentaires apportées par chaque matière première en g, nous pouvons déterminer les quantités élémentaires totales dans le produit fini à base d'eau.

➤ **Détermination des quantités élémentaires totales dans le produit fini à base d'eau**

Pour avoir la quantité totale pour chaque paramètre dans le produit fini (formule-eau) il suffit de faire une simple addition selon l'équation n°2 :

$$\boxed{Q_{E PF} (g) = \sum Q_{Emp}} \dashrightarrow \textcircled{2}$$

Avec :

**$Q_{E PF} (g)$**  : quantités élémentaires totales du produit fini (EST, protéines et humidité)

**$\sum Q_{Emp}$** : ensemble de quantités élémentaires de la matière première (sucre+ poudre de lait+ crème entière).

C'est avec la détermination des quantités élémentaires totales dans le produit fini à base d'eau qu'on détermine la quantité du lactosérum à utiliser dans la formule complémentaire.

➤ **Détermination de la quantité du lactosérum à utiliser dans la formule complémentaire**

La quantité de lactosérum qui doit être incorporée dans la formule complémentaire pour remplacer la totalité de l'eau utilisée dans la formule standard ; est obtenue selon l'équation n°3 :

$$Q_{\text{Lact}} (\text{g}) = (Q_{\text{ERS}} \times 100) / H_{\text{Lac}}(\%) \quad \text{---} \rightarrow \text{3}$$

Avec :

**$Q_{\text{Lact}} (\text{g})$  : Quantité de lactosérum à utiliser**

**$Q_{\text{ERS}}$  : quantité en eau dans la recette standard**

**$H_{\text{Lac}}(\%)$  : Pourcentage humidité du lactosérum**

➤ **Détermination des quantités élémentaires totales de la formule complémentaire**

Les quantités élémentaires totales qui doivent être ramenées par les ingrédients dans la formule complémentaire ( $Q_{\text{EFC}}$ ) sont obtenues par la soustraction entre les quantités élémentaires totales dans la formule a base d'eau et leurs équivalents dans la formule a base de lactosérum, selon l'équation n°4 :

$$Q_{\text{EFC}} (\text{g}) = Q_{\text{EFE}} - Q_{\text{EL}} \quad \text{---} \rightarrow \text{4}$$

Avec :

**$Q_{\text{EFC}}$  : quantité élémentaire totale qui doit être ramenée par les ingrédients dans la formule complémentaire**

**$Q_{\text{EFE}}$  : quantité élémentaire totale dans la formule à base d'eau**

**$Q_{\text{EL}}$  : quantité élémentaire apportée par le lactosérum**

On détermine les pourcentages de l'EST élémentaires dans la formule standard après avoir déterminé les pourcentages de l'EST élémentaires dans la formule standard.

➤ **Détermination des pourcentages de l'EST élémentaires dans la formule standard**

Le % EST de chaque ingrédients est calculé par rapport à la totalité de l'EST apporté dans la formule de base, comme suit :

$$\%EST_{E\ mp} = Q_{EST\ mp}\ (g) * 100 / \% EST\ mp$$

5

Avec :

**%EST<sub>E mp</sub>** : pourcentage de l'EST élémentaire dans la matière première dans la formule standard.

**Q<sub>EST mp</sub> (g)** : quantité de l'EST dans la matière première en g.

**% EST mp** : pourcentage de l'EST dans la matière première.

➤ **Détermination des équivalents massiques d'EST dans la recette à optimiser**

L'équivalent massique sera déterminé tout en gardant le même pourcentage d'EST<sub>E mp</sub> suivant l'équation n° 6 :

$$\%EST_{E\ mp\ FCT}(g) = \% EST_{E\ mp} * Q_{EST\ FCT}(g) / 100\ mp$$

6

Avec :

**EST<sub>E mp</sub>(g)** : équivalent massique de l'EST élémentaire de la matière première dans la formule complémentaire totale.

**%EST<sub>E mp</sub>** : pourcentage de l'EST élémentaire dans la matière première.

**Q<sub>EST FCT</sub>(g)** : quantité de l'EST dans la formule complémentaire totale.

Les résultats des équivalent massique d'EST dans la recette à optimiser obtenus dans la formule n°6 nous serviront pour calculer les quantités de matière première à utiliser dans la formule complémentaire.

➤ **Détermination des quantités de matière première dans la formule complémentaire**

La quantité de la matière première dans la recette finale sera déterminée selon l'équation n°7 en gardant le même équivalent d'EST<sub>E mp</sub> massique.

$$Q_{E\ mpFC}(g) = EST_{E\ mp\ FCT}(g) * 100 / \%EST_{E\ mp}$$

→ 7

Avec :

**Q<sub>E mpFC</sub>(g)** : quantité élémentaire de matière première dans la formule complémentaire

**%EST<sub>E mp</sub>** : pourcentage de l'EST élémentaire dans la matière première dans la formule standard.

**EST<sub>E mp</sub>(g)** : équivalent massique de l'EST élémentaire de la matière première dans la formule complémentaire totale.

**I.2.4. Etude technico-commerciale**

L'étude techno-commerciale consiste à évaluer les coûts de revient annuel en matières premières dans les deux recettes. Cela permet de déterminer le gain que va apporter l'intégration du lactosérum dans la formulation de base, en se basant sur l'équation n°8. L'amortissement du coût de production de crème glacée à base de lactosérum, est déduit en soustrayant les prix de revient des recettes de glace standard et de glace au lactosérum.

$$B = A * D / C$$

→ 8

A et B les prix (Da) de la matière première dans la recette standard et optimisée, respectivement.

C et D les teneurs (g) de la matière première, dans les recettes standards et optimisées, respectivement.

**I.2.5. Estimation de l'effet environnemental de la valorisation du lactosérum**

La valorisation du lactosérum n'a pas seulement un effet positif économique mais aussi environnemental, ce dernier est estimé par la détermination des quantités annuelles des lactosérums qui peuvent être récupérées et incorporées dans le produit fini, au lieu d'être

rejetées, car cela génère une charge polluante très élevée dont les conséquences sont d'un impact très néfaste sur l'environnement. Cette valorisation de lactosérum va nous permettre d'apprécier la réduction de la pollution en se référant à son équivalent de pollution apportée par habitant. Mais aussi par la quantification des substrats utiles (MG, protéine, lactose) qui peuvent être récupérés et réutilisés dans divers domaines.

### ➤ Détermination de la quantité du lactosérum annuelle régénérée par l'entreprise

En prenant en considération le rendement fromager (R.F 10%) ; les quantités annuelles du lactosérum régénérées pour la production annuelle du fromage cheddar se calculent selon l'équation n°9.

$$QL An (Kg) = 90 * QFCAn/10 \longrightarrow 9$$

Avec :

$QL An (Kg)$  : quantité du lactosérum annuelle

$QFCAn$  : quantité du camembert annuelle

L'estimation de l'équivalent en pollution humaine sera déterminée après avoir calculé la quantité du lactosérum annuelle régénérée par l'entreprise, cette dernière va nous servir aussi pour déterminer les teneurs en matières utiles (EST et protéines) du lactosérum régénéré annuellement pour chaque élément.

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

La multiplication de  $QL An$  par son équivalent en pollution humaine, qui est de 750 EH/litres de lactosérum, va permettre d'apprécier et de quantifier l'effet positif de cette étude sur le plan environnemental.

### ➤ Estimation des teneurs en matières utiles dans le lactosérum

Les teneurs en matières utiles (EST et protéines) du lactosérum régénéré annuellement pour chaque élément, se calcule en multipliant leurs quantités dans un kilogramme de lactosérum fois la quantité annuelle en lactosérum ( $QL An$ ).

## I.3. Préparation de la crème glacée

Pour préparer des crèmes glacées, il faut mettre le sucre, la poudre de lait, la crème liquide et la vanille dans un bécher puis le mettre sur une plaque chauffante et homogénéiser

jusqu'à dissolution et mélange de tous les ingrédients. Couper le feu 5min à 8min lorsque le sucre est complètement dissout. Après l'homogénéisation des ingrédients, on verse le mélange dans la sorbetière (Figure 8). Après homogénéisation dans l'appareil on a obtenu un mix, on a versé dans des moules et conserver au congélateur avec une température de -18°C.



**Figure 8** : Photo originale d'une sorbetière

#### I.4. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques effectués sur les matières premières utilisées et les mix obtenus, sont cités dans la tableau suivant :

**Tableau XIII** : Tableau regroupant les analyses physico-chimiques des matières premières et produits finis utilisés

<b>Echantillons</b>	<b>Lactosérum</b>	<b>Crème liquide</b>	<b>Lait</b>	<b>Mix1</b>	<b>Mix 2</b>	<b>Mix 3</b>
<b>pH</b>	X	-	-	X	X	X
<b>Densité</b>	X	-	-	X	X	X
<b>AT</b>	X	-	-	X	X	X
<b>EST</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Protéines</b>	-	-	-	X	X	X
<b>H</b>	X	-	-	X	X	X

**Légende** : Extrait sec total (EST) ; Humidité (H) ; Acidité titrable (AT) ; potentiel d'hydrogène (pH) ; crème glacée à base de lactosérum (Mix1) ; crème glacée à base d'eau (Mix 2) ; crème glacée à base de lactosérum corrigé avec de l'eau (Mix 3).

