

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة محمد بوضياف/المسيلة
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA



FACULTEDES SCIENCES
DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE ET BIOCHIMIE
MEMOIRE : MASTER ACADEMIQUE
FILIERE: Sciences Alimentaires
OPTION: Nutrition et sciences des aliments
Présenté par
KHODJA Zeyneb et YOUSFI Nadjat

Thème :

Etude de différentes voies de valorisation du lactosérum dans l'industrie agroalimentaire

DEVANT LE JURY :

Dr BOUAOUDIA-MADI. N	Université de M'sila	Encadreur
Dr HAMOUI Yassmina	Université de M'sila	Examineur
Dr Medjkel Samir	Université de M'sila	Examineur

Promotion : 2019-2020

Dédicace



Je dédie ce modeste travail avec un grand plaisir à ceux qui ont été mes

*anges gardiens et mes guides : **mes chers PARENTS***

« HOCINE », « YAMINA » qui m'ont soutenu, m'ont encouragé et qui

m'ont entouré de leurs amour, protection et générosité durant toute la

durée de mes études.

*« **Papa et maman** » merci pour vos sacrifices. Qu'Allah vous protège.*

*A mon petit bourgeon, le pouls de mon cœur « **Ilef** », Dont je suis heureux.*

Qu'Allah vous protège

*A ma binôme « **NADJET** » la personne qui compte pour moi le plus cette
année, merci ma sœur pour tous les bons moments et les souvenir
inoubliable qu'on a passé ensemble, que dieu te garde pour moi.*

*A mes amis « **LARABA AHLEM** et **DAHDOUH MAROUA** et
SAOUDI HAYET » merci pour vos encouragements, votre soutien, votre
aide, votre disponibilité*

*A tous mes ami(e)s et collègues de la promotion Nutrition et Sciences des
Aliments2019-2020.*

A tous ceux qui m'aiment.

Zeyneb

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*Aux deux les plus chères, **mon très cher père** la source de notre bonheur dans la vie et mon ombre durant tous les années des études qui a ma protégé et m'a aidé à avancés dans la vie et **mon chère mère** qui toujours source d'encouragement et de soutien et qui m'a aidée à dépasser beaucoup de difficultés. Que Dieu les protèges*

*A mes très chères sœurs : **Nawal, Sabah, Ismahan, Marawa**. Merci pour votre soutien morale*

*A mon unique cher frère : **Redwane**. Que Dieu le protège*

*Aux bourgeons : **Amir, Adam, Younes, loudjain, Asil, Amani, Aridj, Achraf***

*A toute ma famille surtout mes cousines et le plus chère **Hadil***

*A magnifique binôme et ma copine **Zineb** et sa famille surtout **ilef***

A tous la promotion de nutrition et sciences des aliments 2019-2020

A tous mes amies et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

A tous ceux que je porte dans mon cœur



Nadjat

Remerciements

Tout d'abord, nous voulons remercier Allah tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.

*En tout premier lieu, nous voudrions remercier madame **BOUAOUDIA-MADI. N.** pour son aide précieuse et d'avoir été là pour nous, par ses conseils fructueux, son soutien continu et ses encouragements permanents. Merci de nous avoir guidés avec patience et d'avoir consacré autant d'heures pour les corrections de ce manuscrit.*

Nous tenons à remercier membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail. Nous tenant aussi à remercier tous les responsables du département microbiologie et biochimie.

Enfin, nous remercions tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire.



Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Partie théorique

Chapitre I : Généralités sur le lait

I. Lait	3
I.1 Définition du lait	3
I.2.Composition du lait.....	3
I.2.1. l'eau	5
I.2.2. Matières grasses	5
I.2.3. Matière azotées.....	6
I.2.4. Lactose	6
I.2.5. Les minéraux :.....	7
I.2.6. Les vitamines.....	7
I.2.7. Les enzymes du lait.....	8
I.3. Propriétés physiques et chimiques	8
I.3.1. Propriétés physiques.....	8
I.3.1.1. pH.....	9
I.3.1.2. Acidité	9
I.3.1.3 Densité.....	9
I.3.1.4. Le point d'ébullition.....	9
I.3.1.5 .Point de congélation	9
I.4 Qualité organoleptique du lait.....	10
I.4.1. Couleur	10
I.4.2 L'odeur.....	10
I.4.3. Saveur.....	10
I.4.4. Viscosité ou consistance	10
I.5. Valeur nutritionnelle du lait	10
I.6. Différents types de lait	11
I.6.1. Lait cru	11
I.6.2. Lait traité thermiquement	11
I.6.3. Lait pasteurisé	11
I.6.4. Lait stérilisé.....	11
I.6.5. Lait U.H.T	12
I.6.6. Lait concentré.....	12
I.6.7. Lait aromatisé.....	12
I.6.8. Poudre de lait.....	12

Chapitre II : Généralité sur le lactosérum

II.1.lactosérum.....	14
II.1.1. Définition du lactosérum :	14
II.1.2.Classification du lactosérum :	14
II.1.3.Composition moyenne du lactosérum :	15
II.1.3.1. Lactose	17
II.1.3.2. Minéraux	17
II.1.3.3. Protéines du lactosérum	18
II.1.4. Sources Industrielles du lactosérum	19
II.1.4.1 La fromagerie.....	19
II.1.4.2 La beurrerie	19
II.1.5. Nécessité de valorisation du lactosérum.....	19
II.1.6.Utilisation du lactosérum.....	20
II.2. Valorisation du lactosérum.....	21
II.2.1.Procédés biotechnologiques de valorisation du lactosérum.....	21
II.2.1.1. Production de biogaz et bio hydrogène	21
II.2.1.2. Production d'acide lactique	22
II.2.2. Procédés physiques de valorisation du lactosérum.....	22
II.2.2.1. Récupération des fines et séparation de gras.....	22
II.2.2.2. Concentration de solides totaux	23
II.2.2.3. Fractionnement de solides totaux- protéines	23
II.2.2.4. Fractionnement de solides totaux - lactose	24
II.2.2.5. Fractionnement de solides totaux - minéraux	25

Partie II : Valorisation du lactosérum

Introduction.....	26
-------------------	----

Chapitre 1 : Contribution à la valorisation des lactosérums industriels à l'aide des techniques de séparation par membranes

I.1. Les procédés de séparation membranaire	27
I.2. Mode de filtration	28
I.2.1. La filtration frontale ou le liquide.	28
I.2.2. La filtration tangentielle où la membrane.	28
I.3. Paramètres influençant la filtration	28
II. Valorisation du lactosérum.....	29
II.1. Séparation et purification de l'a-lactalbumine et de la B-lactoglobuline.....	30
II.2. Séparation de la lactoferrine (Lf) et de la lactoperoxydase (Lp).....	30
II.3. Séparation des immunoglobulines (Ig) et du caséinomacropéptide (CMP).....	31

Chapitre 2 : Optimisation et modele de production d'acide lactique par streptococcus thermophilus sur lactosérum

I. La méthodologie utilisée.....	32
II. Résultats et discussion.....	33

Chapitre 3 : La valorisation du lactosérum par incorporation dans des produits laitiers ; raïb

1. Matériel et méthodes	35
2. Résultats et discussion.....	37
2.1. Caractéristiques physico-chimiques de la matière première et de raïb	37
2.2. Suivi de la maturation de raïb	37
2.3. Les caractéristiques bactériologiques de la matière première et de raïb	38
2.4. Caractéristiques sensorielles de raïb	38
2.4.1 Test d'intensité.....	38
2.4.2 Résultats du test de classement par rang.....	39
3. Conclusion.....	39
Conclusion générale.....	40

Références bibliographiques

Annexe

Liste des abréviations

µm : Micromètre

nm : Nanomètre

g : Gramme

mg : Milli gramme

Kg : kilo gramme

Kj : Kilo Joule

PL : Protéines du Lactosérum

KDa : kilo Daltons

Da : Daltons

MPa : Mégapascal

pH : Potentiel Hydrogène

pHi : Point isoélectrique

°C : Degré Celsius

% : Pourcentage

UHT : Ultra Haute Température

MF : Microfiltration

UF : Ultrafiltration

ENP : Ecole Nationale Polytechnique

UV-VIS : Ultraviolet-Visible

T : Température

FAMT : Flore Aérobie Mésophile Totale

AFNOR : Association Française de Normalisation

ATP : L'Adénosine TriPhosphate

A : essai raïb (25%lactosérum, 50%lait de vache, 25%lait reconstitué)

B : essai raïb (50%lactosérum, 25%lait de vache, 25%lait reconstitué)

C : raïb témoin (100%lait de vache)

Liste des figures

Figure n°1 : composition du lait.....	03
Figure n°2 : Composition de la matière grasse du lait.....	05
Figure n° 3 : Diagramme de fabrication de raïb.....	36

Liste des tableaux

Tableau 1 : composition moyenne de lait de vache.....	04
Tableau 2 : Les compositions lipidiques de lait.....	06
Tableau 3 : Composition et concentration minérale de lait de vache.....	07
Tableau 4 : Propriétés physiques usuelles du lait de vache.....	08
Tableau 5 : Différents types de lactosérum.....	15
Tableau 6 : Composition type (en %) de lactosérum acide et doux.....	16
Tableau 7 : Conditions Optimales.....	34

INTRODUCTION

De nombreux sous-produits de l'industrie alimentaire sont rejetés dans la nature et constituent de ce fait un facteur de pollution de par leur grande quantité. Parmi ceux-ci, nous nous sommes intéressés à l'industrie laitière, qui pour la production fromagère rejette quotidiennement 6000 litres/jour de lactosérum, soit pour chaque kilogramme de fromage produit, un résidu de 4 à 12 kg de lactosérum est rejeté (**Gana and Touzi 2001**).

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 représentant une perte sèche de l'élément nutritif. Depuis 2013, la production algérienne de fromage est de 1540 tonnes, ce qui se traduit par une production d'environ 14 million de litre de lactosérum (**BENAISSA 2018**).

Ces quantités massives font de la gestion du lactosérum 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**).

Le développement de nouvelles technologies pour la valorisation du lactosérum est donc nécessaire. Par ailleurs, depuis quelques années, le lactosérum a suscité l'intérêt des industries, plusieurs produits à haute valeur ajoutée ont vu le jour depuis 1970, sous une forme concentrée et fractionnée de ce lactosérum, et c'est la production de poudre de lactosérum (destiné à l'alimentation humaine et animale) et de lactose qui prédomine (**Mulvihill and Fox 1989**).

Dans ce contexte général l'objectif de notre travail est l'étude de différentes voies valorisation du lactosérum dans l'industrie agroalimentaire.

Ce document est scindé en deux parties :

- ✓ La première est une synthèse bibliographique qui traite des généralités sur le lait et lactosérum

- ✓ La deuxième qui développe quelques exemples de valorisation du lactosérum est subdivisée en trois chapitres :
 1. Contribution à la valorisation des lactosérums industriels à l'aide des techniques de séparation par membranes
 2. L'utilisation du lactosérum dans la production de l'acide lactique,
 3. La valorisation du lactosérum par incorporation dans des produits laitiers (raïb)

- ✓ Nous terminerons par une conclusion générale et perspective.

PARTIE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉ SUR LE LAIT

I. Lait

I.1 Définition du lait

Le congrès international de la répression des fraudes en 1909 a défini le lait destiné à la consommation comme étant : "le lait est le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée et être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrums (**Levieux 1999**).

En 1983, La Fédération Internationale de Laiteries (F.I.L) définit ainsi le lait comme étant "le produit de la sécrétion mammaire normale obtenue par une ou plusieurs traites sans aucune addition ou soustraction"(**Levieux 1999**).

En Algérie et selon le journal officiel, le nom « LAIT » est réservée exclusivement au produit de la sécrétion mammaire normale, obtenue par une ou plusieurs traites sans aucune addition ou soustraction et n'ayant pas été soumis à un traitement thermique (Arrêté de 18/08/1993, décret du 27/10/1993).

Le lait est une source très essentielle de Ca^{+2} , P de la riboflavine, la vitamine B12, et une grande majorité de protéine, sucre, lipides de qualité, son richesse avec tous ces éléments nutritifs lui rend nécessaire en matière de nutrition humaine (**Tekinsen, Elmali et al. 2007**).

I.2.Composition du lait

La diversité de composition chimique et nutritionnelle des laits de mammifères se marque non seulement en termes quantitatifs pour chaque famille de composés chimiques (protéines, lipides, glucides, minéraux, ...) mais également en termes qualitatifs.(**Van, Focant et al. 2008**)



Figure n° 1 : Composition du lait (**LORTAL & BOUDIER, 2011**).

Selon (Favier 1985) Le lait est une source importante de protéines de très bonne qualité, riches en acides aminés essentiels, tout particulièrement en lysine qui est par excellence l'acide aminé de la croissance. Ses lipides, caractérisés par rapport aux autres corps gras alimentaires par une forte proportion d'acides gras à chaîne courte, sont beaucoup plus riches en acides gras saturés qu'en acides gras insaturés. Ils véhiculent par ailleurs des quantités appréciables de cholestérol et de vitamine A ainsi que de faibles quantités de vitamine D et E.

La constitution du lait se fait en 4 phases selon (Fredot 2005) :

- 1- Une émulsion de matières grasses ou phase grasse constituée de globules gras et de vitamines liposolubles (A, D).
- 2- Une phase colloïdale : suspension de caséines sous forme de micelle.
- 3- Une phase aqueuse qui contient les constituants solubles du lait (protéines solubles lactose, vitamines B et C, sels minéraux, azote non protéique).
- 4- Une phase gazeuse composée d'O₂, d'azote et de CO₂ dissous qui représentent environ 5 % du volume du lait.

