

N° d'ordre :

N° de série :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE D'EL-OUED
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLECULAIRE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Licence Académique

Filière : Biochimie

Spécialité : Biochimie

THEME

**Intérêt techno-fonctionnel de différentes fractions biochimiques
du lactosérum (synthèse bibliographique)**

Promoteur:

LAICHE Ammar Touhami

Présenté par:

CHETEHOUNA Fatma

CHETEHOUNA Souad

GUEDIRI Islam

Année universitaire 2012/2013

DEDICACE

Nous remercions le bon Dieu d'avoir béni ce mémoire, et nous dédie ce travail ma profonde reconnaissance s'adresse à :

✓ Mes chers parents et toute ma famille" Abdelatif "et" Tarek"et "Fares" "Akram" et "Hebatorahman".

✓ Mes collègues et tous mes amis surtout "MEISSA Aouatef "et "GUEDIRI Islam".

✓ Pour tous les étudiants de troisième année de la Biochimie et à tous mes professeurs clients et pour chacun des nommée par inadvertance tombé.

➤ Souad et fatma

DEDICACE

Nous remercions le bon Dieu d'avoir béni ce mémoire, ainsi que d'avoir exaucé sa réalisation. Ma profonde reconnaissance s'adresse à :

- ✓ Mes chers parents et toute ma famille "mourad" et "sabrina" et "moukhtar" "Abdrahim" et "Abddjabar" et "Rayan" et "yagoub".
- ✓ Mon promoteur et mes enseignants.
- ✓ Mes collègues et tous mes amis surtout "MEBARKI Afaf" et "CHETEHOUNA Souad et Fatma".

REMERCIEMENT

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes. Nous souhaitons ici les en remercier.

Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement "LAICHE Ammar Touhami " qui nous a permis de bénéficier de son encadrement. Les conseils qu'il nous a prodigué, la patience, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

Nous remerciments s'étendent également à Monsieur "MEISSA Hicham "et "FELIOURNE Mourad" et "GUDA Khaled" pour nous aider à obtenir des références précieuses.

Nous remerciments s'étendent également de la Monsieur "MEISSA Abderrazzak " et "GUEDIRI Mourad".

Nous remerciments s'étendent également à tous nos enseignants durant les années des études et surtout Monsieur "DEROUICHE Samir".

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Introduction générale	
Chapitre I: Généralités sur les lactosérums et les risques sanitaires et environnementales liés à leurs rejets dans les eaux d'assainissement.....	2
I.1. Définition du lactosérum.....	3
I.2. Différents types du lactosérum.....	3
I.2.1. Lactosérum doux	3
I.2.2. Lactosérum acide	3
I.3. Sources industrielles du lactosérum	3
I.3.1. Beurrerie	3
I.3.2. Fromagerie	3
I.4. Conservation du lactosérum.....	4
I.5. Les risques sanitaires et environnementales liés à leurs rejets dans les eaux d'assainissement	4
Chapitre II: Caractéristiques physico-chimiques et composition biochimique du lactosérum.....	6
II.1. Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum	7
II.1.1. PH.....	7
II.1.2. Acidité titrable	7
II.1.3. Densité	7
II.2. Composition biochimique du lactosérum	8
II.2.1. Matière sèche	8
II.2.2. Matières azotées du lactosérum	9
II.2.2.1. Les protéines du lactosérum.....	9
II.2.2.1.1. L'α-lactalbumine	9
II.2.2.1.2. La β- lactoglobuline.....	10
II.2.2.1.3. La sérumalbumine bovine	10
II.2.2.1.4. La lactoferrine.....	10
II.2.2.1.5. La lactoperoxydase	11
II.2.2.1.6. Immunoglobulines	11
II.2.2.1.7. Caséinomacropéptide	11
II.2.2.1.8. Protéoses-Peptones.....	11
II.2.2.2. Azote non protéique.....	12

II.2.3. Le lactose	12
II.2.4. Matières grasses	13
II.2.5. Matières minérale.....	13
II.2.6. Les vitamines.....	14
II.2.7. Acide lactique.....	14
II.3. Composition microbiologique des lactosérums	15
II.3.1. Germes des fermentations favorables	15
II.3.2. Germes des fermentations indésirables non dangereuses.....	16
II.3.3. Germes pathogènes.....	16
Chapitre III: Séparation de différentes fractions biochimiques du lactosérums	18
III.1. Séparation des protéines de lactosérums	19
III.1.1. Extraction de la fraction protéique	19
III.1.1.1. Déminéralisation du lactosérums	20
III.1.1.1.1. Electrodialyse	21
III.1.1.1.2. Echange ionique	21
III.1.1.1.3. Nanofiltration tangentielle	21
III.1.1.2. Concentration de la fraction protéique	21
III.1.1.2.1. Osmose inverse	21
III.1.1.2.2. Ultrafiltration	22
III.1.1.2.3. Isolement des protéines par chromatographie	22
III.1.2. Utilisation des concentrés protéiques	22
III.2. Extraction du lactose	23
III.3. Méthodes d'extraction lipides	24
III.3.1. Méthodes de référence pour les produits laitiers	24
III.3.2. Méthodes à froid	24
III.4. Dosage de matières minérale	25
III.4.1. Spectrométrie au plasma (P, K, Ca, Mg, Al, Cu, Zn, Mn).....	25
III.4.2. Spectrophotométrie d'absorption atomique (K, Ca, Mg, Al, Cu, Zn et Mn)	26
Chapitre IV: Intérêt techno-fonctionnel de divers composants lactosérique	27
IV.1. Le lactosérums dans l'alimentation humaine	28
IV.1.1. Le lactosérums dans l'alimentation infantile.....	28
IV.1.1.1. Substitut du lait humain.....	28

IV.1.1.2. Autres aliments destinés aux enfants.....	30
IV.1.2. Utilisation du lactosérum dans les produits de cuisson.....	30
IV.1.2.1. Avantages de l'utilisation du lactosérum de boulangerie	31
IV.1.2.1.1. Amélioration du goût et de l'arôme du produit du produit fini.....	31
IV.1.2.1.2. Amélioration de la valeur nutritionnelle.....	31
IV.1.2.1.3. Amélioration des caractéristiques interne et externe.....	31
IV.1.2.1.4. Augmentation du rendement.....	32
IV.1.2.1.5. Meilleure conservation.....	32
IV.1.2.2. Condition d'utilisation du lactosérum en panification.....	32
IV.1.2.2.1. Doses d'utilisation.....	32
IV.1.2.2.2. Emploi de lactosérum fermenté.....	33
IV.1.2.2.3. Emploi de mélanges lactosérum-protéines de soja.....	33
IV.1.2.3. Action du lactosérum dans le pâtes et le pain.....	34
IV.1.2.4. Utilisation du lactosérum en pâtisserie et biscuiterie.....	35
IV.1.3. Boissons de lactosérum	36
IV.1.3.1. Boissons au lactosérum entier.....	36
IV.1.3.2. Boissons au lactosérum déprotéiné.....	38
IV.1.3.2.1. Boissons non fermentées	38
IV.1.3.2.2. Boissons fermentées.....	39
IV.1.3.3. Boissons alcoolisées	41
IV.1.3.3.1. Bière	41
IV.1.3.3.2. Vins	42
IV.1.3.3.3. Champagne	42
IV.1.3.3.4. Vinaigre	43
IV.1.3.3.5. Alcool éthylique	43
IV.1.3.4. Boissons nutritives et diététiques	43
IV.1.4. Utilisation du lactosérum dans les desserts glacés	46
IV.1.5. Utilisation du lactosérum en fabrication fromagère	48
IV.1.5.1. Le procédé CENTRIWHEY	49
IV.1.5.1.1. Technologie du procédé CENTRIWHEY	49
IV.1.5.1.2. Caractéristique du lait de protéines	50
IV.1.5.1.3. Incorporation du concentré de protéines	51
IV.1.5.1.4. Avantages du procédé CENTRIWHEY	51

IV.1.5.1.4.1. Augmentation du rendement en extrait sec dégraissé	51
IV.1.5.1.4.2. Augmentation du taux d'humidité des fromages	51
IV.1.5.1.4.3. Accélération de l'affinage	52
IV.1.5.1.4.4. Amélioration de la qualité	52
IV.1.5.1.5. Champ d'application du procédé	52
IV.1.5.2. Expériences d'utilisation du lactosérum en fromagerie	52
IV.1.5.2.1. Actions de l'addition de protéines de lactosérum	52
IV.1.5.2.2. Utilisation du lactosérum dans les yaourts	53
IV.1.5.2.3. Utilisation du lactosérum dans le fromage blanc.....	54
IV.1.5.2.4. Fabrication de fromage RICOTTA.....	54
IV.1.5.2.5. Préparation de fromage à tartiner (spreads)	55
IV.1.5.2.6. Production d'arôme de fromage	56
IV.1.6. Utilisation du lactosérum en confiserie	56
IV.1.7. Utilisation dans d'autres produits alimentaires	59
IV.1.7.1. Utilisation dans les produits carnés	59
IV.1.7.2. Utilisation dans les pâtes alimentaires	60
IV.1.7.3. Utilisation dans les alimentaires	60
IV.1.7.4. Utilisation dans les sauces et assaisonnements pour salades	61
IV.1.8. Produits de fermentation à partir du lactosérum	61
IV.1.8.1. Le lactosérum: substrat de fermentation	61
IV.1.8.2. Production de levures sur lactosérum	61
IV.1.8.2.1. Levures utilisables	62
IV.1.8.2.2. Conditions de culture de <i>Saccharomyces fragilis</i>	62
IV.1.8.2.2.1. Influence de l'ensemencement	62
IV.1.8.2.2.2. Importance de l'azote	62
IV.1.8.2.2.3. Besoins en oxygène	63
IV.1.8.2.2.4. Rendements	63
IV.1.8.2.3. Culture d'autres levures que <i>Saccharomyces fragilis</i>	64
IV.1.8.3. Production de levures lactiques par le procédé BEL	65
IV.1.8.3.1. Extraction des protéines	65
IV.1.8.3.2. Valorisation du jus lactosé et déprotéiné par culture de levures aux dépens du lactose	65
IV.8.3.3. Caractéristiques et qualités des produit obtenus	67

IV.1.8.4. Production de levures par le procédé DEVOS	68
IV.1.8.5. Production de champignons filamenteux	68
IV.1.8.5.1. Ultrafiltration du sérum	69
IV.1.8.5.2. Fermentation du perméat	70
IV.1.8.5.3. Hyperfiltration ou osmose inverse du filtrat	70
IV.1.8.6. Propagation d'autres micro-organismes que les levures.....	71
IV.1.8.7. Production de biomasse destinée à l'alimentation animale	71
IV.1.8.8. Production de vitamines	73
IV.1.8.8.1. Riboflavine (vitamine B2)	73
IV.1.8.8.2. Cobalamine (vitamine B12)	75
IV.1.8.9. Production d'enzymes	76
IV.1.8.9.1. β -galactosidase	76
IV.1.8.9.2. Autres enzymes	76
IV.1.8.10. Production de matière grasse	77
IV.1.8.11. Production d'acide lactique et de lactates	77
IV.1.8.12. Production de galactose	78
IV.2. Utilisation du lactosérum dans l'alimentation animale	78
IV.2.1. Lactosérum et gain de poids	79
IV.2.2. Lactosérum et qualité des carcasses	80
IV.2.3. Influence du stockage et de la conservation sur la valeur nutritive du lactosérum.....	81
IV.2.4. Utilisation du lactosérum pour le bétail laitier	82
IV.2.4.1. Utilisation du lactosérum liquide	82
IV.2.4.2. Utilisation du lactosérum concentré et en poudre	83
IV.2.5. Utilisation du lactosérum par le veau	84
IV.2.5.1. Utilisation du lactosérum liquide	84
IV.2.5.2. Utilisation du lactosérum en poudre ou concentré	86
IV.2.5.3. Utilisation de protéines de lactosérum	86
IV.2.5.4. Utilisation du lactosérum dans les lactoreplaceurs.....	87
IV.2.5.5. Utilisation du lactosérum sous forme de blocs à lécher.....	90
IV.2.6. Utilisation du lactosérum par d'autres animaux	90
IV.2.6.1. Utilisation par volaille	90
IV.2.6.2. Utilisation par les ovins	91
IV.2.6.3. Utilisation par les visons	91

IV.3. Utilisation médical	91
IV.4. Utilisation biotechnologique	92
Conclusion générale	94
Références bibliographiques.....	95
Résumé et mots-clés	

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACP	Analyse en Composantes Principales
CAEV	Arthrite En céphalite Caprine à Virus
CNRZ	Centre National de la Recherche Zootechnique,
CPL	Concentré Protéines de Lactosérum
DCO	Demande Chimique en Oxygène
FAO	Food and Agriculture organization
FIL	Fédération Internationale de laiterie
FMAT	Flore Mésophile Aérobie Totale
Ig	Immunoglobuline
INRA	Institut national de la recherche agronomique
IPL	Isolat Protéique de Lactosérum
kD	kilo Dalton
LF	La lactoferrine
LP	La lactoperoxydase
Mm	Masse moléculaire
MSNG	La matière sèche non grasse
PI	Le point isoélectrique
POU	Protéines d'Organismes Unicellulaires
PP5	Le protéase-peptones
PP8-l	Protéase- peptone 8 lente
PP8-r	La protéase- peptone 8 rapide
R	Rayon de Stokes
S	Sèche
SAB	Sérum albumine bovine
SH	Soxhlet–Henkel
Th	Thoerner
U.F	Unités fourragères
UFC	Unité Formant une Colonie
α-LA	α -lactalbumine
α-LA-Ca	α -LA-calcium
β-LG	β -lactoglobuline

LISTE DE FIGURES

Numéro	Titre	Page
Figure 1	Formation du lactose et structures cycliques	12
Figure 2	Les deux isomères de l'acide lactique	15
Figure3	Schéma d'ensemble du procédé CENTRIWHEY	50
Figure 4	Procédé BEL (1 ^{ère} partie).Extraction des lactoprotéines (diagramme simplifié)	66
Figure 5	Procédé BEL (2 ^{ème} partie) fabrication de levure-aliments sur jus lactosés	67
Figure 6	Procédé SIREB. Unité de traitement du lactosérum (produit p ₁ = rétentat)	69
Figure 7	Procédé SIREB(suite). Unité de traitement du lactosérum (produit p ₂ = perméat)	69
Figure 8	Procédé SIREB (fin). Unité de traitement du lactosérum (produit p ₃ = filtrat)	70

LISTE DES TABLEAUX

Numéro	Titre	Page
Tableau 1	Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum	08
Tableau 2	Composition type (en g/l) de lactosérum acide et doux	08
Tableau3	Principales caractéristiques des protéines du lactosérum	09
Tableau 4	Composition anionique et cationique de deux groupes du lactosérums acides (exprimée en % de la matière sèche)	13
Tableau 5	Teneur en Vitamines dans le lactosérum	14
Tableau 6	Principaux agents pathogènes susceptibles de contaminer le lactosérum	17
Tableau 7	Composition en protéines de lactosérum du lait bovin	19
Tableau 8	Techniques d'extraction et de concentration des protéines lactosériques selon l'application	20
Tableau 9	Utilisations et propriétés fonctionnelles des protéines de lactosérum	23
Tableau 10	Composition comparée du Lait humain et du Lait de vache	29
Tableau 11	D'utilisation du lactosérum dans les formulation pour biscuits	35
Tableau12	Composition des sérums utilisés en confiserie	56
Tableau 13	Formulation de bonbons au lactosérum	57
Tableau 14	Essais de formulation de pâtes au lactosérum	60
Tableau 15	Effet du sucre ajouté sur la production de riboflavine	73
Tableau 16	Effet d'éléments traces , de vitamines sur la production de riboflavine	74
Tableau 17	Effet de la chaleur sur la production de riboflavine	75
Tableau 18	Performances d'engraissement des porcs	80
Tableau 19	Influence du remplacement des protéines du lait par celles du lactosérum	88
Tableau 20	Activité biologique des protéines et des peptides du lactosérum	92

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

On considère le lait comme l'aliment le plus près de la perfection parce qu'il contient tout ce qui est nécessaire à la croissance et à la santé. C'est un liquide biologique blanchâtre d'origine animale (mammifère), et riche de constituant important comme l'eau, les lipides, les protéines, les sucres et les éléments minéraux, (Adrian J., 1973).

Le lactosérum est l'un des coproduits de l'industrie agroalimentaire. L'industrie laitière produit annuellement environ 650 000 tonnes de poudre de lactosérum. Classiquement deux types de lactosérum sont produits suivant le traitement du lait : acide et doux. Le lactosérum acide peut être utilisé directement en alimentation animale, alors que le lactosérum doux est transformé par concentration, séchage, ultrafiltration.

Dans cette dernière technique, deux fractions sont obtenues. Le retentât, riche en protéines, est utilisé en alimentation animale ou humaine, tandis que le perméat à haute teneur en lactose est valorisé pour des applications en pharmacie ou en alimentation humaine.

Le sujet propose lors de cette séance de travaux théoriques sur le lactosérum et composition variée et l'ajouté de extraction de cette composition et l'importance de l'utilisation du lactosérum dans divers domaines, (Kosikowski F., 1968).

La présente étude s'intègre dans la valorisation de ce sous-produit alimentaire, elle est divisée en quatre chapitres :

- ✓ Chapitre I: Généralités sur le lactosérum et les risques sanitaires et environnementaux liés à leurs rejets dans les eaux d'assainissement.
- ✓ Chapitre II: Caractéristiques physico-chimiques et composition biochimique du lactosérum
- ✓ Chapitre III: Séparation de différentes fractions biochimiques du lactosérum.
- ✓ Chapitre IV: Intérêt techno-fonctionnel de divers composants lactosériques.

CHAPITRE I:

GENERALITES SUR LES

LACTOSERUMS

PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I: Généralités sur les lactosérums

I.1. Définition de lactosérum

Le lactosérum ou sérum ou petit lait est le liquide jaune pâle qui reste après la coagulation du lait lors de la fabrication du fromagère ou de la caséine, où l'on retrouve la majeure partie de l'eau avec toutes les substances du lait, (Kosikowski F., 1979). Son pH compris entre 5 et 6,5. Il représente près de 90% du lait mis en œuvre, (Kosikowski F., 1979, Mereo J., 1980).

I.2. Différents types de lactosérum

Selon le type de fromage ou de caséine produit et donc la coagulation employée acide, présure ou mixte, on distingue deux type de lactosérum, (Fevrier C et Collet J., 1975):

I.2.1. Lactosérum doux

Le lactosérum obtenu par coagulation du lait par la présure, et provenant de la fabrication des fromages à pâtes molles et à pâtes pressées (l'acidité est inférieure à 18°D),(Boudier J et Luquet F., 1980). pH environ de 6,5 à 6,7 (Veissyere R., 1975).

I.2.2. Lactosérum acide

Le lactosérum obtenu par coagulation lactique , et provenant soit de la fabrication des fromages des types pâtes molles (l'acidité est supérieure à 18°D), soit de la fabrication de caséines lactiques et acides, (Boudier J et Luquet F., 1980). PH environ de 4,5 à 5 (VEISSYERE R., 1975).

I .3. Sources industrielles du lactosérum

Les deux principales voies industrielles de transformation du lait nature, aboutissant au lactosérum, sont la beurrerie et la fromagerie, (Alais C., 1984).

I .3.1. Beurrerie

C'est l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication du beurre à partir du lait frais. Après écrémage de ce dernier, suivi d'une extraction de la caséine par précipitation, on obtient du « lactosérum écrémé », (Schuck P., 2002).

I .3.2. Fromagerie

C'est l'ensemble des procédés qui conduisent à la fabrication des fromages à partir du lait. Ce dernier subit les processus de coagulation et de synérèse, aboutissant d'une part à une phase solide le «coagulum» et d'autre part à une phase liquide «le lactosérum», (Schuck P., 2002).

I .4. Conservation du lactosérum

Le lactosérum est une matière première altérable et doit donc être considéré comme tel dès sa collecte à la sortie de l'égouttage. Les équipements utilisés pour le manutentionner et le traiter (circuits, pompes, réfrigérants...) doivent être en acier inoxydable, d'une part pour éviter les corrosions (d'autant plus rapide que le produit est plus acide) et d'autre part pour préserver le produit lui-même de toute altération et de toute contamination. Les précautions sanitaires doivent être observées avec même soin que pour tout produit alimentaire, (Dryer J., 2001). Le stockage pourra s'effectuer dans des cuves en inox ou en matériau inerte (plastique, résine...) de même que le transport, (Alais C., 1984).

La réfrigération doit être appliquée rapidement pour limiter l'acidification, qui est très rapide dans les conditions habituelles de température au moment de l'égouttage. Pour maintenir les qualités du produit fini et éviter les problèmes au cours de la fabrication, il est primordial de bloquer l'acidité dès le départ. Les lactosérums doux pourront sans inconvénient, être refroidis à des températures inférieures à 10°C (voire 4 à 6°C), par contre il sera préférable de ne pas trop refroidir les sérums acides. Une température de l'ordre 15°C convient parfaitement, d'autant plus que l'évolution bactériologique, pose beaucoup moins de problèmes dans ces produits compte tenu de leur bas pH, (Chaput G., 1981).

I .5. Les risques sanitaires et environnement a les liés à leurs rejets dans les eaux d'assainissement

L'utilisation du lactosérum peut générer un certain nombre de problèmes spécifiques, du fait d'un risque sanitaire lié à sa contamination par des agents pathogènes. Ce sous-produit est une solution acide renfermant des substances nutritives pour les microorganismes, à savoir les glucides, les protéines, les acides organiques, les sels et un reliquat de matière grasse. Il contient aussi de facteurs de croissance indispensables, tels que les vitamines du groupe B. C'est donc, un milieu de culture favorable pour de nombreuses espèces bactériennes et pour les levures et les moisissures, (Casalis J., 1975).

Le rejet des effluents laitiers constitue une menace réelle sur l'environnement, car le lactosérum est riche en matière organique, en particulier en lactose (40%), (Alais C., 1984). La pollution causée par 1000 m³/jour d'eaux usées rejetées par une industrie laitière serait équivalente à celle d'une ville de 800000 habitants, (Kosikowski F., 1979). Dans ces conditions, il est devenu indispensable de le recycler pour éviter la menace polluante.

Différentes techniques peuvent être utilisées afin de minimiser les risques liées à la pollution des eaux de distribution, de rivières ou les eaux souterraines. On cite dans ce contexte, (Laplanche J., 2004):

- Le rejet dans les fosses de toute eau permet d'obtenir, après 4 à 5 jours, un abattement de 30 % sur la DCO. L'épuration est complétée par un épandage en aval.

- Un épandage gravitaire qui consiste à épandre, en continu et par un simple tuyau, les eaux blanches dans des terrains pentus. Le principe repose donc sur une épuration biologique par le sol et cette technique permet un abattement de plus de 80%. Afin d'éviter une saturation du sol, le tuyau doit être déplacé régulièrement et avant de pouvoir épandre une deuxième fois sur une surface, il faut respecter un long temps de repos qui peut aller jusqu'à 5 ans.

- Cultures fixées sur lit de pouzzolane: Ce procédé est un procédé de filtration fonctionnant à biomasse fixée. Le temps de contact, entre les bactéries et la matière organique contenue dans les effluents, est augmenté en effectuant plusieurs recyclages. Des temps de repos sont imposés pour permettre à la biomasse épuratoire de régresser et maintenir ainsi une oxygénation du filtre. Les rendements épuratoires sont aussi très bons et peuvent atteindre plus de 95 % d'abattement, (Laplanche J., 2004).

Selon si le lactosérum est rejeté ou non, l'impact en terme de pollution de l'activité fromagère est très différent et la valorisation du petit-lait peut être une éventualité pour faciliter l'épuration avant rejet des effluents, puisque cela permet un abattement important de la concentration des rejets, (Laplanche J., 2004).

CHAPITRE II:
CARACTERISTIQUES
PHYSICO-CHIMIQUES ET
COMPOSITION
BIOCHIMIQUE ET
MICROBIOLOGIQUE DU
LACTOSERUM

Chapitre II: Caractéristiques physico-chimiques et composition biochimique et microbiologique du lactosérum

II.1. Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum

II.1.1. PH

Le pH lié à l'acidité, est très importante en industrie laitière. Dans le cas du lait, il permet de juger l'état de sa conservation (Mathieu J., 1998). La valeur moyenne du pH du lactosérum collecté est égale à 5,20. Le lactosérum est plus acide que le lait bovin, dont le pH varie entre 6,6 et 6,8 (Jenness R., 1970).

La valeur enregistrée est supérieure à celle rapportée par soit respectivement 4,70 et 4,60 (Sienkiewicz T., 1990, Sottiez P., 1990). Toutefois, elle se rapproche de celles citées par soit 5,90 et 5,89 respectivement, (Boudjema K., 2007, Benaouida K., 2008).

L'abaissement du pH du lactosérum par rapport à celui du lait, peut être expliqué par la prolongation de l'action des ferments lactiques utilisés pour la fabrication du fromage. De même, ce caractère acide du lactosérum peut entraver la croissance des microorganismes de contamination qui exigent un pH proche de la neutralité (Tableau 1), (Mathieu J., 1998).

II.1.2. Acidité titrable

Tous les constituants, sont capables de se combiner à des ions basiques et contribuent à l'acidité du lait. C'est l'équilibre entre les constituants basiques (sodium, potassium, magnésium, calcium et hydrogène) et les constituants acides d'un produit (phosphates, nitrates, chlorures, carbonates, hydroxyles et protéines) qui en déterminent l'acidité, (Jenness R., 1970). L'acidité titrable des lactosérums peut différer selon l'état initial du lait (taux de contamination), le mode de coagulation utilisé et en fonction de la quantité de présure ou des ferments utilisés, (Adrian J., 1987).

Les échantillons de lactosérum fraîchement collectés, présentent une acidité titrable de l'ordre de 53°D. Cette valeur est fortement supérieure à celle du lait frais qui se situe entre 15 et 20°D, (Sawaya W *et al.*, 1989). Selon les lactosérums acides obtenus lors de la fabrication des fromages à pâtes fraîches et molles ou lors de la production des caséines, atteignent une valeur de 120°D. C'est dans cette fourchette, que la valeur enregistrée, lors de la présente étude se situe, (Schuck P., 2002). L'acidité du lactosérum est due principalement à la présence de protéines, surtout l' α lactalbumine, de substances minérales telles que les phosphates et le CO₂ et d'acides organiques, le plus souvent l'acide citrique (Tableau 1), (Kamoun M., 1995).

II.1.3. Densité

Les échantillons de lactosérum analysés sont caractérisés par une faible densité. Celle-ci est liée au taux de matières solides et à la viscosité. Elle varie avec le taux butyreux et la

teneur en matière sèche, (Mathieu J., 1998). Dans les échantillons de lactosérum analysés, elle est égale à 1,025. Cette valeur est similaire à celle citée par (Schuck P., 2002). Le lait bovin présente une densité de l'ordre de 1,028 (Filipovitch D., 1954). Cette valeur est comparable à celle de lactosérum analysé. La densité du lactosérum, peut poser des problèmes d'appétibilité lors de son utilisation, sous forme brute, dans l'alimentation animale. Ceci laisse à supposer une addition d'eau, c'est-à-dire, un lactosérum mouillé, d'où, l'avantage d'utiliser le lactosérum sous forme de mélange avec l'eau (Tableau 1), (Bernal V., 1985).

