

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



Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques
Département d'Agronomie
Mémoire de fin de cycle
En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Alimentaires
Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

Etude théorique sur les différentes voies de valorisation du lactosérum dans les produits alimentaires

Présenté par :

M^{elle} HADJI Lynda et M^{elle} IASSAMEN Souad

Devant le jury :

Président:	M^r BENGANA M.	MCB	UMMTO
Examinatrice :	M^{me} REMANE Y.	MAA	UMMTO
Rapporteur :	M^{me} LAMMI-MEFIDENE S.	MCB	UMMTO

Remerciements

Au terme de ce travail, on tient à exprimer notre reconnaissance et nos sincères remerciements pour tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce manuscrit.

En premier lieu, Nous exprimons nos remerciements et gratitude à Mme Lammi, pour avoir encadré cette étude et de nous avoir guidée avec ses conseils et orientations.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à Mr Bengana pour avoir accepté de présider le jury et à Mme Remane pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Lynda et Souad

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

La mémoire de ma grand-mère Tassadit

Mes chers parents

Mes sœurs : Kahina, Malika, Katia

*Mes frères : Amar, Kamel, Jugurtha,
Nourreddine*

Mes nièces et neveux

*Toutes mes amies : Khelloudja, Cylia,
Kahina et Katia*

Mon binôme et amie : Souad

Lynda

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents

*Mes sœurs : Nadia, Lynda, Sadia, Kenza
et Kahina*

Mon frère Saïd

*Mes amies : Kahina, Khelloudja, Cylia et
Katia*

Mon amie et binôme Lynda

Souad

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Synthèse bibliographique

Introduction	1
I. Généralités sur le lactosérum	
I.1. Historique.....	2
I.2. Définition	2
I.3. Variétés	2
I.3.1. Lactosérum doux	3
I.3.2. Lactosérum acide.....	3
I.4. Composition	3
I.4.1. Lactose	4
I.4.2. Protéines	4
I.4.2.1. Protéines majeures	5
I.4.2.1.1. β -lactoglobuline	5
I.4.2.1.2. α -Lactalbumine	6
I.4.2.2. Protéines mineures.....	6
I.4.2.2.1. Immunoglobulines	6
I.4.2.2.2. Sérum albumine bovine (BSA).....	6
I.4.2.2.3. Protéases peptones	7
I.4.2.2.4. Glycomacropéptide (GMP).....	7
I.4.2.2.5. Lactoperoxydase	7
I.4.2.2.6. Lactoferrine	8
I.4.3. Minéraux	8
I.4.4. Matière grasse	8
I.4.5. Vitamines	9
I.5. Marché du lactosérum.....	9
I.6. Nécessité de valorisation du lactosérum	11
I.6.1. Propriétés fonctionnelles et nutritionnelles	11
I.6.1.1. Propriétés fonctionnelles	11

I.6.1.2. Propriétés nutritionnelles	12
I.6.2. Intérêt économique	12
I.6. 3. Problématique du lactosérum	13
II. Valorisation du lactosérum	
II.1. Procédés de traitement du lactosérum	14
II.1.1. Elimination de l'eau.....	15
II.1.2. Extraction des protéines sériques	16
II.1.3. Elimination des minéraux	16
II.1.4. Extraction du lactose.....	16
II.2. Produits de traitement du lactosérum	16
II.2.1. Poudre de lactosérum.....	18
II.2.2. Concentrés de protéines sériques (CPL) et isolats de protéines sériques (IPL).....	18
II.2.3. Hydrolysats protéiques du lactosérum (HPL).....	18
II.2.4. Protéines individuelles	18
II.2.5. Lactose	19
II.3. Utilisation du lactosérum et de ses constituants	19
II.3.1. Usage agricole.....	19
II.3.2. Usage en biotechnologie	19
II.3.3. Usage alimentaire.....	19
II.3.3.1. Industrie laitière.....	20
II.3.3.2. En fromagerie	20
II.3.3.3. Industrie des boissons.....	20
II.3.3.4. Dans les crèmes glacées	20
II.3.3.5. En boulangerie.....	21
II.3.3.6. En pâtisserie	21
II.3.3.7. En confiserie.....	21
II.3.3.8. Dans la viande et les produits carnés.....	22
II.3.3.9. Dans les produits diététiques et infantiles	22
II.3.3.10. Autres utilisations.....	22
III. Evaluation et analyse des voies de valorisation du lactosérum	
III.1. Applications industrielles des différents ingrédients de lactosérum	24
III.1.1. Produits laitiers	24
III.1.1.1. Yaourts.....	25

III.1.1.2. Crèmes glacées.....	26
III.1.1.3. Fromages.....	27
III.1.2. Préparations pour nourrissons et aliments diététiques.....	28
III.1.2.1. Préparations pour nourrissons.....	28
III.1.2.2. Aliments diététiques.....	29
III.1.3. Boissons.....	30
III.1.4. En boulangerie, biscuiterie et pâtisserie.....	32
III.1.5. En confiserie.....	35
III.1.6. Viandes et produits carnés.....	36
III.1.7. Autres produits.....	37
III.2. Valorisations non appliquées industriellement.....	37
Conclusion et perspectives.....	39

Références bibliographiques

Résumé

Liste des abréviations

%: Pourcentage

°D: Degré Dornic

ADPI: American Dairy Products Institute

BCAA: Branched chain amino acid

BSA : Bovin sérum albumine

CASEINE K: Caséine kappa

CPL: Concentré des protéines de lactosérum

DBO : Demande biochimique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

DWI: Demineralized whey powder

FAO: food agricultural organization

GMP: Glycomacropéptide

HPL : hydrolysate protéique du lactosérum

Ig : Immunoglobuline

IPL : Isolat de protéine du lactosérum

Kg : Kilogramme

KT : Kilotonne

L : Litre

MG : Matière grasse

Mg : Milligramme

ml : millilitre

MS : Matière sèche

ONU : Organisation des Nations Unies.

pH : Potentiel d'hydrogène

pHi : potentiel d'hydrogène isoélectrique

SH: sulfure d'hydrogène

Tip : Tropicalizer

UE: Union européenne

UF: Ultrafiltration

USA: United State of America

WP: Whey powder

WPC: Whey protein concentrate

WPI: Whey protein isolate

α -LA : α Lactalbumine

β -LG : β Lactoglobuline

Liste des tableaux

Tableau I : composition moyenne du lactosérum.....	4
Tableau II : les bienfaits des protéines du lactosérum.....	5
Tableau III : les propriétés fonctionnelles du lactosérum.....	11
Tableau IV : les critères typiques des différents ingrédients du lactosérum.....	17
Tableau V : comparaison entre la composition du lait et du lactosérum.....	24
Tableau VI : les propriétés fonctionnelles des ingrédients du lactosérum, leurs effets et intérêts sur les crèmes glacées.....	26
Tableau VII : les proportions des ingrédients du lactosérum à ajouter dans les préparations de fromage.....	27
Tableau VIII : composition approximative de lait de vache, du lait maternel et des formulations pour nourrissons à base de lactosérum.....	29
Tableau IX : les proportions en produits de lactosérum recommandés en boulangerie, pâtisserie et biscuiterie.....	33
Tableau X : composition et avantages des ingrédients du lactosérum sur les produits de boulangerie, biscuiterie et pâtisserie.....	34
Tableau XI : les teneurs des produits du lactosérum dans certains produits de confiserie.....	35
Tableau XII : les propriétés fonctionnelles des protéines sériques et leurs effets sur la viande.....	36

Liste des figures

Figure 1 : Production mondiale des ingrédients de lactosérum.....	9
Figure 2 : Les principaux pays exportateurs de poudre de lactosérum.....	10
Figure 3 : Les principaux pays importateurs de poudre de lactosérum.....	10
Figure 4 : Procédés d'extractions des différents constituants du lactosérum.....	15
Figure 5 : Classement des utilisations du lactosérum dans les différents produits alimentaires selon leur importance.....	23
Figure 6 : Cycle de valorisation du lactosérum.....	25

Introduction

Le lait et les produits laitiers occupent une place prépondérante dans le régime alimentaire mondial. Le lait est une source unique de protéine de haute qualité présentant des propriétés incomparables, tant sur le plan nutritionnel que sur le plan techno-fonctionnel (Jouan, 2002). Sa transformation en fromage engendre un sous-produit qui est « le lactosérum » (Smith, 2008).

Le lactosérum est l'un des exemples le plus typique de la transformation d'un sous-produit du lait en matière première. Ceci est dû d'une part à une demande biochimique d'oxygène (D.B.O.) considérable qui interdit son élimination dans les rivières et d'autre part, à la grande valeur nutritive de ses protéines (Racotta et *al.*, 1978). Plusieurs solutions technologiques sont disponibles afin de disposer de ce rejet. Ces technologies sont basées sur le fractionnement et la récupération de protéines sériques et le traitement de lactose contenu dans le perméat généré (Mahmoudi, 2014).

La composition du lactosérum en protéines de haute qualité et en lactose permet son application dans divers domaines tels que l'alimentation infantile et diététique, dans les produits de cuisson, en fromagerie, en charcuterie et d'autres produits mais aussi en biotechnologie, pharmacie, cosmétologie et en alimentation animale (De Wit, 2001).

Notre travail consiste à faire une synthèse des différentes données de littérature autour du lactosérum, en mettant l'accent sur ses différentes voies de valorisation, notamment dans le domaine agroalimentaire.

Synthèse bibliographique

Partie I :
Généralités sur le
lactosérum

I.1. Historique

Le lactosérum est un produit découvert il y a plus de 3000 ans avant Jésus-Christ, par des Bédouins lors du transport de lait : l'acidification et la coagulation par la chaleur provoquaient la formation d'une phase liquide au-dessus d'un caillé de lait (De Wit, 2001). En 460 ans avant Jésus-Christ, Hippocrate prescrivait du lactosérum à ses patients pour améliorer leur système immunitaire, et pour guérir des maladies gastro-intestinales et cutanées (Heffernan, 2015; Smithers, 2015; Susli, 1956). La consommation du lactosérum est devenue une habitude à la mode à partir du XVII^e siècle en Europe (Holsinger, 1978).

Au début du XX^{ème} siècle, l'augmentation de la production du fromage et des caséines a conduit à la production de fortes quantités de lactosérum (Guo, 2019). Le rejet de ce dernier dans les rivières a causé des dégâts environnementaux ce qui est devenu un problème pour les industriels. La concentration et le séchage du lactosérum liquide pour le conserver ou faciliter son transport étaient les premières tentatives de valorisation de ce sous-produit (Guo, 2019). La 1^{ère} réussite était en 1908, quand Merell a réussi d'obtenir de la poudre du lactosérum doux par atomisation (Merell, 1911). Due au manque de moyens technologiques de récupération et de purification des protéines du lactosérum, les utilisations de ce sous-produit étaient limitées en alimentation animale et dans la formulation d'aliments infantiles (pour sa teneur élevée en lactose) mais aussi dans la boulangerie et confiserie (Berry, 1923). Le développement du procédé de filtration membranaire en 1970, a permis une meilleure extraction des différents constituants du lactosérum (Guo, 2019).

I.2. Définition

Le lactosérum est un liquide jaune verdâtre translucide qui se sépare du caillé après la coagulation du lait, durant la fabrication du fromage et de la caséine. Avec la nouvelle technologie, le lactosérum et les fractions du lactosérum sont devenues des ingrédients alimentaires forts importants et polyvalents (Beverley, 2002). Il peut être défini comme étant un lait privé de caséine (Imbert-Pondaven, 1977).

I.3. Variétés

Selon le type de fromage et la technologie mise en œuvre pour sa production, on distingue généralement deux variétés :

I.3.1. Lactosérum doux

Il est obtenu par la coagulation du lait sous l'action de la présure (coagulation enzymatique), lors de la fabrication des fromages à pâte pressée cuite ou non. Le pH de ce lactosérum varie entre 5.2 et 6.7 et le degré d'acidité est inférieur à 18°D, il se caractérise par une plus grande richesse en lactose et une faible teneur en calcium et phosphore (Adrian et *al.*, 1995).

I.3.2. Lactosérum acide

C'est le sérum provenant des caséineries et de la fabrication des fromages à pâte fraîche et à pâte molle obtenue par coagulation lactique ou mixte. Le pH de ce lactosérum peut aller de 3.8 à 4.6, et le degré d'acidité est supérieur à 18°D. Il est plus riche que le lactosérum doux en acide lactique et en minéraux notamment, le calcium et le phosphore du fait de la déminéralisation de la micelle de caséine (Boudier et Luquet, 1989).

I.4. Composition

Les caractéristiques des différents types de sérum dépendent de la qualité du lait mis en œuvre, de la technologie fromagère utilisée et des traitements subis par le sérum après séparation, ainsi que des conditions de collecte, de stockage et de transport (Chaput, 1981). Le tableau (I), présente la composition moyenne des lactosérums doux et acides.

Tableau I : composition moyenne du lactosérum doux et acide (Linden et Lorient, 1994 ; Morr et 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
MG	0.07	0.03
Acide lactique	0.15	0.55
Cendres	0.53	0.69
Calcium	0.05	0.13
Sodium	0.07	0.06
Potassium	0.13	0.15
Phosphore	0.06	0.09

I.4.1. Lactose

Le lactose est le constituant le plus abondant du lait, il représente l'essentiel de la matière sèche du sérum, c'est un sucre réducteur de formule $C_{12}H_{22}O_{11}$. Il est formé de l'union d'une molécule de β -D galactose et d'une molécule de β -D glucose ; par une liaison osidique 1-4. Cette richesse en lactose en fait un auxiliaire dans le brunissement non enzymatique ou la réaction de Maillard quand il est associé aux protéines du sérum, mais surtout il constitue un très bon support d'arôme et absorbeur de pigments (Luquet, 1990).

I.4.2. Protéines

Les protéines du lactosérum constituent 20 % de la totalité des protéines contenues dans le lait (De Wit, 1981; Morr, 1982). Elles sont composées de plusieurs types de protéines qui diffèrent significativement dans leurs propriétés moléculaires, physiques et fonctionnelles (De Wit et Hontelez-Backx, 1981 ; De Wit, 1981; Swartz et Wong, 1985).

Cependant, ces protéines possèdent certaines similitudes comme leur structure globulaire et leur solubilité à pH 4.6 (Swartz et Wong, 1985). Elles présentent plusieurs propriétés qui sont capables de prévenir plusieurs maladies et d'améliorer l'immunité (Marshall, 2004) comme le démontre le tableau (II).