La composition moyenne du lait entier, vache, femme, brebis et chèvre est représentée dans le (tableau 1).

Cette composition peut être affectée par des facteurs génétiques (race, individu), physiologiques (état sanitaire, âge, stade et nombre de lactation de l'animal), zootechniques (alimentation) et environnementaux (saison, région, climat) (GAUCHERON and TANGUY 2009)

Tableau 1: composition moyenne de lait de vache (Lapointe-Vignola 2002)

Constituantes majeurs	Valeurs limites (%)	Valeurs moyennes (%)
Eau	85,5 - 89,5	87,5
Matière grasse	2,4 - 5,5	3,7
Protéines	2,9 - 5,0	3,2
Glucides	3,6 - 5,5	4,6
Minéraux	0,7 - 0,9	0,8

I.2.1. l'eau

Pour tous les animaux, l'eau est le nutriment nécessaire à la plus haute quantité et le lait contient beaucoup d'eau (88,6%). Cette la quantité d'eau est contrôlée par la quantité de lactose synthétisé par les cellules sécrétoires de la glande mammaire (**Guétouache, Guessas et al. 2014**).

I.2.2. Matières grasses

Les matières grasses sont présentes dans le lait sous forme d'une émulsion de globules gras. Le lait de vache contient de 3 à 5 % de matière grasse dispersée sous forme de globules sphériques dont le diamètre varie de 0,1 à 20 μm , avec une valeur moyenne de 3 à 5 μm . Ces globules gras sont hétérogènes (**Danthine, Blecker et al. 2000**).

Ils sont essentiellement constitué d'une microgoutte de triglycérides, partiellement cristallisés à température ambiante, entourée d'une fine membrane communément appelée « la membrane du globule gras du lait », Cette enveloppe protectrice est un assemblage complexe de protéines, de phospholipides, de glycoprotéines, de lipides neutres, d'enzymes et autres composés mineurs. (Figure 1) Elle agit comme un émulsifiant naturel permettant à la matière grasse, hydrophobe, de demeurer dispersée dans le plasma du lait, hydrophile et contribue de ce fait au maintien de l'émulsion (**Danthine, Blecker et al. 2000**).

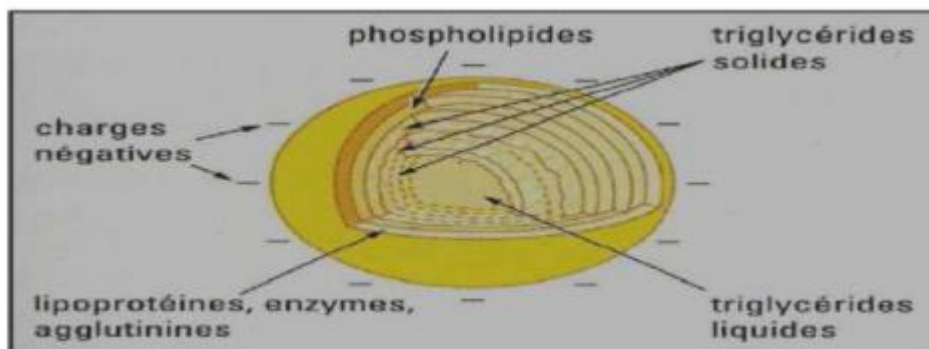


Figure n°2: Composition de la matière grasse du lait (Bylund 1995)

Tableau 2: Les composition lipidiques de lait (Lapointe-Vignola 2002)

Constituantes	Proportions de lipide de lait (%)
Triglycérides	98
Phospholipides	01
Fraction insaponifiable	01

I.2.3. Matière azotées

La teneur moyenne en protéines d'un lait normal est d'environ 3,2%, ce qui représente 95% de l'azote total de ce lait. Les autres 5% sont formés par la matière azotée non protéique (Ilboudo, Savadogo et al. 2012).

Selon (Swaisgood 1992) On retrouve dans le lait deux types de matières azotées en fonction de leur solubilité à pH 4,6 : les caséines (insolubles à ce pH) et les protéines du lactosérum (solubles à pH 4,6) (Guillou, Pelissier et al. 1986).

- **Les caséines** : constituent la fraction majeure des protéines du lait, Cette fraction est la plus déterminante en matière de technologie fromagère. Elles se trouvent sous forme de micelles. Ces micelles précipitent sous l'action de la présure ou lors d'une acidification à un pH d'environ 4,6 (Ilboudo, Savadogo et al. 2012).
- **Les protéines du lactosérum** : appartiennent à la phase aqueuse du lait. Celle-ci contient du lactose, des vitamines hydrosolubles, des nucléotides, des acides aminés libres, des sels minéraux et des séroprotéines, β -lactoglobuline, α -lactalbumine, sérum albumine, lactoferrin, lactopéroxydase, immunoglobulines, caséinomacropeptide soluble dans le lactosérum, protéoses et peptones ; mais aussi des cytokines, des facteurs de croissance, des enzymes (LECERF 2013).

I.2.4. Lactose

Le lactose, connu également sous le nom de sucre de lait, est, comme on le sait, constitué par un disaccharide, c'est-à-dire par la réunion de deux sucres: le glucose et le galactose (Génin 1959).

C'est le sucre principal des laits de la plupart des mammifères et il y en a environ 50 g par litre de lait de vache. Au niveau technologique, sa présence dans le lait est indispensable à la fabrication de produits laitiers fermentés (yaourts, fromages). Au niveau nutritionnel, il est considéré comme un nutriment énergétique important car il contribue au fonctionnement de l'organisme (**GAUCHERON and TANGUY 2009**). Il favorise l'assimilation du calcium et de la matière azotée (**Romain, Thomas et al. 2008**).

I.2.5. Les minéraux :

Les minéraux, entièrement apportés par notre alimentation, ont un rôle structural et fonctionnel, lait et les produits laitiers sont les principales sources alimentaires de calcium et phosphore, pour lesquels ils couvrent plus de moitié de nos besoins journalières (Tableau 3) (**Romain, Thomas et al. 2008**)

Tableau 3: Composition et concentration minérale de lait de vache (Gaucheron 2004)

Minéraux	Concentration (mg,l)
Calcium	1200
Magnésium	120
Sodium	500
Potassium	1400
Phosphate	900
Citrate	1500
Chlorure	1100

I.2.6. Les vitamines

Les laits animaux constituent des sources intéressantes de vitamines, C'est le cas notamment pour la vitamine A dans le lait des ruminants, surtout lorsque la ration contient beaucoup de fourrages verts, ainsi que pour les vitamines du groupe B, notamment les vitamines B2 et B12. Par contre, la teneur en vitamine C est très faible par rapport à celle des fruits et légumes. (**Van, Focant et al. 2008**)

I.2.7. Les enzymes du lait

Dans des conditions normales, les laits contiennent une grande variété d'enzyme, Il y a 100 ans, on mentionna pour la première fois la présence de la lactoperoxydase, probablement la première enzyme découverte dans le lait de vache (**Blanc 1982**).

Les enzymes sont des catalyseurs biologiques d'origine lactée, microbienne ou Fongique dont les propriétés sont utilisées en technologie laitière et en inspection du lait et des produits laitiers. Les principales enzymes sont:

- Les hydrolases : lipases, phosphatases alcalines(PAL), protéases
- Les oxydoréductases: Xanthine oxydase, lactopéroxydase (**Poueme 2006**)

I.3. Propriétés physiques et chimiques

I.3.1. Propriétés physiques

La composition du lait est très complexe, de point de vue physique, le lait présente une hétérogénéité, puisque certains composants sont dominants quantitativement, comme l'eau, la matière grasse, les protéines et le lactose ; et des composés mineurs qui sont les matières minérales, les enzymes et les vitamines. Les propriétés physiques comme la densité absolue, la viscosité, la tension superficielle et la chaleur spécifique dépendent de l'ensemble des constituants (**Mathieu 1998**). Le (tableau 4) montre un exemple sur les propriétés physiques du lait de vache

Tableau 4: Propriétés physiques usuelles du lait de vache (Luquet 1985)

Constantes	Valeurs
PH (20°C)	6.5 à 6.7
Acidité titrable (°D)	15 à 18
Densité	1.028 à 1.036
Température de congélation (°C)	-0.51 à -0.55
Point d'ébullition (°C)	100.5

I.3.1.1. pH

Le pH du lait de vache fraîchement trait est légèrement acide, un faible changement du pH du côté acide a des effets importants sur l'équilibre des minéraux et sur la stabilité de la suspension colloïdale de caséine (**Alais and Linden 1997**).

I.3.1.2. Acidité

Les protéines, surtout les caséines et la lactalbumine, de substances minérales telles que les phosphates, CO₂ et l'acide citrique sont les éléments responsables de l'acidité naturelle (**Amiot, Fournier et al. 2002**), l'acidité est exprimée en degrés DORNIC, c.à.d. en décigrammes d'acide lactique par litre (**Veisseyre 1975**). Sous l'effet des bactéries lactiques, le taux d'acide lactique augmente et donne une nouvelle acidité nommée acidité développée.

I.3.1.3 Densité

La densité du lait est liée à sa richesse en matière sèche, (**Elhadj, Samira et al. 2015**). Elle dépend aussi de leur degré d'hydratation, notamment les protéines. À 20 °C, la densité du lait de mélange se situe entre 1.030 et 1.035 avec une moyenne de 1.032 (**Alais 1984**). Plus un lait contient un pourcentage élevé en matière grasse, plus sa densité sera basse (**Amiot, Fournier et al. 2002**)

I.3.1.4. Le point d'ébullition

On définit le point d'ébullition comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée. Ainsi, comme pour le point de congélation, le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés. Il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100,5 °C. Cette propriété physique diminue avec la pression. On applique ce principe dans les procédés de concentration du lait (**Lapointe-Vignola 2002**).

I.3.1.5 .Point de congélation

Le point de congélation originel du lait de vache se situe normalement entre -0,530°C à -0,575°C en moyenne à -0,555°C. Il est légèrement inférieur à celui de l'eau. Un point de congélation supérieur à -0,530°C permet de soupçonner une addition d'eau au lait, on vérifie le point de congélation du lait à l'aide d'une cryoscopie (**Lapointe-Vignola 2002**).

I.4 Qualité organoleptique du lait**I.4.1. Couleur**

Fraîchement extrait de la mamelle, le lait est un liquide blanc-jaunâtre ou blanc-mat, opaque à cause des micelles de caséine. Il peut être bleuté ou franchement jaunâtre quand il est riche en lactoflavine (**Lapointe-Vignola 2002**).

I.4.2 L'odeur

Le lait a une odeur toujours faible sui generis (caractéristique de l'animal qu'il produit), agréable et variable en fonction de l'alimentation (**Poueme 2006**).

I.4.3. La saveur

Le lait a une saveur légèrement sucré due à la présence d'un taux de lactose (**Vierling 2008**).

I.4.4. Viscosité ou consistance

La viscosité est une propriété complexe qui est particulièrement affectée par les particules colloïdes émulsifiées et dissoutes. La teneur en graisse et en caséine influencent grandement sur la viscosité du lait (**RHEOTEST 2010**).

I.5. Valeur nutritionnelle du lait

Selon (**Romain, Thomas et al. 2008**), Les compositions et les qualité nutritive du lait en font un aliment presque complet, si aucun aliment ne peut combler tous nos besoins et assurer à lui seul le bon fonctionnement de l'organisme, le lait est toutefois l'aliment qui se rapproche le plus de cet idéal, la richesse et la variété des éléments nutritifs du lait en font un aliment équilibré.

C'est un aliment hautement nutritif par sa richesse en glucides, protéines, lipides vitamines et sels minéraux, peut néanmoins représenter un danger pour le consommateur, spécialement quand il véhicule des agents zoonotiques et des résidus de substances anti microbienne (**Aggad, Mahouz et al. 2009**).

Le lait est la source majeure de vitamine B2, de calcium, de vitamine A et de vitamine D, Il n'est déficitaire qu'en fer et en vitamine C, et dans certaines conditions en acides gras essentiels, La teneur en graisse du lait entier de vache est trop élevée (environ 50 p. 100 de

calories grasses) alors qu'il est conseillé à l'homme d'avoir une ration ne comportant pas plus de 35 p. 100 de calories grasses (**Tremolieres 1963**).

I.6. Différents types de lait

L'évolution des processus technologiques, des techniques de conservation et de distribution a permis l'élaboration d'une large gamme de « laits de consommation » qui se distinguent par leur composition, leur qualité nutritionnelle, organoleptique et leur durée de conservation. Ils peuvent être classés en deux catégories ; lait cru non traités thermiquement et le lait traité thermiquement (**Romain, Thomas et al. 2008**).

I.6.1. Lait cru

Le lait cru recueilli à la ferme par traite mécanique ou manuelle, soit directement transporté au centre de ramassage où il est réfrigéré, soit stocké dans des réservoirs réfrigérés avant le transport dans le cas d'exploitations importantes, dans ces conditions, la flore microbienne est stabilisée (**Guiraud 1998**). Le lait doit provenir d'animaux sains soumis à un contrôle vétérinaire, d'une préparation (traite, conditionnement, stockage) effectuée dans des conditions hygiéniques satisfaisantes (**Romain, Thomas et al. 2008**).