Tableau 1:Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum

Paramètres	Moyenne
Ph	5,20
Acidité titrable °D	53
Densité	1,025

Mathieu J (1998)

II.2.Composition biochimique du lactosérum

Composition chimique du lactosérum varie considérablement selon la source du lait, les différents traitements que l'on subit pour le transformer en produits consommables et les procédés de fabrication (Tableau 2), (Laplanche J., 2004):

Tableau 2: Composition type (en g/l) de lactosérum acide et doux

Composant chimique	Lactosérum doux	Lactosérum acide
Matière sèche	71	65,8
Matières grasses	2	0,4
Lactose	49	44
Azote non protéique	0,5	0,2
Protéines	8	7
Acide lactique	2	5
Minéraux	5	8

Fevrier C (1977)

II.2.1. Matière sèche

Dans le processus de coagulation du lait, les protéines caséine que forment le coagulum, la matière grasse est récupérée sous forme de crème. Le lactosérum présente donc, une teneur en matière sèche faible par rapport au lait d'origine, (Mottar A., 1989). Les échantillons de

lactosérum analysés représentent des teneurs en matière sèche égale à 61g/l. Celle du lait bovin frais est de l'ordre de 128g/l, (Larpent J., 1990).

II.2.2. Matières azotées du lactosérum

Sur les 10 à 14g de Matières azotées présentes dans 100g de matières sèches du sérum, 65% sont des protéines du sérum et 35% des Matières azotées non protéiques: azote uréique ou ammoniacal, acides aminés libres, nucléotides, (Adrian J., 1973).

II.2.2.1. Les protéines du lactosérum

De par leur apport nutritionnel (source d'acides aminés essentiels) et leurs propriétés technofonctionnelles particulières, les protéines du lactosérum revêtent une importance considérable, au double plan quantitatif et qualitatif. La fraction protéique du lactosérum est composée de 6 protéines majeures, (Morr C et Ha Y., 1993):

La β -lactoglobuline (β -LG), l' α -lactalbumine (α -LA), la sérum albumine bovine (SAB), immunoglobulines (Ig), la lactoferrine (LF) et la lactoperoxydase (LP). Les acides aminés constitutifs de chaque protéine porteurs de groupements acides ou basiques s'ionisent en fonction du pH et confèrent aux protéines des propriétés amphotères. Le pH pour lequel la charge globale nette s'annule est le point isoélectrique (PI) de la protéine. La structure et les propriétés fonctionnelles de ces protéines ont largement été étudiées. Nous n'en ferons pas une revue détaillée. Leurs principales caractéristiques sont présentées (Tableau 3), (Muller A., 1996).

Tableau3: Principales caractéristiques des protéines du lactosérum

(*): Rayon de Stokes-Einstein ou de la sphère équivalente.

Protéine	Point isoélectrique PI	Masse moléculaire Mm (kDa)	$r_{\text{stockes}}(\text{nm})^*$
α -LA	4,2-4,5	14,2	2,1
β -LG	5,1-5,4	36,6 (dimère)	2,7
SAB	4,9-5,1	69	3,6
Ig	6,6-8	>100	~5,1
LF	8-9	77	3,6

Fox P (1989)

II.2.2.1.1. L' α -lactalbumine

L' α -lactalbumine (α -LA) est une métalloprotéine (protéine qui a la propriété de fixer spécifiquement des ions) globulaire compacte de masse moléculaire 14,2 kD. Composée de 123

acides aminés, sa structure est stabilisée par 4 ponts disulfure, (Hiroaka Y., 1980, Barmant E., 1970).

Elle présente la particularité de fixer, mole à mole, du calcium, (Hiroaka Y., 1980). Elle possède un site cationique fort (Kronman M., 1989), fixant une mole de calcium par mole de protéine. Par liaison de coordination pour former un complexe α -LA-calcium (α -LA-Ca) appelé forme native de la protéine ou holo- α -LA (Stuart D., 1986). Le calcium influence la stabilité de la protéine vis à vis de la température : en effet, il augmente la température de transition de l' α -LA, ce qui entraîne une stabilisation de la protéine par rapport à la température (Eynard L., 1992). L' α -LA peut exister sous deux conformations, native (N) et acide (A). A température ambiante, pour des pH inférieurs à 5, l' α -LA adopte une nouvelle conformation appelée forme "acide" (Kronman M., 1963, Kronman M., 1964) ou apo- α -LA, due à la compétition entre le calcium et les protons au niveau du site de fixation. La forme « apo » est moins soluble que la forme « holo » vraisemblablement à cause d'une hydrophobicité de surface accrue en l'absence de calcium. Cela se traduit par une agrégation puis une précipitation de l' α -LA d'autant plus importante que le pH est proche du point isoélectrique de la protéine et que la température augmente (supérieure à 50°C), (Muller A., 1996).

II.2.2.1.2. La β - lactoglobuline

C'est la protéine la plus abondante du lactosérum provenant du lait de vache. Son taux est de 2,5 à 3 g par litre et elle représente 50% des protéines lactosériques. Sous sa forme monomère, elle a un PM de 18 400 dalton et à l'état naturel, elle se trouve sous forme dimérique (PM 36 800). Il est à noter son absence dans le lait de femme, (Pierre J., 2002).

II.2.2.1.3. La sérumalbumine bovine

Elle est présente dans le lactosérum à la concentration de 0,30 g par litre. Son poids moléculaire est de 69 000 daltons. Elle est identique à la sérum albumine du plasma sanguin: poids moléculaire, mobilité électrophorétique, composition en acides aminés similaires. Elle a un caractère acide avec un pHi de 4,7. Elle est d'origine sanguine. Grâce à sa faculté de liaisons réversibles, elle joue le rôle de transporteur de molécules et ions divers: colorants, médicaments, acides gras, métaux divalents, (Pierre J., 2002).

II.2.2.1.4. La lactoferrine

C'est une glycoprotéine (7,2% de glucides) dont le poids moléculaire est de 88 000 daltons. Elle possède une grande affinité pour le fer (teneur en fer 0,11%). Elle fixe 2 atomes de fer par molécule. Sa teneur, dans le lactosérum est de 0,10 g/l. La lactoferrine exerce des propriétés bactériostatiques liées à sa capacité à chélater le fer nécessaire au développement de nombreuses bactéries, (Pierre J., 2002).

II.2.2.1.5. La lactoperoxydase

Elle appartient au groupe des glycoprotéines. Elle possède un groupement hémique lié à la partie protéique par une liaison non covalente. Elle possède un atome de fer par molécule. Son taux est de 0,070 g/l de lactosérum. son poids moléculaire est de 78 000 daltons et son pHi de 8,1. La lactoperoxydase ne possède pas, par elle-même, de propriétés anti-bactériennes mais en présence de thiocyanate et d'eau oxygénée, elle constitue un puissant système de lutte contre le développement des bactéries. Elle est bactéricide vis-à-vis des bactéries Gram négatif et bactériostatique vis-à-vis des germes Gram positif, (Pierre J., 2002).

II.2.2.1.6. Immunoglobulines

Ce sont des glycoprotéines de masse moléculaire élevée (160 000 IgA, IgG, 960 000 IgM). Leur taux moyen est de 0,65 g/L de lactosérum. Les IgG prédominent dans celui-ci. Ces protéines anticorps assurent la transmission de l'immunité de la mère au jeune animal, (Pierre J., 2002).

II.2.2.1.7. Caséinomacropéptide

Il est, encore, appelé caséinopeptide, ou caséinoglycopeptide. C'est un glycopeptide issu de l'hydrolyse de la κ -caséine par la chymosine. Son poids moléculaire est de 8 000 daltons. Il est caractérisé par sa richesse en acides aminés alcools, sérine et thréonine, qui constituent le quart des acides aminés totaux. Par contre il est dépourvu de phénylalanine, de tyrosine et de tryptophane. La partie polysaccharidique est liée aux molécules de thréonine. Son taux est compris entre 1,20 et 1,50 g/L de lactosérum, (Pierre J., 2002).

II.2.2.1.8. Protéoses-Peptones

Ce sont des peptides libérés par une hydrolyse de type trypsine de la β -caséine. On distingue trois types de protéoses-peptones :

- La protéose-peptone 5, constituée de la séquence peptidique 1-105 de la β -caséine. C'est le fragment le plus long des protéoses-peptones et son poids moléculaire est de 14 300 daltons.

- La protéose-peptone 8 lente (PP8-l) correspondant à la séquence 29-107 de la β -caséine. Son poids moléculaire est de 9900 daltons.

- La protéose-peptone 8 rapide (PP8-r) composée de la séquence 1-28 de la β -caséine et dont le poids moléculaire est de 4000 daltons.

Il faut remarquer que le protéose-peptones, PP5 et PP8-1 renferment les séquences peptidiques correspondant aux casomorphines. Cette fraction protéose-peptone est associée à un autre composé, le PP3. Il s'agit d'une glycoprotéine phosphorylée comportant 16 à 17% de

glucides et dont le poids moléculaire est de 28000 daltons. Elle est capable de fixer le calcium et elle inhibe la lipolyse de façon plus efficace que les autres protéase-peptones.

La composition protéique du lactosérum n'est pas limitée aux protéines mentionnées ci-dessus. Celui-ci contient des enzymes solubles tels que peroxydase, lactosynthétase, ribonucléase, amylase, lysozyme.... On ne saurait passer sous silence la présence de protéines et de peptides qui sont, certes, en faible concentration mais qui ne peuvent être négligés en raison de leurs propriétés biologiques. Il s'agit, par exemple, de cytokines et de facteurs de croissance, (Pierre J., 2002).

II.2.2.2. Azote non protéique

Cet azote non protéique est soluble et directement utilisable par l'animal s'il est capté par la flore microbienne; il est alors transformé en protéines microbiennes ou dégradé en ammoniac et recyclé dans le foie sous forme d'urée, (Carole L., 2002).

II.2.3. Le lactose

Le lactose est un diholoside réducteur constitué d'une molécule de D-galactose unie à une molécule de D-glucose par une liaison osidique 1-4. Il représente l'élément le plus abondant du lactosérum puisque sa concentration est d'environ 50g par litre. Il est synthétisé dans la glande mammaire. Le transfert du galactose au glucose est catalysé par une galactosyl transférase qui nécessite l'intervention de l' α -lactalbumine. L'association de deux protéines constitue la lactose synthétase. Le lactose peut être isolé des autres éléments du lactosérum par cristallisation ou ultrafiltration (Figure 1), (Pierre J., 2002).

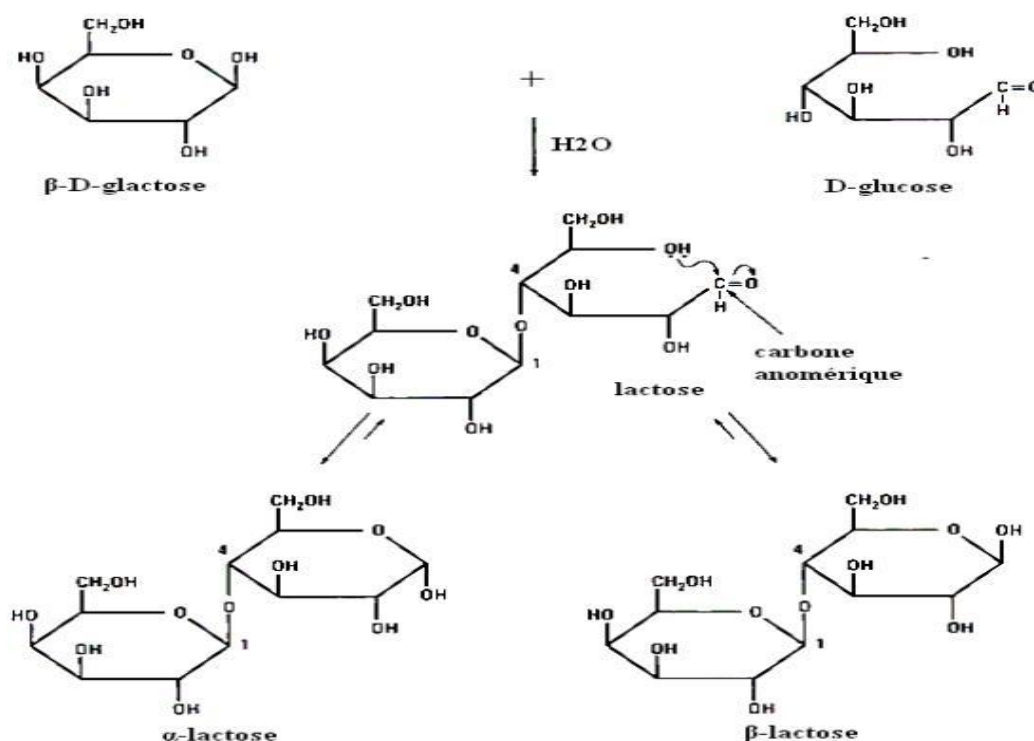


Figure 1: Formation du lactose et structures cycliques (Carole L., 2002)

II.2.4. Matières grasses

La teneur en lipides du lactosérum dépend principalement de la teneur en matière grasse du lait de fromage, ce qui conduit à une teneur plus faible de matières grasses dans le petit lait, (Adrian J., 1987). Deux facteurs déterminent la teneur en lipides complexes du lactosérum : la teneur en gras du lait fromager et taux de rétention des lipides complexes dans le caillé présure. Le lactosérum d'un fromage de lait entier est plus riche en lipides complexes que le lactosérum d'un fromage de lait écrémé, (Carole L., 2002). Une faible quantité de matière grasse du lait (matière première) se retrouve inévitablement dans le lactosérum. Toutefois, dans les traitements industriels, le lactosérum est le plus souvent écrémé. Une fois récupéré, ce reliquat de matière grasse, sert à la fabrication de beurre ou de la crème, (Veissyere R., 1975).

II.2.5. Matières minérale

Dans le même type de lactosérum et du fait de la diversité des technologies de fabrication fromagère, une forte hétérogénéité peut être obtenue au niveau de la composition minérale du lactosérum issu de la fabrication des fromages à « pâtes fraîches » et ceux issu de la fabrication des fromages à « pâtes molles », (Benezech T., 1994). La composition minérale détaillée, anions et cations, déterminée par électrophorèse capillaire dans le cas des deux lactosérums acides, est donnée dans le tableau 4, (Saulnier F., 1996).

Tableau 4: Composition anionique et cationique de deux groupes de lactosérums acides (exprimée en % de la matière sèche)

Composant chimique	Lactosérum doux	Lactosérum acide
Potassium	2,74 ± 0,29	3,10 ± 0,19
Calcium	1,29 ± 0,28	2,06 ± 0,61
Sodium	1,14 ± 0,15	1,11 ± 0,25
Magnésium	0,13 ± 0,01	0,19 ± 0,03
Ammonium	0,13 ± 0,12	0,23 ± 0,11
Chlorure	1,99 ± 0,25	2,15 ± 0,08
Phosphate	1,38 ± 0,19	3,78 ± 1,50
Sulfate	0,14 ± 0,04	0,15 ± 0,02
Citrate	2,21 ± 0,33	2,29 ± 0,62
Lactate	1,84 ± 0,39	5,82 ± 2,48

Saulnier F (1996)

Il existe des variations significatives au niveau des teneurs du lactosérum en potassium, en calcium, en magnésium, en phosphore, en acétate et en lactate. En outre, pour un même type de ce sous-produit de la fromagerie, d'importants coefficients de variation sont observés. D'autres études ont montré que la composition chimique et l'acidité des lactosérums acides varient fortement, au cours de l'étape d'égouttage des fromages. Ces observations permettent de conclure qu'à chaque type de fromage et à chaque étape de fabrication est associé un lactosérum, (Coton S., 1980).

II.2.6. Les vitamines

Les vitamines du lactosérum sont, en majorité, des vitamines hydrosolubles puisque la matière grasse a été presque totalement éliminée, entraînant avec elle les vitamines liposolubles. Parmi les vitamines présentes, on note des quantités importantes de riboflavine (vitamine B2), d'acide pantothénique (vitamine B5); de thiamine (vitamine B1); de pyridoxine (vitamine B6) et l'acide ascorbique (vitamine C). La riboflavine qui donne sa couleur au lactosérum, est un élément gênant dans la fabrication du lactose qu'elle colore: 200 à 300 mg se fixent sur chaque gramme de lactose (Tableau 5), (Paquin P., 2004).

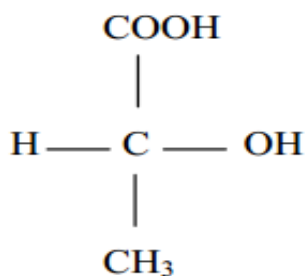
Tableau 5: Teneur en Vitamines dans le lactosérum

Vitamine	Concentration (mg/ml)
Thiamine	0,38
Riboflavine	1,20
Acide nicotinique	0,85
Acide pantothénique	3,40
Pyridoxine	0,42
Cobalamine	0,03
Acide ascorbique	2,2

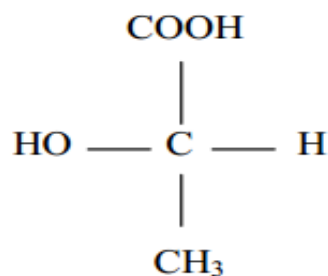
Luquet F et Boudier J. (1984)

II.2.7. Acide lactique

L'acide lactique ou acide α hydroxy propionique, se présente sous deux formes optiquement actives dues à la présence d'un carbone asymétrique situé en α de la fonction acide. La configuration L (+) est lévogyre et la configuration D (-) est dextrogyre (figure 2), (JARRY., 1994).



Acide D lactique



Acide L lactique

Figure 2: Les deux isomères de l'acide lactique (Jarry A., 1994)

II.3. Composition microbiologique des lactosérums

La qualité microbiologique est un bon indice pour caractériser l'aptitude d'une denrée à la transformation et à la conservation. Ces germes peuvent être divisés en trois grands groupes (Casalis J., 1975):

II.3.1. Germes bénéfique

Il s'agit des germes, dont le métabolisme fermentaire, conduit à la production d'acide lactique à partir du lactose. Ce sont les bactéries lactiques utilisées comme levain en technologie laitière. Les fermentations, dont elles sont responsables, sont favorables à l'évolution de la composition du lactosérum. Cette flore joue un triple rôle, (Adrian J., 1987) :

- Inhibition de la flore putride et d'altération par acidification.
- Accroissement de la qualité marchande par fermentation lactique aromatisant.
- Action antiseptique grâce à l'acide lactique produit (Imbert R et Pontaven A., 1977).

Cette flore fermentative appartient généralement à deux familles, (Alais C., 1984):

- Celle des *streptococcacées*, constituée par des *streptocoques homofermentaires*, qui sont à Gram positif, jouant un rôle conservateur dans le lait. Ils produisent des substances inhibitrices d'autres Germes. Les espèces *Streptococcus lactis* et *Streptococcus cremoris* élaborent respectivement de *Nisine* et de *Diplococcine*, bactériocines inhibant les bactéries à Gram positif comme les *Streptocoques*, les *Staphylocoques*, les *Clostridies* et les *mycobactéries* (Alais C., 1984).

- Celle des *Lactobacilliacées*, agents de fermentation très utilisés en laiterie. Les lactobacilles peuvent acidifier le lait jusqu'à un pH inférieur à 3,5 (Dryer J., 2001). Cette flore présente un rôle très important sur le plan fonctionnel et technologique. Selon (Lejaouen R., 1990), la flore du lait et de lactosérum exerce un rôle sur le pH final du milieu et sur la vitesse d'acidification. En effet, les levains fermiers dénommés lactosérums (sérum, petit lait) sont caractérisés par des flores variées dont l'origine, est la ferme, (Spinnato N et Tormo H., 1994).

Les levains naturels (lactosérum) présentent la particularité de contenir de nombreux facteurs de croissance tels que des peptides, des acides aminés et des oligoéléments. Leurs richesses floristiques leur confèrent la propriété d'être plus résistants que les ferments de commerce aux attaques phagiques et de s'adapter mieux aux différentes pressions de sélection du milieu, par exemple, aux variations de température et aux accidents liés à chaque type de fabrication. Les levains naturels présentent aussi l'avantage d'être peu coûteux, (Spinnato N et Tormo H., 1994).

II.3.2. Germes d'altération

Il s'agit des germes hétéro-fermentaires, dont le métabolisme fermentaire conduit à production d'autres composés que l'acide lactique, tels que l'acide acétique, l'alcool et surtout du gaz carbonique, entraînant une perte de valeur nutritive du lactosérum. Ils sont représentés par les bactéries et les levures. Souvent, ces fermentations se développent aisément dans les milieux neutres (lactosérum doux) et les composés formés sont pour la plupart responsables des mauvaises odeurs, (Trystram G., 1991).

II.3.3. Germes pathogènes

Les plus dangereuses sont des bactéries et des virus qui peuvent se développer dans le lactosérum. La contamination du lactosérum par un agent pathogène peut être le fait, (Imbert R et Pontaven A., 1977):

- De la contamination initiale du lait à la sortie de la mamelle (cas des animaux mammiteux), ou atteint d'autres agents des maladies générales susceptibles d'infester la mamelle.
- Ou de la contamination ultérieure du lait ou du lactosérum par des bactéries de l'environnement provenant de l'animal (fèces, peau), de l'homme, de l'atmosphère, du matériel de traite ou de l'atelier de fabrication (Dryer J., 2001).

La diversité et le nombre des agents susceptibles d'être rencontrés sont naturellement très dépendant de l'état de la santé du troupeau d'une part, et de la qualité hygiénique de la collecte et des ustensiles utilisés d'autre part. Le tableau (6) présente les principaux agents pathogènes susceptibles d'être rencontrés dans le lactosérum et les maladies qu'ils peuvent provoquer (Casalis J., 1975).

Tableau 6: Principaux agents pathogènes susceptibles de contaminer le lactosérum

Contamination du lait à la sortie de la mamelle	
<u>- Agents bactériens</u> -<i>Brucella</i> -<i>Mycobacterium tuberculosis</i> -<i>Coxiella burnetii</i> -<i>Staphylococcus aureus</i> <u>- Agents viraux</u> -<i>Virus aphteux</i> -<i>Maedi visna</i> -<i>Agent de CAEV</i> -<i>Virus de leucose</i>	<u>- Maladies provoquées</u> -<i>Brucellose</i> -<i>Tuberculose</i> -<i>Fièvre Q</i> -<i>Mammite</i> -<i>Fièvre aphteuse</i> -<i>Atteinte nerveuse et pulmonaire du mouton</i> -<i>Arthrite encéphalite caprine</i> -<i>Leucose bovine</i>
Contamination du lait après la sortie de la mamelle	
<u>- Agents bactérien</u> -<i>Escherichia coli</i> -<i>Listeria monocytogenes</i> -<i>Salmonella</i>	<u>- Maladies provoquées</u> -<i>Diarrhée, septicémie néonatale</i> -<i>Listériose (avortement, encéphalite)</i> -<i>Salmonellose</i>

Casalis J (1975)

CHAPITRE III:
SEPARATION DE
DIFFERENTES
FRACTIONS
BIOCHIMIQUES DU
LACTOSERUM

Chapitre III: Séparation de différentes fractions biochimiques du lactosérum

III .1.Séparation des protéines de lactosérum

III .1.1. Extraction de la fraction protéique

Les progrès technologiques des dernières années ont permis de donner une valeur ajoutée au lactosérum. Différentes techniques peuvent être utilisées pour extraire ou concentrer les composantes protéiques de lactosérum (Tableau 7), (Gesau G., 1995).

Le tableau (8) résume les principales techniques utilisées pour extraire les protéines lactosériques. Du point de vue industriel, la fraction protéique constitue la partie la plus importante du lactosérum. En effet, les protéines sériques offrent d'excellentes propriétés nutritionnelles, fonctionnelles et biologiques. Il est possible de récupérer la partie protéique du lactosérum sous la forme de Concentré Protéines de Lactosérum (CPL), (Dickinson E., 1996). Il peut être purifié à divers degrés (35-95 % protéine d'extrait sec). Lorsque la pureté des CPL est supérieure à 90%, ils portent le nom d'isolats de protéines de lactosérum (Nandini U., 1992).

Tableau 7: Composition en protéines de lactosérum du lait bovin

Type de Protéine	Masse Moléculaire Mm (Kd)	Point isoélectrique pi (pHi)	Structure Secondaire	Nombre de ponts S-S	Nombre de groupements S-H libres
Bêta-lactoglobuline	18362	5,2	10 % d'hélice α et 45% feuillet β	2	1
Alpha-lactalbumine	14,174	4,5-4,8	14 % d'hélice α et 26% feuillet β	4	0
Albumine sérique bovine	69,000	4,7-4,9	54 % d'hélice α et 40% feuillet β	17	1
Immuno-globuline G	Variable 10^3 a 10^6	5,5-8,3	Non précisé	32	Non précisé

Cayot P et Lorient D (1998)

Les principales techniques de séparation utilisées sont basées sur l'échange ionique, les techniques de filtration sur membrane, la chromatographie d'exclusion (filtration sur gel) et la précipitation par des électrolytes (Marshall K., 1982). Pour améliorer la pureté et la qualité des concentrés protéiques, un prétraitement du lactosérum est requis, (Barbut S., 1995).

Le prétraitement du lactosérum est nécessaire car il contient des résidus de la fabrication fromagère et caséinière (fines de caillé, lipides, etc.), qui pourraient encrasser les échangeurs de chaleur, les membranes filtrantes ainsi que les résines échangeuses d'ions et altérer la qualité du lactosérum et les propriétés fonctionnelles des protéines, (Maubois J *et al.*, 1987).

Tableau 8: Techniques d'extraction et de concentration des protéines lactosériques selon l'application

Technique		Produit	Application
Concentration	Evaporation	Poudre de lactosérum	Alimentation animale
	Osmose inverse		
	Nanofiltration		
Déminéralisation	Electrodialyse	Poudre de lactosérum Déminéralisée	Alimentation infantile
	Echange ionique		
	Nanofiltration		
Séparation des protéines	Echange d'ions	Isolat protéique concentré protéique	Alimentation humaine
	Ultrafiltration		
	Traitement thermiquedénaturant		
Fractionnement protéique	Echange d'ions	Lactoferrine	Médecine, Pharmaceutiques
	Précipitation	Lactoperoxydase	
	Sélective	β -lactoglobuline	
	centrifugation	α -lactalbumine	

Daufin G (1998)

III.1.1.1. Déminéralisation du lactosérum

Le lactosérum est très minéralisé (8 à 20 % de la matière sèche), ce qui peut nuire à sa transformation et à ses propriétés, (Daufin G., 1998). Pour certaines applications, il est donc important de le déminéraliser. Par exemple, des ingrédients à base de lactosérum déminéralisé sont utilisés dans les formules pour nourrissons et dans les applications diététiques (Hoppe G et Higgins J., 1992). La déminéralisation peut se faire de trois façons: par électrodialyse, par traitements sur résines échangeuses d'ions et par nanofiltration tangentielle, (Fauquant J *et al.*, 1985).