Tableau II : les bienfaits des protéines du lactosérum (Marshall, 2004)

Les protéines du lactosérum	La teneur (%)	Les bienfaits
β-lactoglobuline	50-55	Source d'acides aminés essentiels et d'acides aminés à chaîne ramifiée
α-lactalbumine	20-25	Principale protéines du lait humain Source d'acides aminés essentiels et d'acides aminés à chaîne ramifiée
Immunoglobulines	10-15	Principale protéines du colostrum Responsable de l'immunité
Lactoferrine	1-2	Antioxydant- antibactérien antiviral- antifongique Permet le développement de bactéries bénéfiques
Lactoperoxydase	0.50	Inhibe le développement des bactéries
BSA	5-10	Source d'acides aminés
GMP	10-15	Source d'acides aminés à chaîne ramifiée

I.4.2.1. Protéines majeures

La β -Lactoglobuline et l' α -Lactalbumine sont les protéines majeures du Lactosérum. Les autres protéines du lactosérum sont considérées comme mineures. Contrairement à la sérum albumine bovine et aux immunoglobulines qui proviennent du compartiment sanguin, ces deux protéines du lait sont synthétisées par la glande mammaire de la vache (Cayot et Lorient, 1998 ; De Wit, 1981).

I.4.2.1.1. β -lactoglobuline

La β -lactoglobuline est quantitativement la plus importante en constituant environ 50% de la totalité des protéines du lactosérum (Kristiansen et *al.*, 1998 ; Mulvihill et Kinsella, 1987; Nielsen et *al.*, 1996 ;). Sur le plan qualitatif également, cette protéine exerce surtout lors

des traitements thermiques, une influence marquée sur le comportement fonctionnel des autres protéines. En effet, du fait qu'elle possède un groupe SH libre, la β -lactoglobuline réagit lors du chauffage avec d'autres protéines du lactosérum via possiblement la formation d'échange de ponts disulfure [-S-S-] (Cayot et Lorient, 1998 ; De Wit et Hontelez-Backx, 1981 ; De Wit, 1981).

La β -lactoglobuline a reçu beaucoup d'intérêt en faisant l'objet de nombreuses études à cause de son abondance dans le lactosérum et ses excellentes propriétés nutritionnelles et fonctionnelles (Morgan et *al.*, 1999).

I.4.2.1.2. α -Lactalbumine

Après la β -lactoglobuline, la protéine la plus importante dans le lactosérum est l' α -lactalbumine, l'une des plus petites de toutes les protéines avec 123 résidus d'acides aminés (De Wit et Hontelez-Backx, 1981). Il s'agit d'une métalloprotéine dont la structure est fortement ordonnée par des ponts disulfures au nombre de 4, et rigidifiée par la présence d'un ion calcium associé au cœur de la protéine (Roufik, 2001).

Qualitativement le rôle de l' α -lactalbumine dans les caractéristiques fonctionnelles du lactosérum est moins important, entre autres, à cause de son grand pouvoir de régénération après chauffage, ce qui fait d'elle la protéine du lactosérum la plus stable envers les traitements thermiques mais sa résistance peut, toutefois, être affectée par la présence de la β -lactoglobuline pendant le chauffage (De Wit, 1981).

I.4.2.2. Protéines mineures

Ces protéines sont jugées mineures dans le lait sur un critère quantitatif. Leur présence s'avère dans bien des cas, non négligeable (Cayot et Lorient, 1998).

La lactoferrine, la lactoperoxydase, la phosphatase alcaline, la catalase, la sulfhydryle oxydase, le lysozyme, la plasmine, les immunoglobulines, la sérum albumine bovine (BSA), les protéases-peptones et le GMP font tous partie des constituants protéiques mineures du lactosérum (Roufik, 2001).

I.4.2.2.1. Immunoglobulines

Ce sont des glycoprotéines de haut poids moléculaire responsable de l'immunité. On distingue trois grandes classes d'immunoglobulines : IgA, IgG, IgM. Elles sont très

abondantes dans le colostrum. Les immunoglobulines sont les protéines du lactosérum les plus sensibles à la dénaturation thermique (Thapon, 2005).

I.4.2.2.2. Sérum albumine bovine (BSA)

La BSA est assez semblable, thermiquement, à la β -lactoglobuline. Comme cette dernière, elle possède un groupement SH libre par molécule sur le résidu 34 (Kinsella et Whitehead, 1989) et se distingue donc à ce titre des autres protéines sériques (De Wit, 1981). Elle est constituée de 582 résidus d'acides aminés et structurée grâce à 17 ponts disulfures intramoléculaires (Cayot et Lorient, 1998). Cependant, vu sa faible concentration dans le lait, ses incidences technologiques sont moins évidentes que pour la β -lactoglobuline (De Wit, 1981).

I.4.2.2.3. Protéases peptones

Ce sont des peptides issus de la protéolyse par la plasmine de la caséine β (Debry, 2001). Ils font partie d'une fraction formée par un mélange de composés azotés thermostables et solubles à leur point isoélectrique (Roufik, 2001). Ces peptides ont un excellent pouvoir moussant (Cayot et Lorient, 1998).

I.4.2.2.4. Glycomacropéptide (GMP)

Le GMP est un fragment peptidique correspondant aux résidus (106-169) de la caséine κ obtenu suite à l'hydrolyse de celle-ci après emprésurage du lait par la chymosine. Le GMP est très soluble dans l'eau à cause de sa nature très hydrophile (Cayot et Lorient, 1998) et demeure dans le lactosérum après coagulation du lait (Zydney, 1998).

I.4.2.2.5. Lactoperoxydase

Elle appartient au groupe des glycoprotéines. Elle possède un atome de fer par molécule. Son taux est de 0.07g/l de lactosérum avec un poids moléculaire de 78000 daltons et son pHi est de 8.1. Cette protéine possède un pouvoir bactéricide sur les Grams négatifs (Jouan, 2002).

Au cours du processus de pasteurisation, la lactoperoxydase n'est pas inactivée, suggérant sa stabilité en tant que conservateur (Marshall, 2004).

I.4.2.2.6. Lactoferrine

La Lactoferrine, une glycoprotéine liant le fer, est un antioxydant non enzymatique présent dans le lactosérum du lait ainsi que dans le colostrum. La Lactoferrine du lactosérum est constituée d'environ 689 résidus d'acides aminés, tandis que la Lactoferrine humaine est constituée de 691 résidus (Pierce et *al.*, 1991). Quand elle est appauvrie en fer (contenant moins de 5% de fer), est appelée Apolactoferrine. Cette dernière est présente dans le lait maternel (Steijns et Van Hooijdonk, 2000).

La concentration de Lactoferrine dans le lait humain et le colostrum est d'environ 2 mg/ml et 7 mg/ ml, respectivement, tandis que dans le lait bovin et le colostrum, elle est d'environ 0,2 mg/ml et 1,5 mg/ ml, respectivement (Levay et Viljoen, 1995). Toutefois, la concentration dans la plupart des poudres commerciales de protéines de lactosérum n'est que de 0,35 à 2,0% des protéines totales (Marshall, 2004).

I.4.3. Minéraux

Selon certaines pratiques fromagères, il y'a ajout de sel, ce dernier avec toutes les matières minérales en solution dans le lait se retrouve dans le lactosérum. Les 8 à 10 % des matières salines de l'extrait sec de sérum sont constitués pour plus de 50% de chlorures de sodium et de potassium et pour le reste de différents sels de calcium, principalement sous forme de phosphate de calcium (Vrignaud, 1983).

D'après Mereo (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 surtout dans l'alimentation infantile). Il est donc avantageux de déminéraliser le sérum partiellement grâce à des techniques physico-chimiques, telle que l'électrodialyse (Linden et Lorient, 1994).

I.4.4. Matière grasse

Une certaine quantité de lipides du lait est entraînée dans le lactosérum brut. Cependant, cette quantité est faible. Le plus souvent, dans les traitements industriels, le lactosérum est écrémé ; la matière ainsi récupérée est utilisée dans la fabrication d'un beurre de second choix (Boudier et Luquet, 1989).

I.4.5. Vitamines

Les vitamines du lactosérum sont hydrosolubles, parmi lesquelles, on note des quantités importantes de riboflavine (B2) qui donne la couleur jaune verdâtre du lactosérum, d'acide pantothénique (B5), de thiamine (B1), de pyridoxine (B6) et l'acide ascorbique (Woo, 2002).

I.5. Marché du lactosérum

Le marché du lactosérum doux a connu une croissance significative en raison de plusieurs facteurs, tels que la prise de conscience croissante des avantages pour la santé offerts par les constituants du lactosérum et l'augmentation de la conscience sanitaire des consommateurs (Tip, 2020).

Les principaux ingrédients issus du lactosérum sont dominés par les poudres de lactosérum suivi du lactose et du perméat puis viennent les autres produits avec des taux moins importants mais qui tendent à augmenter (Affertsholt et Pedersen, 2017). Comme le démontre la figure suivante :

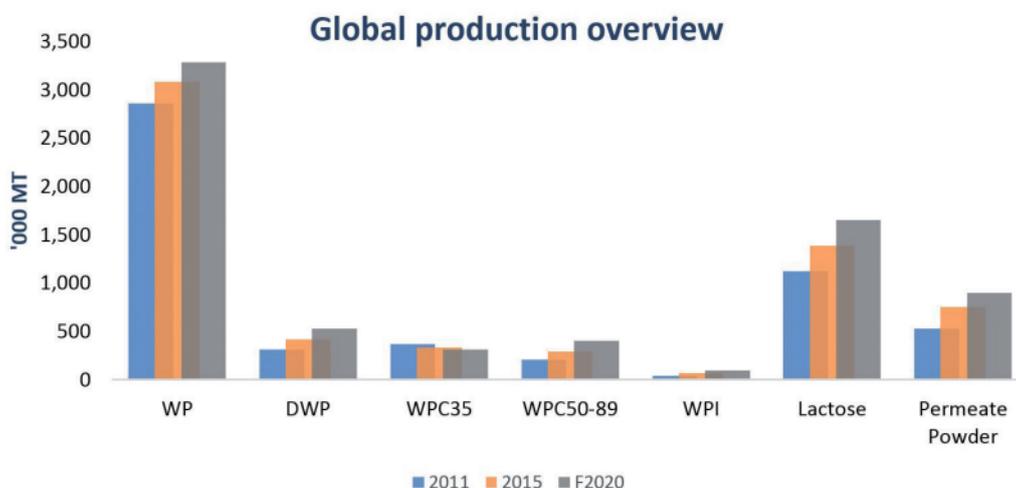


Figure 1 : production mondiale des ingrédients de lactosérum (Affertsholt et Pedersen, 2017).

Les 5 pays exportateurs de poudre de lactosérum fournissent 85% de ce produit. Les deux principaux exportateurs sont l'UE et les USA. Alors que les 10 pays importateurs sont situés en Asie avec la Chine en tête de classement. Ils importent 75% de lactosérum (You, 2018). Les figures 2 et 3 présentent les différents pays exportateurs et importateurs dans le monde.



Figure 2 : les principaux pays exportateurs de poudre de lactosérum (You, 2018)

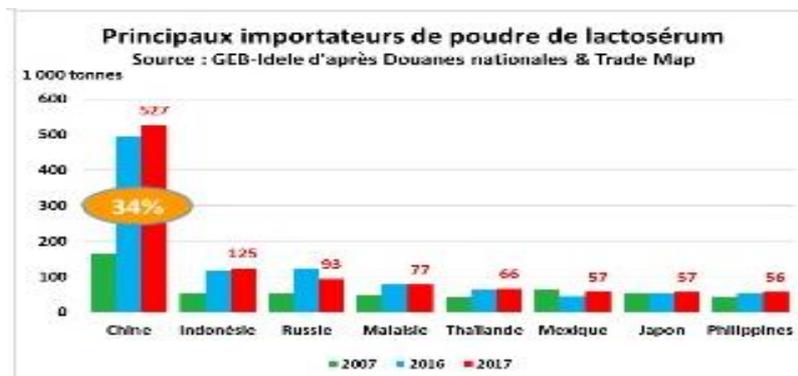


Figure 3 : les principaux pays importateurs de poudre de lactosérum (You, 2018)

Les principaux acteurs du marché sont Eurosérum, Lactalis ingrédients, Wheyco, Leprino Food, Saputo ingrédients, Agropur, Arla food, Hilmar ingrédients, Milky whey ... (Tip, 2020).

Des tendances à la baisse des prix sont constatées sur le marché des poudres de lactosérum depuis la pandémie de coronavirus (Pelabon, 2020).

Depuis 2013, la production Algérienne de fromage est de 1540 tonnes, ce qui se traduit par une production d'environ 14 millions de litres de lactosérum (FAO-ONU, 2017).

L'Algérie a importé en 2017 environ 2343 tonnes de poudres de lactosérum avec une facture de deux millions d'euro (Belattar, 2018).

I.6. Nécessité de valorisation du lactosérum

Le lactosérum, coproduit de l'industrie fromagère présente plusieurs avantages grâce à ses propriétés techno-fonctionnelles et nutritionnelles. Il constitue pour l'industriel un enjeu économique et écologique.

I.6.1. Propriétés fonctionnelles et nutritionnelles

Les propriétés fonctionnelles et nutritionnelles du lactosérum sont liées au lactose et aux protéines (Lupin, 1998).

I.6.1.1. Propriétés fonctionnelles

Les protéines sériques présentent d'excellentes propriétés fonctionnelles telles que la gélification, stabilité vis-à-vis des traitements thermiques, formation de mousse et émulsification (Ramos et *al.*, 2016).

Le lactose est un facteur favorable aux réactions de caramélisation et réaction de Maillard, c'est un très bon support d'arôme et un bon substrat de culture pour les ferments de maturation (Sottiez, 1985). Le tableau ci-dessous, résume les propriétés fonctionnelles du lactosérum.

Tableau III : Les propriétés fonctionnelles du lactosérum (Woo, 2002).

Propriétés fonctionnelles	Modes d'action	Produits alimentaires
Solubilité/ hydratation	Les protéines lient/ retiennent l'eau	Viandes, boissons, pain, gâteaux, saucisses
Gélification/ viscosité	Formation matricielle des protéines et l'épaississement	Vinaigrettes, soupes, fromage épais, aliments faits au four, sauces, viandes
Pouvoir émulsifiant	Les protéines stabilisent les émulsions de matière grasse	Saucisse, soupes, gâteaux, vinaigrette Aliments pour enfants
Pouvoir moussant /fouettant	Les protéines forment une pellicule stable	Gâteaux, desserts
Brunissement Couleur/saveur	Le lactose subit une réaction de caramélisation	Confiserie, viandes, sauces Aliments faits au four, soupes

I.6.1.2. Propriétés nutritionnelles

Le lactosérum est un produit intéressant par ses teneurs en protéines riches en acides aminés indispensables tels que la lysine, le tryptophane (précurseur de neuro-hormones telles que la sérotonine), la cystéine (précurseur de la synthèse du glutathion, tri-peptide qui représente l'antioxydant majoritaire des cellules) et les acides aminés à chaîne ramifiée (BCAA) : leucine, isoleucine et valine ; nécessaires à la régénération des muscles (Gryson et *al.*, 2008).

La consommation de protéines de lactosérum avant un repas pourrait contribuer à améliorer le contrôle glycémique chez des patients atteints de diabète de type 2 (Jakubowicz et *al.*, 2014).