I.6.2. Lait traité thermiquement

Les laits (traités) industriels peuvent consister en une modification de composition (lait écrémé, ...etc.) et en traitement thermique destiné à éliminer les éventuels germes pathogènes (**Guiraud 2003**), les différents types de ce lait sont :

I.6.3. Lait pasteurisé

La pasteurisation consiste à porter le lait à une température suffisante et pendant un délai pour détruire les bactéries pathogènes (**Veisseyre 1975**). La pasteurisation inactive la phosphatase du lait cru. Immédiatement après la pasteurisation, le lait doit être refroidi pour être ramené, dans les meilleurs délais à une température ne dépassant pas 6 ° (**Vierling 2008**).

I.6.4. Lait stérilisé

(**Luquet 1985**) Ont montré que selon le procédé de stérilisation, on distingue le lait stérilisé et le lait stérilisé UHT. Ces laits doivent être stables jusqu'à la date limite de consommation. Est obtenu après 20 minutes de chauffage à 120 °C dans un emballage étanche (**Guiraud 1998**). Conditionné dans un récipient hermétiquement clos, étanche au

liquide et au micro-organisme pathogènes (**Luquet 1985**), il peut se conserver très longtemps à température ambiante (**Guiraud 2003**).

I.6.5. Lait U.H.T

Le lait UHT est un lait de longue conservation, stérilisé par upérisation à haute température. IL a un bon goût et n'est guère modifié, il peut se conserver plusieurs mois à une température ambiante (**Alais, Linden et al. 1991**).

I.6.6. Lait concentré

Lait concentré c'est le produit provenant de la concentration du lait propre à la consommation (**Tapernoux 1943**). La concentration du lait peut se faire avec ou sans addition de sucre (**Romain, Thomas et al. 2008**).

Selon (**Romain, Thomas et al. 2008**), la stabilité du lait peut être assurée par réduction de l'activité de l'eau, on y parvient par élimination partielle de l'eau et ajout de sucre, le principe consiste à effectuer une évaporation sous vide afin d'abaisser la température d'ébullition. L'évaporation s'effectue dans des évaporateurs tubulaires ou à plaques. L'addition de saccharose assure la conservation du produit sans étape de stérilisation en limitant le développement des micro-organismes, leur teneur en eau est de 24% environ, les constituants ont une concentration proche du triple de celle du lait, la teneur en saccharose atteint plus de 40% (**Vierling 2008**).

I.6.7. Lait aromatisé

(**Vierling 2008**) rappelle que cette dénomination est réservée aux boissons stérilisées préparées à l'avance, constituées exclusivement de lait écrémé ou non, sucré ou non, additionné des colorants généralement autorisés et de substances aromatiques naturelles qui peuvent être renforcées artificiellement : abricot, ananas, fraise, prune, cerise, framboise. Les laits aromatisés peuvent avoir subi l'addition d'agar-agar, alginates, carraghénanes et pectines comme stabilisants. Les laits aromatisés sont généralement obtenus par stérilisation en récipients ou par stérilisation UHT. Ce sont tous des laits stérilisés auxquels on a ajouté des arômes autorisés (notamment cacao, vanille, fraise) (**Luquet 1985**).

I.6.8. Poudre de lait

Selon la législation sur les aliments et drogues, les poudres de lait sont des produits résultant de l'enlèvement partiel de l'eau contenant dans le lait. On les répartit en trois

catégories : la poudre de lait entière, la poudre de lait partiellement écrémée et la poudre de lait écrémée (Michel, Pouliot et al. 2002).

CHAPITRE II
GÉNÉRALITÉ SUR LE
LACTOSÉRUM

II.1.lactosérum

II.1.1. Définition du lactosérum :

Le lactosérum est un sous-produit de la fabrication du fromage et de la caséine, et contient environ 20% du lait d'origine protéine.(**McIntosh, Royle et al. 1998**)

Le lactosérum ou sérum ou encore petit lait, est la partie aqueuse qui se sépare du caillé au cours conventionnel fabrication de fromage ou de caséine, de couleur jaune verdâtre. Il représente environ 85 à 90% du volume de le lait utilisé pour la transformation en maturité fromage, et il conserve environ 55% du lait nutriments.(**Kosikowski 1979**)

Traditionnellement, l'opération qui suit l'étape de coagulation consiste à séparer la phase coagulée du reste du lait au cours d'une opération d'égouttage. La fraction liquide ainsi recueillie s'appelle le lactosérum. Ce dernier est un sous-produit de la fromagerie et de la caséinerie, son pH est compris entre 5 et 6.5.(**Kosikowski 1979**)

II.1.2.Classification du lactosérum :

Le lactosérum, constitué essentiellement d'eau, contient du lactose, des protéines, des minéraux et un peu de matière grasse. La quantité et la proportion relative de ces différents constituants dépendent entre autres des procédés d'obtention (**Schuck, Bouhallab et al. 2004**).

La composition et le type de lactosérum des usines laitières dépendent des types de fromages fabriqués, ainsi que des approches technologiques utilisés pour sa production. (**Siso 1996**)

Ces lactosérums peuvent être classés en deux principales catégories selon l'acidité du liquide obtenu :(**Schuck, Bouhallab et al. 2004**)

- **Le lactosérum doux :**

Il est obtenu après la coagulation de la caséine par la présure (un agent enzymatique de coagulation complexe contenant de la chymosine ou d'autres enzymes coagulant la caséine). Coagulation de la caséine par présure se produit à environ pH 6,5 ainsi.(**Yadav, Yan et al. 2015**)

issu de la fabrication de fromage à pâte pressée cuite ou non cuite (**Lupien 1998**), Dont l'acidité varie entre 15 et 22° Dornic (pH 6), Ils sont issus de la production de pâtes pressées et/ou cuites (Edam, St Paulin, Emmental) (**Schuck, Bouhallab et al. 2004**)

- **Le lactosérum acide** issu des autres fromages obtenus par coagulation mixte ou lactique (pâtes molles, pâtes fraîches) (**Lupien 1998**). L'acidification peut être obtenue, par exemple, par ajout d'acide (acide chlorhydrique, sulfurique ou lactique) ou par passage sur résines échangeuses d'ions. (**Violleau 1999**).

Le lactosérum acide (pH inférieur à 5) est généré lorsque la coagulation de la caséine est obtenue par l'addition d'acides minéraux ou organiques (**Yadav, Yan et al. 2015**)

Tableau 5 : Différents types de lactosérum (**Schuck, Bouhallab et al. 2004**)

Type	Degré d'acidité	PH	Production
Lactosérum doux	Entre 15 et 22°	6	-Fromagerie à pâte pressée - Fromagerie à pâte cuite - Caséinerie présure.
Lactosérum acide	Atteignent 120°	4.5	- Fromagerie à pâte fraîche -Fromagerie à pâte molle - Caséinerie acide

II.1.3.Composition moyenne du lactosérum :

Le lactosérum est donc un milieu dilué complexe contenant principalement de lactose, des protéines globulaires, une fraction azotée non protéique, de la matière grasse et des minéraux (**Violleau 1999**).

D'après ce tableau on constate 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 et phosphore (reste dans le caillé pour participer à la coagulation des protéines), alors que les lactosérums acides sont riches en calcium. (**Morr and Ha 1993**).

La différence majeure entre ces deux catégories de lactosérums se situe au niveau des teneurs en lactose et en acide lactique. (**Schuck, Bouhallab et al. 2004**)

Les lactosérums doux sont plus facilement valorisables industriellement que les lactosérums acides qui posent plus de difficultés lors du séchage. Ces problèmes sont dus en partie à la forte minéralisation, à la faible teneur en lactose et à la variabilité de la composition des sérums acides. (Saulnier, Calco et al. 1996)

- Le lactosérum doux possède un peu plus de protéines et de lactose puisque ce dernier n'est pas fermenté en acide lactique, contrairement au lactosérum acide qui a été produit par fermentation lactique. (Schuck, Bouhallab et al. 2004)

Le lactosérum de caséinerie est obtenu par la précipitation de la caséine par l'acide chlorhydrique ou sulfurique alors que le lactosérum acide est généré par une fermentation lactique d'un lait écrémé. Un lactosérum doux présente une teneur en protéines supérieure à celle d'un lactosérum acide en raison de la précipitation acide de certaines protéines. (Schuck, Bouhallab et al. 2004)

Tableau 6 :Composition type (en %) de lactosérum acide et doux : (Morr and Ha 1993)

	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 lactiques	0.15	0.55
Cendres	0.53	0.69
Calcium	0.05	0.13
Sodium	0.07	0.06
Potassium	0.14	0.15
Phosphore	0.06	0.09

II.1.3.1. Lactose

Le lactose, le principal composant du lactosérum, est probablement l'élément le moins précieux et le plus difficile à utiliser. Le lactose comprend environ 70% des solides totaux de lactosérum(Saulnier, Calco et al. 1996).

Ce disaccharide est le sucre principal du lait et par conséquent du lactosérum. Il est formé par l'union de deux monosaccharides (le D-glucose et le D-galactose) par un lien glycosidique C1(β)-C4. Lors d'une fermentation, le lactose est le seul glucide fermentescible et ce, sous la dépendance des bactéries lactiques (BL). Ces BL possèdent une enzyme (β-galactosidase), qui est capable d'hydrolyser le lactose en glucose et galactose. Ces deux monosaccharides sont par la suite transformés en acide lactique, ce qui entraîne une baisse du pH. En fonction des BL utilisées, d'autres produits peuvent être aussi obtenus dont l'acide acétique, l'éthanol et le gaz carbonique. Certains de ces métabolites jouent un rôle important au niveau de la saveur et de l'arôme typiques des produits laitiers fermentés.(Forkwa 2017)

Sous forme purifiée et cristallisée, le lactose est utilisé dans de nombreux produits de confiserie, de boulangerie, dans les formulations pour enfants, boissons, etc. De même, il peut être utilisé pour diminuer la saveur sucrée de certains aliments. En industrie pharmaceutique, il est utilisé comme transporteur ou support pour la fabrication des comprimés (Huffman and de Barros Ferreira 2011).

La fabrication du lactose se fait par évaporation du lactosérum, après extraction éventuelle de la matière grasse, des protéines et des sels minéraux, puis par cristallisation du lactose, séparation et séchage des cristaux. (Lupien 1998)

II.1.3.2. Minéraux

Les matières salines de l'extrait sec du lactosérum sont constituées de plus de 50 % de chlorures de sodium et de potassium et le reste de différents minéraux tels que le calcium, le magnésium et le phosphore est présent en solution et aussi en partie lié aux protéines. Le zinc est présent dans traces.(Macwan, Dabhi et al. 2016). En outre, selon certaines pratiques fromagères, il y'a ajout de sel de calcium (CaCl₂). (Vrignaud 1983)

D'après (Meréo 1971), ces sels minéraux constituent les éléments indésirables « du sérum ». En effet, il semblerait qu'une quantité relativement élevée constitue un obstacle à l'utilisation du lactosérum dans l'alimentation humaine et infantile. Mais il est utilisé pour la préparation de lactose pur et des protéines. Il est donc avantageux de déminéraliser le sérum partiellement

grâce à des techniques physico-chimiques, telle que l'électrodialyse. (**Linden and Lorient 1994**)

II.1.3.3. Protéines du lactosérum

Deux grandes familles de protéines entrent dans la composition du lactosérum à savoir, la première famille est constituée de caséines qui représentent environ 80% des protéines totales du lait et la seconde est composée des protéines solubles constituées essentiellement de β lactoglobuline (β -LG), α lactalbumine (α -LA), l'albumine sérique bovine (BSA), les immunoglobulines (Ig) et les protéases peptones (**Cheftel and Lorient 1982**).

Les différents constituants des PL sont décrits ci-dessous :

➤ **La β -lactoglobuline:** La β -Ig constitue environ 50% des protéines du lactosérum (**ALVAREZ, LUCENA et al. 2006**). Il s'agit d'une protéine globulaire de structure compacte, composée de 162 résidus d'acide aminés et dont la masse moléculaire relative est de 18,3 KD (**Madureira, Pereira et al. 2007**).

Absente dans le lait humain, la β -Ig est une protéine globulaire avec deux disulfures et une cystéine libre conférant de bonnes propriétés fonctionnelles aux PL (**Jeewanthi, Lee et al. 2015**). Cette protéine est l'une des principales sources d'allergies infantiles. Cette propriété limite l'utilisation du lait de vache dans les préparations pour nourrissons (**ALVAREZ, LUCENA et al. 2006**).

La β -Ig possède de bonnes propriétés gélifiantes, démontre une bonne stabilité et solubilité sur une large gamme de pH lors de traitements à haute température. Cette protéine a une valeur nutritionnelle élevée comme en témoigne son profil d'acides aminés essentiels. De même, cette protéine présente une excellente aptitude au fouettage et peut être une alternative à l'albumine d'œuf (blanc d'œuf) dans certaines applications alimentaires (**Chatterton, Smithers et al. 2006**). Ces propriétés de la β lg ont facilité son utilisation comme agent actif dans diverses boissons protéiques enrichies, telles que les jus de fruits et boissons pour sportifs (**Chatterton, Smithers et al. 2006**).

➤ **L' α -lactalbumine:** Elle constitue environ 20% des protéines de lactosérum et a une structure globulaire en solution aqueuse. Elle présente une forte affinité pour les ions métalliques particulièrement le calcium. (**Chatterton, Smithers et al. 2006**). Il contient 123 résidus d'acides aminés, son poids moléculaire est de 14 KDa. (**Madureira, Pereira et al. 2007**)

➤ **Les immunoglobulines:** Les Ig représentent environ 11% des protéines de lactosérum et, comme leur nom l'indique, confèrent une activité immunologique au lactosérum (**Forkwa 2017**). Il existe cependant trois classes de base de IG: IG E, IG A et IG M, bien que IG G soit souvent subdivisé en deux sous-classes - IG G1 et IG G2. Ces protéines sont des monomères d'une molécule à quatre chaînes, consistant en deux chaînes polypeptidiques légères (avec un poids moléculaire en 25 kDa) et deux chaînes lourdes (avec des molécules de 50 à 70 kDa. (**Madureira, Pereira et al. 2007**))

➤ **L'albumine sérique bovine:** L'BSA représente environ 7% des protéines du lactosérum et est riche en acides aminés essentiels (**Forkwa 2017**). Il contient 582 résidus d'acides aminés (**Madureira, Pereira et al. 2007**).