III.1.1.1.1. Electrodialyse

L'électrodialyse est un procédé membranaire basé sur une différence de potentiel électrique. Les membranes permettent de transférer sélectivement, sous un champ électrique, certains ions, (Jost R *et al.*, 1989). Le concentré de lactosérum est introduit dans des cellules séparées par des membranes perméables aux ions de manière sélective tandis que deux électrodes attirent chacune les ions négatifs et positifs. Les cellules où circule le lactosérum sont séparées par d'autres, où circule une solution saline. Cette solution d'électrolytes entraîne les ions négatifs et positifs. Ces derniers s'unissent et forment des sels. Le lactosérum, perd peu à peu, ses ions en circulant entre les cellules d'eau salée, (Rolland J., 1984).

III.1.1.1.2. Echange ionique

Le principe de base de la chromatographie par échange ionique consiste en l'échange de la phase stationnaire par des ions chargés de la phase mobile, (Galani D et Owusu R., 1996). Le lactosérum passe dans une phase stationnaire cationique suivie d'une phase anionique.

L'échange cationique lie les minéraux positifs tout en libérant les ions H^+ correspondants tandis que, l'échange anionique lie les anions et libère les ions OH^- correspondants. L'échange ionique permet de déminéraliser le lactosérum entre 90 et 99%, selon le type de colonne utilisé, (Sienkiewicz T et Riedel C., 1990).

III.1.1.1.3. Nanofiltration tangentielle

Une autre méthode utilisée pour la déminéralisation du lactosérum est la nanofiltration tangentielle. Elle permet la récupération du lactosérum déminéralisé. Cette technique a une grande flexibilité des installations, un investissement limité et des coûts de fonctionnement inférieurs à ceux du procédé combiné évaporation-électrodialyse, (Daufin G., 1998).

Les volumes et la charge polluante des effluents sont inférieurs à ceux de l'électrodialyse et de l'échange ionique (Kelly J., 1995). La nanofiltration, comme son nom l'indique, sépare les particules de l'ordre du nanomètre (Roff C et Foegeding E., 1996).

III.1.1.2. Concentration de la fraction protéique

Une fois le lactosérum déminéralisé, il doit être concentré. Les trois principales méthodes utilisées sont l'osmose inverse, l'ultrafiltration et la chromatographie, (Liebrecht J., 1997).

III.1.1.2.1. Osmose inverse

L'osmose inverse est une technique de filtration sur membrane qui sert à concentrer le lactosérum jusqu'à 18- 27% de matière sèche (Daufin G., 1998). Ce procédé à membrane ne fait que séparer l'eau des autres constituants du lactosérum et concentre ces derniers. Le mécanisme de sélection des constituants est basé sur la diffusion. Les particules retenues ont

une taille inférieure à 1000 daltons et la pression d'opération est supérieure à 20 bars (Renner E et Abd El-Salam M., 1991).

III.1.1.2.2. Ultrafiltration

L'ultrafiltration est un procédé de séparation par membrane qui fractionne les substances dissoutes en fonction de leurs tailles et de leurs structures. Ce procédé met en jeu un gradient de pression et une membrane semi-perméable. A la fin du procédé, deux fractions sont obtenues : le retentât et le perméat. Le retentât est constitué de molécules ayant un poids moléculaire élevé (protéines, lipides) tandis que, le perméat contient les molécules de faible poids moléculaire (lactose, sels, vitamines, acides aminés et eau). Les particules retenues ont un poids moléculaire se situant entre 10^3 et 10^6 et la pression d'opération varie entre 1 et 15 bars, (Renner E et Abd El-Salam M., 1991).

Les différents paramètres physiques, entre autre, la surface, la forme et la dimension des pores de la membrane, la pression statique, la vitesse d'écoulement et la température influencent l'efficacité de l'ultrafiltration, (Sienkiewicz T et Riedel C., 1990).

III.1.1.2.3. Isolement des protéines par chromatographie

L'adsorption par échange d'ions constitue un procédé de fractionnement des protéines de lactosérum, en une forme non dénaturée, basés sur le caractère amphotère de ces dernières. La fixation des protéines se fait à pH= 4 et leur élution à pH= 9. L'éluant est dilué et doit être concentré par ultrafiltration. L'isolat protéique de lactosérum (IPL) ainsi obtenu est très pur et sa solubilité à pH 4,5 est relativement faible (7 à 48 %), (Cheftel J et Besançon P., 1982).

Ce type de chromatographie emploie comme échangeurs d'ions des billes de silice de porosité contrôlée et stable sur lesquelles sont greffés des groupements anioniques ou cationiques. Les échangeurs d'ions et les pH d'adsorption et d'élution diffèrent selon le lactosérum utilisé (doux ou acide). La concentration protéique de l'éluant est de 4,5%, (Cheftel J et Besançon P., 1982).

III.1.2. Utilisation des concentrés protéiques

Comme mentionné précédemment, les protéines de lactosérum possèdent de nombreuses propriétés nutritionnelles, fonctionnelles et biologiques, ce qui permet de les utiliser pour l'alimentation animale et humaine (Bottomley R., 1990). Le tableau 9 résume les différentes voies d'utilisation des protéines de lactosérum.

Tableau 9: Utilisations et propriétés fonctionnelles des protéines de lactosérum

Propriétés fonctionnelles	Modes d'action	Aliments
De solubilité/Hydratantes	Les protéines lient/ retiennent l'eau	Viandes, boissons, pains, gâteaux, saucisses
Gélifiantes/ De Viscosité	La formation matricielle des protéines (l'épaississement)	Vinaigrettes, soupes, fromages épais, aliments faits au four, sauces, viandes
Émulsifiantes	Les protéines stabilisent les émulsions de matières Grasses	Saucisses, soupes, gâteaux, vinaigrettes, aliments pour enfants
Moussantes/ Fouettantes	Les protéines forment une pellicule stable	Garnitures barattées, gâteaux mousse, desserts

Dewit J (1984)

III.2. Extraction du lactose

On extrait le lactose par cristallisation d'un concentré. Le lactose est soluble à chaud dans l'éthanol absolu et peu soluble à froid. Les protéines sont insolubles dans l'éthanol, (Crouzet D *et al.*, 1987):

- Verser 10 mL de petit lait dans un erlenmeyer de 250 mL et ajouter 100 mL d'éthanol absolu.
- Introduire un barreau aimanté dans l'erlenmeyer. Adapter un réfrigérant à air et chauffer sur l'agitateur magnétique chauffant. Porter brièvement à ébullition. Un léger précipité gélatineux se forme.
- Eliminer ce précipité par filtration, par gravité, sur papier filtre plissé. Le précipité colmatant progressivement le filtre, la filtration est longue. Procéder en même temps à deux filtrations en parallèle. Recueillir les filtrats dans deux erlenmeyers de 250 mL.
- Rassembler les filtrats dans un seul erlenmeyer. Boucher et refroidir dans un mélange d'eau et de glace.
- Gratter les parois de la fiole avec une tige en verre pendant quelques minutes, pour amorcer et faciliter la cristallisation du lactose; celle-ci est lente. Observer la formation des cristaux. Gratter les parois et agiter l'erlenmeyer de temps en temps.
- La cristallisation terminée (10 à 15 min après l'apparition des premiers cristaux), décoller les cristaux des parois avec une spatule en inox et filtrer sur buchner dans une fiole à vide propre.

- Reprendre les cristaux restant dans l'erlemeyer avec environ 20 mL de filtrat et filtrer sur le buchner en entraînant le maximum de cristaux.

- Gratter les cristaux présents sur le filtre dans le couvercle d'une boîte de Pétri préalablement taré et marqué à votre nom. Sécher le lactose à l'étuve.

- Déterminer la masse de lactose obtenue. Calculer sa teneur dans le lait. Comparer avec les informations de l'étiquette, (Crouzet D *et al.*, 1987).

III.3. Méthodes d'extraction lipides

Les méthodes que nous avons comparées se répartissent en 2 groupes :

- les méthodes de référence normalisées pour l'extraction des lipides dans les produits laitiers, (Théodet C et Gandemer G., 1990).

- les méthodes à froid utilisées pour extraire les lipides dans les tissus biologiques ou les produits alimentaires avec des solvants binaires, (Folch J *et al.*, 1957, Clark R *et al.*, 1982, Wolff R et Castera-Rossignol A., 1987).

III.3.1. Méthodes de référence pour les produits laitiers

La particularité de ces 2 méthodes consiste en une hydrolyse à chaud des échantillons avant de procéder à l'extraction des lipides. Dans la méthode de SBR, l'hydrolyse est réalisée en milieu chlorhydrique à 100°C pendant 30min. Dans la méthode de Röse-Gottlieb, l'hydrolyse est effectuée en présence d'ammoniaque (25%) pendant 15min à 60-70°C.

Après ce traitement, les lipides sont extraits par un mélange d'oxyde diéthylique et d'éther de pétrole après ajout d'éthanol à l'hydrolysate. Pour les 2 méthodes, il n'est procédé à aucune purification ultérieure de l'extrait lipidique pour éliminer les contaminants non lipidiques, (Théodet C et Gandemer G., 1990).

III.3.2. Méthodes à froid

Ces méthodes font appel à un mélange binaire composé d'un bon solvant des lipides (chloroforme, hexane, etc) et d'un solvant plus polaire qui permet de rompre les liaisons lipides protéines (méthanol, isopropanol, etc). L'extraction est réalisée à froid. L'extrait lipidique est toujours purifié, (Folch J *et al.*, 1957).

Dans la méthode de (Folch J *et al.*, 1957), le mélange solvant est composé de chloroforme méthanol. L'extrait est purifié par lavage de la phase organique avec une solution saline (NaCl, 0,73%).

Dans la méthode de (Wolff R et Castera-Rossignol A., 1987), les lipides sont extraits avec le mélange solvant hexane/isopropanol. L'élimination des contaminants est réalisée par filtration de l'extrait lipidique sur une colonne sèche. Cette technique est rapide. La méthode de

(Clark R *et al.*, 1982) est inspirée directement de la méthode de (Folch J *et al.*, 1957). Elle utilise les mêmes solvants et une procédure de purification de l'extrait lipidique similaire.

Cependant, toutes les étapes de l'extraction se déroulent en ampoule à décanter. En effet, l'échantillon est mis en suspension dans le solvant à l'intérieur de l'ampoule évitant la phase d'homogénéisation mécanique responsable de la formation des suspensions stables en contrées dans la méthode de, (Folch J *et al.*, 1957). L'extraction est réalisée par épuisement de l'échantillon lors de 2 phases successives de décantation et de remise en suspension dans du solvant frais. L'inconvénient de cette technique est la durée des décantations (2-3 j).

Dans le procédé de clarification du lactosérum, (Fauquant J *et al.*, 1985, Fauquant J *et al.*, 1986) provoquent une agrégation des phospholipoprotéines en présence des ions calcium sous l'action d'un traitement thermique. C'est pourquoi nous avons pensé qu'une complexation des ions Ca^{2+} par l'EDTA ou leur solubilisation en milieu acide, seraient de nature à favoriser l'extraction des lipides. Au cours de la phase de réhydratation, les échantillons ont été additionnés d'EDTA (200 m mol. L^{-1}), ou d'acide chlorhydrique pour ajuster leur pH à 4,6. Environ 1 h après ces opérations, les lipides sont extraits suivant la méthode, (Clark R *et al.*, 1982).

Toutes les extractions ont été réalisées au cours d'une même quinzaine pour éviter qu'une oxydation toujours possible des lipides des échantillons n'introduise un biais dans la comparaison des méthodes. Pour chaque méthode, 4 extractions ont été effectuées à partir de 5-10 g de lyophilisat de lactosérum et de concentré lipoprotéique. Les solvants sont éliminés à l'aide d'un évaporateur rotatif, puis sous un léger courant d'azote. La teneur en lipides est déterminée par pesée et exprimée en g/100g de matière sèche, (Clark R *et al.*, 1982).

III.4. Dosage de matières minérales

III.4.1. Spectrométrie au plasma (P, K, Ca, Mg, Al, Cu, Zn, Mn)

Les extraits sont dosés par émission au plasma; on dose aussi le phosphore et le bore dans l'extrait. Ceci peut résulter en une légère surestimation de phosphore dans l'extrait, surtout dans le cas de sols riches en matière organique par rapport au résultat obtenu par colorimétrie. Les paramètres instrumentaux et les caractéristiques optiques de l'émission au plasma sont différents d'un instrument à l'autre. L'aluminium présent dans les extraits de sol produit une interférence spectrale non négligeable affectant le canal du phosphore. Si cette interférence se situe à plus de 10 % de la valeur lue au spectromètre, il convient, afin d'améliorer la précision du dosage du phosphore, de procéder à une correction de bruit de fond ou d'effectuer une autocorrection qui permettra de minimiser ce type d'interférence. Ceci s'applique surtout dans le cas de sols pauvres en phosphore et riches en aluminium, (Carole L., 2002).

III.4.2. Spectrophotométrie d'absorption atomique (K, Ca, Mg, Al, Cu, Zn et Mn)

Les extraits sont dosés par l'absorption atomique conventionnelle en présence d'un suppresseur ionique et d'interférence à raison de 1 ml par 50 ml d'extrait dilué.

Pour éviter toute coprécipitation de CsCl et de LaCl₃ en présence de l'extrait Mehlich, il est préférable de faire des dilutions dans l'eau. Les dilutions dans l'eau diminuent aussi la concentration des sels dissous déposés à la surface du brûleur. Les solutions standard sont également diluées en milieu aqueux, (Carole L., 2002).

CHAPITRE IV: INTERET TECHNOFONCTIONNEL DE DIVERS COMPOSANTS LACTOSERIQUE

Chapitre IV: Interet technofonctionnel de divers composants lactoserique

IV.1. Le lactosérum dans l'alimentation humaine

L'utilisation rationnelle du lactosérum est un problème important. Le secteur de la nutrition humaine doit se développer de façon à faire directement bénéficier l'homme des nutriments de valeur contenus dans ce liquide biologique. Bien que très diversifiées, les utilisations alimentaires du lactosérum ne représentent pas encore un volume global en relation avec la quantité de lactosérum inutilisé ou transformé pour son incorporation dans les aliments fourragers. Les domaines d'utilisation particulièrement étudiés sont: l'alimentation infantile, les boissons, les produits laitiers (fromages et yaourts), les crèmes glacées et la production de biomasse (levure en particulier). L'utilisation dans d'autres secteurs alimentaires a aussi été explorée et devrait se développer dans les industries de panification, la confiserie, les produits carnés, (Zbikowski Z et Kiswa J., 1974).

IV.1.1. Le lactosérum dans l'alimentation infantile

IV.1.1.1. Substitut du lait humain

Dans de nombreux pays, des chercheurs étudient actuellement la mise au point de produits de remplacement du lait maternel. Ces produits doivent présenter une valeur nutritionnelle égale à celle du lait humain, et pouvoir être incorporés à des formules d'aliment pour bébés ainsi qu'être utilisés en alimentation mixte. Pour la fabrication de tels substituts du lait humain, à partir de lait de vache, il est nécessaire d'utiliser des composants du lactosérum.

Sur le tableau (10), donnant la composition comparée du lait humain et du lait de vache, on voit que les principales différences entre ces deux laits sont le taux important de protéines dans le lait de vache et la composition de ces protéines : respectivement 20 et 60% de protéines du sérum, 80 et 40% de caséine dans le lait de vache et le lait humain. Les proportions en glucides (lactose) sont également très différentes, et l'on trouve trois fois moins de minéraux dans le lait humain que dans le lait de vache. Les protéines déminéralisées et le lactose du lactosérum sont donc indispensables pour donner au lait de vache une composition proche de celle du lait humain. Pour récupérer ces composés, traitement le plus approprié, pour le sérum, est l'électrodialyse et l'échange d'ions qui ne réduisent pas la teneur en vitamines. Précisent qu'il faut incorporer 15g de protéines de lactosérum déminéralisé par litre de lait initial, pour la préparation de lait partiellement humanisé, indiquent une composition grossière d'aliments infantiles: lactosérum concentré déminéralisé, lait écrémé, crème, une petite quantité d'huiles végétales pures, vitamines et minéraux, (Zbikowski Z et Kiswa J., 1974). Indiquent une composition grossière d'aliments infantiles : lactosérum concentré déminéralisé, lait écrémé,

crème, une petite quantité d'huiles végétales pures, vitamines et minéraux, (Knipschildt M., 1977).

Tableau 10: Composition comparée du Lait humain et du Lait de vache

Composition	Lait humain /100 ml	Lait de vache /100 ml
Protéines (g)	1,2	3,3
Composition en protéines (albumine + globuline %)	60	20
Caséine %	40	80
Matière grasse (g)	3,8	3,7
Acides gras insaturés %	52	27
Glucides (g)	7,1	4,8
Minéraux (g)	0,2 – 0,3	0,72
Calories	70	65

Knipschildt M (1977)

L'institut Ukrainien de recherches pour les industries du lait et de la viande a mis au point un nouveau produit lacté pour nourrissons, nommé "vitalact", qui se rapproche du lait maternel par la nature de ses constituants (protéines, matière grasse, sucre, vitamines, minéraux), par les propriétés du système colloïdal et par son effet physiologique sur le bébé (Andreevskaya L., 1974). Dans une communication présentée au XIX^e congrès international de laiterie à new Delhi, décrit la composition et les propriétés nutritionnelles de ce lait pour nourrissons : "vitalact" contient 2 à 2,1 g de protéines totales ; le rapport caséine/ protéines du lactosérum est égal à 1,1/0,9 dans le produit cru, et à 1,3/0,7 dans le produit pasteurisé à haute température, une fraction des protéines du sérum étant insolubilisée. La forte teneur en protéines du sérum a un effet bénéfique sur la composition en acides aminés du produit. La digestibilité du produit est améliorée par un léger caillage à la présure. "vitalact" contient 3,6 à 3,7% de matière grasse comprenant 3 à 3,1% de matière grasse du lait et 0,6% de matière grasse végétale (huile de tournesol raffinée et désodorisée). La teneur en acides gras non saturés essentiels est de 15%, comprenant 14% d'acide linoléique (teneur du lait de femme). L'indice d'iode est égal à 53 contre 56 pour le lait de femme et 44 pour le lait de vache. "vitalact" contient 8,2 à 8,3% de sucres totaux, ce qui est suffisant pour satisfaire les besoins énergétique du bébé. "vitalact" contient 85 à 90% de calcium et 80% de phosphore. Le rapport potassium/ sodium est de 2,8 ou 2,9/1. La teneur en fer du lait est ajustée, par concentration du lactosérum, à celle du lait de femme (0,2 à 0,3%). "Vitalact" est, grâce au lactosérum, une

source adéquate de vitamines du groupe B. l'huile de tournesol apporte la vitamine E ; les vitamines C et A sont en concentration comparables à celles des formules pour bébés. A la suite de nombreux essais dans les hôpitaux, "vitalact" est maintenant recommandé pour l'alimentation des nourrissons, dès les premiers jours qui suivent la naissance, (Andreevskaya L., 1974). Ont montré que la valeur nutritive supérieure du lait en poudre, enrichi avec des protéines de lactosérum, ne se manifeste que lorsque l'ingestion totale de protéines est inférieure au taux normal. Des enfants prématurés ont été nourris avec des laits ayant des rapports caséine/ protéines du lactosérum de 1/0, de 2/1 et de 1/1 (2,0 à 2,5 g de protéines totales/kg et /jour). Les résultats indiquent une croissance satisfaisante dans tous les groupes, et on n'observe pas de différence significative dans le bilan azoté, (Mathur B et Shahant K., 1979).

IV.1.1.2. Autres aliments destinés aux enfants

D'autres aliments infantiles sont préparés avec des protéines de lactosérum précipitées au point isoélectrique, pH=4,5; chauffage à 85-90°C (Raccota V et Rodriguez A., 1974, Raccota V et Rodriguez A., 1975, Grutte F *et al.*, 1974). Un des aliments obtenus contient, après séchage à 35°C, dans la matière séchée, 74% de protéines, 10% de lysine et a une valeur nutritive plus élevée de 50% que celle de la caséine, (Raccota V et Rodriguez-Zendejas A., 1974).

Sur des enfants de 7 à 11 ans, un concentré de protéines partiellement déminéralisées, contenant 61% de protéines dans la matière sèche et 7.3g de lysine pour 16g d'azote dont 50% de disponible, et du marzipan fabriqué à partir de ce concentré. Le concentré est digestible à 91%, tandis que le marzipan l'est à 100%. (Raccota V et Rodriguez-Zendejas A., 1975). La formulation de contient 1,7% de protéines précipitées au point isoélectrique, 3,5% de matières grasses, 6% de lactose 2% d'amidon de blé et 0,3% de minéraux, (Grutte F *et al.*, 1974).

IV.1.2. Utilisation du lactosérum dans les produits de cuisson

Les industries de cuisson sont, parmi l'utilisation les plus importants de certaines formes de lait ou de MSNG du lait. La poudre de lait écrémé est la forme la plus employée. Cependant, depuis quelques années, la consommation de lait écrémé en poudre, par l'industrie de cuisson, a diminué; ainsi, aux U.S.A, (Gillies M., 1974). Ce phénomène s'explique par deux raisons: d'une part, on ne peut utiliser que des taux faibles, n'excédant pas 1 à 2%, de lait écrémé en poudre dans la fabrication en continu de pain, et celle-ci représente environ 40% de la production du pain; d'autre part, le prix croissant du lait écrémé en poudre le rend moins accessible pour la fabrication industrielle (Guy E., 1970).

Par ailleurs, la plus grande partie du lait écrémé est séché par atomisation, or la poudre "Hatmaker", séchée sur rouleaux, a de meilleures performances fonctionnelles que les laits "spray". Ceci explique que des quantités de plus en plus importantes de lactosérum séché soient employées dans l'industrie de cuisson, (Clark W., 1979).

IV.1.2.1. Avantages de l'utilisation du lactosérum de boulangerie

Le lactosérum doux connaît un emploi croissant dans les produits de boulangerie, du fait des nombreux avantages qu'il présente (Danilevich A., 1972):

IV.1.2.1.1. Amélioration du goût et de l'arôme du produit du produit fini

Des améliorations des propriétés organoleptiques du pain sont notées pour différentes doses d'emploi du lactosérum (Danilevich A., 1972): cite des résultats obtenus par addition, à la farine, de 15 à 30% de lactosérum (par rapport au poids) ou de quantités correspondantes de lactalbumines ou de fractions de protéines libres du sérum (Tvanchenko F., 1969), obtient une amélioration avec 10 à 20% de lactosérum ajouté à la pâte; de même avec 2% de lactosérum par rapport au poids de farine, (Demchuk A *et al.*, 1975).

IV.1.2.1.2 Amélioration de la valeur nutritionnelle

L'augmentation de la valeur nutritionnelle est due à l'apport d'acides aminés indispensables, méthionine, tryptophane, lysine, qui sont en quantité limitée dans la farine de blé (Volpe J et Zabik M., 1975, Demchuk A *et al.*, 1975), indiquent une augmentation de 10% de la teneur en acides aminés pour une addition de 2% de lactosérum par rapport au poids de farine; pour l'utilisation de 58,5% de lactosérum à 6,5% d'extrait sec, dans la formule de pâte à pain, augmente le taux de protéines de 1,1% et celui de lysine de 48%, (Kask K et Kreen M., 1971).

En fabrication boulangère, le lactosérum, par le lactose qu'il contient, aurait également une action bénéfique sur la valeur nutritionnelle, à condition de n'être employé qu'à 1,5- 2,5 % du poids total des matières mises en œuvre (Paillon P., 1974, Guy E., 1970), mentionne un taux de lactosérum de 6%; (Drobot V et Roiter I., 1970), 20 à 30%. L'addition de lactosérum à la pâte améliore les teneurs en P et K, (Ivanchenko F., 1969). Il en est de même de celle en Ca, l'augmentation de teneur pouvant atteindre 60%, (Haber T et Jakubczyk T., 1971).

IV.1.2.1.3. Amélioration des caractéristiques interne et externe

Affinage de la coloration, pâte plus tendre. Grâce au lactose, la teinte superficielle du produit est plus rapidement atteinte; il est donc nécessaire d'en tenir compte pour le temps de cuisson, obtiennent cette amélioration avec l'addition de 10% de lactosérum liquide par rapport au poids de farine, (Paillon P, 1974, Kuzmin'skij R et Chjuchuk A., 1969).

La porosité du pain ainsi que son volume seraient améliorés, tandis que l'élasticité de la pâte diminuerait, par l'addition de 20 à 30% de lactosérum et d'une préparation d'enzyme d'*Aspergillus oryzae*, apportant 100 unités amylolytiques et 0,2 unité protéolytique pour 100g de farine, (Liebert T., 1973).

IV.1.2.1.4. Augmentation du rendement

Ce fait est noté par lors de l'addition à la pâte de 10 à 20% de lactosérum par rapport au poids de farine, (Ivanchenko F., 1969).

IV.1.2.1.5. Meilleure conservation

Dans tous les cas où le lactosérum est utilisé, la combinaison du lactose avec les matières azotées, donne des complexes stables, les mélanoidines, doués, vis-à-vis des matières grasses, d'une action antioxygène marquée, et qui constituent donc un moyen de défense naturelle contre le rancissement, (Paillon P., 1974).

IV.1.2.2. Condition d'utilisation du lactosérum en panification

De nombreux travaux confirment les avantages que présente le lactosérum dans la fabrication boulangère. Toutefois, des différences notables apparaissent quant aux conditions d'utilisations, (Chumachenko N *et al.*, 1973).

IV.1.2.2.1. Doses d'utilisation

Des études sur dynamique de fermentation et les caractéristiques de la pâte et du pain ont montré que 2% de sérum donnaient des résultats optimum avec une augmentation du volume spécifique de 9% et du moelleux de 12%. La composition de la poudre de sérum utilisée est la suivante (Chumachenko N *et al.*, 1973, Chumachenko N *et al.*, 1974): 13-15% de protéines ; 63-71% de lactose; 4,3-5,6% de matière grasse ; 6,6-8% de sels (Ca, P) ; éléments traces, vitamines, (Drobot V et Chumachenko N., 1975). L'addition, à la farine, de lactosérum, à des taux compris entre 1 et 5% , permet d'améliorer la composition en acides aminés et la teneur en tance du pain et ralentit son vieillissement, (Haber T., 1973, Chumachenko N *et al.*, 1974).

Lorsque du lactosérum remplace la poudre de lait écrémé, l'absorption de l'eau serait diminuée de 2 à 3% pour pain contenant 4% de lactosérum. On obtient alors un bon pain, dont le volume est quelque peu réduit par rapport au pain fabriqué avec du lait (Guy E., 1970).

Cependant, dans d'autres travaux, trouvent que la substitution par du lactosérum du tiers de lait écrémé en poudre mis en œuvre au taux de 6% dans le pain de mie, permet une plus grande tolérance pour les variations d'absorption de l'eau, augmente les performances du blé, améliore la conservation des pains et maintien des volumes égaux ou meilleures, (Guy E *et*

al.,1967). Comme le lait écrémé, le sérum liquide doit subir, avant le séchage, un prétraitement à haute température, afin de le conditionner pour la cuisson du pain, (Sanderson W., 1967).