#### **I.4.1. Détermination du pH**

➤ **Principe**

La mesure du pH consiste à la détermination de différence de potentiel existant entre deux électrodes immergées dans l'échantillon analysé à l'aide d'un pH mètre.

➤ **Mode opératoire**

- Le pré-rinçage des électrodes et du bécher avec l'eau distillée.
- Prolonger l'électrode dans le bécher contenant l'échantillon à analyser.
- Rinçage de l'électrode à l'eau déminéralisée et la conserve dans l'eau déminéralisée.

Il est indispensable d'étalonner l'appareil.

La lecture se fait directement sur le pH-mètre

#### **I.4.2. Détermination de l'extrait sec total (EST)**

➤ **Principe**

C'est la masse (matière sèche) restante après dessiccation complète par la technique d'infrarouge d'un certain volume de l'échantillon, il regroupe l'ensemble des constituants à l'exception de l'eau, d'une autre manière l'extrait sec est la masse restante après élimination de l'eau présente dans l'échantillon.

➤ **Mode opératoire**

- Peser une quantité de 3g de l'échantillon sur une coupelle d'aluminium préalablement tarée.
- Régler le dessiccateur à 110° C pendant 20 min
- Fermer le couvercle.

Après 20 min le résultat est directement affiché sur l'écran et exprimé en pourcentage de masse.

#### **I.4.3. Détermination de l'humidité**

Il suffit juste d'appliquer l'équation suivante sur le lactosérum et le mix.

$$\mathbf{H (\%) = 100 - EST (\%)}$$

H : humidité

EST : extrait sec total

#### I.4.4. Détermination d'acidité titrable (AT)

➤ **Principe**

La mesure de l'acidité consiste à déterminer la teneur en acide lactique par une neutralisation à la soude (NaOH, 1N) en présence d'un indicateur coloré ; la phénolphthaléine.

➤ **Mode opératoire**

- Peser 10 ml de l'échantillon dans un bécher.
- Ajouter 2-3 gouttes de phénolphthaléine à 1%.
- Titrer avec du NaOH 1N jusqu'à l'apparition de la couleur rose pâle, persistante pendant au moins 2 secondes.
- Lire le volume du NaOH utilisé.

$$\overline{CA} = \frac{NB \times VB \times MA}{VA}$$

Les résultats sont exprimés en degrés dornic.

**Avec :**

**$\overline{CA}$** : Concentration

**VB** : Volume de chute de la burette (en ml)

**NB** : Normalité de la base

**VA** : Volume de l'acide (en ml)

**MA** : Masse atomique

**1°D** = 0.1 g/l d'acide lactique

#### I.4.5. Détermination de la densité

**Mode opératoire**

- Verser 10ml de l'échantillon dans une éprouvette préalablement tarée ;
- Mettre sur une balance précise pour la pesée ;
- Prendre la valeur affichée sur la balance qui représente la masse de cet échantillon ;
- On calcule la densité avec la formule suivante :

$$d = \text{masse volumique} = M/V$$

**Avec :**

M : masse de l'échantillon

V : volume de l'échantillon

### I.4.6. Dosage des protéines

#### ➤ Principe

Il est nécessaire de connaître la concentration totale de l'ensemble des protéines présentes dans un milieu, pour suivre les différentes étapes de purification ou déterminer l'apport protéique d'une substance alimentaire. Cependant deux grands types sont utilisés plus que d'autre dans la recherche ou dans le contrôle de la qualité il s'agit d'une de la méthode de détermination de l'azote selon K. Jeldahl ; d'autre part des méthodes colorimétriques telle celle de Lowry avec laquelle on a travaillé dans notre étude.

La méthode de Lowry est une méthode de dosage colorimétrique des protéines. En effet, la protéine réagit avec un réactif dit phospho-tungsto-molybdique (réactif de Folin-Ciocalteu), ce dernier est composé d'un mélange de tungstate de sodium et de molybdate de sodium en solution dans de l'acide phosphorique et de l'acide chlorhydrique. Ce réactif permet la réduction des acides aminés aromatiques (tyrosine et tryptophane) conduisant à la formation d'un complexe coloré bleu foncé dont on mesurera l'absorbance entre 650 et 750 nm.

#### ➤ Mode opératoire

##### **Pour la gamme étalon**

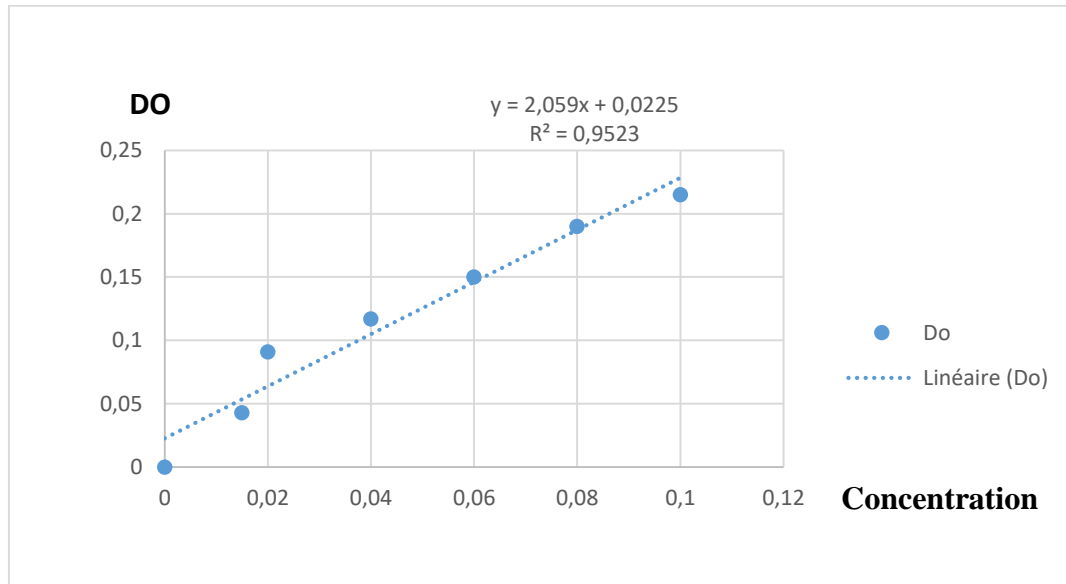
- Mélanger la solution alcaline (solution de carbonate de sodium alcalin à 20g/L dans 0.1M de soude) à la solution de protéines à doser ;
- Ajouter une solution de sulfate de cuivre et de tartrate double de sodium et de potassium ;
- Laisser incuber au minimum 10 minutes à température ambiante ;
- Ajouter ensuite le réactif de Folin (dilué au demi) sous agitation rapide ;
- Attendre 30 minutes, et mesurer la DO à 750 nm.

##### **Préparation des échantillons**

- Préparation des dilutions décimales de l'échantillon (crème glacée) allant de  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$  ;
- A partir de la dilution  $10^{-3}$  de chaque échantillon on prélève 0,5 ml et répartir dans 9 tubes à essai de sorte que chaque tube contient 0,5 ml de la dilution ; à 0,5 ml de la solution d'échantillon contenant entre 25 et 100 $\mu$ g de protéines ;
- On rajoute à chaque tube 2,5 ml de la solution C puis homogénéiser ;
- Laisser 5 à 10 minutes à température ambiante ;
- Ajouter 0,25ml de réactif de Folin-ciocalteu ;
- Homogénéiser rapidement et mettre les tubes 30 minutes à l'obscurité ;

Après 30 min, homogénéiser les solutions rapidement et lire la densité optique (DO) à 750 nm.

La courbe d'étalonnage obtenue est représentée dans la figure 9 ci-dessous.



**Figure 9 :** Courbe d'étalonnage de dosage des protéines

### I.5. L'analyse organoleptique

#### Le principe

L'analyse sensorielle consiste à analyser les propriétés organoleptiques des produits par les organes de sens, c'est une science multidisciplinaire qui fait appel à des dégustateurs et à leurs sens de la vue, de l'odorat, du goût, et de l'œil pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité des produits alimentaires d'une façon extrêmement objective pour estimer le degré d'acceptabilité du nouveau produit par les consommateurs (Zikoui, 2013 ; Siar, 2014). L'analyse sensorielle a été effectuée par la méthode hédonique, en faisant appel à un panel non expérimenté. Le résultat de ce test exprime le degré d'appréciation de l'échantillon par attribution de chiffres (Stone et Sidel, 2004). Les résultats obtenus sont exploités en calculant la dominance du caractère le plus apprécié par les jurys en %, ce qui nous a permis de faire une comparaison entre les trois échantillons analysés.