II.1.4. Sources Industrielles du lactosérum

II.1.4.1 La fromagerie

C'est l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication des fromages à partir du lait nature, ce dernier subit les processus de coagulation et de synérèse, aboutissant d'une part à une phase solide le « fromage », d'une part à une phase liquide «le lactosérum» (**Fiaux 2004**).

II.1.4.2 La beurrerie

C'est l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication du beurre à partir du lait nature. Après écrémage de ce dernier suivi d'une extraction de la caséine par précipitation on obtient du « lactosérum écrémé » (**Fiaux 2004**).

II.1.5. Nécessité de valorisation du lactosérum

Pouvoir polluant du lactosérum Le lactosérum est un polluant grave car il impose une demande biochimique en oxygène (DBO) très élevée de 30 000 à 50 000 mg / litre. Le rejet du lactosérum constitue également une perte importante de nutriments potentiels et l'énergie et a été considéré sérieusement par les écologistes et les technologues en raison de sa force polluante puissante. Dans outre, l'industrie laitière souffre d'un coup économique dû à plusieurs traitements les coûts liés à l'élimination appropriée du petit lait. Bien que plusieurs possibilités de l'utilisation du lactosérum du fromage a été explorée, une grande partie du lactosérum de fromage du monde la production est rejetée comme effluent. Ses élimination

car les déchets posent une grave pollution problèmes pour l'environnement.(**Marwaha and Kennedy 1988; Siso 1996**)

Une fois libéré dans l'eau, par exemple, les rivières, les canaux d'irrigation, ou sur la 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.(**McAuliffe, Scotter et al. 1982**)

-Les effluents produits par l'industrie fromagère sont caractérisés par leur volume et leur charge polluante élevés. 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 constitue une perte importante de matière alimentaire.(**Marwaha and Kennedy 1988**)

Donc la valorisation du lactosérum est une voie très importante non seulement pour l'environnement, car elle permet de diminuer au maximum le risque de pollution provoquée par le lactosérum rejeté dans les eaux résiduaires. Le lactosérum entre dans la composition de divers produits alimentaires et pharmaceutiques, notamment les produits diététiques.(**Marwaha and Kennedy 1988**)

II.1.6.Utilisation du lactosérum

Le lactosérum peut être utilisé aussi bien sous sa forme la plus simple, en tant qu'aliment du bétail, que sous sa forme la plus élaborée pour la pharmacie, pour la diététique ou pour l'alimentation humaine. Ces extrêmes sont économiquement possibles et encadrent toute une série de possibilités technologiquement faisables (**Benaissa 2018**).

La qualité nutritive du lactosérum tient à la fois à la présence du lactose et des protéines sériques. La richesse en lactose en fait un auxiliaire actif dans le brunissement enzymatique ou maillardisation (réaction de Maillard) apprécié en boulangerie, biscuiterie et viennoiserie (**Lupien 1998**).

Les propriétés fonctionnelles liées aux protéines sériques en font des produits intéressants à la fois pour l'alimentation du bétail, mais aussi en nutrition humaine.

Ces protéines sont utilisées en alimentation infantile pour leurs qualités nutritionnelles (richesse en acides aminés essentiels), pour la préparation de plats cuisinés (rétention d'eau),

pour leur solubilité à toute échelle de pH (boissons au lait, limonadière) et pour leur pouvoir moussant (confiserie, nougaterie) (**Lupien 1998**).

Elles sont également employées dans bien d'autres opérations de l'industrie agroalimentaire, telles que la fabrication des potages en poudre, des fromages fondus, des crèmes glacées, des mousses de foie et la panification. Enfin, les protéines sériques conviennent particulièrement au développement des levures (**Lupien 1998**).

II.2. Valorisation du lactosérum

La valorisation du lactosérum est faite en le transformant en produits ayant une plus grande valeur économique. Cette valorisation est importante pour éviter de payer des frais de traitement ou de disposition du lactosérum. Le lactosérum non modifié est communément utilisé pour l'alimentation du bétail et la production de boissons (**Spreer 1998**). Étant donné que la fraction principale des solides est le lactose avec des protéines solubles, des vitamines et des minéraux, divers procédés biotechnologiques et procédés physico-chimiques ont été appliqués pour être utilisés comme substrat pour produire des produits de valeur industrielle (**Prazeres, Carvalho et al. 2012**).

II.2.1. Procédés biotechnologiques de valorisation du lactosérum

La fermentation du lactosérum permet la conversion du lactose en différents composés tels que la production de biogaz, de biomasse, d'alcools, d'acides organiques, d'acides aminés, d'enzymes ou de lipides (**Lapointe-Vignola 2002**). Dans ce procédé, le lactose est la source de carbone ou nutriment principal pour les microorganismes à l'origine de la fermentation (**Spreer 1998**). Selon (**Lapointe-Vignola 2002**), la viabilité économique de ces procédés est liée à la valeur des autres substrats de fermentation disponibles.

II.2.1.1. Production de biogaz et bio hydrogène

L'hydrogène (H₂) est dérivé du traitement du combustible (la pyrolyse des hydrocarbures); ou de l'eau (l'hydrolyse), mais l'H₂ peut également être obtenu par fermentation anaérobie. Actuellement, seulement 1% de la production mondiale de H₂ est produite par une fermentation anaérobie à l'aide de microorganismes tels que Clostridia (**Venetsaneas, Antonopoulou et al. 2009; Carrillo-Reyes, Celis et al. 2014**). La production a été largement étudiée en tant que source d'énergie pour remplacer les combustibles fossiles en raison de son pouvoir calorifique de 142 kJ/g (**Fernández, Carracedo et al. 2014**).

II.2.1.2. Production d'acide lactique

Les microorganismes de l'espèce *Lactobacillus* sont les plus utilisés pour la conversion de lactose contenu dans le lactosérum en acide lactique (**SpĂĀțelu 2012**). Actuellement, près de 90% de l'acide lactique produit dans le monde provient de la fermentation des saccharides par des bactéries lactiques. Ces bactéries peuvent utiliser du lactosérum et ensuite hydrolyser le lactose afin de produire du glucose et du galactose (**Pescuma, de Valdez et al. 2015**).

Le rendement et la concentration de l'acide lactique peuvent être plus élevés en utilisant une espèce différente de *Lactobacillus*. Les espèces les plus utilisées pour la production d'acide lactique sont : *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus casei* et *Lactobacillus acidophilus* (**Pescuma, de Valdez et al. 2015**). Les diverses études sur la production d'acide à partir de lactosérum ont montré des rendements compris entre 0,84 et 1,2 g d'acide lactique/g de lactose (**Fernández-Gutiérrez, Veillette et al. 2017**). (**Panesar, Kennedy et al. 2007**) Ont obtenu un rendement de 0,84 g d'acide lactique par g de lactose avec *Lactobacillus casei*.

L'acide lactique a plusieurs applications dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et chimiques (**Pescuma, de Valdez et al. 2015; Fernández-Gutiérrez, Veillette et al. 2017**). Au cours des dernières années l'intérêt de la production d'acide lactique a augmenté puisqu'il peut être utilisé pour la production d'acide polylactique. Ce dernier est un polymère utilisé pour la production de plastiques biodégradables (**Panesar, Kennedy et al. 2007**).

II.2.2. Procédés physiques de valorisation du lactosérum

Le lactosérum doit être traité dès que possible, car sa composition favorise la croissance des bactéries. Ces dernières sont les responsables de la dégradation des protéines et de la formation d'acide lactique (**Trivino Arevalo 2017**). La récupération de fines, la séparation de gras, la concentration de solides totaux, le fractionnement de solides totaux sont quelques procédés physiques de valorisation du lactosérum (**Spreer 1998**). Les technologies liées à chaque procédé sont présentées dans la suite du texte.

II.2.2.1. Récupération des fines et séparation de gras

(**Emond 2014**) Affirme que les matières grasses, les particules de fromage (fines) et les bactéries sont des constituants indésirables du lactosérum. C'est pour cette raison que les

étapes de prétraitement de lactosérum incluent les opérations unitaires de clarification, de séparation de gras et refroidissement.

Clarification ou filtration de fines : il consiste en l'étape de récupération de petites agglomérations des caséines connues aussi sur le nom de fines (**Spreer 1998**). Ces dernières doivent être les premières à être enlevées afin de diminuer leur influence dans la séparation des graisses et de prévenir des problèmes de colmatage (**Lapointe-Vignola 2002**). La teneur en fines séparables dans le lactosérum varie entre 0,05% et 0,20% pour les fromages à pâte ferme et semi-ferme tandis qu'elle est de 1% pour des fromages à pâte molle (**IDF, 1997**). Différents dispositifs de séparation peuvent être utilisés, tels que des cyclones, des séparateurs centrifuges ou des tamis vibrants ou rotatifs (**Trivino Arevalo 2017**).

II.2.2.2. Concentration de solides totaux

La concentration a comme but d'éliminer la quantité d'eau présente dans le lactosérum. Ce procédé permet de réduire le volume du lactosérum afin de faciliter le transport et de produire un produit de valeur ajoutée comme le lactosérum en poudre (**Spreer 1998**). Osmose inverse : les technologies membranaires comme l'osmose inverse (OI) et la nanofiltration (NF) sont des technologies utilisées pour la concentration du lactosérum. Elles se distinguent par le diamètre de pores et la pression d'opération utilisée. L'OI est utilisée sous des conditions de pression comprises entre 3,0 MPa et 5,0 MPa (30 et 50 bar) alors que les pressions utilisées par la NF sont comprises entre 1,5 MPa et 3,0 MPa (15 à 30 bar) (**Lapointe-Vignola 2002**). La taille des pores est très liée aux éléments retenus par les membranes. Un diamètre de pores entre 0,1 et 1 nm (NF) est idéal pour la rétention du lactose et des minéraux complexes.

II.2.2.3. Fractionnement de solides totaux- protéines

Le lactosérum contient presque 0,8% de protéines, lequel correspond à 20% de la protéine totale du lait (**Spreer 1998**). Le fractionnement des protéines constitue la fraction la plus intéressante du lactosérum, soit du point de vue nutritionnel, fonctionnel ou économique. Il existe divers procédés pour réaliser la séparation des protéines du lactosérum : l'ultrafiltration, la dénaturation des protéines, la chromatographie d'échange d'ions, etc. (**Trivino Arevalo 2017**)

Grâce à la combinaison d'un traitement thermique (90 - 95°C) et un ajustement de pH (4,4-4,8), la précipitation ou la dénaturation des protéines de lactosérum est possible (**Trivino Arevalo 2017**). La dénaturation thermique utilise la chaleur pour flocculer les protéines et les

séparer du lactosérum, le produit obtenu est connu sous le nom de lactalbumine (**Lapointe-Vignola 2002**). Les étapes de production de lactalbumine sont la précipitation, la récupération du précipité, le lavage et le séchage. Selon (**Spreer 1998**) à partir de 1 000 L de lactosérum, il est possible de produire 20 – 25kg de protéines dénaturées avec un contenu d'humidité inférieur à 80%.

La séparation membranaire (ultrafiltration) permet la concentration de protéines par tamisage (**Lapointe-Vignola 2002**). Ce procédé permet de préserver l'état natif et les propriétés originales des protéines sériques (**Spreer 1998**). L'ultrafiltration permet d'obtenir des concentrés de protéines de lactosérum (CPL) d'un maximum de 65% de contenu en solides. À partir de 100 kg de lactosérum ultrafiltré, il y a une production de 17 kg de retenta et 83 kg de perméat de lactosérum.

II.2.2.4. Fractionnement de solides totaux - lactose

Le lactose est le principal composant du lactosérum. Deux principales options sont disponibles pour valoriser le lactose du lactosérum : la cristallisation et l'hydrolyse (**Spreer 1998**). La récupération de lactose peut se faire à partir du concentré de lactosérum ou de lactosérum dé-protéiné (**Trivino Arevalo 2017**). Cependant l'extraction de lactose à partir de lactosérum peut générer la dénaturation partielle des protéines et réduire les rendements d'extraction. C'est pour cela que le fractionnement de lactose se fait généralement à partir de lactosérum dé-protéiné.

Généralement, le fractionnement de lactose est fait en trois étapes : la concentration, la cristallisation et la séparation de cristaux. Le procédé d'évaporation permet de concentrer le lactosérum entre 55 et 65% de solides totaux (**Trivino Arevalo 2017**). Après l'évaporation, la cristallisation débute avec le refroidissement du sirop obtenu de l'évaporation. Pendant la cristallisation, le lactose peut cristalliser sous deux formes : le lactose α -monohydraté et le lactose β -anhydre. Si une solution de lactose est séchée très rapidement, les cristaux n'ont pas le temps de se former et le lactose sera obtenu sous forme vitreuse amorphe (**Trivino Arevalo 2017**). Grâce au décanteur centrifuge, le lactose est séparé du fluide. Après la séparation la teneur en eau du lactose varie entre 10 et 14%. Cependant, la teneur peut être réduite à 0,5% par un séchage au lit fluidisé (**Lapointe-Vignola 2002**).