IV.1.2.2.2. Emploi de lactosérum fermenté

Puisque le lactosérum normal contient beaucoup de lactose et seulement 1% de protéines, on a étudié la possibilité d'enrichir le lactosérum en protéines et vitamines. Ceci peut être obtenu par fermentation par les levures *Rhodotorula glutinis* ou *trichosporon cutaneum* (Marinchenko A *et al.*, 1976).

Le lactosérum enrichi, contenant 25 à 30 g /l de levure, en poids sec, ayant une teneur en protéines allant jusqu'à 2,5%, et possédant tous les acides aminés essentiels et des quantités considérables de carotènes et vitamines du groupe B, est ajouté à la farine, à la dose de 20%, en poids. Le volume du pain obtenu est augmenté de 10-15%, sa porosité de 1-3%; il a de meilleures propriétés sensorielles, une valeur nutritive accrue, due à l'augmentation des taux de Ca et P, un meilleur équilibre en acides aminés et une plus forte teneur en vitamines. Un produit séché, obtenu par fermentation contrôlée de lactosérum acide avec du vinaigre, est additionné, à raison de 1%, dans la pâte; ce produit améliore également le volume du pain de 20 à 25%. Des taux de 0,25 à 1% de cette culture séchée dans la pâte empêchent la croissance de moisissures, (Jackel S et Horn M., 1975).

D'autres produits tels que le lactosérum fermenté par *Lactobacillus acidophiles* et concentré à 40% de matière sèche (Shilovskaja T *et al.*, 1974), ou du lactosérum en poudre, additionné de *Saccharomyces fragilis* et ajouté au taux de 5% à la farine, améliorent la qualité du pain, du point de vue arôme, goût, volume, (Haber T et Jakubczyk T., 1971).

IV.1.2.2.3. Emploi de mélanges lactosérum-protéines de soja

D'autres travaux ont porté sur l'utilisation de mélanges lactosérum-protéines de soja, comme substitut de lait écrémé en poudre pour la boulangerie. Indique un mélange contenant 16 à 25% de protéines de soja et 75 à 84% de lactosérum doux, (Arnot R., 1975).

Mentionne de nombreux produits à base de lactosérum, utilisés comme substituts du lait écrémé en poudre, dont un, en particulier, contient 50% de lactosérum et 50% de soja, et a un taux de protéines de 30%, (Kirk D., 1973). Un additif, à base de protéines de lactosérum, protéines de soja, CaSO₄, acide sorbique, accélérerait le développement du gluten dans les systèmes d'opération en cuves, et réduirait le temps de pétrissage de 30%, (Hileman C., 1976).

Un autre produit, à base de lactosérum doux et de protéines de soja, dont la composition est donnée ci-dessous, pour la préparation de pain, gâteaux et glaçage, (Scanlon J., 1974).

Les protéines de soja doivent subir un traitement de désodorisation éliminant leur arôme désagréable, insiste sur la capacité d'absorption de l'eau, qui est une des fonctions les plus importantes des produits riches en protéines. Un produit contenant du lactosérum et des protéines de soja a une aussi bonne capacité de liaison de l'eau qu'un produit contenant de la poudre de lait écrémé. Le mélange lactosérum-protéines de soja peut lier 1,3 kg d'eau par kg, alors que la poudre de lait écrémé ne lie qu'un kg d'eau par kg. Un produit à capacité élevée d'absorption d'eau est désirable pour obtenir un meilleur rendement, une meilleure appréciation dans la bouche, une plus longue conservation du pain. Le mélange lactosérum-protéines de soja donne, à la croûte du pain et des gâteaux, une belle coloration, et il exerce sur les pâtes une action tampon, approchant celle de la poudre de lait écrémé, (Scanlon J., 1974).

IV.1.2.3. Action du lactosérum dans le pâtes et le pain

De nombreux travaux ont porté sur le facteur du lactosérum déprimant le volume du pain, leurs conclusions ne s'accordant pas toujours, (Larsen R *et al.*, 1949). Indiquent que dans le sérum, les protéines non chauffées aussi bien que le lactose et la caséine ont une action déprimante sur le volume du pain. Certains auteurs (Gordon A *et al.*, 1953), mettent en cause la fraction lactoglobuline du sérum, d'autres la fraction lactalbumine (Baldwin P., 1964). Le composant S de la fraction protéose-peptone (Jenness R., 1959), a été séparé du sérum et identifié expérimentalement comme étant responsable de la dépression du volume du pain, (Volpe J et Zabik M., 1975).

Les protéoses-peptones sont un mélange hétérogène de glycoprotéines contenant jusqu'à 16% de glucides et dont le poids moléculaire varie de 4100 à 200.000. Elles ne sont pas précipitées par un chauffage de 30 mn à 95°C, mais par de l'acide trichloracétique à 10%. Le composant S des protéoses-peptones est le composant le plus abondant de cette fraction: 8,6% des 19% que représentent les protéoses-peptones, par rapport aux protéines du lactosérum de vache, (Jenness R., 1959). Le poids moléculaire de ce composant est de 14.000 à 15.000 (Volpe J et Zabik M., 1975).

Il contient 1% de phosphore et seulement 1% de glucide (Alais C., 1975). Comparée à celle des protéines de gluten, la composition en acides aminés du composant S des protéoses-peptones, indique qu'ils sont tous deux riches en acide glutamique, en proline et en acides aminés non polaires. Ceci pourrait indiquer que le composant S intervient avec l'hydrogène ou les liaisons hydrogènes qui unissent les protéines du gluant en nappes solides, comprenant le réseau structural de la pâte à pain. Si une interférence a lieu dans les forces de liaison, à une échelle moléculaire, il en résulte dans la pâte, des air de faiblesse dans lesquelles les forces de dilation du gaz pourraient causer un effondrement cellulaire restreint (Volpe J et Zabik M.,

1975). La dénaturation des protéines du lactosérum, provoquant l'inactivation du facteur déprimant le gonflement du pain, permet leur utilisation sans inconvénient en industries de cuisson (Larsen R *et al.*, 1949).

IV.1.2.4.Utilisation du lactosérum en pâtisserie et biscuiterie

La qualité des gâteaux obtenus à partir de pâtes additionnées de lactosérum est améliorée par rapport aux gâteaux ne contenant pas de matière sèche du lait, leur volume, moelleux, leur arôme, leur brunissement et leur qualité de conservation sont améliorés; par rapport à des gâteaux contenant de la poudre de lait écrémé, leur humidité et leur arôme sont supérieurs, (Hanning F et De Goumois J., 1952, Paillon P., 1974). Des gâteaux contenant 10% de lactosérum doux et 2,5% de lait écrémé et moins de matière grasse, auraient un meilleur volume, même arôme, et seraient plus moelleux que des gâteaux contenant 12,5% poudre de lait écrémé, (Best P., 1967).

Tableau 11: D'utilisation du lactosérum dans les formulation pour biscuits

Types d'articles	Poids de lactosérum pour 100 kg de farine
Biscuits secs (crackers)	1 à 2 kg 500
Feuilletage (shester cookies)	2 à 3 kg 250
Biscuits ronds (rotary cookies)	2 à 3 kg 250
Biscuits (bar-frese cookies)	3 à 6 kg 600
Biscuits découpés (wire-cut cookies)	3 à 7 kg 600

Paillon P (1974)

Le tableau 15 indique quelques taux d'utilisation de lactosérum dans différents types de biscuits. Différentes formes d'utilisation du lactosérum en pâtisserie sont citées dans les publications, (Cassegrain M., 1976). Mentionne l'incorporation de 3 à 8% , par rapport à la matière sèche, de lactosérum doux; (Shilovskaja T *et al.*, 1974), emploient, à raison de 10%, du lactosérum concentré à 40% de matière sèche et d'acidité 114-528° Th (°Th. Degré Thoerner-1°Th correspond à 0,9°D (Dorme) ou à 0,4° SH (Soxhlet -Henkel), (Luquet F et Boudier J., 1976); dans des biscuits aromatisés. Dans des mixes pour gâteaux, (Ash D et Colmey J., 1975), utilisent à des taux de 0,3 et 3,0%, par rapport au poids, de la poudre de lactosérum partiellement déminéralisé et à teneur réduite en lactose, en combinaison avec 1% d'amidon modifié. Ils obtiennent ainsi de meilleures qualités de conservation, ont mis au point une formule lactosérum/protéines/carboxyméthyl de cellulose, qui serait un substitut acceptable de l'œuf dans les pâtes à gâteaux. Dans de l'eau, une dispersion de 5% de cette formule

lyophilisée a de meilleures propriétés de fouettage que l'œuf; le rapport volumique des gâteau est augmenté de 2,5, (Mann R *et al.*, 1975).

L'aptitude au fouettage des protéines du lactosérum est semblable à celle des protéines du blanc d'œuf. Des concentrés de protéines de sérum à pourraient remplacer jusqu'à 50% des blancs d'œufs dans la fabrication de meringues industrielles (Cassegain M., 1976). Cependant, l'utilisation de protéines dénaturée du sérum est limitée; on a montré la nécessité d'une inactivation sélective de certaines protéines, sans détruire les propriétés des autres (Hansen P., 1972). Montre que la liqueur provenant du lactosérum, après élimination de la lactalbumine et du lactose, contient des protéines stables à la chaleur et qui ont d'excellentes qualités au fouettage; par l'addition, à cette liqueur, de saccharose ou d'amidon soluble pour donner un produit à 60% d'extrait sec et 3% de protéines, on peut obtenir une mousse stable, utilisable pour des meringues, (Jelen P et Horbal H., 1974).

IV.1.3. Boissons de lactosérum

De nombreux auteurs ont proposé l'utilisation du lactosérum dans la composition de "soft drinks" (défini en général une boisson non alcoolisée, gazéifiée non aromatisée et sucrée (Hebert J et Scriban R., 1974) nutritifs, de boissons à haute teneur en protéines et de jus de fruits, (Mann E., 1967, Mann E., 1968, Mann E., 1969, Mann E., 1971, Mann E., 1972, Mann E., 1974, Mann E., 1976, Mann E., 1977, Lang F et Lang A., 1968, Lang F et Lang A., 1972). De tous temps, les propriétés thérapeutiques du lactosérum ont été exploitées : Hippocrate prescrivait le lactosérum pour certain nombre de maladies ; au Moyen -Age, le lactosérum était également considéré comme un remède ; en 1940, en Europe centrale, la dyspepsie, l'urémie, l'arthrite, les maladies du foie et même la tuberculose étaient soignées par des ingestions de lactosérum allant jusqu'à 1500 g par jour, (Pien J., 1943).

L'utilisation du sérum pour l'obtention de boissons nutritives, peut présenter un avantage économique manifeste si l'on peut utiliser la totalité du volume de liquide, sans traitement technologique. Cependant, concentration et le séchage sont nécessaires pour résoudre le problème de stockage et de transport, et ceci réduit fortement cet avantage (Marth E., 1970). Les boissons à base de lactosérum, très étudiées dans l'Europe de l'est n'existent pratiquement pas en France. Ce sont pourtant des boissons d'une très grande valeur diététique, de digestion facile et rapide, légères, désaltérantes, très agréable à boire, (Pien J., 1970).

IV.1.3.1. Boissons au lactosérum entier

De nombreuses boissons aromatisées ont été développée expérimentalement à partir du lactosérum entier et ont reçu une très large approbation du consommateur, (Brunner J *et al.*, 1969, Demott B., 1972, Nelson F et Brown W., 1971). L'arôme du lactosérum, en particulier

celui du lactosérum acide, est très compatible avec l'arôme des agrumes, ont préparé une boisson en mélangeant du lactosérum, du sucre, du concentré d'orange, de l'acide citrique et d'autres ingrédients pour atteindre un pH de 3,8 et un taux de matière sèche de 16,5%. Ce produit a une durée de vie d'au moins 2 semaines à 5; 10 ou 22 °C, (Laonipon R et Cardwell J., 1971).

Une autre boisson est composée de quatre volumes de lactosérum doux ou acide pour un volume de jus d'orange concentré. Cette boisson contient 0,7 à 1,0% de protéines et possède l'arôme caractéristique du jus d'orange, (Brunner J *et al.*, 1969).

Une boisson de lactosérum aromatisée à l'orange a été testée par 956 personnes de tout âge (Shannon C et Cardwell J., 1971) : cette boisson a été trouvée acceptable par 76,5% des personnes interrogées, parmi lesquelles 52,2% l'ont classée dans la catégorie "produit aimé" sur une échelle hédonique à 5 rangs et 24,2% dans la catégorie "aimé modérément" ; 9,8% étaient indifférents; 5,3% étaient modérément défavorables et 4,8% n'ont pas aimé, (Shannon C et Cardwell J., 1971).

D'autres épreuves, réalisées avec des personnes habituées aux tests d'évaluation sensorielle, ont montré que les boissons de lactosérum acide à l'organe étaient légèrement préférées à celles aromatisées au citron (Demott B., 1975).

Utilisent du lactosérum liquide concentré et en poudre dans la fabrication de boissons au citron, à la fraise, au chocolat. Ces boissons sont préparées en mélangeant, dans des proportions adéquates, les différentes matières premières : la boisson à la fraise contient 86% de lactosérum liquide, la boisson au citron 90% de lactosérum concentré et celle au chocolat 85% de sérum liquide et 8% de poudre de sérum. Ces boissons, testées par un jury de dix personnes, ont été bien notées, et aucune différence significative n'a été trouvée entre la boisson au chocolat et le lait chocolaté du commerce, (Vajdi M et Pereira R., 1973).

En Tchécoslovaquie, le lactosérum résultant de la fabrication du fromage de brebis est la base d'une boisson plaisante et populaire, appelée "Zincica" par contre le lait de brebis lui-même n'est pas consommé tel quel. Zincica est préparée avec du lactosérum doux chauffé sous agitation, jusqu'à formation, en surface, d'une peau de protéines précipitées ; le produit est refroidi ; la peau est cassée et brassée avec la partie liquide ; le produit est maintenu à une température déterminée et s'acidifie ; il peut être ainsi consommé comme une boisson particulièrement rafraîchissante, (Lang F et Lang A., 1972).

En Iran, le lactosérum est utilisé dans la fabrication du " dough" qui est un produit laitier à base de yoghourt. Le lactosérum, obtenu à partir d'une fabrication de fromage pasteurisé, estensemencé avec 2,5% de yaourt, puis soumis à acidification dans un réservoir

pendant une nuit à température ambiante. Le pH doit atteindre la valeur de 3,92 et la quantité d'acide lactique celle de 0,84%. Le lactosérum acidifié est incorporé dans le "dough" selon la formule optimal : yaourt 45,45%, eau 27,27%, lactosérum 27,27%. L'utilisation du lactosérum dans la préparation du "dough" le valorise et augmente son extrait sec de 1,5%, (Heknati M et Lame H., 1972, Heknati M et Lame H., 1974).

Décrivent la préparation de boissons avec du lactosérum, des purées de fruits (abricot, pomme, cassis, myrtilles) et du sucre dans les proportions respectives de 50,35 et 15. Il est parfois nécessaire d'ajouter de la pectine de pomme pour assurer la stabilité de la boisson. On procède par chauffage du sérum à 90-95°C, addition de sucre, puis de la purée préchauffée à 78 – 80°C, le tout est homogénéisé et stérilisé à 100°C. ces boisson contiennent 2 à 3 fois plus d'azote que les boissons aux fruits ordinaires. Le temps de conservation est d'un an, (Klimenko L et Kammeva Z., 1971).

Utilisent également des purées de fruits (pêche 20%, fraise 10%, framboise 10%) dans des boissons contenant 75 à 90% de lactosérum non traité. Ces boisson sont ajustées à 18-20° Brix et pH 3,6; elles sont bien acceptées et largement distribuées,(Nelson F et Brown W., 1971, Nelson F *et al.*, 1972).

En Pologne, des études ont conduit à la préparation d'une boisson à base de lactosérum (85 à 88 %) combiné avec des jus et des concentrés de fruit(pommes, cerises, fraises, airelles, myrtilles, cassis) et des arômes naturels (pommes, agrumes, menthe, cannelle). Deux types de sérum ont été utilisés (Rzewuskarutte R et Jadwiga J., 1967): frais ou stocké 24 h à 10-20°C. le sérum a été déprotéiné par chauffage à 90 °C à pH 7 après addition du jus de fruit. Les jus et concentrés de pomme à des taux de 10-15% ont donné les meilleurs caractéristiques organoleptiques; les agrumes et la menthe sont les meilleurs agents aromatisants (à des taux de 0,05 à 2,24 %); par contre, les jus de cerise, myrtille, cassis ont des arômes qui se combinent mal avec celui du lactosérum. Il a été trouvé également que le lactosérum de présure (doux) se prêtait mieux à la préparation de ces boissons que le sérum acide, (Rzewuskarutte F et Jadwiga A., 1967).

IV.1.3.2. Boissons au lactosérum déprotéiné

IV.1.3.2.1. Boissons non fermentées

La préparation de ces boissons rafraîchissantes de lactosérum comprend l'élimination des protéines, la désodorisation, l'addition d'arômes naturels, la filtration, la désaération, la pasteurisation, le conditionnement avec addition de gaz carbonique. Ce procédé donne une boisson claire, transparente. Pour obtenir une boisson opaque, il suffit de ne pas filtrer après

addition des arômes. L'avantage d'une telle boisson est une meilleure rétention des ajoutés, (Lang F et Lang A., 1968).

Un produit décrit est composé de 50% de lactosérum purifié, d'eau, de sucre et est aromatisé avec une préparation naturelle d'agrumes, orange ou citron, et de raisin. La stérilisation à température relativement basse est suivie d'un conditionnement aseptique en emballage Tétra Pack d'un quart de litre. Un tel mode conditionnement permet une très longue conservation du produit sans utilisation du froid (6 mois), (Lang F et Lang A., 1967).

Les travaux de décrivent la préparation d'une boisson de lactosérum non alcoolisée, carbonatée, aromatisée avec des agrumes ou du jus de tomate. Les protéinées du sérum sont précipitées par chauffage 30 mn à 93-95°C et éliminées. Ce traitement est suivi de l'addition de l'arôme approprié, du sucre, d'acide citrique, de vanilline, de colorant, Pour la préparation de la boisson à la tomate, on utilise 25% de jus de tomates, 1% de sel et une faible quantité d'acide citrique. Les produits sont conditionnés dans des bouteilles de verre foncé; ils sont carbonatés avec de l'eau contenant du gaz carbonique ils sont considérés comme ayant une très belle couleur et un goût rafraîchissant, (Lang F et Lang A., 1968).

La méthode la plus courante de déprotéinisation, consiste à chauffer vers 90° C le sérum préalablement acidifié (Holsinger V *et al.*, 1974). Les protéines sont récupérées par filtration ou centrifugation. L'acide tannique, des extraits de feuilles ou des jus de fruits contenant une grande quantité de tannins sont aussi efficaces pour précipiter les protéines; par ces procédés on obtient un lactosérum d'arôme agréable; de nombreuses boissons ont été mises au point par de tels procédés. A breveté un système de déprotéinisation du lactosérum par l'acide citrique et l'acide tannique: le sérum est acidifié avec 10 à 15 g/l d'acide citrique; les protéines de haut poids moléculaire (albumines) sont précipitées par l'adjonction de 0,7 à 1,0 g/l d'acide tannique; on opère dans une gamme de température de 0 à 60°C; le liquide obtenu après séparation des protéines peut être aromatisé à l'orange, au gingembre, au cola. Ce procédé a pour intérêt de séparer les lactalbumines qui sont responsables du goût et de l'odeur désagréables du lactosérum brut. De plus, les globulines alpha, bêta et gamma, restant dans la solution ont un très grand intérêt du point de vue immunologique. Le sérum ainsi traité a un faible pouvoir calorique et contient pratiquement tout le lactose et les vitamines du lactosérum original, (Gillies M., 1974).

IV.1.3.2.2. Boissons fermentées

Le lactosérum peut être fermenté avant ou après l'élimination des protéines et la boisson obtenue peut être ou non pétillante. Des expérimentations font état de l'utilisation de grains de kéfir pour la fermentation du lactosérum. Les résultats les meilleurs sont obtenus avec un

inoculum de 30% et une incubation de 5h à 25°C; 50% du lactose est fermenté. Le sérum fermenté contient 0,6 à 0,7% d'acide lactique et 0,8 à 0,95% d'éthanol en rapport poids/volume. Ce sérum, après clarification, sert à la préparation de boissons sucrées, aromatisées et carbonatées, (Pijanowski E *et al.*, 1974).

Ont développé une nouvelle boisson fermentée très aromatisée : le lactosérum est fermenté en premier lieu par des grains de kéfir pour obtenir 1% d'acide lactique et 3,5% de lactose. Les protéines du sérum sont ensuite précipitées par les tannins d'extraits de feuilles et d'herbes, ajoutées à raison de 3% au sérum. Une deuxième fermentation par des levures fermentant le lactose a lieu après filtration pour obtenir, dans la boisson finale et aromatisée, un taux d'alcool de 0,8%, (Schulz M et Drache k., 1947).

Le procédé comprend les étapes suivantes: fermentation du lactosérum à 18-22°C par des grains de kéfir, concentration du lactosérum fermenté jusqu'à la densité de 1,10; mélange de 3 à 6% du concentré de lactosérum fermenté avec 5% d'un extrait de feuilles contenant de l'acide tannique, 20 à 50% de jus de fruit, selon le genre de fruit, et 47 à 75% d'eau, précipitation des protéines par action du froid pendant 24h, centrifugation ou filtration et pasteurisation, (Schulz M et Drache k., 1947).

Pour la préparation de boisson de lactosérum fermenté, utilise du sérum pasteurisé, inoculé avec 10% d'une culture comprenant des souches de *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus casei*, et *Streptococcus thermophilus*. L'incubation à 42-45°C dure 18 à 24h, le produit atteint alors une acidité de 170 à 200° Th et contient une population bactérienne de 45 millions /ml de produit. Le sérum ainsi fermenté est refroidi à 8-10°C et mis sous emballage, (Besserezhnov A., 1968).

La société RIVELLA (suisse), a mis au point un procédé très rationnel et économique de transformation du lactosérum en une boisson de table non alcoolisée, stable et brillante, d'une saveur agréable. "RIVELLA " est préparée par fermentation, par des bactéries fermentant l'acide lactique, de lactosérum déprotéiné; concentration; addition de sucre; aromatisation et carbonatation. Le produit final contient 9,7% de matière sèche, dont 0,125% d'azote total, et a un pH de 3,7. 20 à 30 millions de litres de cette boissons sont vendus annuellement dans toute l'Europe de l'Ouest, (Susli J., 1956).

" WHEVI" est une boisson pétillante développée en Inde. Le lactosérum, filtré et additionné de 50% de sirop de sucre, d'acide citrique et de colorant, est inoculé avec un bouillon de culture de *Saccharomyces cerevisia* (0,5 à 1%) et incubé à 22°C pendant 14 à 16h . Des arômes (orange, ananas, mangue) sont ajoutés au sérum fermenté qui est ensuite

conditionné. La boisson contient 10 à 11% de sucre et 0,5 à 0,7% d'alcool, (Bambha P *et al.*, 1972).

Décrivent la production de boissons fermentées et aromatisées à partir de lactosérum et de sirops obtenus par hydrolyse enzymatique du lactose du lactosérum. L'addition d'extraits d'estragon ou de thym donne une qualité organoleptique satisfaisante. L'hydrolyse du lactose dans le sirop de lactosérum donne aux boissons un arôme beaucoup plus prononcé que celui des boissons de lactosérum avec addition de saccharose. L'utilisation de culture pure de *Saccharomyces cerevisiae* en plus des bactéries fermentant le lactose améliore sensiblement les caractéristiques organoleptiques des boissons de lactosérum, (Bednarski W *et al.*, 1976).

IV.1.3.3. Boissons alcoolisées

Après la seconde guerre mondiale, le manque de matières premières a fait accélérer les recherches pour le développement de boissons alcoolisées de bonne qualité à partir de lactosérum. De la bière, des vins de lactosérum ont été préparés avec succès. Ces boissons doivent être transparentes, claires, c'est pourquoi la déprotéinisation du sérum est très importante, (Holsinger V *et al.*, 1974).

IV.1.3.3.1. Bière

Le lactosérum a de nombreuses propriétés qui le rendent apte à la préparation de boisson ressemblant à la bière (Hesse A., 1948). Il a des composants ressemblant aux colloïdes du moût de bière, une grande capacité de liaison du gaz carbonique et, comme le moût de la bière, une teneur importante en minéraux ; après chauffage, il développe un arôme de caramel semblable au goût et à l'odeur du malt, indique que 30% du malt peut être remplacé par du sérum déprotéiné, pour la fabrication de bière. Le sérum est partiellement déprotéiné par cuisson, à pH 4,5 à 5,5 avec le houblon. Le filtrat est mélangé au moût qui est alors fermenté par des levures de bière; les levures ne fermentent pas le lactose, il est donc nécessaire d'ajouter une quantité suffisante de sucres fermentescibles pour garantir à la bière son taux de gaz carbonique et d'alcool, (Holsinger V *et al.*, 1974). En Russie, une boisson pétillante et ressemblant à la bière est produite à partir de lactosérum pasteurisé à 95°C, clarifié et additionné de sucre de betterave à raison de 103 kg par tonne, de raisin, de grains de kéfir, d'aromatisant, et de caramel pour donner au produit sa coloration brune, (Len'koo N., 1969). Mentionne la production d'une bière à partir de lactosérum déprotéiné, sans utilisation de malt, par cuisson du sérum avec le houblon et fermentation avec des levures qui dégradent le lactose, (Hesse A., 1948).

IV.1.3.3.2. Vins

Le développement des vins pétillants a été spectaculaire depuis 1967, ainsi ils représentent environ 25% des vins produits aux Etats- Unis. Ces produits sont peu alcoolisés et sont principalement aromatisés aux fruits, (Holsinger V *et al.*, 1974). A breveté un procédé de production de " Sauternes" (vin blanc de Girond) et de "Xérès" à partir de lactosérum. Le lactosérum, additionné de saccharose dans les proportions de 2,5/1 à 9/1, est fermenté avec 1,2 à 9,9% de levure de boulangerie. Après 10 jours de fermentation 10 jours de fermentation à température décroissante, le liquide est soutiré et stocké de 10 à 54 jours pour permettre le développement de l'arôme qui sera fixé par réfrigération à -23°C pendant 4 jours, (Holsinger V *et al.*, 1974).