Les protéines sériques abaissent la pression artérielle chez les personnes hypertendues (Fluegel et *al.*, 2010) et permettent de contrôler le poids corporel en réduisant l'appétit, la prise alimentaire et de ce fait l'apport énergétique (Zafar et *al.*, 2013) et sont donc une excellente source de protéines pour les personnes qui pratiquent le culturisme, les athlètes ou les personnes présentant des problèmes de santé comme le surpoids (Ha et Zemel, 2003).

Des peptides bioactifs sont retrouvés dans toutes les protéines laitières. (Gagnaire et *al.*, 2001).

Le lactose permet la stabilisation du pH intestinal d'où une utilisation digestive du calcium et évite l'installation de flores putréfiantes (Sottiez, 1990). C'est un constituant essentiel des cérébrosides composant les tissus nerveux (Gerard et Debry, 2001).

I.6.2. Intérêt économique

La valorisation du lactosérum en différents produits réduira la dépendance des pays vis-à-vis des importations, ce qui conduira à d'importants gains économiques et rafraîchit l'économie par de nouvelles perspectives et de nouveaux investissements (Srinath et Swaroopa, 2017).

De plus, il permet la création d'emplois et la fabrication de produits à haute valeur ajoutée (Bardy et *al.*, 2016).

I.6. 3. Problématique du lactosérum

Le lactosérum représente un problème environnemental important en raison des volumes élevés produits et de sa forte teneur en matière organique (Jorge et *al.*, 2006), car il présente une forte demande biochimique en oxygène (DBO) et une forte demande chimique en oxygène (DCO) environ 50g.l^{-1} et 80g.l^{-1} respectivement (Kennedy et Marwaha, 1988).

Selon la FAO (2011), la production mondiale de fromage a été estimée à 19670 kT en 2010, ce qui a engendré environ 177028 kT de lactosérum en tant que sous-produit. Le taux de croissance annuelle est estimé à 1.64%, entraînant environ 211500 kT de lactosérum en 2020.

Le perméat du lactosérum représente aussi un problème environnemental majeur puisqu'il retient la partie majeure de lactose et 70% des solides totaux de lactosérum. Le rejet de 100 tonnes de lactosérum correspondrait à une charge organique équivalente à celle rejetée par une ville comptant 55000 habitants (Sienkiewicz et Riedel, 1990).

Le transport du lactosérum n'est pas rentable en raison de sa forte teneur en eau. Le séchage du lactosérum nécessite un important investissement en capital, consomme beaucoup d'énergie et n'est pas économiquement rentable (Bernstein et Everson, 1973 ; Keller et Gerhardt, 1975).

Partie II :
Valorisation du
lactosérum

Plusieurs technologies de valorisation du lactosérum ont été développées pour récupérer les protéines sériques, le séchage du lactosérum et l'utilisation du lactose (Kosikowski, 1979 ; Macrae et *al.*, 1993 ; Pearce, 1992). Il est très difficile de définir un processus standard de traitement de lactosérum, une adaptation est toujours nécessaire en fonction de la qualité de la matière première, de l'équipement des ateliers et de la destination finale du produit (Longuet, 1977).

Cependant, les lactosérums doux sont les plus commercialisés dans le monde (Guo, 2019), car ils sont plus facilement valorisables industriellement que les lactosérums acides, qui posent plus de difficultés lors du séchage (Schuck et *al.*, 2004). Ceci est dû en partie à la forte minéralisation (de 12 à 20 % de MS) (Pearce, 1992), à la variabilité de la composition des sérums acides due à la diversité des technologies de fabrication fromagère (Alais, 1984 ; Saulnier et *al.*, 1996). De plus, Si le lactosérum acide est transformé en poudre en présence d'acide lactique, la poudre qui en résulte est très sensible à l'absorption d'humidité, en raison de la nature hygroscopique des ions lactate. Cela conduit à la formation d'agglomérats de poudre et de dépôts collants dans le séchoir qui ne peuvent être tolérés en fonctionnement normal (Chen et *al.*, 2019).

Environ 50% du total du lactosérum produit dans le monde est traité et transformé en différents produits alimentaires, dont environ 45% sont utilisés directement sous forme liquide, 30% sous forme de lactosérum en poudre, 15% comme lactose et dérivés et le reste sous forme de concentrés de protéines du lactosérum (Kosseva et *al.*, 2009 ; Yadav et *al.*, 2015)

II.1. Procédés de traitement du lactosérum

Le lactosérum récupéré doit être conservé à 4-6°C pour une courte durée (24h).Cependant, pour une plus longue durée de conservation (4-6 jours), une pasteurisation est nécessaire pour éviter la dégradation des protéines et du lactose liée à la croissance bactérienne (Boudier, 1976).

Le traitement et la transformation du lactosérum passe par plusieurs étapes essentielles qui sont résumées dans la figure (5).

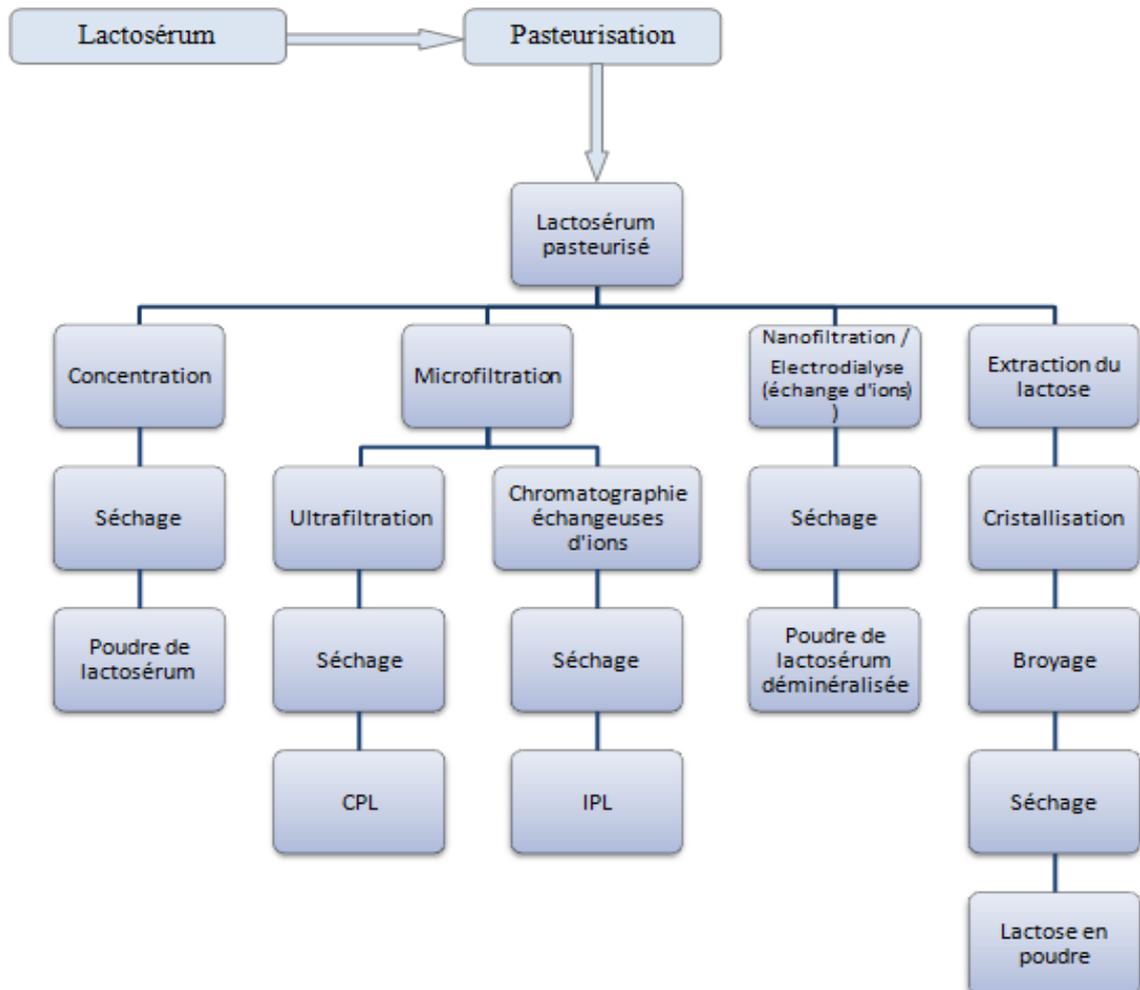


Figure 4 : Procédés effectués sur le lactosérum et les produits obtenus (Travail personnel)

II.1.1. Elimination de l'eau

L'eau, principal constituant du lactosérum est éliminée soit par concentration, qui se fait par évaporation sous vide (qui permet une faible dénaturation des protéines) ou osmose inverse (Thomas *et al.*, 2008) et le séchage qui se fait avec deux types de procédés : le séchoir à cylindres ou le séchage par atomisation (De Wit, 2001). Le séchage de concentré de lactosérum par atomisation est devenu la méthode d'obtention des poudres la plus utilisée (Pisecky, 1985). Il consiste en la pulvérisation du lactosérum dans une cuve contenant de l'air chaud afin de le sécher (Bardy *et al.*, 2016). Ils facilitent l'utilisation du lactosérum et prolongent sa durée de conservation (Rolland, 1993). Ces procédés donnent

des poudres à haute teneur en sel, faible teneur en protéines et contiennent du lactose, ce qui limitent leur utilisation en alimentation humaine (Macrae, 1993 ; Siso, 1996).

II.1.2. Extraction des protéines sériques

Elle se fait généralement par ultrafiltration (UF) qui retient principalement les protéines sériques et les lipides, d'où l'intérêt de délipider d'abord le lactosérum par microfiltration. Le retentât d'UF après séchage donne lieu à des concentrés de protéines sériques (CPL) contenant de 40 à 80% de protéines (Chen et *al.*, 2019), alors que la chromatographie échangeuse d'ions donne après séchage par atomisation, des isolats de protéines sériques (IPL) contenant 95% de protéines (Goulding et *al.*, 2020). Le perméat issu de la concentration des protéines du lactosérum doit être traité car il contient 85% de lactose (Tyagi et *al.*, 1990).

II.1.3. Elimination des minéraux

La déminéralisation partielle du lactosérum se fait par nanofiltration. Bien que cette dernière soit la technologie la plus économique pour la déminéralisation du lactosérum, un degré plus élevé de déminéralisation nécessite l'électrodialyse ou l'échange d'ions (Chen et *al.*, 2019).

II.1.4. Extraction du lactose

Elle peut se faire par un procédé de cristallisation. Cette dernière permet d'isoler le lactose sous forme de cristaux. La première étape consiste à concentrer le lactosérum par évaporation. Une fois concentré, ce dernier est soumis à une cristallisation par refroidissement. Les cristaux de lactose obtenus sont séparés puis broyés (ils peuvent parfois être soumis à un raffinage) et séchés afin d'obtenir une poudre uniforme (Bardy et *al.*, 2016).

II.2. Produits de traitement du lactosérum

La valorisation des différents constituants du lactosérum a permis d'obtenir différents produits : les poudres de lactosérum et ses variantes (déminéralisée, délactosée et déprotéinée), les concentrés de protéines de lactosérum, des isolats de protéines de lactosérum, des hydrolysats de protéines de lactosérum, du lactose, des minéraux et des protéines individuelles (Kosseva et *al.*, 2009 et Macwan et *al.*, 2016). La composition, les critères microbiologiques et physico-chimiques des différents ingrédients du lactosérum sont résumés

dans le tableau (IV). La poudre de lactosérum doit être stockée dans un endroit frais et sec à température inférieure à 25°C. Sa durée de vie minimum est de 18 mois dans son emballage d'origine (Anonyme, 1).

Tableau IV : les critères typiques des différents ingrédients du lactosérum (ADPI, 1998).

Critères	Poudre de lactosérum doux	Poudre de lactosérum acide	Perméat	Poudre de lactosérum déminéralisée	CPL	IPL
Protéines	11-14.5 %	11-13.5%	3-5%	11-15%	34-79.9%	90%
Lactose	63-75%	61-70%	65-85%	70-80%	10-55%	0.5%
MG	1-1.5 %	0.5-1.5%	0-1.5%	0.5-1.8%	1-10%	0-0.15%
Minéraux	8.2-8.8 %	9.8-12.3%	8-20%	1-7%	4-8%	8-20%
Humidité	3.5-5 %	3.5-5%	3-5%	3-4%	3-4%	3-5%
Nombre de germes totaux	≤30000/g	≤30000/g	≤30000/g	≤30000/g	≤30000/g	≤30000/g
Coliformes	≤10/g	≤10/g	≤10/g	≤10/g	≤10/g	≤10/g
Salmonelles	-	-	-	-	-	-
Listeria	-	-	-	-	-	-
Staphylocoque à coagulase positive	-	-	-	-	-	-
Acidité titrable	0.10-0.15 %	0.35-0.44%	0.10-0.15%	/	/	/
pH	5.8-6.5	3.8-4.6	/	6.2-7	6-6.7	6.7-7.5
Couleur	Blanc cassé à crème	Blanc cassé à crème	Blanc cassé à crème	Crème à crème foncé	Blanche à légèrement crème	Blanche à légèrement crème
Saveur	Saveur naturelle du lactosérum	Acide léger	Saveur naturelle du lactosérum	Saveur naturelle du lactosérum	Fade	Fade

(-) : absence

II.2.1. Poudre de lactosérum

La poudre de lactosérum est simplement obtenue par séchage du concentré de lactosérum (Dattatreya *et al.*, 2007). Son utilisation est limitée à cause de sa faible teneur en protéines et une forte teneur en minéraux. La poudre de lactosérum déminéralisée est obtenue par l'élimination des minéraux par chromatographie échangeuse d'ions, électrodialyse ou par nanofiltration (Houldsworth, 1980). Les différents niveaux de déminéralisation sont à 25%, 50%, 90% selon le procédé technologique utilisé (Jost *et al.*, 1999 ; Penna *et al.*, 1997 ; Tratnik et Kresv, 1987).

La poudre de lactosérum délactosée est, quant à elle, un coproduit de la fabrication du lactose (Harwalkar et Emmons, 1969).

II.2.2. Concentrés de protéines sériques (CPL) et isolats de protéines sériques (IPL)

Les protéines du lactosérum peuvent être concentrées jusqu'à 80% des solides totaux par ultrafiltration. Il y a production de divers concentrés de protéines : des concentrés CPL34, CPL60, CPL80 qui contiennent successivement 34%, 60%, 80% de protéines (Guo, 2019). Les concentrés protéiques obtenus par techniques de chromatographie sont appelés isolats de protéines de lactosérum (IPL) et ont une teneur en protéines d'environ 90 %. Ils sont complètement délactosés et ont une charge minérale faible (Considine *et al.*, 2011).

II.2.3. Hydrolysats protéiques du lactosérum (HPL)

Les hydrolysats sont des protéines de lactosérum prédigérées et partiellement hydrolysées qui, par conséquent, sont plus facilement absorbées, mais leur coût est généralement plus élevé (Foegeding *et al.*, 2002). Le processus d'hydrolyse décompose les chaînes de protéines en petites fractions appelées peptides. Le lactosérum fortement hydrolysé peut-être moins allergène que d'autres formes de lactosérum. Les HPL ont un goût amer (Tunick, 2008).