II.2.2.5. Fractionnement de solides totaux - minéraux

Les minéraux affectent la flaveur, la fonctionnalité et la valeur des produits dérivés du lactosérum. En effet, la séparation des minéraux du lactosérum permet d'améliorer l'efficacité d'évaporation et l'aptitude à la cristallisation (**Lapointe-Vignola 2002**). C'est pour cela que la déminéralisation est une opération importante dans la valorisation de lactosérum. Il existe principalement trois méthodes industrielles permettant de déminéraliser le lactosérum : l'échange ionique, l'électrodialyse et la séparation membranaire (**Trivino Arevalo 2017**).

La déminéralisation partielle utilise normalement des procédés membranaires comme la nanofiltration. Cette dernière permet le passage d'ions monovalents et de petites particules comme le sodium (Na), le potassium (K) et les molécules organiques (urée, acide lactique), pendant que le lactose et les molécules de taille plus volumineuse sont retenus (**Trivino Arevalo 2017**). La nanofiltration retient la totalité des protéines, 96% du lactose et près de 50% d'acide lactique (**Lapointe-Vignola 2002**). La diafiltration accompagnée de la nanofiltration permet d'augmenter l'efficacité de la déminéralisation (**Trivino Arevalo 2017**). Afin de compléter la déminéralisation, des procédures d'échange ionique ou l'électrodialyse doivent être utilisées.

PARTIE II

VALORISATION DU LACTOSERUM

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, Fazouane-Naimi et al. 2009**)

Parmi ces dernières, l'industrie laitière est une des plus polluantes par le rejet de quantités importantes de lactosérum. Du fait de sa richesse en élément nutritif tels que lactose, protéine solubles, vitamines hydrosolubles, matières grasses et les éléments minéraux, le lactosérum constitue un excellent milieu de culture pour les microorganismes, ce qui fait de lui un facteur de pollution redoutable (**Michel 1986**). Il réduit la vie aquatique en captant l'oxygène dissous (**Panesar, Kennedy et al. 2007**). car un litre de lactosérum présente une demande biochimique en oxygène (DBO) élevée qui varie entre 35 et 60 g/l. (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**)

Pour diminuer le risque polluant du lactosérum, ce dernier est utilisé dans différents domaines tels que l'alimentation humaine, l'alimentation animale et éventuellement dans le domaine de la biotechnologie afin de produire des protéines d'organismes unicellulaires (P.O.U.), enzymes, vitamines, alcool, acides organiques (acide citrique, acide lactique,...etc) (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**)

Dans cette partie quelques travaux sur les méthodes et les domaines de valorisation du lactosérum ont été illustrés à savoir ;

1. Contribution à la valorisation des lactosérums industriels à l'aide des techniques de séparation par membranes
2. L'utilisation du lactosérum dans la production de l'acide lactique,
3. La valorisation du lactosérum par incorporation dans des produits laitiers (raïb)

Chapitre 1 : Contribution à la valorisation des lactosérums industriels à l'aide des techniques de séparation par membranes

Michel Calco

Dans les procédés de séparation par membranes, les conditions physicochimiques (pH, force ionique, température, concentration) ainsi que les paramètres opératoires (pression transmembranaire, vitesse tangentielle de balayage) jouent un rôle déterminant dans l'efficacité de l'objectif à atteindre, que ce soit une séparation, une concentration ou encore une purification. Ainsi, dans une première partie, il s'agit d'étudier l'influence du pH sur le transfert des protéines majeures (B-lactoglobuline et α -lactalbumine) lors de l'ultrafiltration de lactosérum. Pour séparer ces deux protéines, des procédés industriels mettent à profit leurs différences de comportement en fonction du pH. (Calco 1997)

La fraction minérale des lactosérums est la fraction la moins bien valorisée. Or, cette fraction contient deux minéraux essentiels : du calcium et des phosphates. Dans une deuxième partie, un procédé d'extraction de phosphate de calcium à partir de lactosérum de fromagerie est mis au point. Une étape de microfiltration tangentielle a été optimisée et utilisée pour la purification de ce sel de phosphate. (Calco 1997)

I.1. Les procédés de séparation membranaire

Ils regroupent un vaste ensemble de techniques qui mettent à profit les propriétés de rétention sélective d'une mince barrière appelée membrane. Les techniques de filtration ; la microfiltration et l'ultrafiltration, utilisent spécifiquement un gradient de pression pour effectuer une séparation en phase liquide à travers une membrane poreuse (Brun 1989).

- La MF est ainsi appliquée pour la clarification (Fauquant, Pierre et al. 1985), la pasteurisation (Piot, Vachot et al. 1987) ou la pasteurisation à froid ou encore la délipidation de divers produits liquides (Fauquant, Pierre et al. 1985).
- L'UF est, quant à elle, plutôt mise en œuvre pour le fractionnement ou la concentration de macromolécules en solution (Maubois and Brulé 1982).

Ces technologies permettent d'atteindre trois objectifs (Brun 1989)

- la concentration de solutions macromoléculaires (enzymes, protéines, virus, polymères variés, polysaccharides),
- le fractionnement et la séparation de macromolécules ;

- la rétention et l'élimination de macromolécules plus ou moins nocives.

La séparation par microfiltration présente deux avantages :

- le lactosérum obtenu est totalement délipidé car les lipides, qui ne sont pas agrégés par le procédé de thermo-clarification, se retrouvent également dans le rétentat de microfiltration avec le précipité ;(Calco 1997)

- la production de lactosérum "stérile". En effet, les membranes de MF 0,2um retiennent les bactéries (Calco 1997).

La membrane poreuse joue le rôle de barrière physique en s'interposant sur le trajet des molécules et en modifiant sélectivement leur vitesse de passage. Le mécanisme de sélectivité s'apparente à un effet de tamis : il existe une taille approximative de molécules au-delà de laquelle les molécules sont retenues (celles-ci se retrouvent alors dans **le rétentat**) tandis que celles dont la taille est inférieure la traversent, entraînées par le solvant, et constituent la fraction **perméat** ou **filtrat** (Calco 1997).

I.2. Mode de filtration

I.2.1. La filtration frontale ou le liquide est amené perpendiculairement à la membrane. Mais les espèces retenues s'accumulent rapidement dans une couche de dépôt (ou "gâteau"), s'opposant ainsi au transfert. Les flux de filtration chutent rapidement, ce qui nécessite de démonter fréquemment la membrane pour la nettoyer ou la remplacer (Calco 1997).

I.2.2. La filtration tangentielle où la membrane est balayée tangentiellement à grande vitesse par le liquide. Ainsi, l'accumulation de matière en surface de la membrane est limitée par d'importantes contraintes de cisaillement à la paroi. Le colmatage est donc fortement diminué par cette circulation rapide. L'avantage est de permettre une filtration sur de longues durées sans avoir à démonter le filtre pour le nettoyer (Calco 1997).

I.3. Paramètres influençant la filtration

Dans les deux cas, le principal paramètre est le gradient de pression transmembranaire qui provoque le transfert de matière. Concernant la filtration tangentielle, un autre paramètre important joue un grand rôle sur les résultats de la filtration : la vitesse tangentielle. Plus la vitesse tangentielle est élevée, meilleur est le balayage de la surface membranaire. Néanmoins, à partir d'une certaine vitesse, l'augmentation de la consommation énergétique

compromet l'intérêt industriel de l'opération. En général, la vitesse tangentielle en UF est inférieure à 5 m/s, celle utilisée en MF supérieure ou égale à 5 m/s. (Calco 1997)

Les paramètres de fonctionnement jouent un rôle déterminant sur cette couche qui se forme le long de la membrane. Il s'agit de limiter la résistance de cette zone par diminution de son épaisseur à l'aide de la vitesse tangentielle, de la pression transmembranaire, du pH ou encore de la température du produit à filtrer. Enfin, il est évident que la nature du produit est le point central. La bonne connaissance de celui-ci est indispensable pour orienter, selon les objectifs, le choix du procédé et des conditions opératoires. (Calco 1997)

II. Valorisation du lactosérum

Le lactosérum, sous-produit des industries laitières, constitue, d'une part un facteur de pollution redoutable et d'autre part, renferme des constituants (lactose, éléments minéraux et protéines) à valeur nutritive élevée donc la diminution du degré de pollution de l'environnement provoqué par le lactosérum peut être réalisé par la récupération de ses constituants (Kosikowski 1979).

Les protéines qui se trouvent en faible proportion dans le lactosérum (4 à 6 g/l) sont concentrées par ultrafiltration. Mais la présence de matière grasse résiduelle dans les lactosérums encrasse les membranes d'UF, et limite les hautes concentrations en protéines remarquent que l'élimination des lipides résiduels augmente par un facteur 1,8 les débits d'UF. Constate, qu'en retirant les lipides, les propriétés fonctionnelles étaient accrues (Calco 1997). La valorisation des lactosérums en concentrés protéique de lactosérum CPL n'est complète que si l'on mentionne les utilisations possibles des deux coproduits générés par cette fabrication les protéines et les lipides (Calco 1997).

La première étape de la fabrication est donc l'élimination de la matière grasse résiduelle Cette dernière est composée de lipides qui n'ont pas été éliminés au cours de l'écémage du lactosérum. Ce sont principalement des phospholipides ou phospholipoprotéines et des acides gras libre (Fauquant, Pierre et al. 1985). Les premiers procédés pour les éliminer impliquaient des traitements thermiques, des ajustements de pH, la combinaison des deux ou bien l'addition d'adjuvants (Lee and Merson 1976).

Le rétentat de microfiltration provenant du prétraitement de délipidation. il pourrait être utilisé en industrie fromagère (fromages allégés), en charcuterie et en cosmétologie (produit de base pour les liposomes). De plus, la valeur nutritionnelle de ces phospholipides devrait

leur assurer un débouché dans les prochaines années. Quant aux phosphoprotéines présentes dans ce rétentat, elles pourraient être utilisées en alimentation infantile, en industrie pharmaceutique, etc....Alors que le perméat d'ultrafiltration est composé essentiellement de minéraux et de lactose. Après concentration et cristallisation, ce dernier peut être valorisé.(Calco 1997)

II.1. Séparation et purification de l'a-lactalbumine et de la B-lactoglobuline

L'acidification à pH 2. 55°C, 30 min de CPL permet de polymériser l'a-lactalbumine qui s'agrège avec toutes les autres protéines sauf la B-lactoglobuline . Une microfiltration (0,2um) ou une centrifugation permet de séparer le précipité du perméat enrichi en B-lactoglobuline. La concentration-purification par UF-diafiltration de cette protéine permet d'obtenir des produits ayant une remarquable aptitude à la gélification (Calco 1997).

L'a-lactalbumine présente dans le rétentat de microfiltration est soumise à une série de traitement solubilisation à pH neutre, UF et diafiltration (50 kDa).

La purification de l'a-lactalbumine requiert sa séparation des composants contaminants, à savoir le caseinomacropéptide (CMP) et la sérumalbumine, ce qui peut être obtenu par la mise en œuvre d'opérations d'ultrafiltration selon des paramètres qui restent encore à optimiser.

La richesse en tryptophane de l'a-lactalbumine (4 résidus par mole) la rend intéressante pour ses peptides à propriétés physiologiques et pour la préparation de laits maternisés (Calco 1997).

II.2. Séparation de la lactoferrine (Lf) et de la lactoperoxydase (Lp)

Ces deux protéines de pHi élevé (8,5-9,2 pour la Lf; 9,0-10,2 pour la Lp) sont adsorbées sur des résines échangeuses de cation puis extraites par élution par des solutions salines de force ionique croissante. La séparation sélective de ces deux protéines pourrait être envisagée en utilisant des interactions électriques avec des membranes fonctionnalisées appropriées et un couplage champ électrique/champ de pression. La lactoferrine et la lactoperoxydase, ayant respectivement des propriétés bactériostatiques et bactéricides, sont déjà utilisées en médecine vétérinaire (diarrhée du jeune veau), dans les gouttes oculaires, les solutions pour bains de bouche, les chewing-gums et les aliments infantiles (Calco 1997).

II.3. Séparation des immunoglobulines (Ig) et du caséinomacropéptide (CMP)

Les CPL et surtout le colostrum sont des sources potentielles d'immunoglobulines (Ig) que l'on peut concentrer par UF sur des membranes de seuil de coupure élevé > 10% Da) (**Calco 1997**).

Divers procédés à membranes ont été proposés pour séparer le caséinomacropéptide (CMP): hydrolyse de caséinate par présure puis UF avec des membranes de seuil de coupure compris entre 20 kDa et 50 kDa. L'agrégation du CMP est obtenue à pH supérieur à 4 puis passage à la forme monomère à $3 < \text{pH} < 4$. Le CMP aurait des vertus : suppression de l'appétit, prévention des dépôts gras (chez le chien), empêchement de l'adhésion d'*Escherichia Coli* aux parois de l'intestin et de la plaque dentaire (**Calco 1997**).