Un vin, d'une teneur en alcool de 10,5%, est produit à partir de lactosérum de cheddar additionné de 22% de glucose pour atteindre une viscosité de 29,0° Brix. Le sérum est incubé à 43,4°C avec *Saccharomyces cerevisiae*, variété *ellipsoïdeus*, qui n'utilise pas le lactose. Cependant, le vin obtenu est trouble du fait de la présence de colloïdes et de matériel cellulaire (levures). Des tests d'évaluation sensorielle ont révélé la préférence pour les vins clairs de lactosérum, par rapport aux vins troubles de lactosérum. Des nombreux des procédés de clarification utilisées (filtration, centrifugation, dénaturation des protéines par la chaleur, précipitation des protéines par des tannins...) un seul a été retenu, il utilise de la bentonite. A des taux de 0,30-0,50% de bentonite, le vin est clair et brillant après 72h; mais ce Procédé laisse un sédiment important, de l'ordre de 8% du volume, et entraine une dilution du vin fait du taux de solution de bentonite nécessaire pour la clarification, (Larson P et Yang H., 1976). Mentionne que JAGIELSKI, en 1871, proposait une fermentation du lactosérum en deux étapes : d'abord une fermentation par des bactéries capables de produire de l'acide lactique, ensuite par des levures fermentation le lactose pour obtenir la production d'éthanol, (Marth E., 1970) .

IV.1.3.3.3. Champagne

Plusieurs auteurs ont étudié le "champagne" de lactosérum; une boisson pétillante à faible degré d'alcool faite à partir de lactosérum frais dilué ou additionné de 12% d'eau, supplémenté avec 7% de sucre et fermenté par des levures de boulangerie. Le sérum est incubé à 25° c jusqu'à une acidité de 25° SH (SH : degré Soxhlet- henkel = 1° SH correspond à 2,25°D (Dornic) ou 2,5 Th (Thoerner), (Luquet F et Boudier J., 1976), coloré avec 1% de caramel et stocké à 8° C, (Urbanski Z., 1966).

IV.1.3.3.4. Vinaigre

Donnent le principe de fabrication du vinaigre de lactosérum; après élimination des protéines, la fermentation du lactosérum concentré en alcool et en CO_2 est suivie par l'oxydation de l'alcool par des bactéries acétiques. La production d'alcool dans la fermentation du lactose et celle d'acide acétique dans la seconde fermentation sont respectivement de 86,5% et 88% de la production théorique, (Hadorn H et Zurcher K., 1973). Ont mis au point vinaigrette en utilisant 90,49 à 91,45% de lactosérum acide, 3,01% d'huile, 0,81-1,00% de stabilisant, 4,57% d'amidon et 0,074% d'EDTA, des épices, avec ou sans acide acétique et citrique, (True L *et al.*, 1972).

IV.1.3.3.5. Alcool éthylique

Pour la production d'alcool éthylique par *Saccharomyces fragilis*, la teneur en lactose et le pH du lactosérum sont très importants; de lactosérum à faible concentration en lactose ont un meilleur taux de conversion du lactose en alcool éthylique que les solutions à teneur élevée en lactose, ainsi jusqu'à des concentrations de 5%, 90% du lactose est converti en alcool éthylique. L'addition de 16% de saccharose à une solution à 10% de lactosérum produit un vin de sérum ayant une teneur en alcool de 10%, (Yoo B et Mattick J., 1969).

Une méthode de production d'alcool éthylique à partir de lactosérum a été développée, aux USA, par le Bureau de l'industrie laitière. *Torula cremoris*, levure fermentant le lactose, est utilisée à raison de 1 à 2% par rapport au lactose présent dans le sérum. Le lactosérum écrémé est chauffé à 100°C à pH 5, puis filtré, afin d'éliminer les protéines, et refroidi à 33-34°C avant d'être versé dans les cuves de fermentation. La fermentation du lactose par la levure à cette température dure 48 à 72h. Le sérum fermenté est ensuite filtré pour séparer les levures puis distillé. Le distillat est rectifié pour éliminer les impuretés. Le rendement est de 86 % dans les conditions d'une petite exploitation, (Rogosa M *et al.*, 1947).

IV.1.3.4. Boissons nutritives et diététiques

Les boissons à haute teneur en protéines et à base de lactosérum offrent une importante possibilité d'utilisation de ce sous-produit, car elles ont un très grand potentiel d'acceptabilité. De nombreux produits sont décrits dans la littérature. Présentent un produit imitant le lait et préparé à partir de lactosérum, d'huiles végétales sélectionnées, d'hydro- colloïdes végétaux et de lait écrémé. La boisson contient 2 à 4% de matière grasse, 1 à 1,5% de protéines, 4 à 5% de lactose, 0,7% de cendre, (Brunner J *et al.*, 1969).Préparent une boisson de lactosérum à forte teneur en protéines, sous forme de poudre, en ajoutant au lactosérum liquide de la farine de soja, de l'huile de soja, de la matière sèche de sirop de maïs. Le mélange est concentré sous vide et séché par atomisation, (Holsinger V *et al.*, 1974).

Un mélange d'une suspension de protéines de lactosérum, à raison de 1 kg dans 3 kg d'eau, avec 666 g d'acide citrique est lyophilisé et complémenté ensuite avec 333 g de bicarbonate de potassium. L'addition d'eau sur cette poudre donne une boisson rafraîchissante contenant des protéines directement assimilables, avec une forte production de CO_2 , une autre boisson rafraîchissante concentrée contenant 40 à 50% de protéines de sérum dans la matière sèche est préparée par les mêmes auteurs. La poudre de sérum est utilisée pour améliorer la valeur nutritionnelle des jus de fruits et de légumes sans altérer leurs caractéristiques naturelles, (Kosikowski F., 1969).

Un mélange de concentrés congelés de jus de fruits (orange, raisin, ananas) de cristaux de fruits, de poudres aromatisées et de 4% de poudre de lactosérum acide donne une boisson nutritive dont l'arôme, la texture et l'apparence sont excellents (Kosikowski F., 1968). A cette concentration de 4%, le sérum accentue l'arôme des jus de fruits; avec 6% de poudre de lactosérum, les mélanges sont très acceptables, mais ils sont légèrement salés, (Kosikowski F., 1969).

D'autres travaux ont porté sur la préparation de boissons nutritives à partir de 6% de poudre de lactosérum acide dans un jus d'orange congelé et reconstitué. L'arôme d'orange n'est pas altéré par l'addition de poudre de sérum à des taux inférieurs ou égaux à 4%; 6% de poudre de sérum semble être un maximum pour garder un bon arôme d'orange. L'ananas, le raisin donnent également des boissons de texture et d'apparence correctes avec la poudre de sérum, décrit la préparation d'un concentré du jus d'orange contenant 37,8% en poids d'un concentré de jus d'orange congelé; 18,4% de protéines de lactosérum; 1,10% d'acide citrique; 0,42% de pulpe d'orange; 0,60% d'arôme artificiel et des traces d'anti moussant. Deux modes d'incorporation du lactosérum ont été mis au point : soit dans le mélange d'eau et de concentré de jus d'orange à 18-43°C, soit dans l'eau à même température, avec addition ultérieure de l'aromatisant, (Bangert J., 1976).

Un procédé de fabrication de boisson de lactosérum. Le lactosérum est pasteurisé 20 mn à 75°C; 2 couches se forment ; la partie supérieure aqueuse est soutirée ; la partie inférieure, contenant les protéines précipitées, est refroidie à 40-42°C; une préparation de pepsine est ajoutée; le mélange est gardé 3 à 10 h à 37-40°C, jusqu'à l'obtention d'une quantité d'azote aminé libre de 90-150 mg/100g; après addition de carbonate de calcium, le mélange est chauffé à 90-95°C pendant 20 mn avant d'être filtré; le filtrat est concentré sous vide à 55-60°C, refroidi additionné de sirop d'agrumes; il sert de base à la préparation de boissons carbonatées, riches en acides aminés, vitamines et sels minéraux, (Romanska N *et al.*, 1972).

Le procès comprend l'utilisation de protéines de lactosérum sous forme d'une fraction soluble et thermostable de protéose-peptone, et d'acides aminés; cette fraction est produite par des enzymes protéolytiques qui sont par la suite inactivées à une température supérieure à 80°C. Le produit neutralisé et clarifié, est concentré 4 à 8 fois et additionné de sirops de fruits naturels. A partir de ces concentrés, des boissons de haute valeur nutritive sont préparées; elles sont améliorées par carbonatation. Un brevet russe, décrit une boisson faite à partir de lactosérum enrichi en substances azotées solubles, par une incubation à 37°C pendant 10h avec une enzyme protéolytique. Le lactosérum est clarifié par chauffage à 90-95°C, puis acidifié à 40-45°Th. Les protéines précipitées sont filtrées. Le sérum est concentré par évaporation sous vide. Le produit résultant est ajouté à des extraits alcoolisés d'agrumes ou à des sirops et des substances aromatiques, (Romanskaya N et Kalmysh V., 1971).

Un jus d'orange enrichi en protéines a été produit en combinant du jus d'orange avec du lactosérum concentré. Tant en apparence qu'en arôme, le produit ressemble beaucoup au jus d'orange et contient environ le même taux de protéines que le lait. La teneur en protéine de ce produit est limitée à 4% pour ne pas en modifier la viscosité et l'arôme. Le soja est souvent utilisé pour augmenter le taux de protéines du lactosérum. Les protéines de soja sont pauvres en lysine, acide aminé essentiel pour la croissance, alors que le lactosérum est riche en cet acide aminé ainsi qu'en méthionine et en cystine. C'est pourquoi les boissons soja-lactosérum sont un bon supplément pour l'alimentation (Holsinger V *et al.*, 1974).

Ont préparé une boisson aromatisée aux agrumes et riche en protéines en combinant de la farine de soja à du lactosérum doux ou à du lactosérum de fromage blanc; ce lactosérum est additionné de sucre, d'un acidulant artificiel, d'acide citrique, d'un stabilisant et d'un aromatisant. Le mélange est homogénéisé, concentré et séché sous vide afin d'éliminer les composants indésirables de l'arôme du lactosérum liquide et de la farine de soja. Cette boisson, très nutritive du fait de sa haute teneur en protéines, 2,7% par rapport à la matière sèche, a un arôme agréable et a reçu la note de 6,0-6,5 sur une échelle hédonique de 9 points, (Guy E *et al.*, 1968). Dans d'autres travaux, les mêmes auteurs, décrivent la préparation d'un mélange en poudre de 33% de farine de soja extra grasse et de 67% de lactosérum doux liquide. Cette poudre spray, reconstituée dans de l'eau, donne un produit doux, à l'arôme de céréales, se prêtant facilement à l'addition d'arôme artificiels pour la production de boissons nutritives, (Guy E *et al.*, 1969).

Depuis de nombreuses années, le lactosérum sert de base à une grande variété de boissons. L'information est cependant maigre sur les avantages de cette transformation et sur les problèmes de marketing associés à la fabrication de la plupart des produits. Le principal

problème de la production et du marketing du lactosérum sous forme de boissons est un problème économique. En effet, il a été montré, aux Etats-Unis, qu'il était impossible de fabriquer des boissons de lactosérum qui seraient vendues à des prix compétitifs avec ceux des boissons des snack bars. Le plus grand succès commercial a été celui de la boisson "Rivella", vendue dans toute l'Europe de l'Ouest. Aux Etats-Unis, elle est vendue aussi bien comme boisson tonique thérapeutique pour les athlètes que comme boisson rafraîchissante "de table". Cependant, les sévères réglementations concernant la pollution ont donné un regain d'intérêt aux nutriments délaissés du lactosérum. Les boissons de lactosérum, jusqu'à présent considérées comme des curiosités de laboratoire, peuvent donc prouver leur intérêt économique, (Holsinger V *et al.*, 1974).

IV.1.4. Utilisation du lactosérum dans les desserts glacés

L'augmentation des coûts de la matière sèche non grasse du lait, du sucre et des autres ingrédients entrant dans la composition des mixes de crèmes glacées, a fait s'intensifier les recherches sur l'utilisation d'ingrédients, tels que le lactosérum qui sans nuire à la qualité des produits peuvent remplacer à moindre frais, les matières premières coûteuses, (Gillies M., 1974, Nilson K., 1975). L'utilisation, à la place du lait écrémé, de poudre de lactosérum dans les mixes de crèmes glacées, n'est pas seulement rentable, mais elle permet d'obtenir des produits d'aussi bonne qualité, si sérum est employé correctement, (Cosgrove C., 1974). La législation américaine limite à 25%, dans les crèmes glaces, le remplacement de la matière sèche non grasse du lait par du lactosérum, (Dalum B., 1976, Frazeur D., 1967, Goller H et Kube J., 1975). Un grand nombre de chercheurs s'accordent à dire qu'un tel taux de substitution ne nuit pas aux qualités physiques et organoleptiques du produit fini et de plus réduit de manière importante les coûts des ingrédients, (Johnsen S et Arp H., 1974, Khalafalla S *et al.*, 1975, Roiter I., 1975, Steinsholt K., 1971). Cependant, les auteurs apportent quelques précisions ou restrictions quant à la nature du lactosérum employé. Le lactosérum déshydraté est utilisé le plus fréquemment, mais on emploie également du lactosérum concentré à 50-58% de matière sèche (Nielsen V., 1974, Gillies M., 1974), ou de lactosérum concentré hydrolysé, (Loewenstein M *et al.*, 1975).

Le lactosérum doux serait un ingrédient optimal pour les crèmes glacées, laits glacés et sorbets, (Arnot R., 1975). Pour 2,8% de poudre de lactosérum doux dans un mix de crème glacée, soit un taux de remplacement du lait de 24,7%, un test organoleptique n'indique aucune préférence entre les échantillons testés et les échantillons témoins, (Igoe R *et al.*, 1973). Le taux d'incorporation pratiquement observé, pour la poudre de sérum doux, est de 10 à 15% de la matière sèche non grasse dans les crèmes glacées, 7 à 12% dans les sorbets, et peut atteindre

20% dans les glaces à l'eau, (Cassegrain M., 1976). Le lactosérum neutralisé, utilisé à 2% de la matière sèche dans une crème glacée, n'est pas distingué par 10 juges sur 24, (Igoe R *et al.*, 1973). Quant au lactosérum acide, des tests organoleptiques ne permettent pas de le distinguer dans les glaces en contenant 1%, soit un remplacement de 8,9% de la poudre de lait écrémé; au taux de 2% de lactosérum acide, remplacement de 17,7% du lait, l'échantillon de contrôle est largement préféré à 3%, remplacement de 26,7% du lait, la crème glacée a des caractéristiques de congélation inacceptables (Igoe R *et al.*, 1973). Le lactosérum acide est utilisé de préférence dans les sorbets aux fruits, à un taux de 3,3% par rapport à la matière sèche permettant de réduire largement les quantités d'acide citrique nécessaires (Blakely L et Stine C., 1964). Pour les glaces à l'eau, l'utilisation de sérum acide, "foam spray" en particulier, permet d'obtenir des produits de bonne qualité, dont l'acidité est plus faible que celle des glaces standards, et qui sont donc moins agressifs à l'égard des dents, (Cassegrain M., 1976).

Fait remarquer que, si l'on utilise du lactosérum non ultrafiltre, le rapport lactose/eau, qui ne doit pas dépasser 10/100, limitera le remplacement de la poudre de lait écrémé par de la poudre de lactosérum, car la texture sableuse, due aux cristaux de lactose, sera détectée dans la bouche, (Dalum B., 1976). Des technologies nouvelles permettent le remplacement de 25% la poudre de lait écrémé; l'addition de gommes végétales est possible et gêne la formation des cristaux de lactose; on réduit ainsi de 15% le coût de la MSNG, (Rothwell J., 1974). Mentionne également l'utilisation de stabilisants. Indiquent que l'on peut remplacer la poudre de lait écrémé par du lactosérum partiellement déminéralisé, jusqu'au taux de 2,5% sans risque de provoquer une structure sableuse, (Goller H et Kube J., 1975).

D'autres travaux permettent de dire que le lactosérum électrodialyse peut remplacer une partie du lait écrémé en poudre sans effets nuisibles sur la qualité de glaces aromatisées, de lait glacé et de sorbet, (Frazeur D et Harrington R., 1967). Du lactosérum électrodialyse, utilisé à raison de 2,2% dans les sorbets, 3,0% dans les "soft serve ice milk" et 2,75% dans les "milkshake mixes" ne provoquerait pas de différences d'arôme avec les témoins sans lactosérum par contre, il donnerait aux produits un arôme meilleur que celui donné par des lactosérums utilisées aux mêmes quantités et dont l'arôme est d'excellente ou de moyenne qualité, (Frazeur D., 1967). Des essais d'utilisation du lactosérum en poudre, additionné de farine de soja dans la crème glacée, ont donné des résultats prometteurs (Rothwell J., 1976). Des produits très acceptables ont été obtenus, en utilisant 7,5% de poudre de lait écrémé plus 2,2% de poudre de lactosérum déminéralisé, plus 1,5% de farine de soja, à la place de 11,2% de poudre de lait. En Grande-Bretagne, par exemple l'utilisation du lactosérum dans les crèmes glacées est assez peu importante: 600 tonnes de poudre de lactosérum neutralisé, en 1973 le taux d'incorporation est

de 1 à 3% par rapport au poids. La législation britannique prévoit une incorporation de 7,5% minimum de MSNG du lait dans les crèmes glacées. Le lactose agent sucrant et renforcer d'arôme peut en complément de sérum être incorporé dans les formules aux taux suivants, (Crowhurst B., 1972):

Crème glacée	3% de la MSNG
Sorbet	14% de la MSNG
Glace à l'eau	16% de la MSNG

IV.1.5. Utilisation du lactosérum en fabrication fromagère

Rappelons que le lactosérum, sous-produit de la fabrication fromagère, contient une faible quantité 4,5 à 5 g/l, de protéines solubles, non coagulables par la présure et représentées principalement par l' α -lactalbumine et la B-lactoglobuline. Cependant, ces protéines sont d'une qualité nutritionnelle remarquable de par les acides aminés indispensables qu'elles contiennent : lysine, tryptophane et acides aminés soufrés. D'un point de vue diététique, l'incorporation de protéines du lactosérum au fromage, c'est-à-dire à la caséine, permet d'offrir au consommateur une gamme plus étendue de protides et d'acides aminés; cet aspect ne peut donc être négligé, (Pien J., 1975). Un autre point de vue important est à considérer: l'augmentation du rendement. Les albumines et les globulines présentes dans le lait sont floculées par l'action de l'acidité et surtout d'une haute température, les protéines solubles sont donc totalement perdues dans le sérum, quand le lait utilisé pour la fabrication fromagère est du lait cru (Pien J., 1975); en revanche, dans les fabrication mettant en œuvre du lait pasteurisé, ces protéines sont partiellement insolubilisées, suivant le degré de chauffage du lait (Pien J., 1975).

Ces protéines insolubilisées sont adsorbées à la périphérie des micelles de phosphocaséinate de calcium où elles jouent le rôle de colloïde protecteur. Au cours de l'emprésurage, la coagulation du phosphocaséinate entraîne la rétention dans le coagulum de ces protéines insolubilisées. Il en résulte donc une augmentation du rendement fromager, due à une augmentation de matière sèche restant dans le caillé. La pratique, qui consisterait à faire appel à des pasteurisations de plus en plus hautes, afin d'insolubiliser le maximum de protéines solubles est limitée du la fragilité à la chaleur du complexe de phosphocaséinate de calcium, fragilité rendant ainsi la coagulation du lait à la présure difficile ou même impossible, si le complexe est chauffé à 125°C, (Pien J., 1974). Puisqu'il est difficile de pasteuriser le lait à de hautes températures, il subsiste toujours dans le lactosérum, une part plus ou moins importante, de protéines solubles (Pien J., 1975). Il est cependant possible, ainsi que l'ont montré de nombreuses études, d'insolubiliser les protéines du sérum de les extraire et de les incorporer ensuite au lait des fabrication suivantes. Toutefois, jusqu'à la mise au point du procédé

GENVARIN (brevet du 22/1/1965), plus connu sous le nom de "CENTRIWHEY", les nombreuses tentatives d'utilisation des protéines du sérum en fromagerie se sont soldées par des échecs, (Pien J., 1975). Pour réussir l'incorporation des protéines du sérum dans le lait, il faut que les particules de protéine insolubilisée soient de dimensions inférieures ou égales au micron pour qu'elles puissent d'une part, rester en suspension dans le lait pendant la durée de l'emprésurage et d'autre part être enrobées in situ par le coagulum qui va se former. Les méthodes traditionnelles de précipitation des protéines du sérum ne permettent pas d'obtenir des particules aussi fines (Pien J., 1975). Ces méthodes consistent en général à chauffer le sérum plus ou moins acidifié, au voisinage de l'ébullition et à le maintenir à cette température, afin de durcir les amas de protéines et de séparer l'insoluble par décantation ou filtration. Ces techniques conduisent à la formation d'amas irréguliers de protéines de sérum; ces amas sédimentent avant ou pendant l'emprésurage et ne sont pas enrobés par les micelles de phosphocaseinate de calcium au moment de l'emprésurage. L'hétérogénéité du caillé se retrouve dans les fromages: la présence d'amas d'albumine insoluble peut provoquer, au cours de la maturation, des fermentations indésirables. Au contraire les fines particules de protéines de sérum obtenues par le procédé "CENTRIWHEY", se répartissent régulièrement au sein d'une masse de caséine 5 ou 10 fois plus importante et la maturation se déroule comme s'agissait de caséine pure (Pien J., 1975).

IV.1.5.1. Le procédé CENTRIWHEY

Le procédé PINE-GENVRAIN, connu sous le nom de procédé "CENTRIWHEY" et qui a fait l'objet d'un brevet a but essentiel non seulement d'extraire les protéines du sérum, ce qui peut s'effectuer par des procédés classiques mais aussi et surtout de les obtenir sous une forme telle qu'elles puissent être valablement introduites dans le lait avant pasteurisation et maturation. En d'autres termes, ce procédé aboutit à la production d'un véritable "lait de protéines", parfaitement miscible au lait, et ne modifiant le processus de coagulation par la présure que dans une mesure raisonnable, (Guerault A., 1966).

IV.1.5.1.1. Technologie du procédé CENTRIWHEY

Le sérum de la production est écrémé refroidi à + 8°C afin de stopper l'acidification et soumis à la succession des traitements suivants (voir aussi figure 3), (Pien J., 1975, Pien J., 1976):

- Régulation du pH à 6,25 par addition d'acide chlorhydrique.
- Préchauffage à 70° C dans un échangeur à plaques.
- Chauffage à 95°C par injection de vapeur.
- Cambrages dynamiques, sous légère agitation, pendant 20 mn.

- Acidification à pH 4,5-4,6 (point isoélectrique) par injection à l'aide d'une pompe doseuse d'acide chlorhydrique pur dilué à 20% (environ 7ml/litre de sérum).

- Chauffage en continu à 95° C pendant environ 75 secondes, ce qui entraîne la formation instantanée de gros flocons.

- Refroidissement du sérum traité à 40° C dans un échangeur à plaques.

- Extraction centrifuge des protéines insolubilisées sous forme d'un "lait de protéines" épais dont l'extrait sec total est de l'ordre de 15 à 20%.

- Refroidissement du "lait de protéines" à 8-10° C, (Pien J., 1975, Pien J., 1976).

IV.1.5.1.2. Caractéristique du lait de protéines

Le lait de protéines obtenu est une suspension stable, homogène et concentré, de très fines particules de lactalbumine et de lactoglobuline fortement hydratées et dont les dimensions sont de l'ordre du micron, (Pien J., 1976).

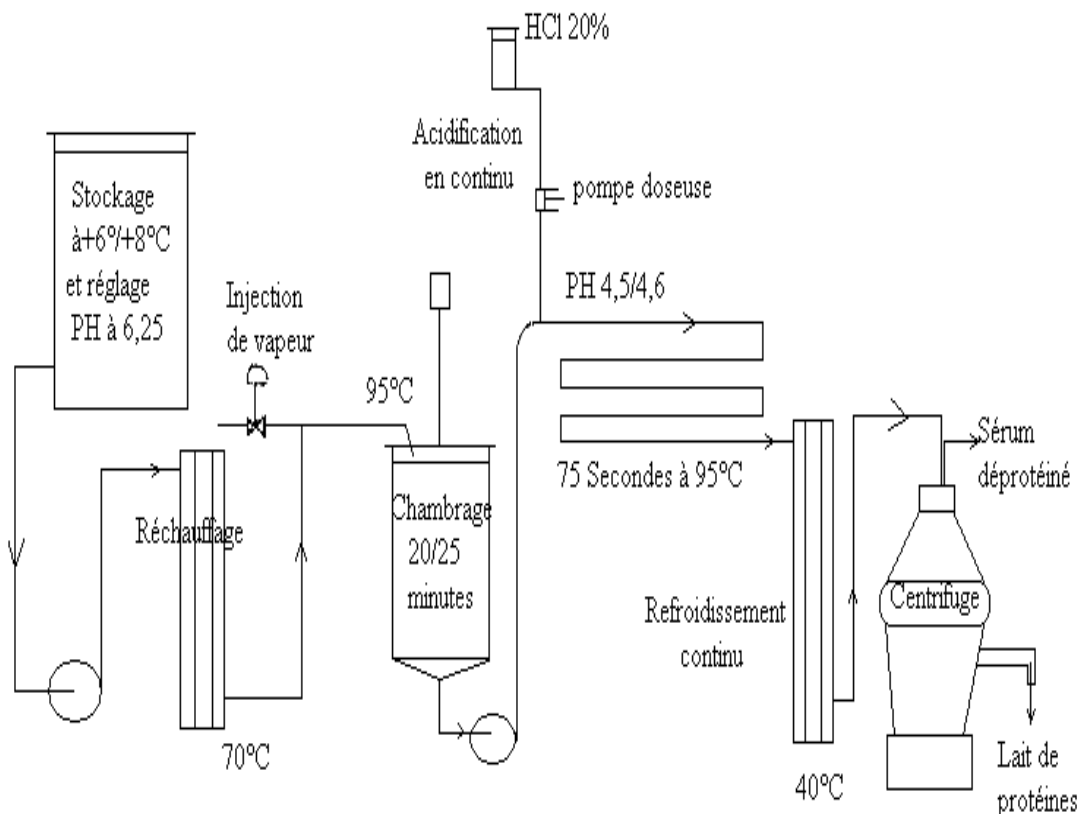


Figure 3: Schéma d'ensemble du procédé CENTRIWHEY (Pien J., 1976)

L'extrait sec total de 15 à 20% correspond à la présence de 9 à 13% de protéines pures et sèches. La lait de protéines reforme par rapport aux acides aminés totaux, 46% d'acides aminés indispensables: thréonine, valine, arginine, leucine, isoleucine, lysine, cystine, phénylalanine, cystéine. Par comparaison, l'albumine de l'œuf en contient 56%. La teneur en matières minérales est de 5,07% par rapport aux protéines sèches totales, (Pien J., 1976).

IV.1.5.1.3. Incorporation du concentré de protéines

Le concentré de protéines, refroidi à 8-10°C, est incorporé, avant pasteurisation, en continu ou non, au lait standardisé, destiné à la fabrication fromagère. Le lait est emprésuré comme à l'habitude. Les protéines floculées provenant du sérum de la fabrication précédente, resteront dans le caillé: les protéines du lait de la fabrication en cours resteront dans le sérum qui sera à son tour traité comme précédemment. La présence dans le caillé d'un taux accru de protéines entraîne un temps d'égouttage du caillé plus long qu'à l'ordinaire, (Alais C., 1975).