#### La réalisation de la dégustation

Après préparation de nos trois crèmes glacées (mix) ; une à base de lactosérum, l'autre à base d'eau et l'autre à base de lactosérum corrigée avec de l'eau. Nous avons organisé une journée de dégustation (figure 10) qui s'est déroulée dans une salle de cours au

## Matériel et méthodes

niveau de notre département à l'UMMTO et nous avons fait appel à 17 personnes non entrainés des deux sexes, qui ont différents âges et différents niveaux intellectuel afin de donner leurs appréciations, un questionnaire a été élaboré (voir l'annexe 1).

La journée de dégustation des crèmes glacées nous a permis de faire ressortir les principales caractéristiques sensorielles (goût sucré, couleur, odeur, arôme (goût), texture, aspect...) de chaque crème glacée étudiée et aussi de faire ressortir la préférence des personnes qui ont dégusté les trois produits testés.



**Figure 10** : Photo originale des échantillons et déroulement du test organoleptique

### II.1. Résultats de l'analyse physico-chimique

Les résultats de l'analyse physico-chimique obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau XIV** : Résultats de l'analyse physico chimique des matières premières et des produits finis.

Analyses physico-chimiques	Lait	Lactosérum	Crème légère	Mix 1	Mix 2	Mix3
pH	/	6,54	/	6,01	6,45	6,04
Acidité	/	59,4° D	/	39,6° D	24,75°D	39,6°D
EST	11,97%	7,48%	22,89%	32,28%	32,46%	31,80%
Densité	/	0,89 g/ml	/	1,056 g/ml	1,126g/ml	1,00g/ml
Humidité	/	92,52%	77,11%	67,72%	68,34%	68,20%

**Mix1** : crème glacée à base de lactosérum ; **Mix 2** : crème glacée à base d'eau ; **Mix 3** : à base de lactosérum corrigé avec de l'eau

- ✓ **pH** : Les résultats obtenus répondent aux normes exigés par Sottiez 1985 qui sont de 6,5-6,7 pour le lactosérum ; et par l'entreprise GINI qui sont de 6,5-7 pour les mix.
- ✓ **L'extrait sec total (EST) et humidité (H)** : L'extrait sec et l'humidité des mix analysés se situe parfaitement dans l'intervalle des normes exigés par l'entreprise GINI qui sont de 33-34 concernant l'extrait sec.  
 Pour l'EST du lactosérum le résultat obtenu est un peu supérieur par rapport à la norme exigée par Sottiez en 1985 qui varie entre 5-6,5%, cela va influencer sur l'humidité en diminuant cette dernière, donc elle est inférieure aux normes exigés par Sottiez en 1985 qui sont de l'ordre de 93.5-95% ; ceci est dû à une mauvaise maîtrise de sa préparation.
- ✓ **La densité** : les résultats obtenus sont approximativement proches aux normes européennes exigées allant de 1,106-1,108.
- ✓ **Acidité** : les résultats obtenus sont approximativement proche entre eux pour le mix 1 et le mix 3 par rapport à celle de mix 2 qui est un peu inférieure aux deux autres mix.

## II.2. Résultats de la simulation

### II.2.1. Résultats de la simulation mathématique de la nouvelle recette

Selon les équations n° 1, 2, 3, 4 et 5 décrites dans la partie matériel et méthodes, les différentes quantités utilisées dans la fabrication de crème glacée à base de lactosérum ont été obtenues. Les tableau XV et XVI ci-dessous représentent respectivement les recettes suivies dans la formulation de la crème glacée à base de lactosérum et la crème glacée à base de lactosérum corrigé avec de l'eau

**Tableau XV** : Quantités des matières premières à peser dans la formule-lactosérum (Mix 1)

Ingrédients	Quantité (g)
Poudre de lait 26%	12,66864792
Lactosérum	236,7835765
Crème entière	250
Sucre roux	100
Arome	0,5
Eau de correction	0
<b>Total</b>	<b>599,9522244</b>

**Tableau XVI** : Quantités des matières premières à peser dans la formule-lactosérum corrigé avec de l'eau (Mix 3)

Ingrédients	Quantité (g)
Poudre de lait 26%	27,941868
Lactosérum	236,78358
Crème entière	225,86343
Sucre roux	90,345374
Arome	0,5
Eau de correction	19,065747
<b>Total</b>	<b>600,5</b>

**II.2.2. Etude comparative des résultats physico-chimique (théoriques et pratiques) des trois produits finis**

Les résultats physico-chimique des trois recettes sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau XVII** : Résultats physico-chimique des trois recettes

Paramètres	Recette standard		Recette à base de lactosérum		Recette à base de lactosérum corrigée avec de l'eau		Normes (GINI)
	Simulation	Pratique	Simulation	Pratique	simulation	Pratique	
PH	-	6,45	-	6,01	-	6,04	6,5-7
EST(%)	30,575	32,46	30,6029392	32,28	30,575	31,80	33-34
H(%)	69,425	68,34	69,3970608	67,72	69,425	68,20	/
Protéines(%)	2,2796392	2,27963918	1,950973	1,949347052	2,489897	2,408770192	/



Physioc proc	EST-PF H2O%	30,575	Physioc proc	EST-PFLAC%	30,6029392	Physioc produ	EST-PFLAC%	30,575
	H-PFH2O%	69,425		H-PF-LACT%	69,3970608		H-PF-LACT%	69,425
	H+EST-H2O	100		TP-PF-LACT%	1,95097299		TP-PFLAC%	2,48989709
	TP-PH H2O	2,27963918						

Capture d'écran des résultats physico-chimique des trois recettes obtenus par le modèle de la simulation sur Excel.

Les valeurs obtenues par les analyses effectuées à savoir : le pH, l'EST, l'humidité et les protéines des produits des trois recettes répondent aux normes, ainsi pour les valeurs obtenues par la simulation.

Par ailleurs les valeurs d'EST obtenues concordent à certaines valeurs exigées par la littérature ; la comparaison de chaque valeur obtenue par la simulation aux valeurs théoriques exigées par l'entreprise GINI qui sont de (33-34%) pour l'EST.

Pour les mix 1 et 3 ; les valeurs obtenues par la simulation sont un peu proches aux valeurs théoriques, pour le mix 2 les valeurs obtenues par la simulation sont proches aux valeurs théoriques

Les valeurs d'EST sont conformes à leurs normes respectives ainsi sont très proche aux valeurs obtenues par la simulation.

## Résultats et discussions

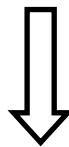
Dans notre étude, exige une comparaison des résultats pratiques entre eux et théoriques entre eux obtenus des trois échantillons, nous permet d'observer l'approchement très satisfaisant des valeurs, aussi de garder les mêmes valeurs d'EST des trois produits. Ainsi la comparaison de chaque valeur pratique à sa valeur respective obtenue par simulation nous laisse dire que nos résultats sont fiables. Les petites différences peuvent s'expliquer par la mauvaise précision lors de pesée des matières premières ou une perte de matières utiles lors des différentes étapes du processus de fabrication.

### II.2.3. Résultats technico-commerciaux

**Tableau XVIII** : Coûts de revient des matières premières avec utilisation du lactosérum

Unité/g	Prix (DA)	Coût du Mix 1	Coût du Mix 2	Coût du Mix 3
Poudre de lait 26%	470	5,954264521	14,53608247	13,13267807
Crème légère	600	150	150	135,5180609
Sucre roux	120	12	12	10,84144487
Arome vanille	100	0,05	0,05	0,05
Coût de revient(DA)		168,004264521	176,5860825	159,5421838
Coût de reviens annuelle (63000 tonnes) (DA)		1764185252*10 <sup>10</sup>	1852610025*10 <sup>10</sup>	1673798098*10 <sup>10</sup>
Economie annuelle (DA)		Mix 1 et Mix 2	Mix 2 et Mix 3	
		884247,73	17881199,27	

**Légende : Mix 1 : Formule lactosérum, Mix 2 : Formule eau, Mix 3 : Formule lactosérum corrigé avec l'eau.**



prix unitaire/kg	etude technico-commerciale			
		C-E	C-S	C-Lacto corrigé
P26%	470	14,53608247	5,954264521	13,13267807
crème	600	150	150	135,5180609
sucre roux	120	12	12	10,84144487
arome vanille	100	0,05	0,05	0,05
Total (Da)		176,5860825	168,0042645	159,5421838

Capture d'écran des coûts de revient des matières premières des trois recettes obtenus par le modèle de simulation sur Excel.

## Résultats et discussions

Le tableau XVIII montre clairement qu'en remplaçant l'eau par le lactosérum, l'entreprise peut dégager un bénéfice annuel de l'ordre de 884247,73 DA, ainsi montre qu'en remplaçant l'eau par le lactosérum corrigé, l'entreprise peut dégager un bénéfice annuel de l'ordre de 17881199,27 DA.