II.2.4. Protéines individuelles

Le lactosérum se compose de protéines qui se distinguent par leurs propriétés fonctionnelles et nutraceutiques (Gésan-Guiziou, 2013). L'extraction et la purification des protéines majeures (α -LA et β -LG) et des protéines mineures (lactoferrine, lactoperoxydase, GMP, immunoglobulines et les facteurs de croissance) pour une meilleure exploitation des propriétés des protéines (Vignola, 2002).

II.2.5. Lactose

C'est l'ingrédient le plus abondant obtenu par la cristallisation du lactosérum ou du perméat du lactosérum. Il est utilisé dans la formulation d'aliments infantiles, en confiserie, en boulangerie et dans les produits pharmaceutiques (Holsinger, 1988).

II.3. Utilisation du lactosérum et de ses constituants

II.3.1. Usage agricole

L'alimentation animale et la fertilisation des sols sont les façons les plus simples de disposer de lactosérum sous sa forme liquide (De Souza *et al.*, 2010 ; Macwan *et al.*, 2016).

Néanmoins, ce produit possède un contenu nutritionnel élevé et un intérêt zooteknique important pour les éleveurs de porcs et de bovins (Alonso-Fauste *et al.*, 2012).

L'ultrafiltrat du lactosérum à l'état liquide et bien toléré par le veau après sevrage. Il peut remplacer la totalité de l'eau de boisson, et apporter jusqu'à 30-35% de la matière ingérée chez les animaux pesant 100 à 110 kg (Boudier et Luquet, 1989).

II.3.2. Usage en biotechnologie

Le lactosérum peut être utilisé comme substrat de fermentation dans la production d'une gamme de bioproduits en raison de sa composition riche en macro et micronutriments (lactose, protéines, matière grasse, vitamines et minéraux) qui favorisent la croissance microbienne (Delghan *et al.*, 2016).

Les produits obtenus après fermentation peuvent être : du bio-éthanol (Siso, 1996), des protéines d'origine cellulaire (POU) (Babu *et al.*, 2014), du glycérol (Rapin *et al.*, 1994), la gomme Xanthane (Papoutsopoulou *et al.*, 1994), de l'acétate de calcium et de magnésium (Yang *et al.*, 1992), des agents aromatisants volatils (Jiang, 1993), des champignons, des enzymes (Garcia-Garibay *et al.*, 1987) et des lipides (Foda, 1981).

II.3.3. Usage alimentaire

Les applications alimentaires des ingrédients du lactosérum, comprennent les produits laitiers, les boissons, en boulangerie, biscuiterie et pâtisserie, en confiserie, les produits de nutrition sportive, les aliments fonctionnels, les préparations pour nourrissons, les produits de

nutrition clinique, les desserts, les sauces, les soupes et les viandes transformées (Bansal et Bhandari, 2016 ; Harper,1992 ; O'Regan *et al.*, 2009).

II.3.3.1. Industrie laitière

Le lactosérum est très utilisé pour fabriquer des laits maternisés en poudre. Cela a pratiquement été l'une des premières utilisations de lactosérum doux (Apria, 1973).

La poudre de lactosérum acide peut remplacer la poudre de lait écrémé à des taux précis pour la fabrication des yaourts, sans atteinte à la qualité ni à l'arôme de ces derniers (Boudier et Luquet, 1989).

Les CPL servent à accroître la fermeté et la résistance à la synérèse du yaourt peuvent être utilisées comme substitut à la poudre de lait (Vignola *et al.*, 2002).

II.3.3.2. En fromagerie

Les fromages secondaires sont fabriqués à partir du lactosérum s'écoulant lors de la fabrication du fromage primaire. Le plus connu est la Ricotta Italienne (Apria, 1973).

Le lactosérum et les protéines de lactosérum sont utilisés comme matières premières dans la fabrication du fromage fondu car ils améliorent la tartinabilité et la stabilité du fromage fondu mais ne doivent pas être utilisés en quantité trop importante sous peine d'affecter la consistance du produit ou d'être à l'origine de la réaction de Maillard (Chambre et Daurelles, 1997).

II.3.3.3. Industrie des boissons

La production de boissons à base de lactosérum. Elles ont une grande valeur diététique et une digestion facile et rapide. Elles sont désaltérantes et très agréables à boire (Coll et Nelson, 1978).

En raison de leur solubilité à pH acide (Morr, 1989), les CPL peuvent être utilisés jusqu'à 3% pour fortifier les boissons et jus de fruits en protéines. Le produit reste clair et stable (De Boer *et al.*, 1977).

II.3.3.4. Dans les crèmes glacées

La poudre de lactosérum doux déshydraté peut remplacer jusqu'à 25% de la quantité de lait écrémé pour la fabrication des crèmes glacées. Alors que celle de lactosérum acide

peut remplacer une partie de sucre pour la fabrication des sorbets de bonne qualité (Apria, 1973).

II.3.3.5. En boulangerie

Le lactosérum doux est utilisé comme moyen de conservation grâce à la combinaison du lactose avec les matières azotées (réaction de Maillard) qui donnent des complexes stables qui constituent donc un moyen de défense naturelle contre le rancissement, amélioration du goût, de l'arôme du pain et des caractéristiques internes et externes : affinage de la coloration, pâte plus tendre et augmentation du rendement (Apria, 1980).

Il est possible d'ajouter à la farine 6% de CPL et d'obtenir du pain au goût tout à fait acceptable qui pourrait être consommé par les populations souffrant de malnutrition (Renz-Schaun et Renner, 1987).

II.3.3.6. En pâtisserie

Production de meringues identiques à celles obtenues à partir du blanc d'œuf (De Boer *et al.*, 1977 ; De Wit *et al.*, 1983).

Remplacement de 50-100% du jaune d'œuf ou de l'œuf entier par les CPL dans les divers produits de pâtisserie nécessitant une modification légère de la recette et des conditions de cuisson (Cocup et Sanderson, 1987). La couleur et la texture obtenues sont très acceptables, cependant la saveur typique conférée par l'œuf fait défaut (De Wit et Hontelez-Backx, 1981).

Dans les gâteaux de type génoise, le sérum masque un peu le goût de l'œuf et on obtient une grande régularité dans les produits et leur consistance est très moelleuse (Apria, 1973).

II.3.3.7. En confiserie

Le lactosérum a d'importantes utilisations dans la fabrication de certains bonbons et chocolats (Vrignaud, 1983). Les ingrédients du lactosérum sont utilisés dans les différents produits de confiserie (bonbons, chocolat, caramel...) pour améliorer la couleur et la saveur ainsi que l'enrichissement en protéines du produit fini (Boutin, 1998).

II.3.3.8. Dans la viande et les produits carnés

Les propriétés gélifiante, épaississante, émulsifiante et de rétention d'eau des CPL sont exploitées dans les produits carnés (Morr, 1989 ; Sanderson, 1988c).

A faible concentration dans le Surimi, ils peuvent améliorer la force du gel (Sanderson, 1988c).

Le lactosérum peut remplacer le lait dans les salaisons dans certains types de charcuterie ou du blanc d'œuf dans le saucisson cuit et comme agent de liaison (Grandadan, 1977).

II.3.3.9. Dans les produits diététiques et infantiles

En raison de leur valeur nutritionnelle, les CPL sont utilisés dans les formules pour nourrissons et comme suppléments protéiques dans les produits diététiques et pharmaceutiques (Morr, 1982 ; Modlers, 1985b).

La production de formules lactées pour nourrissons en raison de la composition en protéines sériques qui sont facilement digérés et assimilés. Elles présentent une forte proportion en acide aminés essentiels (Vignola, 2002).

L'utilisation de sérums fortement déminéralisé grâce à ses teneurs en protéines et lactose dans la formulation des aliments diététiques et infantiles (Apria, 1973).

II.3.3.10. Autres utilisations

Le lactose est utilisé comme exhausteur de goût, rétenteur d'arômes. Il peut être introduit dans un grand nombre de préparations : soupes, sauces de salade. Les protéines du lactosérum sont utilisées dans les préparations pour desserts (Apria, 1973).

Partie III :

Évaluation et analyse
des voies de
valorisation de
lactosérum

L'industrie laitière génère des quantités importantes de lactosérum, qui devraient être gérées de manière adéquate, non seulement pour répondre aux préoccupations environnementales, mais aussi pour élaborer des produits à valeur ajoutée (Brandelli et *al.*, 2015).

Grâce aux propriétés fonctionnelles et nutritionnelles des constituants du lactosérum, divers procédés biotechnologiques et physicochimiques ont été développés pour valoriser ce sous-produit (Prazers et *al.*, 2012).

Les différents produits du lactosérum sont utilisés dans les diverses catégories d'aliments telles que : les produits laitiers, en boulangerie, pâtisserie et biscuiterie, les boissons, les préparations pour nourrissons et aliments diététiques, confiserie, viandes et produits carnés, autres produits (comme les sauces, plats cuisinés ...) (Onwulata et Huth, 2009).

En se basant sur les données de la littérature développées dans ce mémoire, il ressort que le lactosérum est utilisé en industrie agroalimentaire dans de multiples applications, selon plusieurs raisons qu'on développera dans la suite de cette partie. La figure 6 résume l'ensemble des catégories d'aliments dans lesquelles le lactosérum et ses produits sont utilisés.



Figure 5 : Utilisations du lactosérum dans les différents produits alimentaires selon leurs importances (Travail personnel)

Selon de nombreuses sources, l'utilisation du lactosérum et ses ingrédients peut avoir un impact positif, non seulement sur la santé des consommateurs mais aussi sur les dépenses de plusieurs entreprises en réduisant les coûts de matières premières et donc une baisse des coûts de production (Božanić et *al.*, 2014 ; Keaton, 1999; Singh et Singh, 2012).

La réduction des coûts est due au remplacement partiel ou total de la poudre de lait (De Wit, 2001), des œufs (Stoliar, 2009), de la matière grasse (Prabhu, 2006; Stoliar, 2009), du saccharose (Pernot-Barry, 2008) ou même d'autres protéines (Keaton, 1999).

III.1. Applications industrielles des différents ingrédients de lactosérum

III.1.1. Produits laitiers

La plus grande part de l'incorporation des différents ingrédients protéiques du lactosérum se fait dans les produits laitiers (comme : les fromages, les yaourts et les crèmes glacées). Cela en raison de la composition du lactosérum qui renferme environ 50% des éléments nutritifs du lait (glucides, protéines, minéraux et vitamines) (Smithers, 2008), comme le démontre le tableau ci-dessous :

Tableau V : Comparaison entre la composition du lait et du lactosérum (Smithers, 2008).

Composants (%)	Lait	Lactosérum
Caséines	2.8	<0.1
Protéines sérique	0.7	0.7
Matière grasse	3.7	0.1
Minéraux	0.7	0.5
Lactose	4.9	4.9
Solides totaux	12.8	6.3

De plus, vu que le lactosérum est le sous-produit issu de la même industrie comme le démontre la figure (7), l'industriel évitera les frais d'achat et de transport de cette matière.

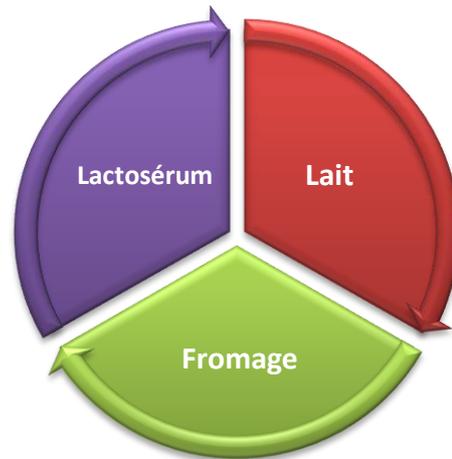


Figure 6: cycle de valorisation de lactosérum (Travail personnel)

III.1.1.1. Yaourts

La consistance du produit fini influence le choix du produit par le consommateur. La texture du yaourt peut être améliorée grâce à l'utilisation des produits du lactosérum en augmentant la viscosité et la stabilité et en réduisant le risque de synérèse. De plus, les protéines sériques donnent au yaourt une texture lisse et crémeuse et augmentent sa valeur nutritionnelle (De Wit, 2001 ; Hugunin, 2009 ; Hugunin et Lucey, 2009).

Hugunin et Lucey (2009), ont présenté les différents ingrédients du lactosérum à ajouter au yaourt :

1-La poudre de lactosérum doux peut remplacer la poudre de lait écrémé avec une proportion de 2 à 5.2%.

2-Ajout de CPL34 avec une proportion de 0.7 à 2% ou CPL80 de 0.5 à 0.8%. Ces quantités suffisent dans le cas de yaourt brassé (une plus grande quantité peut affecter la qualité du yaourt). La substitution de la poudre de lait écrémé par le CPL provoque une augmentation de la résistance du gel dans les yaourts fermes et une augmentation de la viscosité des yaourts brassés et réduit le risque de synérèse dans les deux types de yaourt.

3 -Ajout d'IPL en raison de sa faible teneur en lactose et matière grasse dans des yaourts à teneur réduite en lactose.

4-la poudre de lactosérum déminéralisée accélère le processus de fermentation. D'autre part, cette faible teneur en minéraux affaiblit la structure du gel et il est donc nécessaire d'ajouter des hydrolysats de protéines de lait lors de la formulation de ce produit.

Les composants bioactifs présents dans le lactosérum et protéines sériques peuvent stimuler la croissance des bactéries bénéfiques « les probiotiques » (à la fois dans le produit fini et dans le tube digestif) (Królczyk et *al.*, 2016). Des recherches effectuées par Hugunin et Lucey (2009) indiquent l'augmentation du nombre de *Bifidobacterium bifidum* dans les yaourts contenant du lactosérum doux ou des protéines sériques.

III.1.1.2. Crèmes glacées

Les poudres de lactosérum, la poudre de lactosérum déminéralisée, les CPL et IPL sont utilisés dans les préparations des glaces et des sundaes (Young, 2007).

Jasińska et *al.*, (2012) ont suggéré de remplacer le lait par le concentré de protéines sériques à 80% de protéines ; alors que Alfaifi et Stathopoulos (2010), ont proposé de substituer le jaune d'œuf dans les préparations des crèmes glacées par le CPL80.

En plus des propriétés fonctionnelles citées dans le tableau ci-dessous, les ingrédients du lactosérum procurent aux glaces d'autres propriétés très importantes telles que : capacité de rétention d'eau, formation de mousse et une très haute valeur nutritionnelle (Young, 2007; Jasińska et *al.*, 2012).

Tableau VI : Propriétés fonctionnelles des ingrédients du lactosérum, leur effets et intérêts sur les crèmes glacées (Young, 2007).