IV.1.5.1.4. Avantages du procédé CENTRIWHEY

IV.1.5.1.4.1. Augmentation du rendement en extrait sec dégraissé

Le rendement fromager en extrait sec dégraissé est généralement exprimé par le coefficient G, qui est la quantité, exprimée en grammes, de matière sèche non grasse dans le fromage par litre de lait standard mis-en couvre. On peut calculer le coefficient G analytique d'après l'extrait sec du lait (e), celui du fromage E, et celui du lactosérum (S), tous exprimés pour 1000g, avec la formule suivante (Alais C., 1975) :

$$G = E (e - S) / E - S$$

Dans le cas de fabrication de fromages à pâte molle, de type camembert, où ce coefficient est en général de 30, on peut réincorporer 90 à 95% des protéines issues d'une fabrication précédente, (Pien J., 1975, Pien J., 1976). En supposant que l'on réincorpore 4,2g de protéines de sérum, le coefficient G passe à $30 + 4,2 = 34,2$; le rendement en matières sèche dégraissée est ainsi augmenté de 14 %, (Walker Y., 1970).

Une augmentation de rendement est valable pour tous les fromages. Cependant dans le cas de fromages à pâte pressée, on ne peut pas réincorporer la totalité des protéines récupérées, sous peine d'aboutir à des fromages trop tendres. On doit se contenter de réutiliser seulement 75 à 80% des protéines disponibles, ce qui conduit néanmoins à une augmentation de rendement de 11 à 12%, mentionne une réincorporation de 2,8g de protéines par litre de lait, pour les pâtes semi-pressées, et de 2 g pour le cheddar. Pour maintenir le rapport gras/sec du fromage, il est bien sur nécessaire d'augmenter la teneur en matières grasses du mélange emprésuré. Par contre, le titrage versé par pièce de fromage diminuera, (Haustein B., 1972, Pien J., 1975, Walker Y., 1970).

IV.1.5.1.4.2. Augmentation du taux d'humidité des fromages

Le fait que l'albumine est très hydrophile augmente la tenue de la pâte du fromage, de sorte qu'il est possible en restant dans les limites de la légalité de produire des fromages plus humides et possédant la même tenue qu'un fromage plus sec, (Pien J., 1975).

Il est ainsi possible de descendre la teneur en extrait sec total à la limite inférieure imposée par la réglementation sans courir le risque d'avoir des fromages trop mous. Il sera donc possible de gagner plusieurs grammes de matières sèche par fromage. Prenons l'exemple d'un fromage de 150 g, sur lequel on aura pu ainsi gagner 5 g, il en résulte une nouvelle augmentation de rendement, de l'ordre de 3,3% qui s'ajoute aux augmentations déjà signalées, (Pien J., 1975, Pien J., 1976).

IV.1.5.1.4.3. Accélération de l'affinage

La présence, dans le caillé de ces fromages, d'albumine et de globuline a pour conséquence une maturation plus rapide que celle des fromages ordinaires. On peut compter un raccourcissement de la durée de l'affinage de 20 à 25%, (Pien J., 1975, Pien J., 1976).

IV.1.5.1.4.4. Amélioration de la qualité

La présence des protéines du sérum dans les fromages occasionne une modification physico-chimique favorable de la pâte cela se traduit par une meilleure onctuosité, (Pien J., 1975).

IV.1.5.1.5. Champ d'application du procédé

Le procédé est appliqué depuis 1965 à l'échelon industriel pour des fromages à pâte molle, genre camembert et depuis 1966 pour des fromages à pâte presse, type Saint-Paulin et Port-Salut. Dans les deux cas, une récupération de 90 à 93% des protéines totales peut être pratiquée. Au Danemark, l'utilisation du procédé CENTRIWHEY pour la fabrication de saint-paulin et de camembert a donné des augmentations de rendement, respectivement de 10,8 et 12,4%, en comparaison avec la méthode conventionnelle de fabrication (Sten-Olof A., 1970).

IV.1.5.2. Expériences d'utilisation du lactosérum en fromagerie

Il serait trop long et fastidieux de décrire les unes après les autres les expériences des innombrables chercheurs qui ont travaillé sur l'utilisation des protéines du lactosérum en fabrication fromagère et les augmentations de rendement qu'elle entraîne. Toutefois nous essaierons dans la mesure du possible de rendre compte des principaux travaux et de leurs originalités s'il en est, (Krashenin P *et al.*, 1972).

IV.1.5.2.1. Actions de l'addition de protéines de lactosérum

Tout d'abord il est nécessaire de mentionner des expériences qui ont été menées pour déterminer l'effet de l'addition de protéines dénaturées; albumine et globuline sur la structure du fromage et sa consistance. L'accroissement de la qualité de protéines ajoutées au lait entraîne une altération des fromages étudiés qui sont des fromages d'origine russe: Kostroma, Rossiskii,...etc, avec corrélativement, une amélioration de leur consistance. Ainsi la dureté diminue de 10 à 20%, la fermeté de 10 à 20% , l'élasticité de 30 à 40%, la viscosité effective de

10 à 40%, et le temps de relaxation de 10 à 40%. La présence des protéines du sérum entraîne la formation d'une structure poreuse dans le fromage qui devient moins compact et perméable aux gaz. C'est la raison du manque d'yeux dans les fromages. L'influence des protéines du sérum sur les propriétés structurales et mécaniques du fromage est due aux propriétés hydrophiles importantes de ces protéines: l'addition, même à de faible concentration, 4 g/l, de ces protéines augmente beaucoup la capacité de rétention d'eau du fromage et sa teneur en eau liée, (Krashenin P *et al.*, 1972).

Ont étudié l'effet des protéines du sérum sur la protéolyse dans les fromages ayant un rapport gras/sec de 45% et additionnés de 3 à 6 g de protéines de sérum par litre de lait. Ces protéines stimulent la protéolyse et exercent un effet favorable sur les propriétés organoleptiques du fromages, les teneurs en azote soluble, en acides aminés libres et en peptides augmentent avec la quantité de protéines ajoutées. Il est recommandé d'utiliser, pour la fabrication de tels fromages, des levains comportant des souches capables d'hydrolyser les peptides amers, (Krashninin P *et al.*, 1974).

Une étude microscopique du caillé, par montre l'influence du procédé mis en œuvre sur la structure (Buchheim W et Jelen P., 1976):

- Le lactosérum non traité, chauffé à pH 4,5; donne des caillés à large structure et à petites particules.

- Tous les prétraitements réduisant le contenu minéral du lactosérum donnent des caillés moins fragiles et à plus grandes particules.

- Le chauffage du lactosérum ultrafiltre à pH 6,5 donne des particules très grosses et très fermes; cependant, toutes les protéines ne précipitent pas dans ces conditions, tous les échantillons chauffés à pH 4,5 montrent une microstructure plus compacte et mieux définie que les échantillons chauffés à pH 6,5, (Buchheim W et Jelen P., 1976).

IV.1.5.2.2. Utilisation du lactosérum dans les yaourts

Mentionnent la fabrication de yaourts à partir de poudre de lait écrémé, de lactosérum acide, à pH 6,2-6,4; avec addition ou non de lait frais homogénéisé. Des tests d'évaluation sensorielle ont montré l'acceptabilité d'un tel produit fait avec 60% de lactosérum acide, 29% de lait entier homogénéisé et de 11% de poudre de lait écrémé, (Jelen P et Horbal H., 1974).

En Grande-Bretagne, la législation permet l'incorporation de poudre de lactosérum déminéralisé, sérum doux de cheddar, dans les yaourts, jusqu'à des taux de 12 à 15%, par rapport au poids. Des yaourts sont également fabriqués avec du lait standardisé à 3,2% de matière grasse, on y ajoute 0,2% de lait écrémé en poudre et des quantités allant de 0,2 à 0,6%

de poudre de lactosérum. le lait, pasteurisé à 82°C, est incubé 3 h à 42°C, avec une culture de lactobacillus et Streptococcus (rapport 50/50), (Hartman G., 1975).

Les études montrent que la concentration maximale de lactosérum pouvant remplacer le lait écrémé en poudre dans les yaourts est de 0,3%. A une concentration supérieure à 0,4%, le lactosérum masque l'arôme spécifique et donne une flaveur parasite prononcée (Todoric R et Savadinovic K., 1973). Cependant assure que 1 à 2% de matière sèche de lactosérum doux ou de lactosérum acide neutralisé pourrait remplacer un taux équivalent de poudre de lait écrémé, pourvu que le taux global de poudre de lait écrémé dans le yaourt soit de 9,5%; l'addition de taux plus importants de lactosérum provoque des défauts d'arôme, et si le taux de poudre de lait écrémé est inférieur à 9,5%, ou observe des défauts de structure, (Hartman G., 1975).

IV.1.5.2.3. Utilisation du lactosérum dans le fromage blanc

Des recherches poursuivies aux Etats-Unis ont démontré l'efficacité du lactosérum acide comme acidifiant du caillé et agent précipitant pour la fabrication du fromage blanc. Ordinairement le fromage blanc est fabriqué par précipitation du lait entier à haute température 82°C, avec de l'acide acétique glacial; cet acide est remplacé dans le lait entier chaud, par de la poudre à partir de lactosérum ultrafiltré. Ce concentré est utilisé en quantité suffisante pour abaisser le pH du lait à 5,3. La précipitation des protéines est presque instantanée; le caillé égoutté est séché, pressé et emballé. Le fromage blanc obtenu, comparé au fromage de contrôle, a une très bonne texture, l'arôme est typique et très bon. En utilisant du lactosérum comme acidifiant, les rendements sont meilleurs et le fromage nécessite moins de sel que par les méthodes usuelles, (Hirschl R et Kosikowski F., 1975).

IV.1.5.2.4. Fabrication de fromage RICOTTA

Dans la fabrication de " RICOTTA " à partir du lait entier, la précipitation des protéines est due à l'incorporation de levains lactiques et à un traitement à haute température. La coagulation a lieu à 81°C (178°F) si le lait est préalablement acidifié à pH 6,0 (Kosikowski F., 1967). Du fromage "RICOTTA" au lait entier peut être préparé en utilisant, comme coagulant, de la poudre de lactosérum non hygroscopique, à la place des levains lactiques. Les fromage garde une très bonne texture et un bon arôme. Suivant l'acidité originelle du lait entier, on ajoute 2,0 à 2,5 kg de poudre de lactosérum acide à 100 kg de poudre de lait. L'utilisation de la poudre le lactosérum, à la place des levains lactiques, permet, pour une même quantité de lait mise en œuvre et au même pH, un gain de poids de 24% sur les fromages obtenus. La composition de ces fromages est légale, mais elle présente des différences notables avec les fromages aux levains: le taux de matière grasse est plus faible, le taux de matière sèche totale est plus élevé, (Kosikowski F., 1967).

Pour la préparation de "RICOTTA" à base de sérum, il est nécessaire, d'ajouter lait entier au lactosérum, afin d'obtenir une coagulation optimale des protéines. L'addition de 4% de lait entier au lactosérum augmente la taille des particules du caillé qui est alors plus facile à travailler. Il est souhaitable de neutraliser le sérum avant addition du lait, afin d'éviter, d'une part, une coagulation prématurée pendant le chauffage, et d'autre part, la fragmentation du caillé, (Mathur B et Shahani K., 1977). Des fromages de bonne qualité peuvent être obtenus par addition de 0,5 % de lait écrémé en poudre, à la place du lait entier. 95% de la caséine du mélange lactosérum/lait se retrouvent dans le fromage. Le procédé traditionnel de fabrication du "RICOTTA" permet la récupération de 48 à 52% des protéines du sérum. L'addition d'ions calcium, avant chauffage, peut permettre d'augmenter la récupération de protéines jusqu'à 62-78%. Pour fabriquer du fromage " RICOTTA", préconisent de chauffer à 82-93°C le lactosérum frais à 0.11% d'acidité titrable; la coagulation décroît avec l'augmentation de l'acidité initiale, au-dessus de 0,16% elle est incomplète. Une bonne coagulation a lieu à une température supérieure à 85°C, mais au-dessus de 87,8°C le rendement diminue. On a également remarqué que l'on obtient deux fois plus de caillé en chauffant lentement, 45mn, à 85°C, qu'en chauffant rapidement, 15 mn. Le " RICOTTA" sert, en l'occurrence, à la préparation de " snack", (True L et Patel C., 1973).

IV.1.5.2.5. Préparation de fromage à tartiner (spreads)

Dans les fromages à tartiner, à base de lait de faible teneur en matière grasse (40%), il est nécessaire d'ajouter des protéines pour favoriser une bonne rétention de l'eau. L'emploi de la poudre de lactosérum, comme source de protéines, donne un fromage à tartiner moelleux; mais la cristallisation du lactose entraîne une texture médiocre, (Spurgeon K *et al.*, 1973).

La composition d'un fromage pour tartines préparé par homogénéisation et concentration d'un mélange de lactosérum et de crème ou de lactosérum et de babeurre avec du lait écrémé est donné par, (Guy E *et al.*, 1972):

Matière grasse	37,5 %
Lactose	27,8 %
Protéines	5,6 %
Cendre	3,8 %
Humidité	25,0 %

Ce produit peut être gardé plus d'une semaine à température ambiante sans changement de pH ou de perte d'acceptabilité, (Guy E *et al.*, 1972).

IV.1.5.2.6. Production d'arôme de fromage

Ont mis au point une méthode de production d'arôme de fromage persillé à partir de lactosérum doux ou acide et, comme substrat, soit du beurre, soit de la matière grasse de noix de coco, ils utilisent une lipase microbienne et des spores de *Penicillium roqueforti*. Le produit fermenté atteint un arôme typique de fromage persillé en 48-72 heures de fermentation à 20°C. les concentrations totales en carbonyles, monocarbonyles et méthyl-cétones sont respectivement de 351, 322 et 299 µmoles/10 g de poudre aromatique de lactosérum, et 139, 133 et 93 µmoles/10 g, en calculant à partir du lactosérum. la 2-heptanone et la 2-nonanone sont les principales méthylcétones obtenues; sur substrat de lactosérum acide, la concentration de la première est 4 à 5 fois supérieure à celle obtenue sur lactosérum doux. Le produit final contient environ 20% de matière grasse et 9% de protéines. L'addition de lipase microbienne est avantageuse pour la production d'acides aminés libres, et de carbonyles, (Jolly R et Kosikowski F., 1975).

IV.1.6.Utilisation du lactosérum en confiserie

Le lactosérum a d'importantes utilisations dans la fabrication de certains bonbons et il se trouve être le moins coûteux des produits laitiers couramment utilisés en confiserie. Le tableau (12) donne en pourcentage, la composition de différents produits dérivés du lactosérum susceptibles d'être utilisés dans l'industrie de la confiserie, (Webb B., 1966).

Tableau12: Composition des sérums utilisés en confiserie

	Eau %	Protéi- nes %	Graisse %	Sucre de lait (lactose) %	Cendres %	Acide Lactique %	PH %	Sacch- arose %
-Sérum liquide: Coagulation du lait par la présure	93,2	0,8	0,6	4,7	0,5	0,2	6,1	
- Sérum de fromage blanc	93,6	0,8	0,2	4,3	0,6	0,5	4,7	
- Sérum desséché: Coagulation du lait par la présure	4,0	12,5	1,0	72,0	8,0	2,5	5,7	
- Sérum de fromage blanc	3,5	12,9	0,3	67,0	8,5	7,8	4,4	
- Sérum condensé sucré	24,0	5,3	0,6	28,6	3,5			38

Webb B (1966)

Le lactosérum liquide est difficilement utilisable du fait de son importante teneur en eau. Le lactosérum concentré sucré est adapté à la fabrication de bonbons mais il contient beaucoup de saccharose; il est utilisé, en particulier, dans les proportions de 32 à 34%, pour la confection de fondants, aérés ou non, caramels, toffies et "Wheyfer", comme le montre le tableau (13), (Webb B., 1966).

Tableau 13: Formulation de bonbons au lactosérum

(1) Obtenue en préparant un mélange 50/50 sucre/matière sèche sérum avant concentration.

Produits Ingredients	Wheyfer	Fondant aéré	Fondant	caramel	Toffee
Sérum concentré sucré (1)	84	32	43	45	52
Sucre		40	11		
Sirop de maïs		16	9	28	42
Sirop inverti		5	3	6	
Poudre de lait écrémé				6	
Matière grasse végétale				4	
Matière grasse laitière			2,5	5	
Céréales précuites	4				
Fondant					
Chocolat		7	6		
Lactose en poudre (pour le grainage)			0,1		
Noisettes (en option)	12		5,4	6	
Vanille pour aromatiser	trace	trace	trace	trace	
Total Ingredients	100	100	100	100	

Webb B (1966)

Aux Etats-Unis, le lactosérum concentré sucré est apprécié pour ses qualités organoleptiques, proches de celles du lait, ses facilités de mélange et son pouvoir émulsionnant. Les taux d'incorporation, par rapport à la matière sèche, peuvent atteindre 14 à 40% suivant les types de bonbons. Dans les bonbons, le pourcentage de matière sèche provenant du sérum est: pour les "Wheyfer" 40%, pour les fondants aérés 14 %, pour les fondants 20%, pour les

caramels 21%, pour les toffees 26%. La poudre de lactosérum peut être utilisée dans la formule elle-même ou dans la composition des produits d'enrobage, (Cassegrain M., 1976).

En Grande-Bretagne, l'utilisation du sérum est réservée aux produits de bas de gamme. CADBURY, premier fabricant britannique de produits de confiserie, ne l'incorpore que dans trois lignes de caramels. Il s'agit de poudre de lactosérum dé lactosé ou d'un mélange 50/50 de sérum concentré et de glucose, incorporé à des taux de 2 à 8% par rapport au poids. La société FRAFT emploie du lactosérum neutralisé dans la fabrication de caramels mous, à un taux d'incorporation de 6% (Cassegrain M., 1976). En chocolaterie, le lactosérum doux est utilisé, à des taux de 2 à 3% par rapport au poids, pour son pouvoir éclaircissant, en particulier pour les produits chocolatés de garniture (Webb B., 1966). Le lactose, auquel le sérum emprunte beaucoup de ses qualités de renforcement du goût, de fixation d'arôme et de coloration, peut être utilisé, soit en complément du sérum dans les fondants, soit seul dans les marshmallows dans diverses formulations de chocolats en tablettes ou de couverture, dans les enrobages des bonbons, etc., (Goller H., 1974, Kube J et Goller H., 1975).

Le lactose est moins soluble que le saccharose: 21 g/100g de solution aqueuse contre 210 g pour le saccharose (Goller H., 1974). Pour cette raison, il peut être utilisé pour donner à certains caramels une structure cristalline ou granuleuse. Pour une teneur en lactose inférieure à 3%, le caractère cristallin peut être ignoré, mais pour une teneur en lactose comprise entre 5 et 10%, il est nécessaire d'utiliser le lactose sous une forme cristallisée, stable et permanente, (Webb B., 1966). Un caramel contenant une concentration importante de lactose doit, après cuisson, être refroidi à une température aussi basse que possible mais lui laissant toutefois une certaine fluidité pour permettre sa manutention. Après refroidissement, et afin de favoriser l'apparition de la structure granuleuse recherchée, on ensemence la masse de caramel avec une solution saturée de saccharose ou de lactose, contenant un grand nombre de minuscules cristaux. La cristallisation ainsi forcée permet d'obtenir des cristaux uniformes (Webb B., 1966).

Le lactose à l'état pur peut être incorporé dans les formules des " marshmallows " (10% total des sucres) et de confiseries en tablettes. Pour préparation de produits cacaotés, les réglementations de la CEE permettent le remplacement du saccharose par du lactose, sans déclaration pour des doses inférieures ou égales à 5%, et avec déclaration obligatoire pour des doses supérieures ou égales à 30%, (Kube J Et Goller H., 1975). Selon l'utilisation du lactose dans ses mêmes produits serait limitée à 50%, (Goller H., 1974). Outre sa faible solubilité dans l'eau et son pouvoir de fixation d'arômes, le lactose a la particularité de ne pas participer à la formation de la plaque dentaire, de stimuler l'assimilation du calcium et le péristaltisme

intestinale et de réduire la formation de cholestérol. Pour cela il est particulièrement recommandé aux diabétiques. Notons également les perspectives offertes, dans le domaine de la confiserie, au lactose hydrolysé du fait de ses propriétés: très forte solubilité, cristallisation difficile, pouvoir sucrant réglable en fonction du degré d'hydrolyse, (Kube J et Goller H., 1975).

IV.1.7. Utilisation dans d'autres produits alimentaires

IV.1.7.1. Utilisation dans les produits carnés

Les produits sont une autre utilisation possible du lactosérum (Mann E., 1977).Au Canada décrit l'utilisation, comme succédané de viande dans la viande hachée, d'un caillé de lactalbumine coagulée par la chaleur et l'acide à partir de lactosérum de fromage blanc. Des boulettes de viandes contenant jusqu'à 40% de caillé de lactalbumine, sont passées à la friture à 175°C selon des temps variables. On constate que des taux croissants de lactalbumine diminuent les pertes à la cuisson et la teneur en humidité après passage dans la friture, mais entraînent une augmentation de l'absorption de matière grasse provenant du bain d'huile. La lactalbumine a un effet amollissant. Les produits fabriqués ont été testés et il s'avère que l'acceptabilité par les consommateurs diminue avec l'accroissement du taux de lactalbumine, (Jelen P., 1975). D'autre études donnent plusieurs exemples de succédanés pour des émulsions de viande; ces produits sont applicables pour la fabrication de saucisses et de produits à base de poulet ou de poisson. On peut incorporer ainsi jusqu'à 5,5% de lactosérum ou jusqu'à 5% de lait écrémé en poudre, (Schulz M et Drache K., 1947, Mann E., 1977).Constatent que le lactosérum modifié, en poudre, est efficace comme agent rehaussant l'arôme des aliments en général et comme agent liant, rehaussant l'arôme et émulsifiant dans les produits à base de viandes hachées, (Feminella J *et al.*, 1975).

Comparent la poudre de lactosérum acide à d'autres liants "non-viande" utilisés couramment dans la production de saucisse de francfort. Quand les émulsions contenant de la poudre de lactosérum acide sont traitées afin que le pH soit semblable aux formulations classiques, les saucisses ainsi fabriquées donnent des résultats très favorables en ce qui concerne le rendement, l'aptitude à l'épluchage, la séparation de la matière grasse, la couleur initiale et la stabilité de la couleur, (Kopp J *et al.*, 1969). L'arôme de saucisse est affecté par l'addition de lactosérum en poudre à une émulsion non tamponnée. L'arôme de viande tend à être fade et une réduction du pouvoir aromatisant des épices a été noté. La texture est sèche. La flaveur des saucisses contenant du lactosérum acide en poudre en milieu tampon adéquat est aussi bonne que celle de saucisses contenant du lait écrémé en poudre comme agent liant (Lauck R.,1974).

IV.1.7.2. Utilisation dans les pâtes alimentaires

L'incorporation de lactosérum concentré (EST de 50 à 60%) dans la fabrication des pâtes alimentaires a été étudiée. Trois types de formulation, dont les caractéristiques sont données dans le tableau (14), (Kiger J., 1946).

Tableau 14: Essais de formulation de pâtes au lactosérum

Fabrication type	Farine en kg	Lactosérum concentré en kg	obtenues en kg	Matière sèche de lactosérum en 100 % dans le Pâtes	Rendement par rapport à 100 kg de farine .
Normale	75	0	70,5	0	94
A	78	43,5	96	22	128
B	30	22,5	40,5	26	135
C	22	22	38	42	173

Kiger J (1946)

Les résultats obtenus au cours de ces fabrications expérimentales sont favorables; les pâtes obtenues sont d'une couleur blanche laiteuse et présentent un microbosselage qui ne persiste pas à la cuisson. Le gonflement à la cuisson est légèrement inférieur à la normale mais la durée de celle-ci est réduite à 3mn au lieu de 10 ou 15mn. La saveur est agréable, moins fade. Au point de vue fabrication, a noté qu'au- de 22% de matière sèche de sérum dans les pâtes, on ne peut plus fabriquer des pâtes laminées (nouilles plates, papillons), mais uniquement des pâtes pressées (macaronis, coquillettes, pâtes à potage, vermicelle...). Le séchage des pâtes au sérum se fait directement à 35-40°C, sans pré-séchage, et il est terminé en 12 h, au lieu de 36 h et plus. Enfin, dernier avantage avancé, il y a réduction des déchets aux machines. Au point de vue valeur alimentaire, l'apport du calcium est très intéressant car le rapport Ca/p des pâtes ordinaires est très insuffisant: 0,16 contre 3 à 3,5 pour les pâtes au sérum, (Kiger J., 1946).

Décrit une méthode pour augmenter la teneur en protéines des macaronis et autres pâtes alimentaires en utilisant des protéines de sérum de haute qualité, obtenues par coagulation à la chaleur, (Seibles T., 1975). Décrit des formulations utilisables pour la fabrication de pâtes alimentaires contenant 5 à 15% de sérum Séché à 50% de protéines non dénaturées, (Murthy P., 1976).

IV.1.7.3. Utilisation dans les alimentaires

On peut utiliser du lactosérum acidifié par fermentation à 2,6% d'acide lactique, pour la fabrication de certaines conserves et en particulier pour la préparation de concombres de

betteraves rouges de radis de pickles et autres condiments. Les haricots verts, les concombres et autres légumes conservent la coloration qu'ils possèdent à l'état frais ainsi que leur fermeté et leur goût, (Ohler H., 1948).

IV.1.7.4. Utilisation dans les sauces et assaisonnements pour salades

donnent des formules de sauces pour salade contenant environ 91% de sérum acide, 3% d'huile, 0.8 à 1% de stabilisant, 4,6% d'amidon et 0,07% d'EDTA plus quelques épices, avec ou sans acide acétique et citrique, (True L *et al.*, 1972).

IV.1.8. Produits de fermentation à partir du lactosérum

L'utilisation du lactosérum comme substrat de fermentation a intéressé les bactériologistes et les chercheurs en sciences laitières, concernés par la valorisation de cette matière première. La faible concentration du lactosérum en nutriments et son arôme particulier interdisent son emploi pour certaines fermentations. Néanmoins, le lactosérum est un substrat adéquat pour la préparation de levures, d'alcools, d'acide lactique, de vitamines, d'enzymes et autres produits de fermentation, (True L *et al.*, 1972).

IV.1.8.1. Le lactosérum: substrat de fermentation

Afin d'apprécier l'aptitude du lactosérum comme milieu de culture ou substrat de fermentation, il est nécessaire de rappeler sa composition, (True L *et al.*, 1972):

Eau	93,1 %
Matière grasse	0,3%
Protéines	0,9%
Lactose	4,9%
Minéraux	0,6%
Acide lactique	0,2%

Il contient en plus des vitamines B₁, B₂ et C. La composition du lactosérum est variable selon la composition du lait et le type de fabrication fromagère dont il est issu. Le lactosérum acide contient plus d'acide lactique et moins de lactose que le lactosérum doux. Le lactose est la principale source de carbone du lactosérum et seuls des micro-organismes capables d'utiliser ce sucre peuvent être cultivés sur ce substrat. Le lactosérum est déficient en composés azotés inorganiques, qui doivent lui être ajoutés, (True L *et al.*, 1972).