On constate une diminution du coût de revient de la production en utilisant le lactosérum par rapport à l'eau de 8,581817979DA et ce pour les mêmes quantités de production, aussi une diminution du coût de revient de la production en utilisant le lactosérum corrigé avec l'eau par rapport à l'eau de 17,0438987 DA.

Le lactosérum pourra donc améliorer le chiffre d'affaire des industries laitières et concevoir une nouvelle politique visant à utiliser moins d'eau, une ressource qui n'est pas toujours offerte surtout en ces derniers temps.

Cette valorisation du lactosérum n'est pas retable seulement en terme de matières premières, car elle a aussi un autre effet positif ; en diminuant les quantités d'eau utilisées par les industries laitières dans la préparation de leurs produits.

Cependant, ces derniers temps on constate un manque de ressources hydriques ; ce problème préoccupe le gouvernement algérien et tente de lui trouver des solutions, sans oublier le problème du réchauffement climatique ; donc cela revient de bénéfice pour les industries laitières dont l'industrie des crèmes glacées en fait partie.

### Estimation du pourcentage d'économie en matières premières utiles

**Tableau XIX :** Estimation du pourcentage d'économie en matières premières utiles

Recette F-E	381,4278351
Recette F- L	363,16864779
Quantité de MPU économisée (g)	18,2591874
Economisation de la poudre de lait(Tonnes/ an)	1915,6183
% économisations de la poudre de lait	59,0380384



Prix ECONOMISATION MPU (600gr) (da)	8,581817953
Prix ECONOMISATION MPU (63000 tonnes) (da)	900340601,2
Qtité MPU économisée (600gr)	18,25918713
Qtité MPU économisée(63000 tonnes) (tonnes)	1915,6183
% economisation MPU	59,0380384

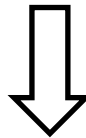
Capture d'écran d'estimation du pourcentage d'économie en matières premières utiles du Mix 1 obtenu par le modèle de simulation sur Excel.

## Résultats et discussions

Les résultats de ce tableau montrent clairement qu'en utilisant le lactosérum, les quantités des matières premières utilisées comme la poudre de lait (p 26), crème entière et le sucre diminuent de 18,2591874g avec un pourcentage de 59,0380384% entre la formule a base d'eau et celle avec le lactosérum et soit 1915,6183 tonnes / an.

**Tableau XX :** Estimation du pourcentage d'économie en matières premières utiles

Recette F-E	381,4278351
Recette F-L- corrigé avec l'eau	344,65068
Quantité de MPU économisée	36,77715806
Economisations de la totalité des matières premières (Tonnes/ an)	1788,119264
% économisations de la totalité des matière première	9,651892379



Prix ECONOMISATION MPU (600gr) (da)	17,04389864
Prix ECONOMISATION MPU (63000 tonnes) (da)	1788119257
% economisation MPU	9,651892379
economisation MPU Quantité	36,77715806

Capture d'écran d'estimation du pourcentage d'économie en matières premières utiles du Mix 3 obtenu par le modèle de simulation sur Excel.

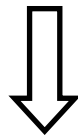
Les résultats de ce tableau montrent clairement qu'en utilisant le lactosérum corrigé avec de l'eau, les quantités de matières premières utilisées comme la poudre de lait (p 26), crème entière et le sucre, diminuent de 36,77715806 g avec un pourcentage de 9,651892379 % entre la formule a base d'eau et celle avec le lactosérum corrigé avec de l'eau et soit 1788,119264 tonnes / an.

D'après les résultats obtenus ; on constate un amortissement du coût de revient du produit fini dans la totalité des matières premières pour le Mix 3, cela intéressera d'avantage les industries notamment les industries laitières ; et pour le Mix 1 un amortissement en terme de la quantité de la poudre de lait sans toucher aux reste des matières premières, cela engendre un gain au niveau des importations de la poudre de lait.

**II.2.4. Aspect environnemental**

**Tableau XXI** : Estimation des quantités annuelles produites et les quantités élémentaires régénérées par le lactosérum en tonnes

Rendement fromager (%)	10	
Quantité du camembert produite annuelle en tonnes	19812	
Quantité lactosérum (estimation en tn)	178308	
Quantité de lactosérum à utiliser pour produire 63000 tn (en tonnes)	24841,57422	
Estimation de la quantité de réduction de pollution par habitant	222290640	
Quantités élémentaires annuelles régénérées par le lactosérum (tn)	EST	Protéine
	13337,4384	1586,9412



Estimation de quantités annuelles produites lactosérum			
Rendement fromager (10%)	90		
Quantité camembert produites annuelle (Tn)	19812		
Quantité lactosérum (estimation en tn)	178308		
quantité de lactosérum à utiliser pour produire 63000 tn	24841,57422		
Quantités élémentaires annuelles régénérées par lactosérum	total	valorisé	à valoriser
EST	13337,4384	1858,14975	11479,28865
PROTEINE	1586,9412	221,090011	1365,851189
impact environnemental			
estimation valeur pollution par equivalent habitant	TOTAL	Réduite	à réduire
base de calcul 1 HA= 60 g/l EST	222290640	30969162,5	191321477,5

Capture d'écran d'estimation des quantités annuelles produites et régénérées par le lactosérum et son impact environnemental obtenu par le modèle de simulation sur Excel.

Le tableau ci-dessus montre que l'industrie génère une quantité de 178308 tonnes de lactosérum par an, sachant qu'1 litre de lactosérum rejeté dans la nature crée une pollution de 750 EH, et donc annuellement une pollution de 133731000 EH.

Notre étude nous a permis d'estimer la quantité du lactosérum qui peut être valorisée dans la production des crèmes glacées au lieu d'être rejeté dans la nature, qui est d'environ 24841,57422 tonnes. Et que la quantité totale en pollution équivalent habitant est de 222290640 tonnes en sachant qu'un habitant génère une pollution de 60 g/l d'EST.

## Résultats et discussions

La quantité annuelle totale de matière sèche générée par le lactosérum est estimée à 13337,4384 tonnes ; dans notre étude on a valorisé 1858,149751 tonnes d'EST donc une réduction en pollution estimée par équivalent habitant est de 309669162,52 tonnes avec un pourcentage de 13,94% ; mais la quantité restante est de 11479,28865 tonnes est malheureusement rejeté dans la nature dont une perte de matière sèche qui soit 11479,28865 tonnes donc une pollution estimée par équivalent habitant de 191321477,5 tonnes avec un pourcentage de 86,06 %.

En plus de la diminution de la pollution, l'étude nous permet aussi de valoriser les éléments biochimiques contenus dans le lactosérum à savoir la matière sèche ainsi que les protéines qui peuvent être utilisés dans d'autres secteurs. Le tableau ci-dessus illustre leurs quantités annuelles.

D'après les résultats physico chimiques obtenus pour le lactosérum à savoir l'EST et le taux protéique, on peut estimer les quantités élémentaires annuelles régénérées par ce type de produit ; le tableau XXI nous montre les valeurs obtenues. L'échantillon utilisé nous donne jusqu'à 13337,4384 tonnes de matière sèche ainsi que 1586,9412 tonnes de protéines à récupérer et à utiliser dans beaucoup de produits alimentaires qui avant se retrouvait dans la nature comme un déchet polluant.

Pour conclure cette étude on pourra donc dire que la valorisation du lactosérum peut offrir de nouvelles approches pour les industries laitières ; cette valorisation nous permettra de produire plus de quantités de crèmes glacées et avec moindre frais par rapport aux mêmes quantités préparées avec de l'eau ; donc pour bien expliquer ; les industries laitières qui vont utiliser cette approche vont augmenter le taux de rentabilité pour chaque quantité produite et changer grâce à cette nouvelle formule.