Chapitre 2 : Optimisation et modèle de production d'acide lactique par *Streptococcus thermophilus* sur lactosérum

K. BOUDJEMA¹ F. FAZOUANE-NAIMI¹ A. HELLAL² A. MECHAKRA³

L'objectif de cette étude consiste en une optimisation des paramètres physicochimiques (température et pH) ainsi que le milieu de culture pour produire l'acide lactique par cette bactérie sur lactosérum doux déprotéiné et stérilisé (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**)

I. La méthodologie utilisée

Elle consiste à :

1. la préparation du milieu de culture à base de **lactosérum doux** issu de la fabrication de fromage à pâte cuite "Camembert», ce lactosérum est déprotéiné (**Laham-Guillaume, Moulin et al. 1979**) .qui consiste à un traitement à l'aide d'un acide afin d'obtenir une précipitation de protéines de lactosérum puis la filtration et la séparation de protéines de lactosérum). Suivi d'une stérilisation à 120°C pendant 20 minutes. *Streptococcus thermophilus* S13, souche homolactique de la collection du laboratoire de sciences et techniques de l'environnement de l'ENP, Alger a été utilisée pour cette production (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**).
2. la préparation de l'inoculum à partir de la souche *Streptococcus thermophilus* réactivée (par deux repiquages sur le milieu de culture M17 liquide), Après 24 heures d'incubation, on introduit aseptiquement 1ml de cette préculture dans un erlenmeyer d'une capacité de 250 ml qui contient 30ml du milieu M17, puis on l'incube à 42°C pendant 17 heures sans agitation (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**).
3. Une optimisation de la fermentation en batch par l'optimisation des paramètres physicochimiques (température, pH) et des paramètres liés au milieu de culture ; effet de l'extrait de levure a été réalisée (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**).
4. Lorsque la croissance bactérienne est suffisamment avancée, La fermentation en batch (discontinue) est réalisée dans des erlenmeyers d'une capacité de 1 litre, contenant 300 ml de milieu de culture (lactosérum doux déprotéiné et autoclavé), ces

erlenmeyers sontensemencés stérilement par 30 ml de préculture et incubés à 42°C sans agitation (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**).

5. La concentration totale en lactate est mesurée par la méthode préconisée par le manuel suisse des denrées alimentaires, qui est fondée sur la mesure de l'absorbance du complexe lactate-Fe³⁺ à 425 nm. La concentration de lactose dans le milieu de culture est déterminée par la méthode de Bradford qui est basée sur une défécation de lactosérum, oxydation de lactose et lavage du précipité de Cu₂O, ré oxydation de Cu₂O et dosage de sel ferreux formé puis titration par KMnO₄ (0.1N). Le poids sec de biomasse est obtenu après centrifugation de 20 ml de lactosérum, le culot ainsi récupéré est lavé avec de l'eau distillée puis séché à 105 °C (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**).

II. Résultats et discussion

Résultats de cette étude montre que le lactose et la protéine sont les constituantes les plus importantes de lactosérum doux, mais après le traitement (filtration et stérilisation) on observe qu'il y a diminution de taux de protéines et de taux de lactose (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**),

Les résultats de l'Optimisation de la fermentation en batch a révèlé les conditions optimale (Température et pH) de production de l'acide lactique :

- Concernent l'effet de température, les résultats montrés que la Temperature de 42 C° est optimale pour la croissance bactérienne de *Streptococcus thermophilus* S13 cultivée sur lactosérum doux (**Rosso, Lobry et al. 1995**),
- Concernent l'effet de pH, Les résultats montre que la croissance ainsi que la production d'acide lactique sont inhibées à pH = 4.72, tandis qu'il y a augmentation de la biomasse et la teneur en acide lactique avec l'élévation de pH jusqu'à pH = 6.42, Au-delà de ce pH, La croissance et la production d'acide lactique diminuent ; Il est connu qu'à des pH bas, l'acide lactique provoque une pression dans les cellules microbiennes puis les bactéries perdent leurs activités physiologiques entraînant ainsi une inhibition de β galactosidase et d'autres enzymes de glycolyse (**Metcalf, Eddy et al. 1979**).

A pH = 4.62 et 7.3, *Streptococcus thermophilus*S13 nécessite l'ATP beaucoup plus dans la maintenance que dans la croissance et la production, ce qui explique l'inhibition à des pH bas ou élevés(**Terre 1986**).

- les résultats de l'optimisation des paramètres de milieu de culture, montrent une meilleure croissance et production d'acide lactique à une concentration d'extrait de levure égale 1 %, tandis qu'il y a une diminution de croissance et de production au-delà ou bas de cette concentration. Donc pour augmenter le rendement de croissance et de production d'acide lactique, le lactosérum a été supplémenté par un extrait de levure car cette source azotée constitue une source de vitamines et de facteurs de croissance, et la concentration d'extrait de levure égale 1 % est la concentration optimale pour la production d'acide lactique (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**)

En conclusion ,la production d'acide lactique par *Streptococcus thermophilus* S13 en batch et à pH non contrôlé (pH libre) sous les conditions optimales (**Tableau 7**) : T = 42°C, pH = 6,42 ,Extrait de Levure = 1 % (10g/l), présente une amélioration marquée de la croissance et de la production d'acide lactique (**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**) .

La valorisation de lactosérum doux par fermentation lactique sert, d'une part, à limiter la pollution engendrée par ce sous - produit, d'autre part, à synthétiser un nouveau produit "Acide lactique" qui trouve une grande gamme d'application dans les domaines : alimentaire, pharmaceutique, cosmétique, textile....(**Boudjema, Fazouane-Naimi et al. 2009**)

Tableau 7 : Conditions Optimales de la production de l'acide lactique

Paramètres optimaux	Paramètres fixes
<ul style="list-style-type: none"> • T : 42°C • pH : 6,42 • EL: 1 % 	<ul style="list-style-type: none"> • Inoculum : 10 % (v/v) de préculture • Absence d'agitation et d'aération • Durée de fermentation : 24 h • Milieu de culture : 300 ml de lactosérum déproteiné et autoclavé

Chapitre 3 : La valorisation du lactosérum par incorporation dans des produits laitiers ;**raïb****DAHACHE Narimane et MESSAOUDI Thilleli.**

L'objectif de cette étude est la valorisation du lactosérum doux issu de la fabrication du fromage à pâte molle (camembert) dans la production du lait fermenté caillé raïb.

1. Matériel et méthodes

- Matériel pour les analyses physicochimique (Dessiccateur, PH mètre, Centrifugeuse),
- les Matériels pour les analyses bactériologiques (Bec benzène, Pipette pasteur, Boites pétri Etuve)
- Le Matériel expérimentale (Plaque chauffant, Balance, Pot Machine de conditionnement; Grande cuillère; Cocotte 6L ou récipient avec son couvercle pour la pasteurisation; Bécher 500ml.)

Les méthodes utilisées :

- Les analyses physicochimiques (Détermination de l'acidité titrable (AC), Dosage de la matière grasse, Mesure de la teneur en matière sèche totale, Mesure de la teneur en matière sèche dégraissée, La masse volumique (MV),) pour les matières premières et le produit fini.
- Les analyses bactériologiques (Préparation des dilutions, recherche et dénombrement de la flore mésophile totale: FAMT, Recherche des salmonelles, recherche et dénombrement des staphylococcus aureus) pour les matières premières et le produit fini.

Méthodologie de travail consiste a réalisé des essais à différents pourcentages de lactosérum comparé avec un témoin similaire au produit de l'unité

- Test n° 1 : 50% lait cru 25% lactosérum 25% lait reconstitué Raïb A
- Test n° 2 25% lait cru 50% lactosérum 25% lait reconstitué Raïb B
- Test n°3 (Témoin) : 100% lait de vache Raïb C

La fabrication de lait fermenté caillé avec de lactosérum nécessite l'ajoute de lait Reconstitué afin d'avoir un raïb similaire au raïb de lait de vache. La figure représente Procédé de fabrication.

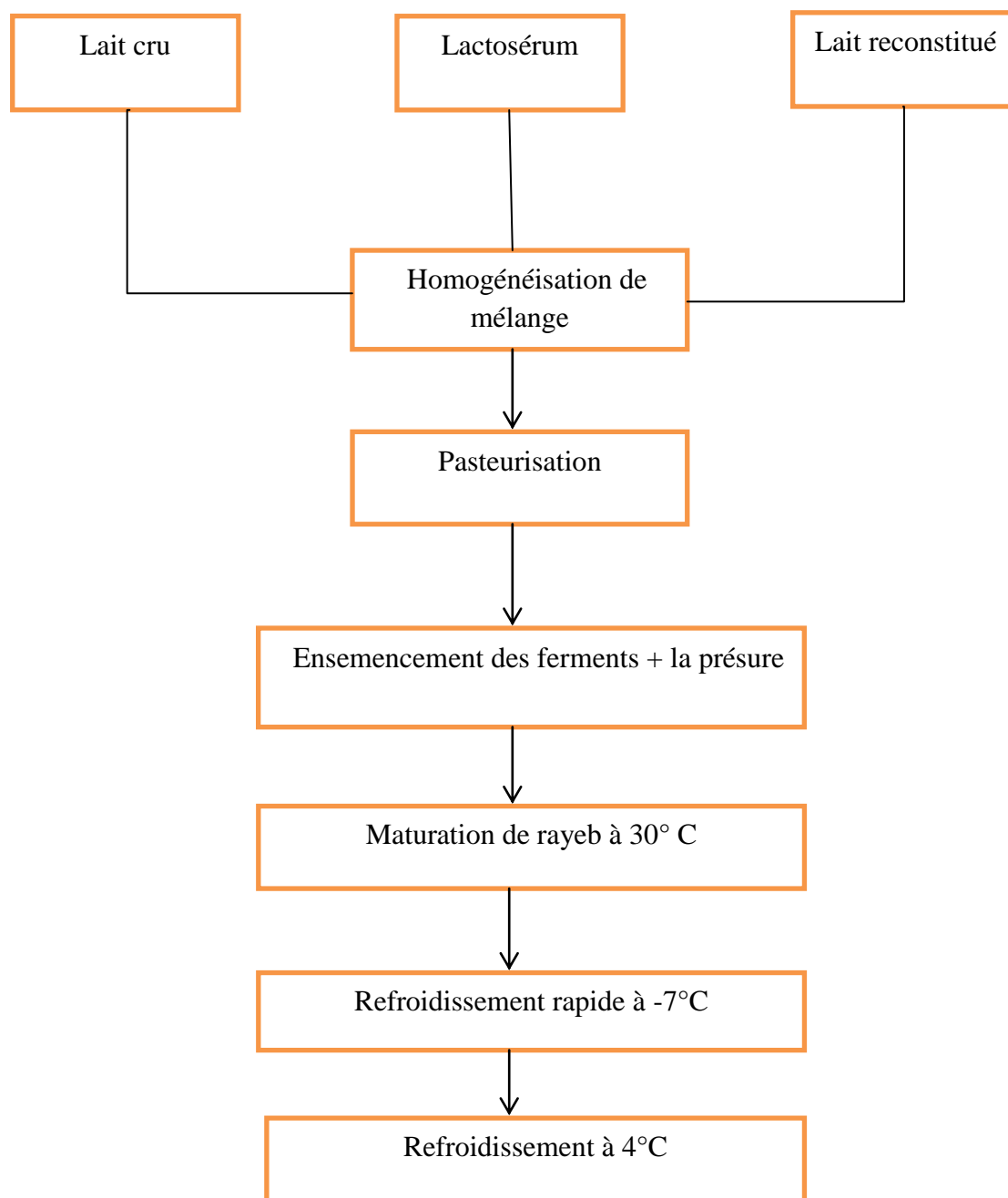


Figure n°3 : Diagramme de fabrication de raïb.

Après la fabrication des analyses physicochimique (pH, teste de maturité , microbiologiques et sensoriels ont été réalisé pour pouvoir valider le produits.

2. Résultats et discussion

2.1. Caractéristiques physico-chimiques de la matière première et de raïb

- Les résultats de l'analyse du lait qui se rapproche de la Norme **AFNOR** qui est de (pH=6.6 et les résultats de l'acidité, de matière grasse, de masse volumique, de l'extrait sec total et de l'extrait sec dégraissé donnent des valeurs égalent par ordre à : $16,83 \pm 1,2^{\circ}D$; $29,66 \pm 0,44$ g/l ; $1,026 \pm 0,0003$ g/l ; $11,073 \pm 0,4$ % ; $8 \pm 0,29$ %). ces résultats répondent à la **Norme AFNOR** : (AC=15 à $18^{\circ}D$; MV=1.027 à 1.032 ; MG=32 à 36 ; EST=12.3 à 12.5% ; ESD 8.75 à 9%). et lactosérum (pH et l'acidité $16,83 \pm 1,2^{\circ}D$ et $6,05 \pm 0,055$, l'extrait sec total noté 6 %) (**BENAISSA 2018**).
- Les valeurs pH et de l'acidité de raïb échantillon A et B sont proches des valeurs du raïb C (témoin), sauf la matière grasse et l'extrait sec total montre une différence significative après l'ajout du lactosérum.

Le pH et l'acidité sont pratiquement les même pour les matières avant la fermentation. Cependant qu'après la fermentation dans les produits finis le pH diminue à 4.6 environ et l'acidité augment pour les 3 types de raïb jusqu'à $59^{\circ}D$, La Masse Volumique des deux mélanges A et B en raison de l'ajout de lait reconstitué se rapproche de celle de lait.

La Matière grasse très important dans le lait, des traces dans le lactosérum car elle rentre dans la formation de caillé, plus importante dans le mélange B que le mélange A, cela peut être dû au lait et à l'alimentation des animaux, importante dans le raïb C par contre la Matière grasse de raïb A inférieure à celle de raïb B, L'extrait sec total et l'extrait sec dégraissé ont des valeurs très proches pour tous les produits seulement pour le lactosérum qui est de l'ordre de 6%.

2.2. Suivi de la maturation de raïb

Après l'ensemencement des ferments, les résultats montre la diminution du pH en fonction de temps , qui est dû à la dégradation de lactose en acide lactique par les bactéries lactiques mésophiles qui est plus lente pour me produit C suivi du produit A (25%) puis le produit B (50%) dont la dégradation est plus rapide .