IV.1.8.2. Production de levures sur lactosérum

De toutes les fermentations sur substrat de lactosérum, la plus intéressante, et la plus étudiée ces dernières années, est la fermentation par des levures qui seront ensuite utilisées en alimentation humaine et animale. Les levures et produits levures obtenus sont des sources très importantes de protéines et de vitamines. En France, il existe des procédés de production de

levures en continu, procédé BEL, ou en discontinu, procédé DEVOS, qui sont l'objet de protection par des brevets, (Gac A *et al.*, 1975).

IV.1.8.2.1. Levures utilisables

Sans aucun doute, *Saccharomyces fragilis* (maintenant appelé *Kluyveromyces fragilis*) est le micro-organisme de choix pour la production de levures à partir du lactosérum. de très nombreux ont montré l'aptitude de *Saccharomyces fragilis* à croître dans du lactosérum, et ont donné les conditions de culture de ce micro-organisme: (Amundson C., 1967, Chapman L., 1970, Fonden R et Petterson L., 1974, Glatli H et Blanc B., 1974, Knight S et al., 1972, Muller W., 1975, Vrignaud Y., 1976, Wasserman A *et al.*, 1959).D'autres micro- organismes sont capables de croître dans du lactosérum, tels *Candidalipolytica* (Foda M., 1976), *Candida utilis* (Mergl M et Uher J., 1975), *Debaryomyces hansenii* (Foda M., 1976), *Candida intermedia* (Zalashko L *et al.*, 1973), *Candidahumicola*, *Candida curvata*, *Torulopsis candida* (Zalashko L *et al.*, 1973), *Trichosporon cutaneum* (Osovik A *et al.*, 1975).

IV.1.8.2.2. Conditions de culture de *Saccharomyces fragilis*

La croissance maximale de *Saccharomyces fragilis* et la meilleure utilisation du lactose sont obtenues dans du lactosérum supplémenté avec 0,5% de sulfate d'ammonium ((NH₄)₂ SO₄), 0,5% de phosphate dipotassique (K₂H PO₄) et 0.1 % d'extrait de levures; la température étant maintenue à 30-32°C et le pH initial étant de 5,7. L'assimilation complète de lactose du lactosérum a lieu en 3 à 4 h; celle de l'azote est terminée pendant les trois premières heures. Différents facteurs font varier les conditions de fermentation, (Wasserman A *et al.*, 1959).

IV.1.8.2.2.1.Influence de l'ensemencement

Dans une solution aérée, la vitesse de disparition des substances solubles est liée à la quantité de cellules présentes. L'importance de l'inoculum peut varier de 300 à 2000.10⁶ cellules/ml. Avec la quantité de cellules la plus forte, on obtient un rendement maximum en levures de 23,5 mg/ml en 3 heures, la quantité de levure ajoutée étant égale, en poids sec, à 30% du poids sec de sucre contenu dans le sérum (Wasserman A *et al.*, 1959).

IV.1.8.2.2.2.Importance de l'azote

Il est nécessaire d'enrichir le milieu en azote pour obtenir une levure à haute teneur en azote. L'addition de 0,5% de sulfate d'ammonium fournit assez d'azote pour que la multiplication de la levure se poursuive pendant 2 à 3 heures; avec 1%, on peut prolonger l'opération pendant 4 heures. Sans addition de sulfate d'ammonium, la teneur en azote des cellules de levure n'est que 66%de celle de la levure d'ensemencement. Avec une addition de 0,5% de sulfate d'ammonium la teneur en azote de la cellule atteint 85% de celle de la levure

initiale; avec une addition de 1%, on conserve et on renforce la teneur en azote de la levure initiale, (Wasserman A *et al.*, 1959).

IV.1.8.2.2.3. Besoins en oxygène

La consommation d'oxygène, initialement faible augmente au fur et à mesure que le lactose est consommé et que la population de levure se développe. Au maximum cette consommation est de 100 à 1200 ml d'O₂ par minute et par litre de suspension. Pour 40 g de lactose par litre de sérum, on compte une consommation de 10,5 l d'O₂; pratiquement, on consomme 14,3 l d' O₂, (Wasserman A *et al.*, 1959).

IV.1.8.2.2.4. Rendements

En poids sec le rendement en levure est de 52% du lactose et de l'acide lactique contenu dans le sérum; chaque litre de sérum devrait pouvoir fournir 27 g de levure contenant 45 % de carbone; les résultats pratiques ne donnent que 23 g soit 85% de la théorie, (Wasserman A *et al.*, 1959). Qui a obtenu un rendement en levure de 45% du poids de lactose du lactosérum, en opérant à 33°C et à pH 4,0-4,5, signale qu'il lui a été difficile de maintenir constantes ces condition, du fait de la difficulté à contrôler la mousse produite à la fois par le lactosérum et par levure; par ailleurs, l'utilisation d'agent antimousse aurait un effet défavorable sur la croissance de la levure; le système d'aération waldhof, où l'on fait circuler la mousse sans emploi d'agent antimousse, serait préférable à l'équipement ordinaire aération-agitation, pour la fermentation du sérum, (Chapman L., 1970).Quia cultivé *Kluyveromyces fragilis* dans les mêmes conditions que WASSERMAN, précise la composition de la levure sèche obtenue, (Vrignaud Y., 1976):

Protéines > 4,7 %

Lipides 7 à 9 %

Glucides 31 %

La valeur biologique des protéines serait égale à 75% de celle des protéines du lait. Les hydrates de carbone sont digestibles à 60%. La DBO du liquide résiduel est 1300-1500 mg/l, (Vrignaud Y., 1976). Les rendements cellulaires nets, obtenus en 7 heures de fermentation, étaient de 2 g/100 ml de lactosérum, soit 77% de la valeur théorique. La liqueur effluente contenait 900-1200 ppm de DBO,(Perzow B., 1974). Obtiennent un autolysat de levure de *Saccharomyces fragilis* à 80% de matière sèche et qui contient 48% de protéines, 10% de glucides, 4% de cendres sans NaCl et 18%de sel (NaCl), avec un rendement de 12,27 kg/1000 kg de lactosérum. le perméat de lactosérum dans lequel a été cultivé *Saccharomyces fragilis* contenait initialement 40.000 à 45.000 mg de DBO/l. La DBO a été réduite, par fermentation, à 1500-2000 mg/l, (Reesen L et Nielsen P., 1975). A obtenu, à partir de lactosérum contenant 4% de lactose et 0,7% de protéines solubles, et incubé avec *Saccharomyces fragilis*, une biomasse

qui, une fois concentrée et séchée, donne un produit enrichi en protéines (55 à 60%), (Muller W., 1975).

IV.1.8.2.3. Culture d'autres levures que *Saccharomyces fragilis*

La culture de quatre levures, *Debaryomyces hansenii*, *Hansenula anomala*, *Candidalipolytica*, *Candida utilis*, est réalisée dans des surnageants de lactosérum doux ou acides, obtenus après chauffage des lactosérum 10mn à 115°C, et élimination des protéine coagulées. Les cultures, incubées à 28°C, pendant 3-4 jours, donnent, avec *Debaryomyces hansenii*, un rendement maximum de matière sèche de 25,6 g/l dans le lactosérum doux et de 13,2 g/l dans le sérum acide. L'addition de 0,5 % de sulfate d'ammonium augmente ces rendements respectivement à 30,4 et 28,8 g/l. la tolérance au sel de *Debaryomyces hansenii* et sa faible capacité de fermentation sont adaptées à la production de protéines microbiennes, à partir de solution salées de sérum, (Foda M., 1976).

Trichosporoncutaneum est cultivé, en laboratoire, en récipient de 0,5 litre, dans du lactosérum supplémenté avec 4 g de $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$ ou 8 g de $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ par litre. La biomasse, produite après 9 heures d'incubation, représente 28 g de matière sèche/l de sérum; l'inoculum initial était de 2,6 g de matière sèche/l. En comparaison, *Candida utilis* produit seulement 8,1 g de matière sèche par litre. La biomasse de *Trichosporon cutaneum* contient 52,4-57,5 % de protéines brutes, et 9,4-11,6 % de cendres dans la matière sèche,(Osovik A *et al.*, 1975). De bons résultats ont été obtenus avec *Candida intermedia*. La taux de protéines brutes du produit séché est de 49,25%, (Ladet J *et al.*, 1972). La comparaison de différentes espèces de *Kluyveromyces*: *Kl. marxianus*, *Kl. lactis* et *Kl. fragilis*, montre que la plus forte production de protéines (0,17 mg/ml de lactose) est obtenue avec *Kl. fragilis*. Les taux de protéines et de lipides, contenus dans les cellules cultivées avec une teneur limitée (0,2%) ou en excès (0,8%) de lactose, ont également été comparés. les cellules de *Kl. marxianus* présentent des taux élevés de matière grasse (6,6 -8,2%) et faibles de protéines (29-30%), alors que les cellules de *Kl. lactis* présentent des taux plus faibles de matière grasse (5,7-7,7%) et plus élevés de protéines (36-45%). *Kl. Fragilis* a des teneurs en protéines intermédiaires: 31-39%, (Ladet J *et al.*, 1972). A montré que pour améliorer l'économie des fermentations, il fallait préférer, à l'élimination des protéines du sérum par précipitation, leur traitement par une protéinase et une peptidase qui les rend assimilables par les levures. La fermentation anaérobie du lactosérum, par des bactéries lactiques homofermentaires, favoriserait les fermentations postérieures par des levures, en rendant possible la fermentation du lactosérum par des levures, telles que *Saccharomyces cerevisiae*, qui n'utilisent pas le lactose,(Moebus O., 1976). *Candida utilis* 49, accommodé à l'éthanol, source de carbone et d'énergie du milieu, est cultivé dans du lactosérum

déprotéiné, et produit une liqueur à 11-13% de matière sèche (6-8 de MS de biomasse).le produit sec contient 93,5% de matière sèche, 26,2% de substances azotées, 5,5%de matière grasse, 10,5% de cendres et 71,2% de composés non azotés (Mergl M et Uher J., 1975). Si le lactosérum est incubé préalablement avec une culture acidophile pour éliminer le lactose, et additionné de lactate d'ammonium et d'éthanol, les rendements se trouvent augmentés: la liqueur contient 14-15% de matière sèche; le produit sec final contient 95% de matière sèche, 36-42% de protéines, 5% ou moins de matière grasse, 1-2% de lactose et 10-12% de minéraux. De nombreuses autres études, qu'il serait trop fastidieux de citer toutes, ont été menées sur la fermentation du lactosérum par les levures,(Bechtle R., 1974, James A et Addyman C., 1974, Kaminski S., 1972, Le Floc'h A., 1972, Lefrancois L et Naiditch V., 1971, Moebus O et Lembke A., 1975, Pechyulis J., 1972, Schuler R., 1971).

IV.1.8.3. Production de levures lactiques par le procédé BEL

Le procédé BEL, de valorisation du lactosérum, brevet N° 1.128.063 déposé le 22 juin 1955, permet l'obtention continue de levures et de protéines. Il comprend deux opérations, (Gac A *et al.*, 1975):

IV.1.8.3.1. Extraction des protéines

le lactosérum, traité immédiatement à la fromagerie, est soumis à l'extraction des lactoprotéines. en effet les protéines complexes du lactosérum, lactalbumine, lactoglobuline, ne sont pas assimilables par les levures. Une séparation, basée sur le phénomène de dénaturation par voies acide et thermique permet de récupérer 75% des matières protéiques du sérum (BLANCHET M et BIJU-DUVAL M., 1969). Le rendement global est de 4 kg environ de produit sec par mètre cube de sérum brut. La poudre est obtenue par séchage d'une pâte de lactoprotéines titrant 20 à30% de matière sèche totale; elle a la composition schématique suivante (Gac A *et al.*, 1975):

Humidité	6%
Sels minéraux	1,2%
Protéines	72% : 45% lactoglobuline 20 % lactalbumine
Glucides	12,8%
Matière grasse	8%

IV.1.8.3.2. Valorisation du jus lactosé et déprotéiné par culture de levures aux dépens du lactose

Le lactosérum déprotéiné constitue 95 à 98 du volume de sérum traité, et contient, en outre, la quasi-totalité du lactose et le reste des protéines du sérum. Il est utilisé comme milieu

nutritif pour cultiver de façon continue une quantité maximale de levures *Saccharomyces fragilis*. La levure obtenue est séparée du milieu, lavée, filtrée, plasmolysée et séchée. La plasmolyse permet de régulariser la qualité bactériologique du produit, de détruire les lipases, permettant ainsi une meilleure conservation, et d'améliorer la digestibilité des protéines produits. Le rendement de la fermentation, c'est-à-dire le poids de levures obtenues à partir d'un poids donné de lactose entrant en fabrication, est de l'ordre de 50 à 53, (Blanchat M et Bijou-Duval M., 1969, Gac A *et al.*, 1975), citent un rendement variant de 16 à 20 kg de levures sèches par mètre cube de sérum, (Figure 4 et 5).

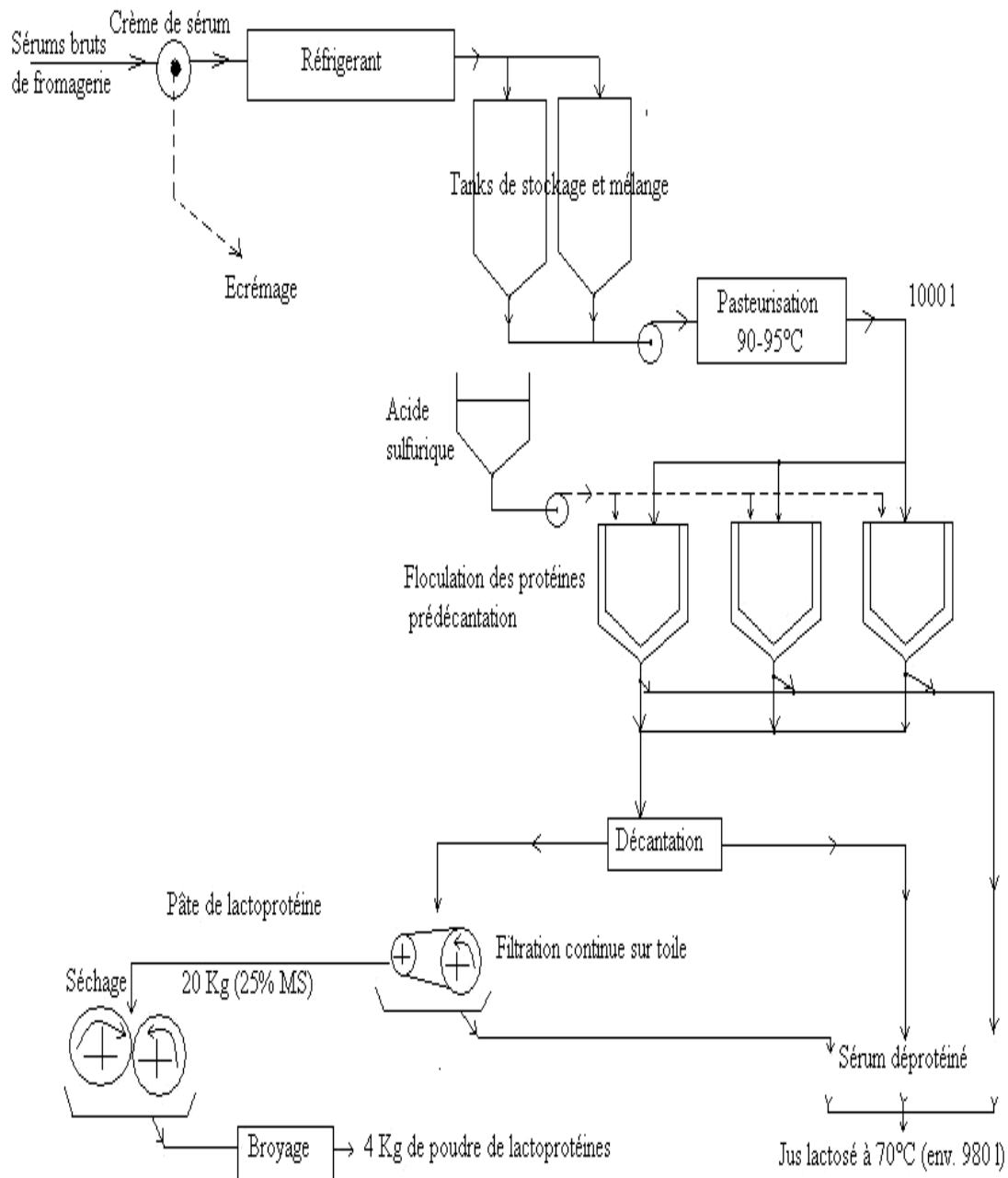


Figure 4: Procédé BEL (1^{ère} partie). Extraction des lactoprotéines (diagramme simplifié), (GAC *et al.*, 1975)

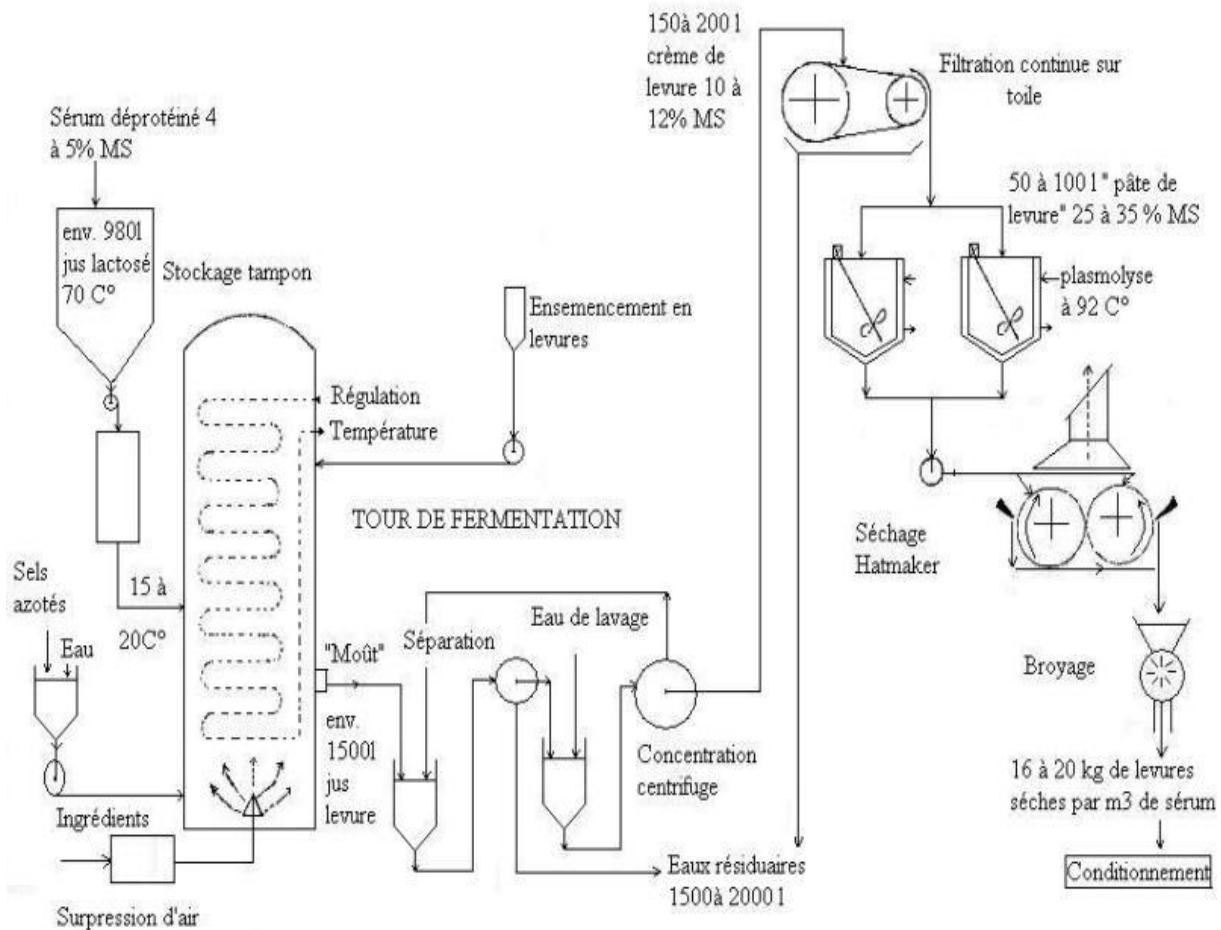


Figure 5: Procédé BEL (2^{ème} partie) fabrication de levure-aliments sur jus lactosés (Gac A et al., 1975)

IV.1.8.3.3. Caractéristiques et qualités des produit obtenus

La composition globale des levures lactiques est la suivante, (Blanchet M et Bijou-Duval M., 1969):

Eau	6 %
Sels minéraux	8 %
Protéine	47 %
Matière grasse	9,2 %
Cellulose	4,8 %
Autres glucides (par différence)	25 %

La composition en acides aminés de cette levure est comparable à celle de la levure de bière ou de la levure de boulangerie; elle se caractérise par une déficience en acides aminés soufrés et une importante teneur en lysine. La forte teneur en matière grasse et en acides gras insaturés, acides linoléique et linoléique, de la levure lactique, la distingue des autres levures, et présente un grand intérêt sur le plan alimentaire, (Blanchet M et Bijou-Duval M., 1969).

La valeur biologique des levures lactiques a été établie par de nombreuses recherches entreprises par le CNRZ. L'une de ces études rapporte que la levure lactique, incorporée à une ration pour rats à base d'arachide et de gluten, provoque une augmentation de croissance de 100%, alors que la levure de bière n'augmente la croissance que de 50%. Une autre étude effectuée sur des veaux a montré que des lactoreplaceurs contenant des levures lactiques permettraient d'obtenir un gain journalier de poids de 1,14 kg (1,01 kg avec *Torula* dans les lactoreplaceurs), et un rendement de viande de 63,57 % (60,67% avec *Torula*), (Blanchet M et Biju-Duval M., 1969). De nombreux essais ont été réalisés en diététique humaine; ils ont montré que les apports de levure dans l'alimentation amélioraient toujours l'état général des utilisateurs et activaient la croissance lorsqu'il s'agissait d'enfants ou d'adolescents(Gac A *et al.*, 1975).

IV.1.8.4. Production de levures par le procédé DEVOS

Le procédé, également breveté, convient bien à la valorisation des sérums acides, dont une fraction importante du lactose est dégradée en acide lactique. La désacidification est assurée presque totalement, par la culture de levures du type *Saccaromyces*, ces levures consomment exclusivement l'acide lactique, et constituent un enrichissement en protéines. Le procédé de levuration est discontinu; en 6 heures environ la teneur en acide lactique baisse de 90 % et la teneur en protéines augmente de 50%, le pH passant de 4,3 à 6,8. Le sérum levuré est alors pasteurisé, concentré sous vide et séché sur tour SPRAY. La poudre obtenue à la composition suivante, (Gac A *et al.*, 1975):

Humidité	4 %
Matières grasses	2 à 3 %
Lactose	50 à 55 %
Protéines	15 à 18 %
Sels minéraux	11 %
Acidité (lactique)	2 %

IV.1.8.5. Production de champignons filamenteux

Le traitement du lactosérum par le procédé GALLQUA/SIREB, permet la production, en continu, de champignons filamenteux, micro-organismes dont le taux de croissance, plus faible que celui des bactéries et des levures, est largement compensé par une meilleure digestibilité de la biomasse. Le procédé comprend trois phases (Figure 6, 7 et 8), (Fleury M et Henriot M., 1977).

IV.1.8.5.1. Ultrafiltration du sérum

l'opération aboutit à l'obtention d'un concentré protéique ou retentât, et d'un liquide contenant le lactose ou perméat. Le retentât, qui est séché, contient 70 % de Lactoprotéines, les 30 % restant se répartissant entre le lactose, les lipides et les minéraux, (Fleury M et Henriet M., 1977).

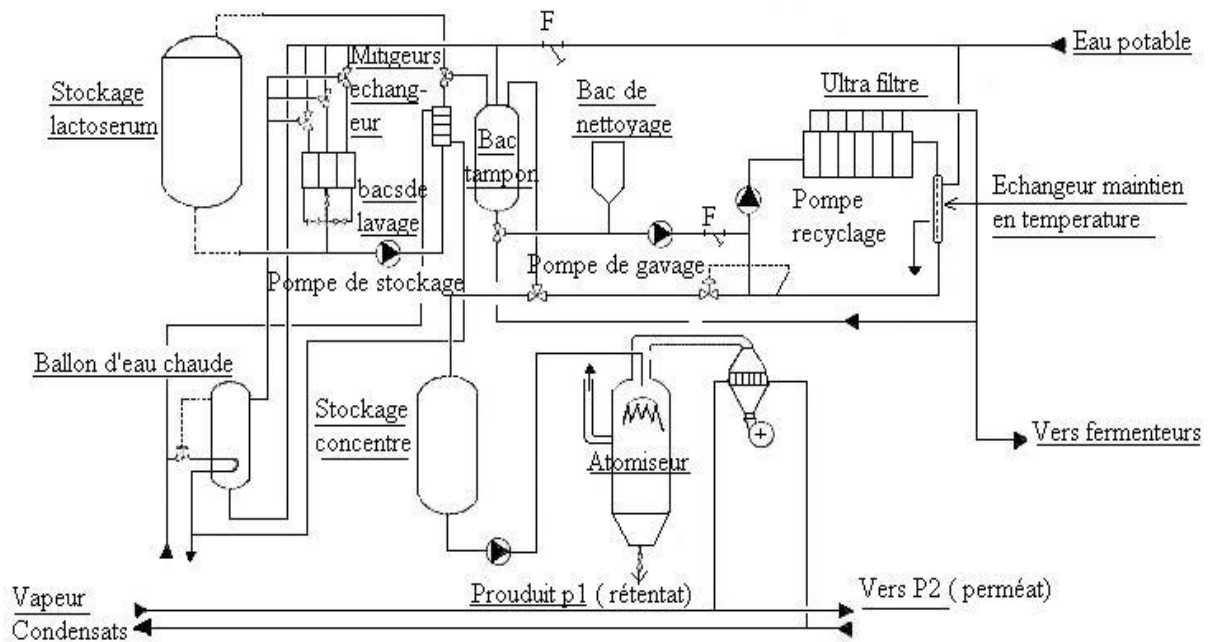


Figure 6: Procédé SIREB. Unité de traitement du lactosérum (produit p₁= rétentat), (Fleury M et Henriet M., 1977).