Propriétés fonctionnelles	Effets	Intérêts
Viscosité	-Compactage	-Bulles d'air stable -Obtention d'une texture crémeuse
Gélification	-Formation d'un gel durant le traitement thermique -Amélioration de la viscosité	-Augmentation de la résistance à des températures élevées -Amélioration de la structure
Emulsification	-Formation d'émulsions stables	-Remplacer partiellement les caséines
Goût et saveur	-Saveur douce, sucrée et laiteuse	-Compatibles avec les additifs aromatisants

Du point de vue des fabricants de glaces, il est important de réduire les coûts de production. La rationalisation de ces coûts peut être obtenue en utilisant des substituts moins coûteux de la poudre de lait et des œufs qui sont relativement chers (Alfaifi et Stathopoulos, 2010 ; Jasińska et *al.*, 2012).

III.1.1.3. Fromages

Les poudres de lactosérum doux et les poudres de lactosérum dé lactosées, les CPL et IPL sont utilisés dans la production de fromages fondus (Young, 1999). Alors que les lactosérums doux et acide sont utilisés pour l'élaboration des fromages de lactosérum (Philippopoulos et Papadakis, 2001 ; Salvatore et *al.*, 2014; Wendorff, 2008).

Dans les fromages à tartiner et les aliments à base de fromage, les solides de lactosérum sont utilisés efficacement pour donner une consistance et une saveur plus désirables au produit (Alesch, 1957).

Thapa et Gupta, (1996) ont mené des études sur la fabrication de fromage fondu en remplaçant 15 et 20 % de solides de CPL obtenus par ultrafiltration du lactosérum de fromage cheddar. Le fromage fondu avec 20 % de CPL s'est avéré être le meilleur en termes de qualités sensorielles.

Les proportions des différents produits à ajouter dans les préparations des fromages sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VII : Proportions des ingrédients du lactosérum à ajouter dans les préparations de fromage (Young, 1999).

Produits du lactosérum	Poudre de lactosérum doux	Poudre de lactosérum dé lactosée	CPL 34 et CPL 80	IPL 90
Quantités (%)	4-8	5-8	1-5	0.5-1

Exemples de fromages de lactosérum :

La Ricotta est une variété de fromage Italien à pâte molle non affinée. Traditionnellement, la Ricotta est produite en chauffant un mélange de 3 à 10% de lait entier avec du lactosérum. Cependant, environ 50% seulement de protéines qui sont récupérées par le procédé traditionnel (Mathur et Shahani, 1979).

Un autre exemple, l'Urda qui est un fromage grec traditionnel, produit à partir du lactosérum de lait de brebis ou de chèvre dans les zones montagneuses de Konitsa en Grèce pendant l'été. Il est consommé sous forme de fromage frais ou affiné. Ce fromage peut être mûri à l'air libre dans des caves ou entrepôts pendant 20 à 30 jours puis conservé au réfrigérateur ou dans des endroits frais pour une durée maximale d'un an (Pappa *et al.*, 2016).

De tous les fromages de lactosérum grecs, c'est le myzithra qui est produit en plus grande quantité dans tout le pays. C'est un fromage à pâte molle, généralement fabriqué à partir du lactosérum de fromage à pâte dure ou semi-dure dérivés de lait de brebis ou un mélange de lait de brebis et de chèvre. Il a une teneur en matière grasse d'environ 50% et un taux d'humidité de 70% (Anifantakis, 1991). En raison de sa forte teneur en humidité, de sa faible concentration en sel et de son pH proche de 6, myzithra comme les autres fromages de lactosérum grecs, est sensible à l'altération microbienne et a donc une durée de conservation limitée (Kalogridou-Vassiliadou *et al.*, 1994 ; Lioliou *et al.*, 2001).

Un autre fromage de lactosérum est le Brocciu Corse. C'est un fromage de lactosérum de lait de brebis ou de chèvre. Il est produit par chauffage de lactosérum dans lequel il y a ajout d'une certaine quantité de sel et une proportion de lait entier (Guerrini, 2001).

III.1.2. Préparations pour nourrissons et aliments diététiques

Les produits à base de protéines de lactosérum ont été largement utilisés dans les préparations pour nourrissons et les aliments diététiques (Fitzsimons *et al.*, 2008).

III.1.2.1. Préparations pour nourrissons

Les préparations à base de lactosérum, source de protéines de haute qualité et de peptides, sont largement utilisées par les fabricants d'aliments pour bébés (Lloyd, 2002 ; Murphy *et al.*, 2015 ; Chung et Yamini, 2012).

Il s'agit d'une procédure standard pour établir un rapport approprié entre les protéines de lactosérum et les caséines, qui dans les préparations pour nourrissons (lait maternisé), devrait atteindre un rapport de 60/40, c'est-à-dire le même rapport que celui trouvé dans le lait maternel (dans le lait de vache, le rapport est de 20/80). Les protéines du lactosérum et la poudre de lactosérum déminéralisée sont principalement utilisés dans ce cas (De Wit, 2001; Lloyd, 2002).

Le tableau ci-dessous, présente les compositions approximatives des laits de vache, lait maternel et des formulations pour nourrissons.

Tableau VIII : Composition approximative de lait de vache, du lait maternel et des formulations pour nourrissons à base de lactosérum (De Wit, 2001).

Constituants (%)	Lait maternel	Lait de vache	Préparations pour nourrissons à base de lactosérum
Eau	87	87	87
Matière grasse	4.2	4.1	4.2
Protéines totales	1.5	3.5	1.5
Protéines sériques/caséines	60/40	20/80	60/40
Lactose	7	4.6	7
Minéraux	0.2	0.7	0.3

De plus, ces préparations assurent un approvisionnement en acides aminés essentiels avec des quantités importantes (lysine, méthionine, thréonine) particulièrement importants dans l'alimentation des nourrissons prématurés. Un autre acide aminé, la phénylalanine dont la quantité est plus faible dans les préparations à base de lactosérum que dans le lait maternel. Il est donc très important pour les nourrissons souffrant de phénylcétonurie (De Wit, 2001).

Dans les années 1990, des préparations à base de protéines de lactosérum fortement hydrolysées se sont révélées être un traitement efficace chez les nourrissons et les enfants allergiques au lait de vache. Ces préparations présentent plusieurs avantages en termes de coût et de goût par rapport à celles faites à base de caséines fortement hydrolysées qui sont utilisées dans le même but (Llyod, 2002).

L'immunité passive et le profil d'acides aminés des immunoglobulines en font des ingrédients intéressants dans les préparations pour nourrissons et les produits de nutrition sportive (Goulding et al., 2020).

III.1.2.2. Aliments diététiques

De plus en plus de personnes cherchent des aliments bénéfiques pour la santé « les aliments diététiques ». La bonne qualité du lactosérum en fait un produit d'addition

particulièrement approprié pour enrichir les aliments ou les régimes pauvres en protéines. De plus, il convient aux personnes atteintes de maladies telles que le diabète, l'hépatite etc. mais aussi aux personnes souffrant de malnutrition (carences alimentaire). Il est destiné aussi aux sportifs, aux personnes âgées ainsi qu'à certaines catégories d'enfants (FAO, 1995).

L'intégration des protéines sériques dans l'alimentation et dans les compléments alimentaires afin de traiter et de prévenir des maladies grâce à leurs rôles : d'antioxydant, anticancéreux, antiobésité, cardio-protecteur (Dehghan et *al.*, 2016).

Les hydrolysats de protéines de lactosérum sont appliqués dans la nutrition sportive et les préparations pour nourrissons (Price, 2019).

Exemples de produits diététiques :

Un lait maternisé à base d'hydrolysats de protéines de lactosérum destinés aux nourrissons allergiques aux protéines du lait de vache et au lactose a été développé par « Nestlé ». De plus, il fournit aux bébés tous les éléments essentiels à leur croissance (anonyme 2).

Arla Food Ingredients a récemment mis au point une boisson médicale à haute teneur en protéines qui contient 10 g de protéines de lactosérum de haute qualité et est pauvre en lactose. Ce produit convient aux patients qui souffrent de malnutrition (Papademas et *al.*, 2019).

III.1.3. Boissons

La production de boissons à base de lactosérum semble être la solution la plus économique et la plus simple pour l'utilisation du lactosérum dans le domaine de l'alimentation humaine (Barukčić et *al.*, 2019).

La nécessité de développer les boissons à base de lactosérum est étroitement liée aux propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des protéines de lactosérum, ainsi qu'à la satisfaction des attentes des consommateurs modernes qui exigent des produits innovants avec des fonctionnalités améliorées (Chavan et *al.*, 2015).

Le lactosérum est utilisé dans la formulation de boissons alcooliques et non-alcooliques (Holsinger et *al.*, 1974).

Exemples de boissons non-alcoolisées :

La production d'une boisson de lactosérum entier : c'est la méthode la moins chère et la plus efficace pour préparer une boisson à base de lactosérum. Le lactosérum est soumis à un traitement thermique (la pasteurisation) puis il y a ajout d'arôme (facultatif) et enfin le produit est conditionné et stocké pour une consommation ultérieure (Holsinger et *al.*, 1974).

Les boissons nommées « prêtes-à-boire » (ou en anglais « RTD » Ready-To-Drink) : sont des boissons contenant des teneurs élevées en protéines de lactosérum. Les RTD enrichis en protéines de lactosérum sont classés en deux catégories : des boissons avec un pH de 3.5 et des boissons avec un pH neutre. Les boissons acides ont un goût de fruit. Ce type de formulations est commercialisé depuis environ 15 années. La boisson la plus connue de ces RTD est « Fizzique », une boisson gazeuse contenant 20g de protéines lancée en 2017 (Price, 2019).

Des boissons de lactosérum mélangées aux jus de fruits ou légumes ont été produites :

« O-Way », est une boisson développée à l'université de Michigan. Elle est considérée comme un repas de petit-déjeuner contenant soit du lactosérum acide ou doux mélangé avec du jus d'orange. Un volume de jus d'orange est mélangé avec quatre volumes de lactosérum. Le produit fini est composé de 0.7 à 1% de protéines sériques (Brunner et *al.*, 1969).

Une autre boisson contenant 80 à 90% de lactosérum et mélangée avec 10% de purées de fraise ou de pêche naturelles à des teneurs de 10% et 20% respectivement (Nelson et Brown, 1971).

« Freshi » est une boisson à base de lactosérum a été développé par une coopérative laitière à Berne, en Suisse. Elle est constituée de 50% de lactosérum clarifié, du sucre, de l'eau et des arômes naturels d'orange, citron et pamplemousse. Le mélange a été stérilisé à 90°C puis conditionné dans des Tétra Pack de 0.25 litre. Le produit pourrait se conserver jusqu'à 6 mois sans réfrigération (Kristensen, 1969 ; Lang et Lang, 1967 ; Lang et Lang, 1969).

« Rivella » est l'une des boissons de lactosérum les plus anciennes. C'est une boisson d'origine Suisse. Elle est composée de 25 à 35% de lactosérum et d'extraits de fruits et de plantes (Jeličić et *al.*, 2008).

Karina et *al.*, (2010), ont produit une boisson type Kéfir. Le lactosérum brut et le lactosérum déprotéiné sont utilisés comme substrats. Les grains du Kéfir utilisent le lactose pour la fermentation. Les mêmes quantités d'acide lactique, d'éthanol et d'acide acétique sont produites comme avec la fermentation du lait.

Exemple de boissons alcoolisées :

Dietrich (1949) a développé une boisson alcoolisée en mélangeant 5.4% de moût de malt avec 2.5% de lactosérum déprotéiné. Le mélange est inoculé avec des cultures bactériennes de *Saccharomyces lactis* et laissé incuber pendant 7 jours. Le produit fini a le goût et la saveur de la bière.

En Pologne, une boisson alcoolisée de type champagne appelée « Lactovit » est préparée à partir du lactosérum. La consommation annuelle de cette boisson est d'environ 230000 litres (Mathur et Shahani, 1979).

III.1.4. En boulangerie, biscuiterie et pâtisserie

Le lactosérum peut être largement utilisé en boulangerie, biscuiterie, pâtisserie et confiserie pour la production de pains, gâteaux, biscuits, muffins, craquelins, glaçage (Burrington, 1999; Ceglińska et *al.*, 2007 ; De Wit, 2001 ; Stoliar, 2009).

Les œufs jouent un rôle clé dans la production de gâteaux. Il est recommandé de remplacer partiellement les œufs par le concentré de protéines sériques. La présence du cholestérol dans le jaune d'œuf augmente l'intérêt de sa substitution par les protéines sériques pour des raisons diététiques (Królczyk et *al.*, 2016).

L'ajout des protéines sériques aux gâteaux permet d'augmenter leur volume par contre le remplacement total des œufs donne des gâteaux secs avec un goût médiocre (De Wit, 2001).

Les produits de boulangerie sont riches en glucides. La combinaison des ingrédients du lactosérum avec les alcools du sucre ou d'édulcorants artificiels permettent de réduire la teneur en glucides des produits précédents. Substitution partielle des œufs et de la matière grasse par le CPL34 et CPL80 dans les préparations de biscuits et des cookies ou muffins (Stoliar, 2009).

En boulangerie et pâtisserie, le lactose est utilisé comme substitut du saccharose car il améliore la réaction de Maillard, l'émulsification et le goût (Burrington, 1999).

Remplacement du chlorure de sodium (sel de table) par les minéraux issus de l'ultrafiltration du lactosérum dans le pain avec une teneur ne dépassant pas 3% (Ceglińska et al., 2007).

Le tableau ci-dessous, résume les quantités des différents ingrédients de lactosérum à incorporer dans les produits de boulangerie, pâtisserie et biscuiterie.

Tableau IX : Proportions en produits de lactosérum recommandées en boulangerie, pâtisserie et biscuiterie (Burrington, 1999).

Type du produit	Poudre de lactosérum (%)	de WPC 34 à 50 (%)	de WPC 80 (%)	Poudre de lactosérum déminéralisée (%)
Pain blanc	1-5	1-4	1-3	2-6
Gâteaux et biscuits	1-5	1-5	1-4	2-5
Craquelins	1-5	1-3	1-3	2-6
Pâte à pizza	1-5	1-4	1-3	2-6

Les ingrédients du lactosérum présentent plusieurs intérêts dans la préparation de produits de boulangerie, pâtisserie et biscuiterie, comme le démontre le tableau (X).

Tableau X : Composition et avantages des ingrédients du lactosérum sur les produits de boulangerie, biscuiterie et pâtisserie (Stoliar, 2009).

Ingrédient du lactosérum	Intérêts
Perméat du lactosérum	Sources de calcium et d'autres minéraux du lait Amélioration de la couleur (brun doré) Teneur élevée en lactose pour des fonctionnalités supplémentaires Remplacement potentiel du sel Amélioration de la saveur
Lactosérum doux	Amélioration de la couleur Sources de calcium et d'autres minéraux de lait
CPL34	Enrichissement en protéines Amélioration de la couleur Source de calcium et d'autres minéraux de lait
CPL80	Enrichissement en protéine D'autres propriétés fonctionnelles : rétention d'eau, formation de mousse, bonne solubilité ...
IPL	Enrichissement du produit en protéines de haute qualité D'autres propriétés fonctionnelles : rétention d'eau, formation de mousse, bonne solubilité ...
Lactose	Responsable du brunissement non enzymatique (réaction de Maillard) Améliore la saveur Retarde le rassissement Retient l'humidité

III.1.5. En confiserie

Les poudres de lactosérum déminéralisée et délactosée, les CPL, les IPL et le lactose sont utilisés en confiserie dans les produits suivants : chocolats et pépites de chocolat, bonbons, gelées et chewing-gums (Bouzas, 1999; Pernot-Barry, 2008).