## Résultats et discussions

### II.3. Résultats de l'analyse sensorielle

Echantillon 1 : Recette lactosérum corrigé avec de l'eau

Sucrosité		Couleur		Odeur		Arome (goût)		Texture bouche		Aspect		Description finale		
Très sucré	5	Jaune	0	Absente	2	Lait	11	Homogène	10	Liquide	1	Très désagréable	0	
				Faible	8	Vanille	6			Semi liquide	0			
Moyennement sucré	8	Crème	5	Moyenne	7	Acide	0	Acceptable	6	Epaisse	15	désagréable	0	
														Forte
Faiblement sucré	4	Beige	12	Moyenne	7	Acide	0	Acceptable	6	Epaisse	15	agréable	17	
												Forte	0	Amer
Dominance	47,06%= Moyennement sucré		70,59%= Beige		47,06%= Faible		64,70%= Lait		58,82%= Homogène		88,23%= Epaisse		100%= agréable	

## Résultats et discussions

Echantillon2 : Recette eau

	Sucrosité		Couleur		Odeur		Arome (gout)		Texture en bouche		Aspect		Description finale	
Très sucré	5	Jaune	1	Absente	5	Lait	5	Homogène	13	liquide	0	Très désagréable	1	
				Faible	5	Vanille	12			Semi liquide	2			
Moyennement sucré	12	Crème	5	Moyenne	7	Acide	0	Acceptable	4	épaisse	15	Désagréable	3	
														Forte
Faiblement sucré	0	Beige	11	Moyenne	7	Acide	0	Hétérogène	0	Trop épaisse	0	agréable	12	
												Très agréable	1	
Dominance	70,59%= Moyennement sucré		64,70%= beige		41,18%= moyenne		70,59%= Vanille		76,47%= Homogène		88,24%= Epaisse		70,59%= Agréable	

## Résultats et discussions

### Echantillon 3 : Recette lactosérum

Sucrosité		Couleur		Odeur		Arome (gout)		Texture bouche		Aspect		Description finale		
Très sucré	5	Jaune	1	Absente	3	Lait	5	Homogène	14	liquide	0	Très désagréable	0	
				Faible	5	Vanille	12			Semi liquide	1			
Moyennement sucré	12	Crème	9	Moyenne	8	Acide	0	Acceptable	2	épaisse	16	Désagréable	0	
														Forte
Faiblement sucré	0	Beige	7									Très agréable	14	
Dominance	70,59%= Moyennement sucré		52,94%= Crème		47,05%= moyenne		70,59%= Vanille		82,35%= Homogène		94,11%= épaisse		82,35%= Très agréable	

### II.3.1. L'interprétation des résultats

Sucrosité : le sucre dans les crèmes glacées est très remarquable, nous avons mis les critères faible, moyen et fort pour déterminer le degré de sucrosité des échantillons dégustés ; 8 personnes ont choisi le caractère moyen pour l'échantillon 1 avec une dominance de 47,06% et 12 personnes ont choisis le caractère moyen pour l'échantillon 2 et 3 avec une dominance de 70,59%.

Couleur : ce caractère est différent d'un œil à un autre c'est-à-dire que chaque personne perçoit la couleur avec une intensité différente par rapport aux autres ; la couleur des trois produits 1, 2 et 3 est notée par les dégustateurs : jaune, crème et beige. 12 personnes ont choisi respectivement la couleur beige avec une dominance de 70,59% et 64,70 % pour les produits 1 et 2. Cependant 9 personnes ont choisi la couleur crème avec une dominance de 52,94% pour le produit 3.

Odeur : nous avons mis les critères absent, faible, moyen et fort pour déterminer l'intensité de ce caractère. 8 personnes ont choisi le caractère faible avec une dominance de 47,06% pour l'échantillon 1. 7 personnes ont choisi le caractère moyen avec une dominance de 41,18% pour le produit 2 et 8 personnes ont choisi le caractère moyen avec une dominance de 47,05% pour le produit 3.

Arôme (goût) : chaque personne a ses propres goûts et à ses préférences, pour déterminer ce caractère nous avons mis les critères lait, vanille, acide, amer. 11 personnes ont choisi le goût du lait avec une dominance de 64,70% pour l'échantillon 1. 12 personnes ont choisi le goût de la vanille avec une dominance de 70,59% pour les produits 2 et 3.

Texture en bouche : ce caractère a été jugé par les dégustateurs en utilisant les termes homogène, acceptable et hétérogène. Les trois échantillons ont été jugés d'avoir une texture homogène avec différentes dominances. Pour l'échantillon 3, la dominance du caractère homogène est de 82,35% qui est supérieure par rapport aux deux autres échantillons avec des dominances de 58,82% pour l'échantillon 1 et 76,47% pour l'échantillon 2.

Aspect : nous avons choisis de mettre les caractères ; liquide, semi-liquide, épaisse et trop épaisse afin que les dégustateurs jugent ce caractère. Les résultats affirment que 15 personnes ont trouvé que les échantillons 1 et 2 avaient un aspect épais avec une dominance de 88,23%, et 16 personnes ont trouvé l'échantillon 3 aussi épais avec une dominance de 94,11% pour ce caractère.

## Résultats et discussions

Description finale : ce caractère a été choisi afin de vérifier la qualité du produit, pour cela nous avons choisis de mettre les caractères ; très désagréable, désagréable, agréable et très agréable. Les résultats affirment que les dégustateurs ont trouvé que l'échantillons 1 et 2 est agréable avec des dominances respectives de 100% et 70,59%. Cependant 14 personnes ont trouvé que l'échantillon 3 est très agréable avec une dominance de 82,35%.

Les résultats de l'analyse sensorielle obtenus par le panel de dégustation sont plus satisfaisant pour l'échantillon 3 (crème glacée à base de lactosérum) qui est le plus préférable aux jurys par rapport aux deux autres échantillons, avec la prédominance d'un aspect épais, d'une couleur crème, arôme vanille, texture homogène, et d'une description finale qui est très agréable.

On a donc démontré à travers cette étude que l'utilisation du lactosérum brut au lieu d'eau n'a pas porté atteinte à la qualité de la crème glacée et n'a pas fait l'objet de refus par les dégustateurs qui ont participé à cette étude.

## Conclusion et perspectives

Le lactosérum est un des rejets principaux des unités laitières qui représente 1/3 des effluents, avec sa composition en éléments nutritifs et sa composition en matière organique et minérale il est un véritable milieu de culture pour les microorganismes et crée une source de pollution importante.

L'essai de valorisation du lactosérum par son incorporation dans les crèmes glacées au lieu d'eau, constitue une valeur ajoutée de ce produit fini vu sa richesse en éléments nutritifs. L'objectif de la présente étude est justement l'utilisation du lactosérum a son état brut tout en développant un modèle mathématique sur Excel pour définir les taux d'incorporation du lactosérum dans la formule de base des crèmes glacées, ainsi que l'étude de ses caractéristiques physico-chimique et sensorielles ; pour cela trois formulations ont été préparées.

Les résultats de l'étude ont montré qu'en remplaçant la totalité d'eau par le lactosérum que la qualité de la crème glacée préparée n'a pas été affectée mais au contraire l'obtention d'un produit similaire au produit standard.

Les résultats des analyses physico-chimique obtenus nous ont permis de valider le modèle sur Excel vu la similarité des résultats pratique et ceux de la simulation tout en gardant les mêmes valeurs en % d'EST qui est de 30,575% pour la formule standard et la formule a base de lactosérum corrigé avec de l'eau et 30,6029392 % pour celle préparée avec du lactosérum.

L'étude de l'aspect environnemental nous a permis d'estimer la quantité de lactosérum à régénérer annuellement, cette quantité est de 24841,57422 tonnes, par conséquent, on réduit une charge polluante d'équivalent habitant estimée à 30969162,52.

Le test de dégustation est basé sur la comparaison entre les trois produits obtenus ; à base de lactosérum, à base d'eau et à base de lactosérum corrigé avec de l'eau montre que le produit issu de l'incorporation du lactosérum a été satisfaisant et n'a pas fait l'objet de refus des personnes qui ont testé ce type de glace.

Les résultats technico-commerciaux montrent un bénéfice annuel de 884247,73 DA pour le produit préparé avec du lactosérum brut et un bénéfice annuel de 17881199,27 DA pour celui préparé avec du lactosérum corrige avec de l'eau.

Au terme de cette étude, il faut dire que la production de crème glacée à base de lactosérum va enrichir le produit fini du point de vu nutritionnel en apportant des éléments de

## Conclusion et perspectives

haute valeur nutritionnelle (protéines, glucides, matière grasse et minéraux) en plus sa fera l'objet d'une facilité de s'en débarrasser par les usines d'origine (fromageries) et constituera une relation gagnant-gagnant avec l'industrie de fabrication et de transformation de glaces qui gagnera sur le prix d'achat de ce sous-produit, comme il peut constituer une base de la protection de l'environnement en évitant son évacuation dans la nature et par conséquent éviter la prolifération accrue des micro-organismes nuisibles dans l'environnement.

Comme perspectives de ce travail, nous proposons :

- ✓ D'essayer de remplacer l'eau par le lactosérum dans la fabrication d'autres types de glaces comme les sorbets et dans d'autres produits laitiers comme les fromages et les yaourts.
- ✓ De lancer des recherches plus poussées sur les qualités fonctionnelles et sanitaires de ce produit mal connu et non valorisé par les algériens.
- ✓ Eviter le jet de lactosérum dans l'environnement pour éviter l'éco toxicologie (protéger les nappes phréatiques).