2.3. Les caractéristiques bactériologiques de la matière première et de raïb

Afin d'assurer la qualité sanitaire de produit des séries d'analyses bactériologiques pour la matière première ainsi que le produit fini a été réalisé.

Les résultats obtenus indiquent que l'absence des conditions des hygiènes et les conditions de stockage pour chacun essai qui traduit par la présence des bactéries et tandis que ces conditions respecter pour des autres (l'absence des bactéries).

2.4. Caractéristiques sensorielles de raïb

Une dégustation du raïb a été réalisée afin de déterminer les principales caractéristiques sensorielles (goût, texture et saveur...) du chaque échantillon étudiée.

2.4.1 Test d'intensité

- **La synérèse** : la monté de lactosérum sur la surface du caillé était plus appréciable dans le A en premier lieux puis le produit C. le B était trop liquide donc la valorisation de 50% lactosérum est impossible dans le raïb avec cette recette.
- **L'amertume** : n'est pas été ressenti dans les deux produits A et C, par contre le B a marqué un arrière-gout légèrement amer donc le taux d'incorporation trop élevé.
- **La texture** : dans la bouche est lisse pour le A et le B et granulé pour le C (cela peut être dû à la pasteurisation artisanal de lait).
- **La couleur** : est blanchâtre dans le A et le B par contre le C contient une matière grasse Sur la surface à cause de la méthode de fabrication expérimentale (méthode nécessite un homogénéisateur).
- **Texture gélifie** : pour le C et le A et **coupé** pour le B (taux élevé de lactosérum).
- **Odeur** : apprécié dans le C, puis l'A ensuite le B.
- **Acidité** : plus apprécie l'acidité de produit A et C par apport à celle de l'échantillon B.

Le produit a enregistré des scores plus élevés comparés aux deux autres produits B et C ; le produit C enregistre un score meilleure en Terme de forme, néanmoins le score est assez rapproché.

2.4.2 Résultats du test de classement par rang

les dégustateurs choisissent le produit A pour le premier classement, le produit C pour le deuxième classement et le dernier classement pour le produit B.

Donc le raïb probablement préféré par les dégustateurs est celui qui est optimisé par 25% de Lactosérum.

3. Conclusion

L'essai de valorisation du lactosérum par son incorporation dans le Raïb, constitue une valeur ajoutée de ce produit fini vu sa richesse en éléments nutritifs. Le but de cette étude était de voir le pourcentage de lactosérum incorporée pour avoir un lait fermenté caillé.

D'après la somme des attributs, le Raïb produit par incorporation du lactosérum était de qualité presque identique avec le Raïb 100% lait. Le test de dégustation, basé sur la comparaison entre les deux produits à base de lactosérum et le Raïb à base de lait, qui montre que le produit de 25 % de lactosérum est proche de produit à 100% lait.

Au terme de cette étude, il faut dire que la production de lait caillé à base de lactosérum va enrichir le produit fini du point de vue nutritionnel en apportant des éléments de haute valeur nutritionnel. En plus ça fera l'objet d'une facilité d'élimination du lactosérum par les usines d'origine (fromageries) et constituera une relation gagnante avec l'industrie de fabrication de Raïb 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 microorganismes nuisibles dans l'environnement.

CONCLUSION

Conclusion

Les quantités produites par les fromageries ne cessent d'augmenter au fil des années, Dans ce contexte ce travail étudie la valorisation du lactosérum et les nouvelles technologies utilisées. Cela va servir d'une part à limiter le problème de pollution environnementale, et d'autre part à synthétiser une large gamme de produits en industrie Agroalimentaires.

La valorisation de lactosérum issu de l'industrie fromagère contribue au développement considérable :

Sur le plan écologique :

- ✓ La dépollution environnementale pour éviter de fortes perturbations de l'écosystème qui peut par ailleurs affecter les réserves d'eaux souterraines capté plus bas pour la consommation humaine

Et sur le plan économique qui rend par un gigantesque rendement financière reflété dans :

- Éventuelles création d'emploi.
- Fourni de produit local de bonne qualité.
- Récupération des protéines du lactosérum qui sont utilisées dans de nombreux domaines de l'industrie agroalimentaire, en particulier en tant que texturant, foisonnant ou ingrédient nutritionnel ainsi que le lactose qui est utilisé dans les usines agroalimentaire pour ses propriétés émulsifiants, agents dispersants et fixant.

Comme perspectives de ce travail, nous proposons :

- De déshydrater (soit par lyophilisation ou par un autre procédé) le lactosérum et de l'incorporer dans la préparation de différents types de fromages, de boissons aromatisées et du yaourt ;
- De lancer des recherches plus poussées sur les qualités fonctionnelles et sanitaires de ce produit mal connu et non valorisé par les Algériens ;
- Ensemencement de lait avec le lactosérum pour approvisionner les ferments. pour l'utilisation dans les autres industries comme l'industrie pharmaceutique par exemple.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références Bibliographique

Références bibliographiques :

- Aggad, H., F. Mahouz, et al. (2009).** "Evaluation de la qualité hygiénique du lait dans l'ouest algérien." *Rev Méd Vét* 160: 590-595.
- Alais, C. (1984).** "Produits laitiers divers." *Science du Lait: Principe des techniques laitières*, 4ème ed. Paris: Edition SEPAIC: 723-764.
- Alais, C. and G. Linden (1997).** "Abrégé de biochimie alimentaire. 4ème Edition Masson." Paris,(119-123).
- Alais, C., G. Linden, et al. (1991).** *Biochimie alimentaire*, Mason, Paris.
- ALVAREZ, S., M. LUCENA, et al. (2006).** *Betalactoglobulin removal from whey protein concentrates, Separation and Purification Technology*.
- Amiot, J., S. Fournier, et al. (2002).** "Chapitre 1: Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait; Vignola C, editor." *Science et Technologie du lait; transformation du lait*. C. L. Vignola, ed. Presses Internationales Polytechniques, Montréal, Québec: 1-73.2002.
- BENAISSA, M. (2018).** Valorisation du lactosérum pour les bactéries lactiques, Université d'Oran1-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.
- Blanc, B. (1982).** "Les protéines du lait à activité enzymatique et hormonale." *Le lait* 62(617-620): 350-395.
- Boudjema, K., F. Fazouane-Naimi, et al. (2009).** "Optimisation et modèle de production d'acide lactique par *Streptococcus thermophilus* sur lactosérum." *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*: 80-90.
- Brun, J.-P. (1989).** *Procédés de séparation par membranes: transport, techniques membranaires, applications*, Masson.
- Bylund, G. (1995).** "Dairy processing handbook. Tetra Pak processing systems AB."
- Calco, M. (1997).** Contribution à la valorisation des lactosérums industriels à l'aide des techniques de séparation par membranes.
- Carrillo-Reyes, J., L. B. Celis, et al. (2014).** "Decreasing methane production in hydrogenogenic UASB reactors fed with cheese whey." *Biomass and bioenergy* 63: 101-108.
- Chatterton, D. E., G. Smithers, et al. (2006).** "Bioactivity of β -lactoglobulin and α -lactalbumin—Technological implications for processing." *International Dairy Journal* 16(11): 1229-1240.

Références Bibliographique

- Cheftel, J. and D. Lorient (1982).** "Les propriétés fonctionnelles des protéines lactières et leur amélioration." *Le lait* 62(617-620): 435-483.
- Danthine, S., C. Blecker, et al. (2000).** "Évolution des connaissances sur la membrane du globule gras du lait: synthèse bibliographique." *Le Lait* 80(2): 209-222.
- DE, G. D. E. D. M. and R. C. E. DE (2009).** "LAITS ET PRODUITS LAITIERS."
- Elhadj, T., B. Samira, et al. (2015).** "Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de laits crus de vache dans deux fermes de la wilaya de Tissemsilt (Algérie)." *Revue ElWahat pour les Recherches et les Etudes* 8(2): 26-33.
- Emond, C. (2014).** "Développement de particules de lactosérum aux propriétés contrôlées par injection de vapeur."
- Fauquant, J., A. Pierre, et al. (1985).** "Clarification du lactosérum acide de caséinerie." *La technique laitière* 1003: 37-41.
- Favier, J.-C. (1985).** "Composition du lait de vache. II. Laits de consommation." *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 20(5): 355-363.
- Fernández, C., B. Carracedo, et al. (2014).** "Application of a packed bed reactor for the production of hydrogen from cheese whey permeate: effect of organic loading rate." *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 49(2): 210-217.
- Fernández-Gutiérrez, D., M. Veillette, et al. (2017).** "Biovalorization of saccharides derived from industrial wastes such as whey: a review." *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 16(1): 147-174.
- Fiaux, J. (2004).** "Système d'épuration du lactosérum d'alpage par culture fixée sur lit de compost." *Revue suisse Agric* 36(5): 220-224.
- Forkwa, G. E. (2017).** "Boissons fermentées de type yogourt à boire enrichies en protéines de lactosérum et en probiotiques."
- Fredot, E. (2005).** *Connaissance des aliments: [bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique]*, Tec et Doc.
- Gana, S. and A. Touzi (2001).** "Valorisation du lactosérum par la production de levures lactiques avec les procédés de fermentation discontinue et continue." *Rev. Energ. Ren* 1: 51-58.
- Gaucher, F. (2004).** "Dosage des principaux minéraux du lait et des produits laitiers [Détermination of minerals in milk and dairy products]." *Minéraux et produits laitiers [Minerals in dairy products]*. Tec & Doc Lavoisier, Paris, France: 794-795.
- GAUCHERON, F. and G. TANGUY (2009).** "Modifications de la qualité biochimique des laits et des produits laitiers par la technologie." *Rencontres autour des recherches sur les ruminants*(16): 131-134.

Références Bibliographique

- Génin, G. (1959).** "Le lactose et ses applications dans l'industrie alimentaire." *Le lait* 39(387): 394-401.
- Guetouache, M., B. Guessas, et al. (2014).** "Composition and nutritional value of raw milk." *Journal Issues ISSN 2350*: 1588.
- Guillou, H., J. Pelissier, et al. (1986).** "Méthodes de dosage des protéines du lait de vache." *Le lait* 66(2): 143-175.
- Guiraud, J. (2003).** "Microbiologie alimentaire; Application à l'étude des principaux groupes microbiens." *Food microbiology*.
- Guiraud, J.-P. (1998).** "La microbiologie alimentaire."
- Huffman, L. M. and L. de Barros Ferreira (2011).** "Whey-based ingredients." *Dairy ingredients for food processing 1*: 179-198.
- Ilboudo, A., A. Savadogo, et al. (2012).** "Place de la matière azotée dans le mécanisme de la coagulation présure du lait." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6(6): 6075-6087.
- Jeewanthi, R. K. C., N.-K. Lee, et al. (2015).** "Improved functional characteristics of whey protein hydrolysates in food industry." *Korean journal for food science of animal resources* 35(3): 350.
- Kosikowski, F. V. (1979).** "Whey utilization and whey products." *Journal of Dairy Science* 62(7): 1149-1160.
- Lortal, S. and J. Boudier (2011).** "La valorisation de la matière première lait, évolution passée et perspectives." *Innovations Agronomiques* (13): 1-12.
- Laham-Guillaume, M., G. Moulin, et al. (1979).** "Sélection de souches de levures en vue de la production d'alcool sur lactosérum." *Le Lait* 59(588): 489-496.
- Lapointe-Vignola, C. (2002).** *Science et technologie du lait: transformation du lait*, Presses inter Polytechnique.
- LECERF, J.-M. (2013).** "Les protéines laitières ont-elles des effets particuliers?: Protéines: de nouveaux concepts pour la clinique." *Correspondances en MHDN* 17(5): 140-147.
- Lee, D. and R. Merson (1976).** "Chemical treatments of cottage cheese whey to reduce fouling of ultrafiltration membranes." *Journal of Food Science* 41(4): 778-786.
- Levieux, D. (1999).** "Le colostrum, un lait particulièrement riche en de nombreux composants: peut-on en déceler la présence dans les livraisons de lait de vache?" *Le lait* 79(5): 465-488.
- Linden, G. and D. Lorient (1994).** "Agroindustrial biochemistry: upgrading the nutritive value of farm produce." *Agroindustrial biochemistry: upgrading the nutritive value of farm produce*.
- Lupien, J. (1998).** "Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine." *Collection FAO. Alimentation et Nutrition*.