Le lactose peut servir d'agent de fermentation. Il possède des pouvoirs d'hygroscopicité et sucrant faibles et il est moins soluble que le saccharose. Cependant, le lactose a une influence sur la couleur, le goût et la texture du produit fini et participe dans la réaction de Maillard (De Wit, 2001).

Le remplacement du saccharose par du lactose dans la production de fudge, induit à la formation d'arôme de caramel et la réduction de la teneur en sucre. Le lactose est ajouté dans les bonbons durs, les barres de chocolat et les bonbons au caramel (Pernot-Barry, 2008).

Un exemple d'une recette de fudge au lactosérum a été réalisé par Webb (1941), contenant du concentré de lactosérum doux. La cristallisation du lactose permet d'obtenir la texture granuleuse souhaitée.

Une autre utilisation, la production du caramel au lactosérum. L'ajout des caséines est recommandé pour obtenir la consistance du caramel (Webb, 1941).

Les CPL80, IPL et la poudre de lactosérum déminéralisée peuvent être utilisés dans la production de barres protéinées pour sportifs et utilisés comme solides de lait dans la production d'enrobages aromatisés au chocolat pour les barres chocolatées (Bouzas, 1999). Le tableau ci-dessous, présente les taux de produits de lactosérum à incorporer en confiserie.

Le lactosérum prolonge également la durée de conservation des bonbons (Alesch, 1957).

Tableau XI : Teneurs des produits du lactosérum dans certaines préparations de confiserie (Bouzas, 1999).

Produits	Poudre de lactosérum déminéralisée(%)	WPC 34(%)	WPC 80(%)	WPI (%)	Lactose (%)
Chocolat au lait	0-5	0-5	-	-	3-7
Garniture saveur chocolat	0-20	0-20	-	-	3-7
Barres protéinées	-	-	0-20	0-35	-

III.1.6. Viandes et produits carnés

Les ingrédients du lactosérum utilisés dans les viandes et produits carnés sont : poudre de lactosérum doux, CPL de 34 à 80 % de protéines, IPL à 90 % de protéines, lactosérum à teneur réduite en lactose, lactosérum déminéralisé et lactose (Keaton, 1999 ; Prabhu, 2006). Ils sont utilisés notamment dans les produits broyés comme : les saucisses de Francfort, les saucissons, les mortadelles et le surimi (De wit, 2001).

L'ingrédient du lactosérum à utiliser est choisi selon ses propriétés fonctionnelles qui correspondent aux caractéristiques recherchées dans le produit fini (Królczyk et *al.*, 2016). Les CPL et IPL sont par exemple utilisés pour modifier la teneur en matière grasse (Prabhu, 2006).

L'introduction des ingrédients de lactosérum dans ces produits, permet l'amélioration de la couleur, la rétention d'eau et de la saveur dans le produit fini (Alesch, 1957).

Les propriétés fonctionnelles des protéines sériques recherchées dans les produits carnés, la volaille et le poisson sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau XII : Propriétés fonctionnelles des protéines sériques et leur effets sur la viande et produits carnés (Keaton, 1999).

Propriétés fonctionnelles	Effets sur le produit fini
Rétention d'eau	Empêche la réduction de la masse lors des traitements thermiques et pendant le stockage du produit. Augmente la jutosité du produit fini. Facilite le coupage de la viande froide en tranches.
Viscosité	Améliore les sensations lors de la consommation du produit
Solubilité (pH 2-10)	Peut être utilisé à n'importe quel pH
Formation d'émulsions stables	Surtout dans les produits carnés finement hachés surtout lorsque la matière première est de mauvaise qualité, les protéines sériques peuvent remplacer partiellement ou complètement d'autres émulsifiants.
Gélification	Amélioration de la gélification
Autres (goût, conservation)	Amélioration du goût, activité antioxydante (oxydation des graisses de la viande des porcs, du saumon...).

Keaton (1999) a présenté un exemple pour une recette de Mortadelle de Bologne ou des saucisses de Francfort en utilisant le concentré de protéines sériques à 34% de protéines et l'isolat de protéines sériques et il a constaté une augmentation de la productivité de 19.98 kg pour l'ajout du CPL à 34% de protéines et de 38.30 kg pour l'ajout d'IPL à 90% de protéines.

III.1.7. Autres produits

Les différents produits de lactosérum sont utilisés dans les soupes, les sauces, les plats cuisinés... pour leur propriétés fonctionnelles. La formation d'émulsion stable, la gélification, la viscosité, le brunissement et la viscosité sont des propriétés recherchées dans les produits cités précédemment (Woo, 2002).

III.2. Valorisations non appliquées industriellement

Plusieurs travaux nécessitent encore des recherches approfondies avant leur application au niveau industriel, tels que :

Des travaux intéressants ont été réalisés au cours de la dernière décennie, sur l'utilisation des protéines de lactosérum (notamment les IPL) pour la production des films comestibles et biodégradables pour l'emballage alimentaire (Dehghan et *al.*, 2016).

Les propriétés antimicrobiennes des enrobages de protéines de lactosérum ont été testées dans certaines applications : viande (Min et *al.*, 2006 ; Zinoviadou et *al.*, 2009), poisson (Min et *al.*, 2008 ; Neetoo et *al.*, 2008) et fromage (Ramos, 2011). La présence d'antimicrobiens dans ces enrobages, permet de réduire ou même d'empêcher la croissance de microorganismes pathogène ou d'altération permettant ainsi l'utilisation de faibles quantités d'agents antimicrobiens tout en assurant une bonne conservation de ces produits (Min et *al.*, 2005). Toutefois, la mise en œuvre industrielle de cette nouvelle technologie reste dépendante des recherches avant d'en voir l'adoption commerciale significative (Price, 2019).

Un autre domaine de recherche prometteur vise la production de nanoparticules de protéines de lactosérum capables d'encapsuler des composés sensibles tels que les arômes et les ingrédients bioactifs pour les incorporer dans d'autres produits alimentaires (Price, 2019).

De nombreux autres produits à haute valeur ajoutée sont en cours de développement : oligosaccharides naturels du lait (prébiotiques), facteurs de croissance (TGF beta, effet anti-psoriasis) protéines de transport de vitamines, immunoglobulines ainsi que tous les dérivés du

lactose : lactulose, lactitol, acide poly-lactique, galacto-oligo-saccharides, acide lactobionique... (Lortal et Boudier, 2011).

Le dernier domaine des nouveaux produits développés, concerne l'application de la bioactivité des protéines de lactosérum dans des applications nutritionnelles, thérapeutiques ou pharmaceutiques (Price, 2019). Toutefois, des recherches supplémentaires sont nécessaires concernant les études de cytotoxicité pour garantir la sécurité et l'absence d'effets indésirables sur l'homme. Le mécanisme d'action de nombreux peptides bioactifs dérivés du lactosérum doit être complètement élucidé. Comme ces peptides seraient destinés à être ingérés dans des formulations alimentaires, l'interaction avec d'autres composants de la matrice alimentaire doit être étudiée. En outre, leur incorporation sous forme d'ingrédients libres ou encapsulés est également un sujet intéressant pour de futures recherches (Brandelli et *al.*, 2015).

Conclusion et Perspectives

L'objectif visé par notre travail consistait à revoir les différentes voies de valorisation du lactosérum, en s'intéressant plus particulièrement à la substitution de plusieurs ingrédients alimentaires par le lactosérum et ses dérivés dans les préparations alimentaires et évaluation de leurs applications sur le terrain.

En effet, les constituants du lactosérum notamment les protéines et le lactose présentent des propriétés techno-fonctionnelles et nutritionnelles très intéressantes. De plus, l'utilisation de ces produits permet à l'industriel de réduire les coûts de production.

Cependant, il serait très intéressant dans un prochain travail, de compléter cette étude par des travaux pratiques tels que :

- ✓ Substitution de la poudre de lait écrémé par la poudre de lactosérum avec différents taux.
- ✓ Production d'un fromage à base de lactosérum.
- ✓ Réduction des prix de certains produits alimentaires par la substitution des œufs et de la poudre de lait par de la poudre de lactosérum.
- ✓ Evaluations à la fois nutritionnelle et économique de toute éventuelle voie de valorisations du lactosérum avant son application en pratique.

Références bibliographiques

- ADPI, Ingredient Description Brochure. (1998).** American Dairy Products Institute, Chicago .*Journal of Food Science Technology*, 47(3):279-284.
- Adrian J., Frangne R., Potus J. (1995).** *La science alimentaire de A à Z*. 2^{ème} édition. Tech. & Doc. Lavoisier, Paris.
- Affertsholt, T., & Pedersen, D. (2017).** Whey & Lactose: Market Fueled by High Protein. *World Food Ingredients*, (March), 26-28.
- Alais C. (1984).** Science du lait. Principes des techniques laitières. Ed. SEPAIC, 4^{ème} édition, 814p.
- Alesch, E. A. (1957).** Utilization of Whey Solids in Food Products. *Journal of Dairy Science*, 41(5), 699-700. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(58\)90989-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(58)90989-5)
- Alfaifi M.S., Stathopoulos C.E. (2010).**Effect of egg yolk substitution by sweet whey protein concentrate (WPC), on physical properties of Gelato ice cream. *Int. Food Res. J.* 17, 787–793.
- Alonso-Fauste, I., Andrés, M., Iturralde, M., Lampreave, F., Gallart, J., & Álava, M. A. (2012).** Proteomic characterization by 2-DE in bovine serum and whey from healthy and mastitis affected farm animals. *Journal of Proteomics*, 75(10), 3015–3030. <http://doi.org/10.1016/j.jprot.2011.11.035>.
- Anifantakis, E.M. (1991).** Greek Cheeses: A Tradition of Centuries. National Dairy Committee of Greece, Athens.
- Apria (1973).** Les lactosérums : traitement et utilisation. Association pour la promotion industrie agriculture. Paris. P : 68-151.
- Babu, Meera., Raj, Shantha Prema. Nirmala., C. B. Deccaraman, M. and Sagadevan, E. (2014).** "Production of Single Cell Protein using *Kluveromyces marxianus* isolated from paneer whey." *International Journal of Biomedical and Advance Research*. 5(5). 255-257.
- Bansal, N., Bhandari, B. (2016).** Functional milk proteins: production and utilization- whey-based ingredients. In: McSweeney, PLH, O'Mahony JA (Eds.), *Advanced dairy chemistry*. Springer, New York, USA, p. 67-98.

Bardy S., Bentz M., Bussière T., Chatras J., Fontaine L., Gaugler M., Lechat L., Lengronne O. (2016, mai). (En ligne). *Valorisation du lactosérum*. Disponible sur : http://ensaia.univ-lorraine.fr/telechargements/rapport_final_lactoserum2.pdf.

Barukčić, I., Lisak Jakopović, K., & Božanić, R. (2019). Valorisation of Whey and Buttermilk for Production of Functional Beverages – An Overview of Current Possibilities. *Food technology and biotechnology*, 57(4), 448-460. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.04.19.6460>

Belattar N. (2018). Le lactosérum. *Biochimie Appliquée* (En ligne). Sétif : FSNV. Biochimie des substances animales: composition et valorisation, p25. Disponible sur : <https://fsnv.univsetif.dz/images/telecharger/BIOCH/L3%20Biochimie%20cours%20Bioch%20appl.%20Chapt%20Lactos%C3%A9ruLm.pdf>. (Consulté le : 26/10/2020).

Bernstein, S., & Everson, T. C. (1973). Protein production from acid whey via fermentation. In *Proceedings of the 4th National Symposium on Food Processing Wastes*. Syracuse, NY (pp. 151-165).

Berry, R. A. (1923). The production, composition and utilisation of whey. *The Journal of Agricultural Science*, 13(2), 192-239.

Boudier J.F. et Luquet F.M. (1989). Utilisation des lactosérums en Alimentation Humaine et Animale. N° 21, LABCODRA, FNSIA, Douai. 1-113.

Bouzas J. (1999). Whey products and lactose in confectionery applications. U.S. Dairy Export Council, Applications Monograph. Confectionery, pp. 1–12. Available at: [www.thinkusadairy.org/assets/documents/Custom%20Site/C3-Using%20Dairy/C3.7-Resources%20and%20Insights/03-Application%20and%20Technical%20Materials/WheyLactConfecApplic_English.pdf].

Božanić R, Barukčić I, Jakopović KL and Tratnik L. (2014). Possibilities of Whey Utilisation. *Austin J Nutri Food Sci*. 2(7): 7.

Brandelli, A., Daroit, D. J., & Corrêa, A. P. F. (2015). Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. *Food Research International*, 73, 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.016>

Brunner, J. R., J. W. Finley, and L. Blakely. (1969). Whey forms base for new dairy drinks. *Amer. Dairy Rev.* 31(6):60.

Burrington K. (1999). Whey products in baked goods. U.S. Dairy Export Council, Applications Monographs. Bakery. pp. 1–8. Available at: [http://pdf.thepdfportal.net/PDFFiles/61842.pdf].

C. Gryson., S. Walrand., C. Guillet., Y. Boirie. (2008). Protéines fonctionnelles : *le nouvel « Eldorado » des aliments santé ?*. Médecine des maladies Métaboliques. 2(4). Elsevier Masson SAS.

Cayote P et Lorient D. (1998). Structure et techno-fonctions des protéines du lait. Ed : Tec et Doc, Lavoisier, Paris. p 363.

Ceglińska A., Pluta A., Skrzypek J., Krawczyk P. (2007). Study on the application of nanofiltrated whey-derived mineral components in the production of bread. *Zywnosc. Nauka. Technologia. Jakosc.* 6(55), 234–241 (in Polish; English abstract).

Chambers, J. V., & Ferretti, A. (1979). Industrial Application of Whey/Lactose. *Journal of Dairy Science*, 62(1), 112-116. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(79\)83211-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(79)83211-7).

Chambre, M., & Daurelles, J. (1997). Le fromage fondu. *Le fromage*, 691-708.

Chaput G. (1981). Problèmes techniques et économiques posés par le stockage, le transport, la concentration et le séchage du lactosérum, *Tech. Lait.* 952, 25–28.

Chavan, R. S., Shraddha, R. C., Kumar, A., & Nalawade, T. (2015). Whey based beverage: its functionality, formulations, health benefits and applications. *Journal of Food Processing & Technology*, 6(10), 1.