### A

- **Adrian, J., Bourlier, G et Sable, A., (1980).** Composition minérale du lactosérum, Influence des facteurs technologiques, saisonniers et géographiques. Le Lait, INRA Editions, 60 (598), p 447- 457.
- **Agnes, N., (1986).** Production des protéines à partir de lactosérum brut. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, université de Lyon, France.
- **Akkouche, H et Djerrada, S., (2018).** Etude des propriétés physicochimiques du lait pasteurisé et de crème glacée. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en chimie département chimie option chimie analytique université ABDERAHMANE MIRA, Bejaia.
- **Alais C., (1975).** La valorisation de lactosérum. Technique laitière n °952 PP 7-10.
- **Alais, C., (1984).** Science du lait, Principe des techniques laitières. Tom 1 et 2, 3<sup>ème</sup> édition. Paris, p 807.
- **Ali Mahamane, O et Yacouba Mai Kodomi, A., (2016).** Valorisation du lactosérum comme milieu de culture pour la production de métabolites d'Aspegillusniger.
- **Alvarez, V.B., (2009).** Ice Cream and Related Products, in: Clark, S., Costello, M., Drake, M.A. Ed. The Sensory Evaluation of Dairy Products. Floyd Body felt, p.271-331.
- **Andreasen, T. G et Nielsen, H., (1998).** Ice cream and aerated desserts. Dans R. Early Ed. The technology of dairy products, Blackie-Academic& Professional- Thomson Science., G. B., p. 301-326.
- **Arabi, L et Lounnas, F., (2018).** Vérification des bonnes pratiques e fabrication et d'hygiène des crèmes glacées fabriquées à « YETI-GLACE ». Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques département agronomie option sécurité agroalimentaire et assurance qualité université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- **Association pour la promotion industrie agriculture (APRIA, 1973).** Les lactosérums traitement et utilisation, association pour la promotion industrie agriculture. Paris, p 3-132.
- **Association pour la promotion industrie agriculture (APRIA, 1980).** Utilisation de lactosérum en alimentation humaine et animale, actualités scientifiques et techniques en industrie agroalimentaires. Paris, p 136.

### B

- **Bardy,S ., Bentz, M., Bussière, T., Chatras, J., Fontaine, L., Gaugler, M., Lechat, A., Leugronne, O et Fick ,M., (2016).** Valorisation du lactosérum. Rapport de projet. Université de la Lorraine, ENSAIA, Vandoeuvre –lès-Nancy, France.
- **Belaout, S et Salhioui, I., (2016).** Projet agro-alimentaire : Conception d'une unité de production de crème glacée. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en science alimentaire université Abd EL Rahmane Mira, Bejaïa.
- **Belattar, N., (2018).** Le lactosérum. Biochimie Appliquée. Sétif : FSNV. Biochimie des substances animales : composition et valorisation, p25.
- **Belitz, H.D., Grosch, W et Schieberle, P., (2009).** Food chemistry. Springer Science & Business Media.
- **Benabbou, A et Bentalab, S., (2016)** Valorisation du lactosérum liquide en l'incorporant dans la fabrication les crèmes glacées de type sorbet. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de master en Gestion de la qualité en Industrie agroalimentaire université de TLEMCEM Département d'agronomie.
- **Benaïssa, M., (2018).** Valorisation Du Lactosérum Par Les Bactéries Lactiques. Université d'Oran Ahmed Ben Bella Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie département De Biotechnologie thèse De doctorat En sciences spécialité : Biotechnologie option Ecosystèmes Microbiens Complexes.
- **Benazzouz, D., (1984).** Contrôle Bactériologique et Physico-chimique des Crèmes glacées. Mémoire d'ingénieur. I.N.A. El-Harrach, Algérie.
- **Benslama, A., (2016).** Le lait et le lactosérum.
- **Bentahar, J., (Avril 2018).** Utilisation et valorisation du perméat de lactosérum acide par la microalgue *Scenedesmus musobliquus* pour la production d'enzyme de type  $\beta$ -galactosidase.
- **Bergel, D., Feron A et Mollica., (2004) ;** CRESO – université de CAEN ESO - UMR 6590 CNRS N° 21.
- **Berne, (2011).** Société Suisse de Nutrition. La pyramide alimentaire suisse, Recommandations alimentaires pour adultes, alliant plaisir et équilibre Brochure. SSN
- **Board, N., (2012).** The complete technology book on dairy & poultry industries with Farming and processing. Niir Project Consultancy Services.

## Références bibliographiques

- **Boudi, O et Hami, S., (2015)**. Effet de la température, du temps de maturation sur le taux de foisonnement, les paramètres physicochimiques et microbiologiques des crèmes glacées GINI glaces (Fréha). Mémoire de fin d'étude En vue d'obtention du diplôme de Master en Alimentation Humaine et Qualité des Produits, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou,2-3-4p.
- **Boudjema, K., Fazouane-Naimi, F., Hellal, A et Mechakra, A., (2009)**. Optimisation et modèle de production d'acide lactique par *Streptococcus thermophilus* sur lactosérum. Sciences & Technologie C, (29), p 80-90.
- **Boutonnier, J. L., (2000)**. Crèmes glacées, glaces et sorbet. Formulation et fabrication technique de l'ingénieur. F8010 p1-10.
- **Boutonnier, J. L., (2001)**. Crèmes glacées, glaces et sorbets : formulation et fabrication. Technique de l'ingénieur. 10 p.
- **Boutonnier J. L., (2002)**. Transformation du lait, produits laitiers glacés. In : Science et technologie du lait. Inc, édition. Ecole polytechnique de Montréal.
- **Brew, K et Grobler, J.A., (1992)**.  $\alpha$ -Lactalbumine. In: Advanced dainchernisuy - 1. P.F. Fox Ed. Elsevier. Lplied Science, London and New York., chap. 3, p. 191-223.
- **Bruno, E et Chavez, M., (2002)**. Effets de la formulation et des conditions de foisonnement et congélation sur la rhéologie et la structure de la crème glacée. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine, Français. NNT : INPL038N.

## C

- **Cheftel, J et Lorient, D., (1985)**. Protéines alimentaires, biochimie- propriétés Fonctionnelles. Valeur nutritionnelle- modification chimique. Tech et Doc. Lavoisier, pp 295. Chemistry. P.F. Fox (ed), Elsevier Science Publ., London and New York, chap 7, p. 285-322
- **Cheryan, M., (1998)**. Ultrafiltration and microfiltration handbook; the chnomic publishing Company: Lancaster, PA.
- **Christansen, P., Johnsen, A.R., de Liphthay, J.R., Reichenberg, F., Sørensen, S.J., Andersen, O., Binderup, M.L et Jacobsen, C.S., (2004)**. Biodegradation, bioaccessibility and genotoxicity of diffuse polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollution at a motorway site. Environ. Sci. Technol. 40, 3293–3298.

## Références bibliographiques

- **Christine, T., Aimar, P., Daufin, G et Sanchez, V., (1986).** Etude du transfert de Matière lors de l'ultrafiltration de lactosérum doux sur membrane minérale : le lait, 66(4), 371-390.
- **Clarke, C., (2004).** The science of ice cream, Edition: The Royal Society of Chemistry.
- **Collet, J., (1975).** Considérations sur l'utilisation du lactosérum en industrie alimentaire. Revue Laitière Français N°332.

### D

- **Dahache, N et Messaoudi, T., (2019).** La valorisation du lactosérum par incorporation dans les produits laitiers. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master domaine SNV département d'agronomie option agroalimentaire et contrôle de qualité. Université Akli Mohand Oulhadj ; Bouira.
- **Damodaran, S., (1997).** Protein stabilized foams and emulsions, in Damodaran. & Paraf, (Eds), food proteins and their application, New York, USA : Marcel Dekker Inc, pp 57- 110.
- **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, p361-369.
- **De Souza, R. R., Bergamasco, R., da Costa, S. C., Feng, X., Faria, S. H. B., et Gimenes, M. L., (2010).** Recovery and purification of lactose from whey. Chemical Engineering and Processing : Process Intensification, 49(11), 1137–1143.  
Disponible sur : <http://doi.org/10.1016/j.cep.2010.08.015>.
- **Deveaux, R., (1985).** Glaces, crème glacées et sorbet. In : Lait et produits laitiers vache, brebis, chèvres. Les produits laitiers transformation et technologie. Edition TEC et DOC Lavoisier. Paris, Volume 2. P 513 – 528. ISBN : 2 85206-274-7.
- **De wit, J. N., (1989).** Functional properties of whey proteins. In: Développement in Dairy.
- **De wit, J. N., (1998).** Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products. J. Dairy Sci., 81 (3) : 597-608.
- **Dudez, P., François, M et Raiffaud C., (2017).** Transformer les produits laitiers frais à la ferme : 3<sup>ème</sup> édition mise à jour. Educagri Editions. 126p.
- **Duval, L., (1983).** Le commerce extérieur de la France dans le secteur des crèmes glacées. Revue technique du lait.16 :19-22.

### E

- **EL ouali alami, A., Berrada, S et Maniar, S., (2010).** Qualité microbiologique des crèmes glacées commercialisées au centre du Maroc et sensibilité aux antibiotiques des bactéries isolées.
- **EL ouali alami, A., (2013).** Qualité microbiologique des crèmes glacées commercialisées au centre du Maroc et sensibilité aux antibiotiques des bactéries isolées. Science Lib Editions Mersenne : Volume 5, N ° 130402.
- **Eugenia, M., Alvares., Mendez, C et Francisco, A., (2006).** Riera, Alvarez Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie, Département des sciences de la nature et de la vie. Alimentation et nutrition, p.25-38.