Références Bibliographique

- Luquet, F. M. (1985).** "Laits et produits laitiers: vache, brebis, chevre. v. 1: Les laits: de la mamelle à la laiterie.-v. 2: Les produits laitiers: transformation et technologies.-v. 3: Qualité, énergie et tables de composition."
- Macwan, S. R., B. K. Dabhi, et al. (2016).** "Whey and its utilization." *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 5(8): 134-155.
- Madureira, A. R., C. I. Pereira, et al. (2007).** "Bovine whey proteins—Overview on their main biological properties." *Food Research International* 40(10): 1197-1211.
- Marwaha, S. and J. Kennedy (1988).** "Whey—pollution problem and potential utilization." *International journal of food science & technology* 23(4): 323-336.
- Mathieu, J. (1998).** *Initiation à la physicochimie du lait*, Lavoisier Tec & Doc.
- Maubois, J. and G. Brulé (1982).** "Utilisation des techniques à membrane pour la séparation, la purification et la fragmentation des protéines laitières." *Le Lait* 62(617-620): 484-510.
- McAuliffe, K., D. Scotter, et al. (1982).** "Casein whey wastewater effects on soil permeability." *Journal of Environmental Quality* 11(1): 31-34.
- McIntosh, G. H., P. J. Royle, et al. (1998).** "Whey proteins as functional food ingredients?" *International Dairy Journal* 8(5-6): 425-434.
- Meireles, M., P. Aimar, et al. (1992).** "Les techniques à membranes: micro et ultrafiltration." *Biofutur (Puteaux)*(111): 1-18.
- Meréo, M. (1971).** "Utilisations industrielles de serum de fromagerie." *Indus Aliment Agr.*
- Metcalf, L., H. P. Eddy, et al. (1979).** *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*, McGraw-Hill New York.
- Michel, A. (1986).** *Production de protéines de levures à partir de lactosérum brut*, Lyon 1.
- Michel, J., M. Pouliot, et al. (2002).** "Science technologie de lait." *Ecole polytechnique de Montréal*.
- Morr, C. V. and E. Ha (1993).** "Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties." *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 33(6): 431-476.
- Mulvihill, D. and P. Fox (1989).** "Physico-chemical and functional properties of milk proteins." *Developments in dairy chemistry* 4: 131-172.
- Panesar, P. S., J. F. Kennedy, et al. (2007).** "Bioutilisation of whey for lactic acid production." *Food chemistry* 105(1): 1-14.
- Pescuma, M., G. F. de Valdez, et al. (2015).** "Whey-derived valuable products obtained by microbial fermentation." *Applied microbiology and biotechnology* 99(15): 6183-6196.
- Pien, J. and S. Herschdoerfer (1935).** "Les saveurs et odeurs anormales du lait." *Le Lait* 15(141): 1-15.

Références Bibliographique

- Piot, M., J. Vachot, et al. (1987).** "Ecremage et epuration bacterienne du lait entier cru par microfiltration sur membrane en flux tangentiel." *Technique Laitière*(1016): 42-46.
- Poueme, N. (2006).** Contribution à l'étude de la qualité microbiologique du lait dans la filière artisanale au Sénégal, Thèse: Méd. Vét.: Dakar 23p.
- Prazeres, A. R., F. Carvalho, et al. (2012).** "Cheese whey management: A review." *Journal of environmental management* 110: 48-68.
- RHEOTEST, M. (2010).** Rhéomètre RHEOTEST® RN et viscosimètre à capillaire RHEOTEST® LK–Produits alimentaires et aromatisants http://www.rheoest.de/download/nahrungs_fr.pdf. REUMONT P.,(2009): Licencié, Kinésithérapie, <http://www.medisport.be>.
- Romain, J., C. Thomas, et al. (2008).** Les produits laitiers (2e ed.), Lavoisier.
- Rosso, L., J. Lobry, et al. (1995).** "Convenient model to describe the combined effects of temperature and pH on microbial growth." *Applied and environmental microbiology* 61(2): 610-616.
- Saulnier, F., M. Calco, et al. (1996).** "Composition minérale et organique de différents lactosérums acides industriels, analysée par électrophorèse capillaire." *Le Lait* 76(5): 423-432.
- Schuck, P., S. Bouhallab, et al. (2004).** "Séchage des lactosérums et dérivés: rôle du lactose et de la dynamique de l'eau." *Le Lait* 84(3): 243-268.
- Siso, M. G. (1996).** "The biotechnological utilization of cheese whey: a review." *Bioresource technology* 57(1): 1-11.
- Smithers, G. W. (2008).** "Whey and whey proteins—from 'gutter-to-gold'." *International Dairy Journal* 18(7): 695-704.
- SpĂlĂțelu, C. (2012).** "Biotechnological valorisation of whey." *Innovative Romanian Food Biotechnology*(10).
- Spreer, E. (1998).** Milk and dairy product technology, CRC Press.
- Swaisgood, H. (1992).** "Chemistry of the caseins." *Advanced dairy chemistry-1: Proteins*: 63-110.
- Tapernoux, A. (1943).** "Réflexions sur lâ législation française concernant les laits concentrés et les laits en poudre." *Le lait* 23(221_223): 1-15.
- Tekinsen, K. K., M. Elmali, et al. (2007).** "Microbiological quality of UHT milk consumed in Turkey." *Internet J. Food Safety* 7: 45-48.
- Terre, S. (1986).** "Proprietes technologiques nutritionnelles et physiologiques de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*." *Technique laitière et marketing*(1008): 26-39.
- Thiulin, G. and R. Vuillaume (1967).** "Éléments pratiques d'analyse et d'inspection du lait, de produits laitiers et des oeufs."

Références Bibliographique

Tremolieres, D. J. (1963). "Valeur alimentaire du lait." *Le Lait* 43(427): 384-389.

Trivino Arevalo, A. (2017). "Étude environnementale comparative des procédés de valorisation du lactosérum."

Van, Q. D., M. Focant, et al. (2008). "Influence of an increase in diet structure on milk conjugated linoleic acid content of cows fed extruded linseed." *Animal: an international journal of animal bioscience* 2(10): 1538.

Veisseyre, R. (1975). "Technologie du lait: constitution, recolte, traitement et transformation du lait 3."

Venetsaneas, N., G. Antonopoulou, et al. (2009). "Using cheese whey for hydrogen and methane generation in a two-stage continuous process with alternative pH controlling approaches." *Bioresource technology* 100(15): 3713-3717.

Vierling, E. (2008). "Aliments et boissons filières et produits. 3^{ème} édition Biosciences et techniques." Paris. pp: 15-16.

Violleau, V. (1999). Valorisation du lactosérum par électrodialyse, Thèse de doctorat. Montpellier.

Vrignaud, Y. (1983). "VALORISATION DU LACTOSERUM. UNE LONGUE HISTOIRE."

Yadav, J. S. S., S. Yan, et al. (2015). "Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides." *Biotechnology Advances* 33(6): 756-774.

ANNEXE

ANNEXE N°1 :



Contribution à la valorisation des lactosérums industriels à l'aide des techniques de séparation par membranes Michel Calco

► **To cite this version:**

Michel Calco. Contribution à la valorisation des lactosérums industriels à l'aide des techniques de séparation par membranes. Biochimie [q-bio.BM]. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 1997. Français. NNT : 1997NAN10287 . tel-01748597

HAL Id: tel-01748597

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01748597>

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

OPTIMISATION ET MODELE DE PRODUCTION D'ACIDE LACTIQUE PAR *STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS* SUR LACTOSERUM

Reçu le 22/09/2008 – Accepté le 27/04/2009

Résumé

Streptococcus thermophilus S13 est une souche de bactéries lactiques thermophiles et homolactique qui produit uniquement l'acide L (+) lactique. L'objectif de cette étude consiste en une optimisation des paramètres physicochimiques (température et pH) ainsi que le milieu de culture pour produire l'acide lactique par cette bactérie sur lactosérum doux déprotéiné et stérilisé. Les analyses physicochimiques de lactosérum ont montré que ce dernier présente une qualité adéquate. La température 42°C, pH=6.42, l'adjonction de 1% d'extrait de levure ont amélioré la croissance cellulaire ainsi que la production d'acide lactique où le taux de croissance maximal $\mu_m = 0.412 \text{ h}^{-1}$ et la vitesse moyenne d'acidification $v_m = 1.095 \text{ g/l.h}$. Cette fermentation a suivi le modèle de Luediking et Piret : $y = \alpha\mu + \beta$ ($\alpha = 5.1523$, $\beta = 0.0821$, $R^2 = 0.9326$) où elle a mis en évidence un léger découplage entre la croissance et la production d'acide lactique.

Mots clé : *Streptococcus thermophilus* S13, optimisation, production d'acide lactique. Lactosérum doux, modèle.

Abstract

Streptococcus thermophilus S13 is thermophilic and homolactic lactic acid bacteria strain which produces only L(+) lactic acid. The aim of this study consists of the optimization of physicochemical parameters (temperature and pH), and also the culture medium for producing lactic acid by this bacterium on deproteinized and sterilized sweet cheese whey. The physicochemical analysis of cheese whey showed that it presents a suitable quality. The temperature 42°C, pH = 6.42, adding about 1% of yeast extract improved the cell growth and also the lactic acid production where high specific growth rate $\mu_m = 0.412 \text{ h}^{-1}$ and high average rate of acidification $v_m = 1.095 \text{ g/l.h}$. This fermentation followed Luediking and Piret model: $y = \alpha\mu + \beta$ ($\alpha = 5.1523$, $\beta = 0.0821$, $R^2 = 0.9326$) where it showed the light dissociation between growth and lactic acid production.

Key words: *Streptococcus thermophilus* S13, optimization, lactic acid production sweet cheese whey, model.

K. BOUDJEMA¹

F. FAZOUANE-NAIMI¹

A. HELLAL²

A. MECHAKRA³

¹Département de biologie, Faculté des Sciences, Université de M'Hamed Bouguerra, Boumerdes, Algérie.

²Département de génie de l'environnement, Ecole Nationale Polytechnique El Harrach, Algérie.

³Laboratoire de Biologie et Environnement, Université Mentouri, Constantine, Algérie.

ANNEXE N°3 :

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITÉ AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA
TERRE DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE.



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGR/2019



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Domaine : SNV **Filière :** Sciences Agronomiques

Spécialité : Agroalimentaire et contrôle de qualité.

Présenté par : *DAHACHE Narimane et MESSAOUDI Thilleli.*

Thème

***LA VALORISATION DU LACTOSÉRUM PAR
INCORPORATION DANS DES PRODUITS LAITIERS.***

Soutenu le : 03 / 07 / 2019.

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
<i>M. LEKBAL Farouk</i>	MAA	Univ. de Bouira	Président
<i>Mme. DOUMANDJI Waffa</i>	MAA	Univ. de Bouira	Promotrice
<i>Mme. FERHOUM Fatiha</i>	MAA	Univ. de Bouira	Examinatrice

Année universitaire 2018/2019

Résumé :

Le lactosérum est un sous-produit de l'industrie fromagère, son rejet dans l'effluent serait à l'origine de pollution si n'est pas valoriser, cependant c'est un produit très riche en protéines, lactose et en vitamines donc son rejet constitue une perte économique énorme. Notre travail vise à l'étude de différentes méthodes et voie de valorisation de lactosérum. En premier lieu nous avons présentés quelques techniques de séparation par membranes qui permet la récupération de protéine soluble de lactosérum par l'ultrafiltration et la microfiltration membranaires. L'utilisation du lactosérum dans la production de l'acide lactique par la bactérie *Streptococcus thermophilus* a été aussi présentée dont les conditions optimales de production qui ont amélioré la croissance cellulaire et la production d'acide lactique sont : la température 42C°, le pH 6,42 et l'adjonction de 1% d'extrait de levure. En fin la valorisation de lactosérum par l'incorporation dans les produits laitiers (Raïb) a été aussi étudiée. Le Raïb produit par incorporation du lactosérum était de qualité presque identique avec le Raïb 100% lait. Le test de dégustation, basé sur la comparaison entre les deux produit à base de lactosérum et le Raïb à base de lait, qui montre que le produit de 25 % de lactosérum est proche de produit a 100 % lait.

Mots clés : Lactosérum, valorisation, protéines du lactosérum, ultrafiltration, technique membranaires, *Streptococcus thermophilus* S13, Optimisation, Raïb.

Abstract: Whey is a by-product of the cheese industry, its discharge into the effluent would cause pollution if not to value, however it is a product very rich in proteins, lactose and vitamins therefore its rejection constitutes a huge economic loss. Our work aims at the study of different methods and route of valorization of whey. In the first place, we have presented some techniques of separation by membranes, which allowed the recovery of soluble whey protein by ultrafiltration and membrane microfiltration. The use of whey in the production of lactic acid by the bacterium *Streptococcus thermophilus* was also presented whose optimal production conditions have improved cell growth and production are: temperature 42 C°, ph 6,42 and the addition of 1 of yeast extract. Finally, the valorization of whey by incorporation into dairy products was also studied. The tasting test, based on the comparison between the two products, shows that the product of 25 whey is close to 100 milk.

Key words: Whey, valorization, whey protein, ultrafiltration, membrane techniques, *Streptococcus thermophilus* S13, Optimization, Raïb

ملخص:

مصل اللبن هو منتج ثانوي لصناعة الجبن ، ويعد طرحه في النفايات السائلة مصدرًا للتلوث إذا لم يتم تثمينه، ومع ذلك فهو منتج غني جدا بالبروتينات واللاكتوز و الفيتامينات و بالتالي يشكل الرفض خسارة اقتصادية هائلة. يهدف عملنا إلى دراسة أساليب تعزيز مصّل اللبن التي تمثل تحدياً، فالطريقة الأولى تساهم في تقييم مصّل اللبن الصناعي باستخدام تقنيات فصل الأغشية، بما في ذلك استعادة بروتين مصّل اللبن القابل للذوبان من خلال الترشيح الدقيق، والطريقة الثانية هي استخدام مصّل اللبن في إنتاج حمض اللاكتيك بواسطة *Streptococcus thermophilus* بدرجة حرارة 42 درجة مئوية ودرجة الحموضة 6.42 و إضافة 1% من مستخلص الخميرة قد حسنت من نمو الخلايا وإنتاج حمض اللاكتيك، الطريقة الثالثة : هي تثمين مصّل اللبن من خلال الدمج في منتجات الألبان (الرايب)، التي ينتج عنها أن إنتاج الخثارة على أساس مصّل اللبن سيثري المنتج النهائي من وجهة النظر الغذائية من خلال توفير عناصر ذات قيمة غذائية عالية.

الكلمات المفتاحية:

مصل اللبن، تثمين، بروتين مصّل اللبن، الترشيح الفائق، تقنية الغشاء، تحسين، *Strptococcus thermophilus* S13، الرائب.