Chen, G. Q., Leong, T. S. H., Kentish, S. E., Ashokkumar, M., & Martin, G. J. O. (2019). Membrane Separations in the Dairy Industry. *Separation of Functional Molecules in Food by Membrane Technology*, 267-304. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815056-6.00008-5>

Chung C.S et Yamini, S. (2012). FDA’s Health Claim Review: Whey-protein partially hydrolyzed infant formula and atopic dermatitis. *Pediatrics.* 130, E408-E414.

Cocup R.C. & Sanderson W.B. (1987). Functionality of dairy ingredients in bakery products. *Food Technol.* 41, 10, 86-89.

Considine, T., Noisuwan, A., Hemar, Y., Wilkinson, B., Bronlund, J., Kasapis, S., (2011). Rheological investigations of the interactions between starch and milk proteins in model dairy systems: A review. *Food Hydrocolloids* 25(8), 2008-2017.

D. Jakubowicz., O. Froy., B. Ahrén., M. Boaz., Z. Landau., Y. Bar-Dayana., T.Ganz., M. Barnea & J. Wainstein. (2014). Incretin, insulinotropic and glucose-lowering effects of whey protein pre-load in type 2 diabetes: a randomised clinical trial. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. *Diabetologia*. 57:1807–1811. DOI 10.1007/s00125-014-3305-x.

Dattatreya, A., Etzel, M. R., & Rankin, S. A. (2007). Kinetics of browning during accelerated storage of sweet whey powder and prediction of its shelf life. *International dairy journal*, 17(2), 177-182.

De Boer R., De Wit J.N. et Hiddink J. (1977). Processing of whey by means of membranes and some applications of whey protein concentrate. *J.soc.dairy technol.* 30, 112-120.

De Souza, R. R., Bergamasco, R., da Costa, S. C., Feng, X., Faria, S. H. B., & Gimenes, M. L. (2010). Recovery and purification of lactose from whey. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(11), 1137–1143. <http://doi.org/10.1016/j.cep.2010.08.015>.

De Wit J.N. (2001). Lecturer's handbook on whey and whey products. European Whey Products Association. Brussels, Belgium. Available at: (<http://ewpa.euromilk.org/publications.html>).

De wit J.N. et Hontelez- Backx E. (1981). Les propriétés fonctionnelles des protéines du Lactosérum, conséquences des traitements thermiques. *La technique laitière*, 952, pp 19- 22.

De Wit J.N., Klarenbeek G ET Hontelez-Backx E. (1983). Evaluation of functional properties of whey protein concentrates and whey isolates .1. Isolation and characterization .*Neth. Milk dairy J.*, 37, 37-49.

De Wit, J. N. (1981). Structure and functional behaviour of whey proteins. *Netherlands Milk and Dairy Journal (Netherlands)*.

DEBRY G. (2001). Lait, nutrition et santé, Tec et Doc, Paris : 6(566 pages)

- Dehghan P, Khezri S, Seyedsaleh M.M et Emami N. (2016).** Whey: Characteristics, Applications and Health Aspects. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*.7(2), 1383-1389.
- Dietrich, K. R. (1949).** Whey-containing malt wort as a raw material for the preparation of a malt-woley beer. *Brauwissenschaft* 1949(2):26.
- FAO. (1995).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO : Alimentation et nutrition n°28, Rome (Italie).
- FAO-ONU. (2017).** Production alimentaire: fromage (Algérie).
- Fitzsimons, S. M., Mulvihill, D. M., & Morris, E. R. (2008).** Large enhancements in thermogelation of whey protein isolate by incorporation of very low concentrations of guar gum. *Food Hydrocolloids*, 22, 576586.
- Fluegel, S. M., Shultz, T. D., Powers, J. R., Clark, S., Barbosa-Leiker, C., Wright, B. R., & Miller, A. J. (2010).** Whey beverages decrease blood pressure in prehypertensive and hypertensive young men and women. *International dairy journal*, 20(11), 753-760.
- Foda, M. S. (1981).** Production of fungal enzymes and proteins from high salt cheese wheys. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 32(11). 1109-1114.
- Foegeding, E. A., Davis, J. P., Doucet, D., & McGuffey, M. K. (2002).** Advances in modifying and understanding whey protein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 13(5), 151-159.
- Gagnaire, V., Mollé, D., Herrouin, M., & Léonil, J. (2001).** Peptides identified during Emmental cheese ripening: origin and proteolytic systems involved. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(9), 4402-4413.
- Garcia-Garibay, M., Gomez-Ruiz, L et Barzana, E. (1987).** Studies on the simultaneous production of single cell protein and polygalacturonase from *Kluyveromyces fragilis*, *Biotechnology Letters*. 9(6). 411-416.
- Gerard B ET Debry G. (2001).** Lait nutrition et santé. Ed Tec et Doc. PP : 44-55.

Gésan-Guiziu G. (2013). 12 - Separation technologies in dairy and egg processing A2. In: Rizvi, Syed S.H. (Ed.), *Separation, Extraction and Concentration Processes in the Food, Beverage and Nutraceutical Industries*. Woodhead Publishing, Cambridge, pp. 341-380.

Goulding, D. A., Fox, P. F., & O'Mahony, J. A. (2020). Milk proteins : An overview. *Milk Proteins*, 21-98. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815251-5.00002-5>.

Gryson, C., Walrand, S., Guillet, C., & Boirie, Y. (2008). Protéines fonctionnelles: le nouvel «Eldorado» des aliments santé?. *Médecine des maladies métaboliques*, 2(4), 355-362.

Guerrini, J.-A. Prost. (2001) Mise en place des contrôles dans une Appellation d'Origine Contrôlée : Le Brocciu Corse. *Études et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, INRA , pp.51-64.

Guo, M. (2019). *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications* (1^{re} éd.). Wiley.

Gurgel, C. S. S., Maciel, J. F., & Farias, L. R. G. (2010). Aumento do teor de cálcio em pães adicionados de soro de leite e carbonato de cálcio. *Brazilian Journal of Food and Nutrition*, 21(4), 563–571.

Ha, E., & Zemel, M. B. (2003). Functional properties of whey, whey components, and essential amino acids: mechanisms underlying health benefits for active people. *The Journal of nutritional biochemistry*, 14(5), 251-258.

Harper, W. J. (1992). Lactose and lactose derivatives. In *Whey and lactose processing* (pp. 317-360). Springer, Dordrecht.

Harwalkar V.R & Emmons D.B. (1969). Low ash albumin as a by-product of lactose production. *Cano Inst. Food Sei. Teehnol. J. 2*, 9-11 Helbig N.B., Ho L., Christy G.E. & Nakai S. (1980) Debittering of skim milk hydrolysates by adsorption for incorporation into acidic beverages. *J. Food Sei.* 45, 331-335.

Heffernan C. (2015). A potted history of whey protein. <https://physicalculturestudy.com/2015/12/07/a-potted-history-of-whey-protein>.

Holsinger, V. H. (1988). Lactose. In *Fundamentals of dairy chemistry* (pp. 279-342). Springer, Boston, MA.

Holsinger, V. H., Posati, L. P., & DeVilbiss, E. D. (1974). Whey Beverages : A Review. *Journal of Dairy Science*, 57(8), 849-859. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(74\)84976-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(74)84976-3).

Holsinger, V. H. (1978). Fortification of soft drinks with protein from cottage cheese whey. In *Nutritional Improvement of Food and Feed Proteins* (pp. 735-747). Springer, Boston, MA.

Houldsworth, D. W. (1980). Demineralization of whey by means of ion exchange and electro dialysis. *International Journal of Dairy Technology*, 33(2), 45-51.

Huginin A. (2009). Whey products in yogurt and fermented dairy products. U.S. Dairy Export Council, Applications Monographs. Yogurt 2009, pp. 151–154. Available at: [http://usdec.files.cmsplus.com/PDFs/2008ReferenceManuals/Whey_Lactose_Reference_Manual_Complete_2_Optimized.pdf].

Huginin A., Lucey J.A. (2009). U.S. Whey ingredients in yogurt and yogurt beverages [online]. U.S. Dairy Export Council, Applications Monographs. Yogurt. pp. 1–12. Available at: [http://www.thinkusadairy.org/Documents/Custom%20Site/C3-Using%20Dairy/C3.7-Resources%20and%20Insights/03-Application%20and%20Technical%20Materials/YOGURT_ENG.pdf].

Imbert-Pondaven, A. (1977). Étude de l'évolution de la composition des lactosérums au cours de leur conservation. *Le Lait*, 57(568), 521-546.

Jakubowicz, D., Froy, O., Ahrén, B., Boaz, M., Landau, Z., Bar-Dayana, Y., ... & Wainstein, J. (2014). Incretin, insulinotropic and glucose-lowering effects of whey protein pre-load in type 2 diabetes: a randomised clinical trial. *Diabetologia*, 57(9), 1807-1811.

Jasińska M., Trzciński J., Dmytrów I., Mituniewicz-Malek A. (2012). Whey protein concentrates and whey-fat preparations as powdered milk substitutes in soft service ice cream. *Acta Agrophys.* 19, 37–50 (in Polish; English abstract).

Jeličić I., Božanić R., Tratnik L. (2008). Whey-based beverages – a new generation of dairy products. *Mljekarstvo*. 58, 257–274.

Jiang, J. (1993). Identification of flavour volatile compounds produced by *Kluyveromyces lactis*. *Biotechnology Techniques*. 7(12). 863-866.

Jorge M., Joong S. C, Kima D. S. (2006). Production rate of propionic acid in fermentation of cheese whey with enzyme inhibitors. *Environmental Progress*, 25, 3:228-234.

Jost, R., Maire, J. C., Maynard, F., & Secretin, M. C. (1999). Aspects of whey protein usage in infant nutrition, a brief review. *International journal of food science & technology*, 34(5-6), 533-542.

Jouan P. (2002). Lactoprotéines et lactopeptides : propriétés biologiques. INRA éditions. Paris.

Kalogridou-Vassiliadou, D., Tzanetakis, N., Litopoulou-Tzanetaki, E. (1994). Microbiological and physicochemical characteristics of 'Anthotyro', a Greek traditional whey cheese. *Food Microbiol.* 11, 15–19.

Karina, T.M. Maria, A.P. Ana, N. Giuliano, D. Lucília, D. José, A.T. João, B.D.A.S. and Rosane, F.S. (2010). Production of fermented cheese whey based beverages using kefir grains as starter culture: Evaluation of morphological and microbial variations. *Bio resource Technology*. 101(22). 8843-8850.

Keaton J. (1999). Whey protein and lactose products in processed meats [online]. U.S. Dairy Export Council: Applications Monographs. Meats. Available at: [<http://www.usdec.org/files/pdfs/6meat.pdf>].

Keller, A. K., & Gerhardt, P. (1975). Continuous lactic acid fermentation of whey to produce a ruminant feed supplement high in crude protein. *Biotechnology and Bioengineering*, 17(7), 997-1018.

Keller, A.K ET Gerhardt P. (1975). Continuous lactic acid fermentation of whey to produce a ruminant feed supplement high in crude protein. *Biotechnol. Bioeng.* 17.997-1018.

Kelly, P. (2019). Whey Protein Ingredient Applications. *Whey Proteins*, 335-375. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812124-5.00010-2>.

Kinsella, J. E., & Whitehead, D. M. (1989). Proteins in whey: chemical, physical, and functional properties. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 33, pp. 343-438). Academic Press.

- Kosikowski, F. V. (1979).** Whey Utilization and Whey Products. *Journal of Dairy Science*, 62(7), 1149-1160. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(79\)83389-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(79)83389-5)
- Kosseva, M. R., Panesar, P. S., Kaur, G., & Kennedy, J. F. (2009).** Use of immobilised biocatalysts in the processing of cheese whey. *International Journal of Biological Macromolecules*, 45(5), 437-447.
- Kristensen, J. M. B. (1969).** Dairy Beverages. *Maelkeritidende* 82(14) :265.
- Kristiansen K.R., Otte J., Ipsen R et Qvist K.B. (1998).** Large-scale preparation of β -lactoglobulin A and B by ultrafiltration and ion-exchange chromatography. *International Dairy Journal*. 8: 113-118.
- Królczyk, J., Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E., & Sołowiej, B. (2016).** Use of Whey and Whey Preparations in the Food Industry – a Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(3), 157-165. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0052>.
- Lang, F., and A. Lang. (1967).** New yogurt flavours and UHT products in Switzerland. *Milk Ind.* 61(3):26.
- Lang, F., and A. Lang. (1969).** More advances 'in the manufacture of new milk-based food products. *Milk Ind.* 64 (6): 64.
- Lapointe-Vignola, C. (2002).** *Science et technologie du lait: transformation du lait*. Presses inter Polytechnique.
- Levay, P.F, et Viljoen, M. (1995).** Lactoferrin : A general Review . *Haematologica*, 80, 252-267.
- Li, Y., Swartz, M. L., Phillips, R. W., Moore, B. K., & Roberts, T. A. (1985).** Materials science effect of filler content and size on properties of composites. *Journal of Dental Research*, 64(12), 1396-1403.
- Linden, L., & Lorient, D. (1994).** *Biochimie agro-industrielle-Valorisation alimentaire de la production agricole*. (ED) Masson. Paris. Milan. Barcelone, 359p.
- Lioliou, K., Litopoulou-Tzanetaki, E., Tzanetakis, N and Robinson, R.K. (2001).** Changes in the microflora of manouri, a traditional Greek whey cheese, during storage. *Int. J. Dairy Technol.* 54, 100–106.

Lloyd, B.B. (2002). US whey products and child nutrition. Applications monograph. Child Nutrition. US Dairy Export Council. Arlington, US. pp. 1–8. Available at: [http://www.thinkusadairy.org/Documents/Custom%20Site/C3-Using%20Dairy/C3.7-Resources%20and%20Insights/04-Nutrition%20Materials/WheyChildNutrition_English.pdf].

Lupin, D. (1998). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. FAO, Alimentation et nutrition. pp : 25-38.

Luquet F.M. (1990). Les produits laitiers : Vache. Brebis. Chèvre. Techniques et Documentation, 2ème édition, Lavoisier, Paris. P 44-47.

Macrae, R., Robinson, R. K., & Sadler, M. J. (1993). *Encyclopaedia of food science, food technology, and nutrition*. Academic Press.

Macwan, S. R., Dabhi, B. K., Parmar, S. C., & Aparnathi, K. D. (2016). Whey and its utilization. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(8), 134-155.

Mahmoudi A. (2014). Etude, développement et optimisation d'un procédé de fermentation du lactosérum pour la production de biomasse microbienne (En ligne). En vue de l'obtention de grade de philosophiae doctor en science de l'eau. Disponible sur : <http://espace.inrs.ca/id/eprint/5107>. (Consulté le 29/06/2020).

Marshall K. (2004). Therapeutic Applications of Whey Protein. *Alternatives Medicine Review*. 9,136-156.

Marwaha, S. S., & Kennedy, J. F. (1988). Whey—pollution problem and potential utilization. *International journal of food science & technology*, 23(4), 323-336.

Mathur, B. N., & Shahani, K. M. (1979). Use of Total Whey Constituents for Human Food. *Journal of Dairy Science*, 62(1), 99-105. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(79\)83209-9](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(79)83209-9).