### F

- **FAO-ONU, (2017).** Production alimentaire : fromage (Algérie).
- **Fehd, (2001).** Microbiological risk assessment of ice-cream. Risk Assessment Studies. Report No: 7. Food and Environmental Hygiene Department (FEHD).
- **Firebaugh, J.D et Daubert, C.R., (2005).** Emulsifying and foaming properties of a derivatized Whey protein ingredient, Int. j. food. Prop. 8 243.

### G

- **Gelin J. C et Tailliez., (2002).** Influence des constituants biochimiques sur la stabilité des crèmes glacées.
- **Gerard, B et Debry, G., (2001).** Lait nutrition et santé. Ed Tec et Doc. P : 44-55.
- **Ghasemi, M., Najafpour, G., Rahimnejad, M., Beigi, P. A., Sedighi, M et Hashemiyeh, B., (2009).** Effect of different media on production of lactic acid from whey by *Lactobacillus bulgaricus*. African Journal of Biotechnology, 8(1).
- **Gibert et al., (2011).** L'impact des différentes sources laitières dans la fabrication des crèmes glacées
- **Gibson, T et Abdelmalek, Y., (1990)** the formation of carbon dioxide by lactic bacteria

## Références bibliographiques

- **Goff, H.D et Hartel, R.W., (2004).** Ice-cream and frozen desserts Handbook of Frozen Foods. CRC Press, p. 499-570
- **Gret, (2002).** Transformer les produits laitiers frais à la ferme. Educagri Editions. 237p.
- **Guidou, F et Larras, L ; (2019).** Simulation des taux de valorisation du lactosérum brut dans le fromage fondu épicié, mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master option microbiologie appliquée, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- **Guimarães, P. M., Teixeira, J. A et Domingues, L. (2010).** Fermentation of lactose to bioethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorization of cheese whey. Biotechnology advances, 28(3), p 375-384.

### I

- **Ilker, E., Mushsin, C et Sebnem,H ., (2006).** Separation of whey Components by using ceramic composite membranes; desalination 189
- **Irland, J., Favier, J.C et Feinberg, M., (2002).** Répertoire général des aliments : produits laitiers. Tome 2 Ed : INRA 2<sup>ème</sup> édition, p 169-174.

### J

- **Jeantet R., Groguenec C T., Mahaut M., Schuck P et Brule G., (2008).** In : Les produits laitiers. 2<sup>ème</sup> éd, Lavoisier, 200p.

### K

- **Kacer, F et Chetba, E., (1996).** Contrôle de la qualité microbiologique et physico chimique des crèmes glacées fabriquées à l'unité « GINI GLACES » de FREHA, Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur d'état option contrôle de qualité et analyse : Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- **Kosseva, M. R., Panesar, P. S., Kaur, G., et Kennedy, J. F. (2009).** Use of immobilised biocatalysts in the processing of cheese whey. International Journal of Biological Macromolecules, 45(5), 437-447.
- **Kruijer, A. C. F., (1954).** La crème glacée. Le lait. Hall archive ouvert.13 : p 500-513.
- **Kevin, W. K. Yee., Dianne, E et Wiley, J., (2006).** Whey protein concentrate production by continuous Ultra-filtration operability under constant operating condition : journal of membrane science Doi: 10-1016/J.Mensci.2006 12.026.

### L

- **Laplanche, J., (2004).** Expérimentation d'un traitement de lactosérum par biologie fixée. Projet de Plan Pichu ; travail effectué par le « Syndicat alpagiste de Savoie » en collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, le Conseil général de Savoie et le Conseil régional Rhône-Alpes, p 5.
- **Laplanche, J., Ducognon, V., et Trevisan D., (2006).** Traitement du lactosérum par filtration sur compost ensemencé de vers, epuration of lactoserum in a compost filter with worms, syndicats des alpagistes, fruits communs et vendeur direct de Savoie, maison de l'agriculture 73/90 SAUT BALDOPH.
- **Lin, V. J. C et Koenig, J. L. R., (1976).** Studies of bovine serum albumin, bio-polymers, p. 15, 203.
- **Linden, G et Lorient, D., (1994).** Biochimie agroalimentaire. Valorisation alimentaire de la production agricole. ED. Masson, paris Milan Barcelone.
- **Lupin, D., (1998).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO : Alimentation et nutrition n° 28, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et le Réseau d'information sur les opérations après récolte (INPhO).
- **Luquet, F.M. et Boudier, J.F., (1984).** Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale (Apria), 21, p : 1-7, 66, 83-90.
- **Luquet, F.M. et Boudier, J.F., (1989).** Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale (Apria), 21, 1989, p 40-41-53-59-76-104-105.
- **Luquet et Francois, M., (1990).** Lait et les produits laitiers, vache, brebis, chèvre. Tome II.

### M

- **Macwan, S. R., Dabhi, B. K., Parmar, S. C., et Aparnathi, K. D., (2016).** Whey and its utilization. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 5(8), 134–155. Disponible sur : <http://doi.org/10.20546/ijcmas.508.016> .
- **Mahmud hossain, K.M., Lutful kabir, S. M., Mufizur rahman, M., Bahanur rahman, M et Choudhury, K.A., (2012).** Organoleptic and microbial quality of ice cream sold at retail stores in Mymensingh, Bangladesh. Journal of Microbiology Research, 2(4) : 89-94.

## Références bibliographiques

- **Mathieu, J., (1998)**. Initiation à la physico-chimie du lait. Ed : Tec & Doc- Lavoisier, Paris
  - **Mathlouthi et Rogé, B., (2004)** : Crème glacée, Université de Reims.
  - **McIntoch, G.H., (1998)**. Whey proteins as functional food ingredients. Dairy J. 8 : 425-434p.
  - **Moletta, R., (2002)**. Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA. Paris : Tech et Doc 2002Xx -600p.
  - **Muller, A et Bernard, C., (2003)**. Influence of process parameters on microstructure of food foam whipped in a rotor-stator device within a wide static pressure range, Coll. Surf. A: Physico-chem. Eng. Aspects, 263: p.353-362.
- Disponible sur : [Http://www.lescure.com/uploads/doc/fich6\\_cremes\\_glacéepdf.](http://www.lescure.com/uploads/doc/fich6_cremes_glacéepdf.)
- **Madden J. K., (1989)**. Ice cream. Dans A.J. Wilson, Ed. Foams: physics, chemistry and structure. Springer-Verlag, p.185-196.
  - **Mc auliffe K. W., Scotter D. R., Macgregor A. N et Earl K. D., (1982)**. Casein whey waste water effects on soil permeability. Journal of Environmental Quality, 11(1), 31-34.
  - **Mahaut, H., Jeantet, R., Brulet, G et Schuck, P., (2000)**. Les produits industriels laitiers, Ed : Tec-Doc Lavoisier : p 152, 153,155. Paris
  - **Mechakra, A., Auberger, B., Remeuf, F et Lenoir, J., (1999)**. Optimisation d'un milieu de culture pour la production d'enzymes protéolytiques acides par *Penicillium camemberti*. Sci.Aliments. 19 (6) : 663-675.
  - **Medjoub, Y., (2017)**. Analyses physico-chimiques et microbiologiques de la crème glacée.
  - **Mesmoudi, S et Benamar, A., (2014)**. Etude comparative entre crème glacée à base de lait cru et crème glacée à base de lait en poudre. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieurat département d'agronomie Option : Technologie des Industries Agro-Alimentaire. Université ABOU-BEKR BELKAID - Tlemcen.
  - **Morr C.V et Ha. E.Y.W., (1993)**. Whey protein concentrates and isolates: processing and Functional properties. Critical reviews in food science and nutrition, 33 (6) (1993), p.431-476.

## Références bibliographiques

### N

- **Nelson, F et Coll., (1978)**. Whey utilization in first flavored drinks. » Dairy and food science 14.

### P

- **Pascal ; (1998)**. La crème glacée, manuel de transformation du lait.

- **Patton, S., (2004)**. Milk: Its remarkable contribution to human health and well-being. Transaction Publishers.

- **Pruthi, J. S., (1999)**. Quick freezing preservation of foods. Allied publishers.

### R

- **Rerate, A., Lacrois, M., Simoes-Munes, C., Vaugelade, P et Vaissade, P., (1984)**. Absorption intestinale compare d'un mélange d'acides amines libres de mêmes composition chez le porc éveillé. Bull. Acad. Nath. Med .168: 385-391.

- **Roufik, S., Sylvie, F., Gauthier, L et Turgeon., (2007)**. Physico-chemical characterization and in vitro digestibility of  $\beta$ -LG F142-148 complexes. Inter dairy journal 17, pp471- 480

- **Ryan, M. P et Walsh, G., (2016)**. The biotechnological potential of whey. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 15(3), 479-498

### S

- **Saulnier, F., Calco, M., Humbert, G et Linden, G., (1996)**. Composition minérale et organique de différents lactosérums acides industriels, analysée par électrophorèse capillaire. Le Lait, 76(5), 423-432.

- **Segall et al., (2002)**. A modified ice cream processing routine that promotes fat destabilization in the absence of added emulsifier. Journal international de laiterie.

- **Sherwood, L. K., Landrof, H et Yancey, Q., (2016)**. Physiologie animale de Boeck supérieur

- **Siso, M. I, G., (1996)**. The biotechnological utilization of cheese whey a review bio resource technology.

- **Smithers, G.W., (2008)**. Whey and Whey Protein. From "Gutter-to-Gold". International Dairy Journal, 18, 695-704.

## Références bibliographiques

- **Sobolewski, F., (2004).** Technologie des crèmes glacées 5 p.
- **Sofjan et al., (2004).** Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. Journal international de laiterie N° 14, P 255 – 262.
- **Sottiez, P., (1990).** Produit dérivés des fabrications fromagères, lait et produits laitiers, tome 2. Ed ; Lavoisier, p 357- 392.paris.
- **Souza, J. L. F., da Silva, M. A. P., da Silva, R. C. F., do Carmo, R. M de Souza, R. G et Celia, J. A., (2016).** Effect of whey storage on physic chemical properties, microstructure and texture profile of ricotta cheese. African Journal of Biotechnology, 15(47), 2649-2658.

### T

- **Termoul, Z et Foularsen, W., (2018).** Effet de la date de conservation sur la qualité nutritionnelle physicochimique et microbiologique des crèmes glacées. Mémoire de fin d'études, Université Abdelhamid Ibn Badis- -MOSTAGANEM, 45p.
- **Tirard collet, (1996).** La technologie des desserts congelés confesurés. Centre d'innovation technologique agro-alimentaire, Institut de technologie agroalimentaire de Saint-Hyacinthe.

### U

- **Uchida, Y., Shimatani, M.M., Mitsuhashi, T et Koutake, M., (1996).** Process for preparing a fraction.

### V

- **Vierling, E., (2008).** Aliment et boisson-Filière et produit, 2ème édition, doin éditeurs, centre régional de la documentation pédagogique d'Aquitaine :11, p.270.
- **Vignola, C., (2002).** Science et technologie de lait. Ecole polytechnique de Monterial. P70.
- **Vrignaud, Y., (1983).** Valorisation du lactosérum, une longue histoire. Revue laitière française n°422, P :41-46.

### W

- **Wong, N. P., (2012).** Fundamentals of dairy chemistry. Springer Science & Business Media.

**Y**

- **Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D et Surampalli, R. Y. (2015).** Cheese whey: A potential resource to transform into bio protein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33(6), 756–774.
- **Yang, S-Y., Jones, J-H., Olsen, F- J et Peterson, J., (1980).** Soil as à medium for dairy liquid waste disposal. *Journal of Environmental Quality*. (9): 370 – 372p.
- **Yorgun, M. S., Akmehmet balcioglu, I et Saygin, O., (2008).** Performance comparison of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment. *Desalination*, 229, 204–216. <http://doi.org/10.1016/j.desal.09.008>.

**Z**

- **Zadow, J.G.Z., (1989).** Economic considerations related to the production of lactose and lactose by-products. *Lactose hydrolysis, IDF Bulletin 289*. IDF, Brussels, 10-15.

## Annexe I : Questionnaire de l'analyse sensorielle

Nom

prénom

date

## • Echantillon 1

Sucrosité	Couleur	Odeur	Arome (gout)	Texture en bouche	Aspect	Description finale
-Très sucré <input type="checkbox"/> -Moyennement sucré <input type="checkbox"/> -Faiblement sucré <input type="checkbox"/>	- Jaune <input type="checkbox"/> -crème <input type="checkbox"/> -Beige <input type="checkbox"/>	- Absente <input type="checkbox"/> - Faible <input type="checkbox"/> -Moyenne <input type="checkbox"/> -Forte <input type="checkbox"/>	-Lait <input type="checkbox"/> -Vanille <input type="checkbox"/> -Acide <input type="checkbox"/> -Amer <input type="checkbox"/>	-Homogène <input type="checkbox"/> -Acceptable <input type="checkbox"/> -Hétérogène <input type="checkbox"/>	-liquide <input type="checkbox"/> -semi liquide <input type="checkbox"/> -Epaisse <input type="checkbox"/> -Trop épaisse <input type="checkbox"/>	-Très désagréable <input type="checkbox"/> -Désagréable <input type="checkbox"/> -Agréable <input type="checkbox"/> -Très agréable <input type="checkbox"/>

## • Echantillon 2

Sucrosité	Couleur	Odeur	Arome (gout)	Texture en bouche	Aspect	Description finale
-Très sucré <input type="checkbox"/> -Moyennement sucré <input type="checkbox"/> -Faiblement sucré <input type="checkbox"/>	- Jaune <input type="checkbox"/> -crème <input type="checkbox"/> -Beige <input type="checkbox"/>	- Absente <input type="checkbox"/> - Faible <input type="checkbox"/> -Moyenne <input type="checkbox"/> -Forte <input type="checkbox"/>	-Lait <input type="checkbox"/> -Vanille <input type="checkbox"/> -Acide <input type="checkbox"/> -Amer <input type="checkbox"/>	-Homogène <input type="checkbox"/> -Acceptable <input type="checkbox"/> -Hétérogène <input type="checkbox"/>	-liquide <input type="checkbox"/> -semi liquide <input type="checkbox"/> -Epaisse <input type="checkbox"/> -Trop épaisse <input type="checkbox"/>	-Très désagréable <input type="checkbox"/> -Désagréable <input type="checkbox"/> -Agréable <input type="checkbox"/> -Très agréable <input type="checkbox"/>

## • Echantillon 3

Sucrosité	Couleur	Odeur	Arome (gout)	Texture en bouche	Aspect	Description finale
-Très sucré <input type="checkbox"/> -Moyennement sucré <input type="checkbox"/> -Faiblement sucré <input type="checkbox"/>	- Jaune <input type="checkbox"/> -crème <input type="checkbox"/> -Beige <input type="checkbox"/>	- Absente <input type="checkbox"/> - Faible <input type="checkbox"/> -Moyenne <input type="checkbox"/> -Forte <input type="checkbox"/>	-Lait <input type="checkbox"/> -Vanille <input type="checkbox"/> -Acide <input type="checkbox"/> -Amer <input type="checkbox"/>	-Homogène <input type="checkbox"/> -Acceptable <input type="checkbox"/> -Hétérogène <input type="checkbox"/>	-liquide <input type="checkbox"/> -semi liquide <input type="checkbox"/> -Epaisse <input type="checkbox"/> -Trop épaisse <input type="checkbox"/>	-Très désagréable <input type="checkbox"/> -Désagréable <input type="checkbox"/> -Agréable <input type="checkbox"/> -Très agréable <input type="checkbox"/>

3 échantillons de glace vous seront servis ;

Pour remplir les tableaux, merci de cocher sur un seul critère dans chaque colonne.

Bonne dégustation.



Photo originale des mix obtenus



Photo originale des produits finis

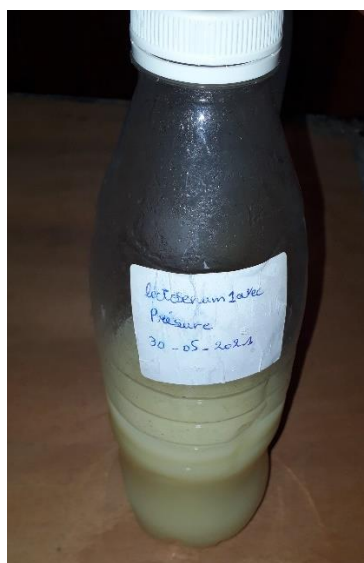


Photo originale du lactosérum obtenu

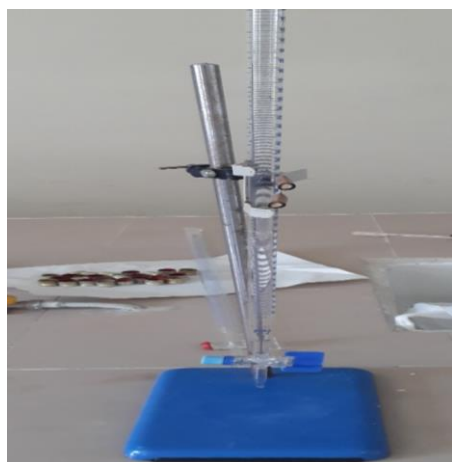
Annexe II : Appareillage et verrerie



Dessiccateur infra rouge



Bain marie



Burette



pH-mètre



Agitateur magnétique



Agitateur vortex

### Annexe III : Préparations des solutions pour le dosage des protéines

Solution A :  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , anhydre 2% dans  $\text{NaOH}$ , 0.1M.

Solution B : 2 ml de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0.5% + 2ml de tartrate de Na et K, 1%.

Solution C : 50 ml de la solution A + 1ml de solution B.