Mereo, M. (1971). utilisations industrielles de sérums de fromagerie. *Indus Aliment Agr.*

Merrell, L. C. (1911). *U.S. Patent No. 985,271*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

- Min, S. H., Linda J. and Krochta, J.M. (2006).** "Inhibition of Salmonella enterica and Escherichia coli O157: H7 on roasted turkey by edible whey protein coatings incorporating the lacto peroxidase system." *Journal of Food Protection*. 69(4). 784-793.
- Min, S., Rumsey, T.R. and Krochta, J.M. (2008).** "Diffusion of the antimicrobial lysozyme from a whey protein coating on smoked salmon." *Journal of Food Engineering*. 84(1). 39-47.
- Min, S.H., Linda J and Krochta, J.M. (2005).** "Antimicrobial effects of lactoferrin, lysozyme, and the lacto peroxidase system and edible whey protein films incorporating the lacto peroxidase system against Salmonella enterica and Escherichia coli O157: H7." *Journal of Food Science* 70(7). 332-338.
- Modler, H.W. (1985b).** Functional properties of nonfat dairy ingredients. A review. Modification of lactose and products containing whey proteins. *J. Dairy Sci.* 68, 2206-2214.
- Morgan, F., Mollé, D., Henry, G., Vénien, A., Léonil, J., Peltre, G., & Bouhallab, S. (1999).** Glycation of bovine β -Lactoglobulin: effect on the protein structure. *International journal of food science & technology*, 34(5-6), 429-435.
- Morr, C. V. (1982).** Functional properties of milk proteins and their use as food ingredients. *Developments in dairy chemistry*.
- Morr, C. V. (1989).** Whey proteins: manufacture. *Developments in dairy chemistry*, 4(6), 245-284.
- Morr, C.V et Ha, E.Y.W. (1993).** Whey protein concentrates and isolates: processing and Functional properties. *Critical reviews in food science and nutrition*, pp431- 476.
- Mulvihill, D. M., & Kinsella, J. E. (1987).** Gelation characteristics of whey proteins and β -lactoglobulin. *Food technology (Chicago)*, 41(9), 102-111.
- Murphy, E.G., Roos, Y.H., Hogan, S.A., Maher, P.G., Flynn, C.G and Fenelon, M.A. (2015).** Physical stability of infant milk formula made with selectively hydrolysed whey proteins. *Int. Dairy J.* 40, 39–46.
- Neetoo H., Ye M and Chen H. (2008).** "Potential antimicrobials to control Listeria monocytogenes in vacuum-packaged cold-smoked salmon pâté and fillets." *International journal of food microbiology* 123(3). 220-227.

- Nelson, F. E and W. C. Brown. (1971).** Whey as a component of fruit-flavored drinks. *J. Dairy Sci.* 54:758. (Abstr.)
- Nelson F., Coll. (1978).**whey utilisation in first flavored drinks. »*Dairy and food science*14.
- Onwulata C and Huth P. (2009).** Whey processing, functionality and health benefits. John Wiley & Sons. (82).
- Papademas P, Kotsaki P. (2019).** Technological Utilization of Whey towards Sustainable Exploitation. *J Adv Dairy Res* 7: 231. doi: 10.35248/2329-888X.19.7.231.
- Papoutsopoulou, S.V., Ekateriniadou, L.V and Kyriakidis, D.A. (1994).** Genetic construction of *Xanthomonas campestris* and xanthan gum production from whey. *Biotechnology letters.* 16(12). 1235-1240.
- Pappa, E. C., Samelis, J., Kondyli, E., & Pappas, A. C. (2016).** Characterisation of Urda whey cheese : Evolution of main biochemical and microbiological parameters during ripening and vacuum packaged cold storage. *International Dairy Journal*, 58, 54-57. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.12.016>.
- Pearce R. (1992).** Whey processing. In: *Whey and lactose processing*, (JG Zadow, ed). Elsevier, London.
- Pelabon C. (2020).** Fiche sectorielle panorama marché poudre de yaourt.BCI info, Allemagne.
- Penna, A.L.B., Baruffaldi, R and Oliveira, M.N.(1997).** Optimization of Yogurt Production Using Demineralized Whey. *Journal of Food Science* 62(4), 846-850.
- Pernot-Barry A. (2008).** Importance of whey ingredients in confectionery products. 5th International Whey Conference, Paris. Available at: [<http://ewpa.euromilk.org/nc/publications.html?cid=302&did=2379&sechash=aebab0e0>].
- Philippopoulos C.D and Papadakis M.T. (2001).** Current trends in whey processing and utilization in Greece. *Int. J. Dairy Technol.* 54, 14–19.
- Pierce, A., Colavizza, D., Benaissa, M., Maes, P., Tartar, A., Montreuil, J., & Spik, G. (1991).** Molecular cloning and sequence analysis of bovine lactotransferrin. *European Journal of Biochemistry*, 196(1), 177-184.

- Pisecky J. (1985).** Technology advances in the production of spray dried milk, *J. Soc. Dairy Technol.* 38, 60–64.
- Prabhu G. (2006).** U.S. Whey proteins in processed meats. U.S. Dairy Export Council, Applications Monographs. Processed meats. Pp. 1–12. Available at: [http://www.thinkusadairy.org/Documents/Custom%20Site/C3-Using%20Dairy/C3.7-Resources%20and%20Insights/03-Application%20and%20Technical%20Materials/PROCESSEDMEATS_ENG.pdf].
- Price, J. (2019).** History of the Development and Application of Whey Protein Products. *Whey Proteins*, 51-95. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812124-5.00002-3>.
- Racotta, V., Humbert, G., & Lorient, D. (1978).** Procédé de valorisation des protéines du lactosérum de fromagerie par thermocoagulation. Composition, digestibilité et valeur nutritive des produits obtenus. *Le Lait*, 58(579-580), 606-622. <https://doi.org/10.1051/lait:1978579-58035>.
- Ramos, O. L., Pereira, R. N., Rodrigues, R. M., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Malcata, F. X. (2016).** Whey and Whey Powders: Production and Uses. *Encyclopedia of Food and Health*, 498-505. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00747-9>
- Rapin, J. Marison, Ian W. von Stockar, Urs. and Reilly, Peter J. (1994).** "Glycerol production by yeast fermentation of whey permeate." *Enzyme and Microbial Technology*. 16(2). 143-150.
- Renz-Schauen, A., & Renner, E. (1987).** Fortification of nondairy foods with dairy Ingredients. *Food technology (USA)*.
- Roufik, S. (2001).** *Les concentrés protéiques du lactosérum, étude comparative de la composition globale, séparation et caractérisation des fractions protéiques*. Université Laval. <http://www.collectionscanada.ca/obj/s4/f2/dsk3/ftp04/MQ57886.pdf>.
- S. Lortal et J.F. Boudier. (2011).** La valorisation de la matière première lait, évolution passée et perspectives. *Innovations Agronomiques, INRA*. 13, pp.1-12.

- Salvatore E., Pes M., Falchi G., Pagnozzi D., Furesi S., Fiori M., Roggio T., Addis M.F and Pirisi A. (2014).** Effect of whey concentration on protein recovery in fresh ovine ricotta cheese. *J. Dairy Sci.* 97, 4686–4694.
- Sanderson, W.B. (1988c).** Utilisation des ingrédients laitiers dans les charcuteries. Colloque national: «Nouvelles utilisations du lait." Québec, Canada.
- Saulnier F., Calco M., Humbert G et Linden G. (1996).** Composition minérale et organique de différents lactosérums industriels, analysée par électrophorèse capillaire, *Lait* 76. 423–432.
- Schuck P., Bouhallab S., Durupt D., Vareille F., Humbert J.P. (2004).** Séchage des lactosérums et dérivés : rôle du lactose et de la dynamique de l'eau. *Le lait*, INRA Editions, 84(3), pp 243-268.
- Sienkiewicz T and Riedel C.L. (1990).** Whey and Whey Utilization: Possibilities for Utilization in Agriculture and Foodstuffs Production, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchenbuer, Germany.
- Singh, A.K., Singh K. (2012).** Utilization of whey for the production of instant energy beverage by using response surface methodology. *Advance J. Food Sci. Technol.* 4, 103–111.
- Siso, M. G. (1996).** The biotechnological utilization of cheese whey: a review. *Bioresource technology*, 57(1), 1-11.
- Smith K. (2008).** Dried Dairy Ingredients. Wisconsin Center for Dairy Research. 28-52.
Disponible sur : <https://fdocuments.in/document/dried-dairy-ingredients.html>.
- Smithers, G. W. (2015).** Whey-ing up the options—Yesterday, today and tomorrow. *International Dairy Journal*, 48, 2-14.
- Sottiez P. (1990).** Produits Dérivés Des Fabrications Fromagères In : Lait Et Produits Laitiers : Vache, Brebis, Chèvre, Ed Lavoisier, Paris, 633p.
- Sottiez, P. (1985).** Produits dérivés des fabrications fromagères. Laits et produits laitiers: vache, brebis, chevre/Societe scientifique d'hygiene alimentaire; Francois M. Luquet, coordonnateur, assiste de Yvette Bonjean-Linczowski; prefaces de J. Keilling, R. de Wilde.

Steijns, J. M., & Van Hooijdonk, A. C. M. (2000). Occurrence, structure, biochemical properties and technological characteristics of lactoferrin. *British Journal of Nutrition*, 84(S1), 11-17.

Stoliar, M. (2009). US whey ingredients in bakery products. *Applications monograph bakery. Published by US dairy export council. USA*, 1-8.

Susli, H. (1956). New type of whey utilization: A lactomineral table beverage. *Proc. 14th Int. Dairy Congr. I (Pt. 2)*, 477.

Swartz, M., & Wong, C. (1985). Milk proteins: nutritional and functional uses. *Cereal foods world (USA)*.

Thapa, T. B and Gupta, V. K. (1996). Chemical and sensory qualities of processed cheese foods prepared with added whey protein concentrate. *Indian Journal of Dairy science*, 49:129-137.).

Thapon, J. L. (2005). Science et technologie du lait. *Agrocampus-Rennes, France*, 14, 77.

Thomas, C. C., Romain, J & Gérard, B. (2008). *Fondements physicochimiques de la technologie laitière*. Lavoisier.

Tip. (2020). Disponible sur: <https://www.tropicalizer.com/marche-de-la-poudre-de-lactoserum-doux-2020-croissance-explosive-et-analyse-des-tendances-cles-euroserum-lactalis-ingredients-wheyco-leprino-foods-saputo-ingredients-agropur/>. (Consulté le : 2/11/2020).

Tratnik L and Krsev L. (1987). Production of Fermented Beverage from Milk with Demineralized Whey. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Tunick, M. H. (2008). Whey protein production and utilization: a brief history. *Whey processing, functionality and health benefits*, 1-13.

Tyagi, R.D., KluepTel D et Couillard D. (1990). Bioconversion of cheese whey to organic acid. In : Bioconversion of waste materials to industrial products. A.M. Martin (Ed.). Elsevier Sci. Publishers, London, New York.

Vrignaud, Y. (1983). Valorisation du lactosérum, une longue histoire. *Revue laitière Française*, (422), 41-46.

Webb, B.H. Mfg. (1941). Confectioner, 21(3).pp: 14-16.

Wendorff W. (2008). Uses of whey in the farmstead setting. The University of Wisconsin-Madison. Available at: [http://future.aae.wisc.edu/publications/farmstead_whey_use.pdf].

Woo A. 2002.la grande diversité du lactosérum. Commission du lait. p 1-6.

Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33(6), 756-774.

Yang, S. T., Tang I. C and Zhu H. (1992). A novel fermentation process for calcium magnesium acetate (CMA) production from cheese whey. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 34, 35: 569 - 583.

You, G. (2018). Marchés mondiaux des produits laitiers : Rétrospectives 2017 et Perspectives 2018. Institut de l'élevage (Idele), 2-26.

Young S. (1999). Whey products in cold pack pasteurized processed cheese foods and cheese spreads. U.S. Dairy Export Council, Applications Monograph. Processed cheese. pp. 1–8. Available at: [[http://www.usdec.org/assets/documents/Custom Site/C3-Using Dairy/ C3.7-Resources and Insights/03-Application and Technical Materials/ColdPackPasteurizedCheeseSpreads_English.pdf](http://www.usdec.org/assets/documents/Custom%20Site/C3-Using%20Dairy/C3.7-Resources%20and%20Insights/03-Application%20and%20TechnicalMaterials/ColdPackPasteurizedCheeseSpreads_English.pdf)].

Young S. (2007). Whey products in ice cream and frozen dairy desserts [on line]. U.S. Dairy Export Council, Applications Monograph, pp. 1–12. Ice cream. Available at: [http://www.thinkusadairy.org/Documents/Custom%20Site/C3-Using%20Dairy/C3.7-Resources%20and%20Insights/03-Application%20and%20Technical%20Materials/ICECREAM_ENG.pdf].

Zinoviadou, K.G., Koutsoumanis, K.P and Biliaderis, C.G. (2009). "Physico-chemical properties of whey protein isolate films containing oregano oil and their antimicrobial action against spoilage flora of fresh beef." *Meat Science*. 82(3). 338-345.

Zydney, A. L. (1998). Protein separations using membrane filtration: new opportunities for whey fractionation. *International Dairy Journal*, 8(3), 243-250

Webographie :

Anonyme 1 : www.lactogroup.com (consulté le 18/10/2020).

Anonyme 2 : www.pharmasimple.com (consulté le 7/11/2020).

Résumé

De nombreuses recherches scientifiques ont été menées pour la valorisation du lactosérum. Sa composition riche en éléments nutritifs, ses propriétés techno-fonctionnelles et son pouvoir polluant, interdisent son rejet dans la nature. Plusieurs technologies ont été développées pour le traitement et la transformation du lactosérum en différents ingrédients qui seront incorporés dans diverses formulations d'aliments. Parmi les produits alimentaires où le lactosérum et les ingrédients du lactosérum sont ajoutés on peut citer : les produits laitiers, les aliments pour nourrissons, les aliments diététiques, en boulangerie, en pâtisserie, en confiserie et dans les viandes et les produits carnés. Notre travail consiste à revoir toutes les éventuelles voies de valorisation des différents constituants du lactosérum et leurs applications en industrie agroalimentaire.

Mots clés : lactosérum, valorisation, protéines du lactosérum, lactose, industrie agroalimentaire.

Abstract

A great deal of scientific research has been carried out for the valorisation of whey. Its composition rich in nutritive elements, its techno-functional properties and its polluting power, prohibit its rejection in nature. Several technologies have been developed for the treatment and transformation of whey into different ingredients that will be incorporated into various food formulations. Among the food products where whey and whey ingredients are added are: dairy products, infant foods, dietetic foods, in bakery, pastry, confectionery and in meat and meat products. Our work consists of reviewing all the possible ways of valorising the different constituents of whey and their applications in the food industry.

Keywords: whey, valorisation, whey protein, lactose, food industry.