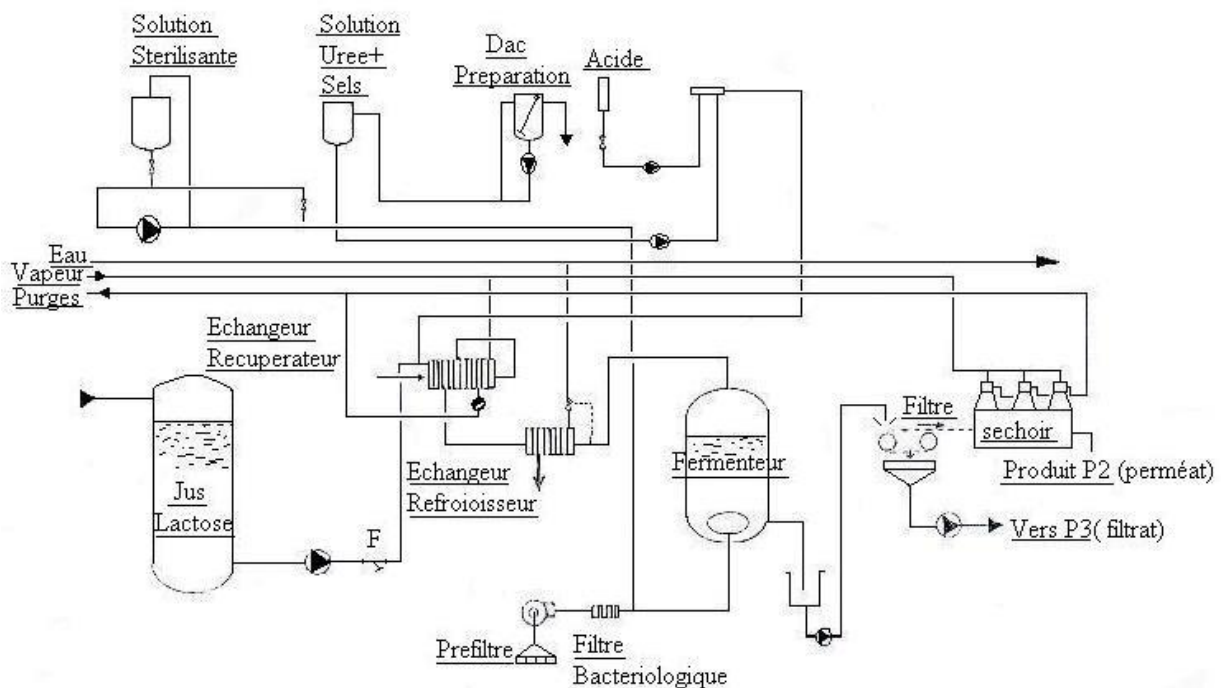


Figure 7: Procédé SIREB(suite). Unité de traitement du lactosérum (produit p₂ = perméat), (Fleury M et Henriet M., 1977).

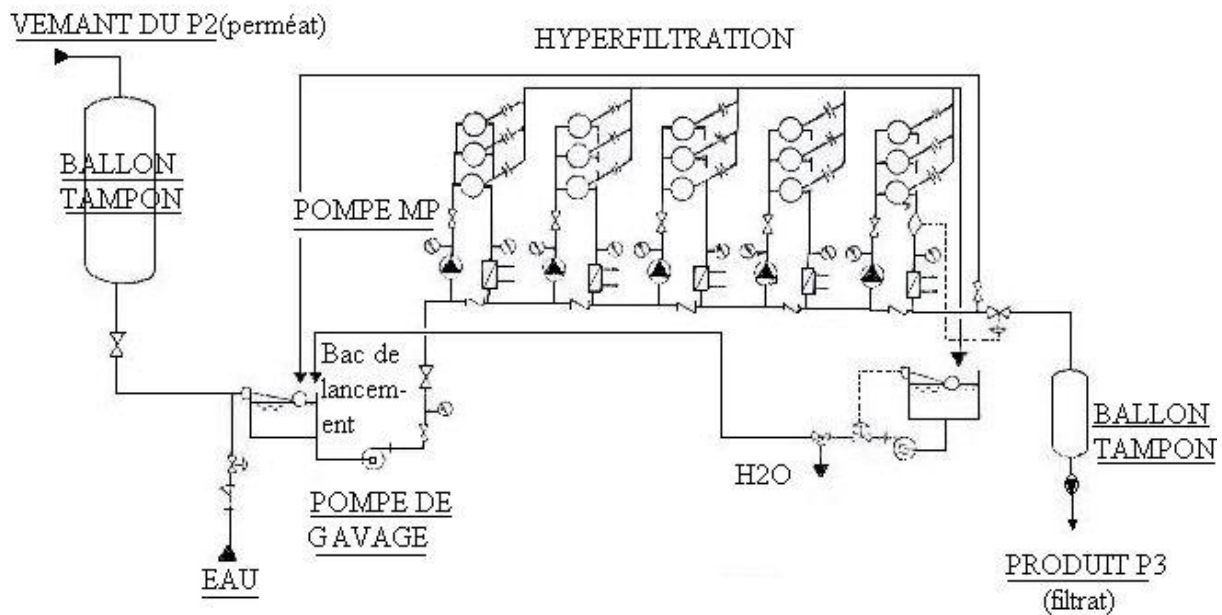


Figure 8: Procédé SIREB(fin). Unité de traitement du lactosérum (produit p₃= filtrat), (Fleury M et Henriet M., 1977).

IV.1.8.5.2. Fermentation du perméat

Après complémentation en azote et en oligo-éléments sous agitation et oxygénation, la fermentation du perméat la croissance et le développement du mycélium. Celui-ci assimile le lactose et l'acide lactique présents, avec un rendement de conversion supérieur à 50 %. Au fur et à mesure que l'on ajoute du milieu neuf, on retire des quantités équivalentes de milieu épuisé en lactose; le milieu épuisé est filtré, on sépare ainsi le mycélium du filtrat. Le gâteau de biomasse est séché et destiné à l'alimentation animale. Sa composition est la suivante (Bednarski W *et al.*, 1973):

Eau	6 à 8 %
Matières azotées totales	38 à 40 %
Substances glucidiques	35 à 40%
Minéraux	7 à 11 %
Matière grasse	2 à 5 %
Acides nucléiques	5 à 6 %

IV.1.8.5.3. Hyper filtration ou osmose inverse du filtrat

Le filtrat contient des acides aminés libres en quantité non négligeable et les acides aminés habituellement recherchés sont bien représentés dans les protéine du champignon: lysine et thréonine ont une concentration de 7,5 à 5,6 g pour 100 g d'acides aminés. Ces protéine sont destinées à être utilisées en complément du soja dans les rations alimentaires, (Marth E., 1970).

IV.1.8.6. Propagation d'autres micro-organismes que les levures

Bien que ce ne soit généralement pas recommandé, les levains peuvent, toutefois, être cultivé sur substrat de lactosérum. cependant, cette pratique est beaucoup moins courante de nos jours qu'autrefois. Signale l'incorporation du lactosérum dans un certain nombre de milieux de culture, utilisés pour cultiver une grande variété de micro-organisme. Le lactosérum aurait des propriétés stimulantes sur certains micro-organisme, inhibitrices sur d'autres, (Marth E., 1970). Ont étudié la production maximale de biomasse de bactéries et de levures dans un milieu à base de lactosérum. les meilleurs rendements, 3,78 g de matière sèche de biomasse et 1,78 g de protéines/100 ml de milieu, ont été obtenus en cultivant conjointement *Rhizopus oligosporus* et *Escherichia coli*. Ces résultats, obtenus à l'échelle du laboratoire, ont été améliorés à l'échelle semi-industrielle(4,75 g de matière sèche de biomasse et 2,33 g de protéine/100mg de milieu). La combinaison *Escherichia coli* avec *Geotrichum candidum* donne aussi de bons rendements: 3,72 g de matière sèche de biomasse et 1,97g de protéines/100 ml de milieu. Les valeurs biologiques des protéine (index oser: œuf= 100) sont 83-89 pour la biomasse de moisissures seules; et 95-97 pour la biomasse de moisissures et bactéries, (Bednarski W *et al.*, 1973).

Le lactosérum déprotéiné et le lactosérum traité à la papaïne sont tous deux aptes à la production de biomasse d'*Escherichia coli*, avec une teneur accrue en méthionine et cystine, les rendements étant légèrement meilleurs sur lactosérum traité à la papaïne, mentionnent l'utilisation du lactosérum pour fortifier un milieu composé de collagène et d'amidon et servant à la culture successive de *Bacillus subtilis* et de *Lactobacillus acidophilus*, en vue de la production de protéines microbiennes, (Kunczewicz A et Kiska J., 1974, Schmidt B *et al.*, 1977).

IV.1.8.7. Production de biomasse destinée à l'alimentation animale

En Pologne où la production fromagère est rapidement croissante et où 0,2% seulement du lactosérum produit en 1970 était transformé industriellement, la fabrication de levure fourragères sur un milieu de lactosérum est considérée comme la meilleure utilisation de ce sous-produit du lait, (Kaminski S., 1972). Plusieurs auteurs citent la production de levure fourragère à partir de *Saccharomyces fragilis*, dans les mêmes conditions de propagation du microorganisme que celles décrites précédemment, (Harju M *et al.*, 1976, Muller A., 1975).

Relate la préparation d'un aliment levure complexe, résultant de la culture, sur lactosérum, de levures sélectionnées. Mais contrairement à ce qui a lieu dans la production de la levure, la culture est arrêtée avant épuisement du lactosérum. le produit final comprend: des levures élaborées, le lactosérum non consommé et les solubles de la fermentation. La produit est 2 fois 1/2 plus riche en protéines que le lactosérum et ne contient plus qu'un tiers du lactose

initial (40-42 kg/m³) la valeur nutritive du produit est très élevée du fait de la présence des protéines du lactosérum, des protéines de levure, de vitamines du groupe B. il est utilisé avec beaucoup de succès dans l'alimentation des veaux, des porcs, de la volaille, (Thibaudat C., 1964).

La levure fourragère, *Torula utilis* riche en albumine 50% de la matière sèche, et en vitamines, est un excellent aliment du bétail. On l'utilise dans ce but en addition au fourrage habituel à raison de 5 à 20%; elle convient à la volaille aux porcs aux porcelets . Il cite également le procédé BIOSYN par lequel on produit non pas des levures, mais du mycélium par culture de champignons mycéliens (*Oospora lactis*), en submersion dans le lactosérum agité et aéré, (Vernois G., 1970). Des chercheurs américains, ont produit un supplément d'aliment pour jeunes bovins, appelé " Bactolac". Ce produit est obtenu par fermentation sous l'action de *Lactobacillus bulgaricus* à 43-44°C et pH 5,5 du lactose du lactosérum non stérilisé. L'acide lactique produit est neutralisé par de l'ammoniaque pour former du lactate d'ammonium. Le lactosérum fermenté et ammonifié est concentré 10 fois par évaporation, pour obtenir un produit sirupeux (Bactolac). " Bactolac" contient 55-60 % de protéines brutes, dont 6 à 8 % dérivées des bactéries, 17% des protéine du lactosérum et 75 à 80 % du lactate d'ammonium. Le temps de fermentation peut être réduit de 50 % par addition de 0,2 % d'extrait de levure ou 0,1% de liqueur de maïs, (Reddy C *et al.*, 1975, Reddy C *et al.*, 1976).

Un autre aliment pour le bétail est préparé à partir de lactosérum inoculé avec *Lactobacillus bulgaricus* et *Lactobacillus acidophilus*, puis fermenté jusqu'à pH 3,4-3,8 et concentré à 40-52% de matière sèche. Le concentré est réinoculé avec des lactobacilles puis mélangé avec une farine de germes de maïs. Le mélange est séché à basse température jusqu'à 12-14% d'humidité, permettant à la fermentation lactique de se poursuivre, pour donner un produit non hygroscopique, coulant librement, pour l'alimentation des animaux (Holt W., 1974). Nous citons également l'emploi de champignons et de streptomycètes croissant sur des déchets d'aliments comme source de protéines microbiennes pour l'alimentation du bétail. L'addition de lactosérum aux déchets augmente les rendements cellulaires et l'utilisation de l'azote. Les masses cellulaires de *Fusariumoxysporum*, obtenues en ajoutant aux déchets d'aliments différentes fractions de lactosérum, sont les suivantes, (Weiner W et Rhodes R., 1974):

Sur lactosérum entier	10,3 g/l
Sur résidus de lactosérum Aamicon	2,1 g/l
Sur lactosérum + eau	15,1 g/l
Sur filtrat de déchets d'aliments + eau	1,6 g/l

IV.1.8.8. Production de vitamines

IV.1.8.8.1. Riboflavine (vitamine B₂)

De nombreux travaux ont été menés sur la production microbiologique de riboflavine. Parmi les micro-organismes producteurs de riboflavine, *Clostridium acetobutylicum*, *Ashbya gossypii* et *Eremothecium ashbyii* ont été les plus étudiés, (Sjostrom G et Hakansson E., 1953). *Eremothecium ashbyii* semble produire des quantités relativement importantes de riboflavine quand il est cultivé sur du lactosérum: 0,200 mg de riboflavine par ml de sérum dans lequel le lactose a été hydrolysé, (Leviton A et Whittier R., 1950).

Ces auteurs préconisent l'utilisation, comme milieu de culture, d'un mélange, à part égale, de lactosérum et d'eau, alors que (Marth E., 1970), préférer l'emploi de lactosérum entier. *Eremothecium ashbyii* ne fermentant pas le lactose, il est nécessaire soit d'hydrolyser le lactose en glucose et galactose, soit de fournir au milieu une source de sucre. La concentration optimale du sucre utilisable est de 1% (Sjostrom G et Hakansson E., 1953).

Le tableau (15) montre l'effet des différents sucres ajoutés sur la production de riboflavine dans le lactosérum. la culture d'*Eremothecium ashbyii* se fait à 28°C, pH 5,5-6,5, dans un milieu stérile,ensemencé à 2%. Il est préférable d'ajouter au milieu, du saccharose pur (1%), qui est un produit bon marché, plutôt que d'hydrolyser le lactose.

Tableau 15: Effet du sucre ajouté sur la production de riboflavine

Sucre ajouté	Riboflavine mg/ml après		
	2 jours	3 jours	4 jours
Aucun	0,006	0,010	0,012
Glucose 1 %	0,041	0,140	0,140
Glucose 0,5 %	0,067	0,130	0,140
Saccharose pur 1%	0,045	0,110	0,140
Saccharose non raffiné 1%	0,054	0,120	0,140
Melasse 1%	0,014	0,039	0,055

Sjostrom G et Hakansson E (1953)

Ont étudié l'effet d'éléments traces, de vitamines et d'autres éléments, ainsi que l'action de la chaleur sur la production de la riboflavine (tableau 16), (Sjostrom G et Hakansson E., 1953).

Tableau 16: Effet d'éléments traces, de vitamines sur la production de riboflavine

Essai N°	Addition au substrat sérum + 1% sucre non raffiné	Riboflavine mg/ml après			
		3 jours	4 jours	5 jours	6 jours
1	Nulle	0,23		0,28	0,30
	Mn: 1 mg/l	0,23		0,28	0,27
	Co :1 mg/l	0,21		0,31	0,31
	Zn: 1 mg/l	0,23		0,31	0,29
	Cu: 1 mg/l	0,24		0,29	0,31
	E : 1 mg/l	0,22		0,29	0,29
2	Nulle	0,21		0,28	
	Vitamine B ₁ : 0,1 mg/l	0,23		0,29	
	Vitamine B ₁ :0,05 mg/l	0,21		0,27	
3	Nulle	0,22	0,28	0,30	
	ac . D-aminobenzoïque : 0,13 mg/l	0,22	0,27	0,28	
	ac . D-aminobenzoïque :1,3 mg/l	0,19	0,25	0,27	
	Inositol: 0,2 mg/l	0,20	0,25	0,29	
	Inositol : 2 mg/l	0,18	0,22	0,25	
4	Nulle	0,22	0,28	0,30	
	Sérum traité à la trypsine 25%	0,24	0,31	0,33	
	Sérum traité à la trypsine 10%	0,24	0,31	0,33	
	Sérum traité à la trypsine 5%	0,23	0,28	0,31	
	Sérum traité à la trypsine 1%	0,23	0,28	0,28	

Sjostrom G et Hakansson E (1953)

Les éléments traces et les vitamines n'augmentent pas de manière significative la production de riboflavine. L'inositol et l'acide p-amino-benzoïque, à forte concentration, ont un effet dépressif, alors que la trypsine augmente légèrement la production. Dans le lactosérum, la quantité de 0,30-0,40 mg/ml de riboflavine obtenue, semble être un optimum. La production de riboflavine des cultures jeunes est retardée par le traitement thermique, mais elle augmente après une période de 4-5 jours sans toutefois dépasser celle des cultures non chauffées (tableau 17). Les cultures vieilles sont aussi retardées mais l'échantillon chauffé 3 mn à 55 montre une concentration finale plus importante que celle de l'échantillon contrôle. Concluent qu'il est préférable d'utiliser des cultures jeunes. Les cultures âgées peuvent être améliorées par le

traitement thermique. Pour la récupération de la riboflavine, le mélange de fermentation est pasteurisé ou séché par atomisation, (Sjostrom G et Hakansson E., 1953).

Tableau 17: Effet de la chaleur sur la production de riboflavine

Inoculum	Culture après 2 jours					Culture après 4 jours				
Traitement thermique	Aucun	10mn 50 °C	15mn 50 °C	25mn 50 °C	3mn 55 °C	Aucun	10mn 50 °C	15mn 50 °C	25mn 50 °C	3mn 55°C
Riboflavine (mg/ ml) après										
2 jours	0,11					0,08				
3 jours	0,26					0,21	0,05	0,05	0,06	
4 jours	0,34	0,16	0,09			0,25	0,10	0,13	0,21	0,15
5 jours	0,38	0,30	0,25	0,18	0,06	0,28	0,12	0,17	0,28	0,30
7 jours	0,10	0,36	0,35	0,37	0,35	0,28	0,14	0,19	0,29	0,38
Poids sec de mycélium après 7 jours (mg/ ml)	2,2	2,1	2,5	3,0	2,7	2,0	2,5	2,8	2,1	2,0

Sjostrom G et Hakansson E (1953)

IV.1.8.8.2. Cobalamine (vitamineB₁₂)

Le lactosérum acide amené à pH 6,8-7,0 et additionné de 0,2 % de (NH₄)₂SO₄, comme source d'azote, et de 5 mg/l de Co₂Cl₂, composant essentiel dans la formation de molécules de vitamine B₁₂, peut être utilisé comme milieu de culture pour *Propionibacterium shermanii*, producteur de vitamine B₁₂. La fermentation dure 4 à 5 jours à 30°C dans des condition aseptiques, (Lutskova M., 1966).

La forme de vitamine B₁₂, biologiquement active, cyanocobalamine, est obtenue en ajoutant au milieu, en fin de fermentation, 10 mg/l de 5,6 diméthylbenzimidazol. Par séchage de milieu fermenté on obtient une poudre contenant 14 à 17g de vitamine B₁₂ par tonne. Cette préparation contient aussi de l'acide pantothénique, de l'acide folique, de la biotine et des vitamines B₁et B₂. Elle peut être utilisée pour enrichir certains produits en vitamine B₁₂, augmentant ainsi leurs propriétés médicales et diététiques. Etant donné son bas prix, elle peut être largement utilisée pour supplémer les rations des animaux d'élevage, (Popova Y et Bakhchevanska S., 1972).

La biosynthèse de vitamine B₁₂par *Propionibacterium shermanii* est influencée par l'origine et taux du carbone dans les milieu nutritifs à base de résidus de dextranes et de lactosérum (5 % lactose). La production de vitamine B₁₂est de 14780 µg/l dans les milieu

liqueur mère de dextranes/ lactosérum, où le micro- organisme assimile rapidement le mélange fructose/ lactose en quantités allant jusqu'à 7,5% cette production est de 20900 µg/l dans les milieux dextranes hydrolysés/ lactosérum, où le micro-organisme assimile les mélanges glucose/lactose en quantité allant jusqu'à 10%, (Popova Y et Bakhchevanska S., 1972).

IV.1.8.9. Production d'enzymes

IV.1.8.9.1.β-galactosidase

La β-galactosidase (lactase) a une importance potentielle pour l'industrie laitière. Cette enzyme hydrolyse le lactose en glucose et galactose ces sucres sont plus doux et plus solubles que le lactose, et l'emploi de β-galactosidase permettrait de surmonter les problèmes de cristallisation et du manque de douceur dans les produits laitiers concentrés et congelés. Une source potentielle de l'enzyme est *Saccharomyces Fragilis*, mais les conditions, considérées comme optimales pour la croissance de la levure ne sont pas nécessairement les meilleures pour obtenir des rendements élevés en β-galactosidase, (Marshall K., 1974, Marth E., 1970).

Le milieu de culture de *Saccharomyces Fragilis* est le sérum de caséine lactique, auquel sont ajoutés du sulfate d'ammonium (2 g/ l), de l'urée (1 g/ l), du sulfate de magnésium (50 mg/ l) et de l'extrait de levure (1 g/ l). la culture a lieu à 37°C et pH 3,5 soit en discontinu, soit en continu, dans un système à 1 ou 2 étages. dans la culture discontinue, l'activité la plus forte, exprimée en quantité d'enzyme par unité de masse de levure, est de 20µmol/g. la productivité, vitesse de production de l'enzyme par unité de volume de la cuve de culture, est de 35/l/h, (Marshall K., 1974).

Ont décrit, dans leurs travaux, la préparation de β-galactosidase à partir de biomasse de *Saccharomyces Fragilis* cultivé dans du lactosérum déprotéiné. La préparation a une activité hydrolytique de 13,8-17,9 unités/mg, (Surazynski A et al., 1974).

IV.1. 8.9.2.Autres enzymes

Ont décrit la production d'enzyme protéolytiques et amylolytiques par *Aspergillus oryzae* 391S sur milieu de lactosérum, (Kann A et al., 1973, Kaminski S., 1972). les maxima d'activité protéolytique et amylolytique ont été obtenus en utilisant respectivement 2 g de Na₂CO₃ ou 2 g de Na HCO₃ par 100 ml de lactosérum; l'âge optimal et la taille de l'inoculum étaient 20-24 h et 5% du volume de lactosérum. la quantité maximale d'enzyme protéolytique a été atteinte après 2 jours d'incubation, et la quantité maximale d'enzyme amylolytique a été atteinte après 5 jours. L'addition de 1 ml d'acide oléique à 100 ml de lactosérum augmente la synthèse d'enzyme protéolytique, et addition de 2 % d'amidon soluble augmente la synthèse d'enzyme amylolytique, (Kann A et al., 1973).

Le biosynthèse de pectinase et de cellulase par des micro- organismes, se révèle être plus importante dans du lactosérum frais que dans les substrats basés respectivement sur la pectine ou la cellulose. Pour la production de pectinase, *Sclerotinia Sclerotium* semble être le micro-organisme le plus efficace. Pour la production de cellulase, le micro-organisme employé est *Trichoderma lignorum*. La synthèse de ces deux séries d'enzymes apparaît comme dépendante de la présence de lactose, (Samtsewich S *et al.*, 1971).

IV.1.8.10. Production de matière grasse

La réduction de la DCO par fermentation avec production d'huile comestible, est un moyen séduisant d'utilisation du lactosérum. Ont étudié deux espèces de levures, *Candida curvata* et *Trichosporon cutaneum*, qui peuvent utiliser le lactose, croître rapidement sur du lactosérum et produire de la matière grasse. La fermentation optimale du milieu se produit à pH 5,2 – 5,8 et à température de 23 – 32°C, avec addition de 0,15 g NH₃/l, ce qui stimule la croissance et la production de matière grasse. L'ultra- filtration du lactosérum, fermenté 72 heures, donne une réduction de la DCO de 93% et produit 28 g de cellules sèches par litre, contenant 37% d'huile et 8 % de protéines. La composition de l'huile est la suivante, (Moon N *et al.*, 1977):

Acide palmitique	28 %
Acide stéarique	16 %
Acide oléique	51 %
Acide linoléique	5 %

Ont obtenu par culture d'*Aspergillus ustus* sur du lactosérum contenant 1,14 mg/l de nitrate d'ammonium, la production, dans le mycélium, de 13% de protéines et 28% de matière grasse; 96% du lactose a été utilisé, (Marth E.,1970).

IV.1.8.11. Production d'acide lactique et de lactates

Décrivent la production de lactate de calcium par fermentation de mélasses de lactosérum par *Lactobacillus acidophilus*. La mélasse de lactosérum est préparée de telle sorte qu'elle contienne 7% de lactose; la fermentation est réalisée en continu pendant 14 jours dans un appareil à 5 niveaux. Le milieu est neutralisé avec du carbonate de Ca, pour maintenir une acidité de 0.8 à 0.9% afin d'empêcher l'acidification butyrique. Les résultats montrent que le taux de lactose de la mélasse diminue de 7 à 5.5 % dans le premier niveau, à 4 % dans le 2^{ème} à 2.5 % dans le 3^{ème}, à 1.2 % dans le 4^{ème} et à 0.1-0.2 % dans le 5^{ème}, (Havlatko F et Knez W., 1959).

Ont montré que les meilleures conditions de production d'acide lactique de haute qualité ont été obtenues en utilisant 4 souches de *Lactobacillus bulgaricus* et une souche de

Lactobacillus lactis, dans du lactosérum doux à 37°C et pH 5,4-5,7 en neutralisant de manière fréquente l'acide lactique formé avec de l'ammoniaque 7 N, et en ajoutant 0.005% de préparation de 6-galactosidase 16 h avant l'inoculation et 0,025% après 3 et 6 h d'incubation; la conversion du lactose est de 97% après 10 h. L'acide lactique pur a été obtenu par échange d'ions à partir du filtrat clair de lactose d'ammonium, (Surazynski A *et al.*, 1974).

Dans de précédents travaux, ont préparé du lactate de zinc par fermentation du lactosérum par un levain composé de 3 souches de *Streptococcus thermophilus*. Les rendements ont été de 72 et 84,5 % par rapport au lactose fermenté, et le lactate de zinc brut contenait 49,6 et 92,6 % de substance pure par rapport à la matière sèche, (Surazynski A *et al.*, 1967).

IV.1.8.12. Production de galactose

le lactosérum est déprotéiné pour ne laisser qu'une solution de lactose celle-ci est ajoutée à 5-15%. La solution est hydrolysée par addition d'HCl et par la chaleur et contient plus que du glucose et du galactose; elle subit alors une fermentation par *Schizosaccharomyces liquefaciens* ou *saccharomyces rosei*, afin d'éliminer le glucose. Quand la fermentation est complète, le produit est centrifugé pour obtenir la levure et une solution impure de galactose à 5%, qui est séchée. Elle est purifiée par cristallisation dans une solution d'éthanol, (Moulin C *et al.*, 1977).

Décrivent une technique nouvelle de production de galactose. Par mutation, ils ont obtenu deux souches, l'une de *Kluyveromyces fragilis* et l'autre d'*Escherichia coli*, capables, au cours de leur croissance, d'hydrolyser le lactose, d'utiliser le galactose comme source de carbone et d'excréter le galactose dans le milieu, (Moulin C *et al.*, 1977).

IV.2. Utilisation du lactosérum dans l'alimentation animale

Il peut paraître surprenant qu'il soit économique de recycler des produits laitiers par l'intermédiaire des animaux. Cependant, l'abondance de la littérature sur l'utilisation du lactosérum en alimentation animale indique que celui-ci offre de réels avantages en ce domaine, (Mann E., 1977).

Les applications les plus étudiées ont été l'alimentation des porcs, du cheptel laitier et des veaux. Des essais ont également été effectués sur les ovins et la volaille. L'alimentation du bétail, en particulier des porcs, par le sérum liquide était très répandue dans les régions traditionnelles de fabrication du fromage. Le sérum y était rétrocédé aux producteurs de lait ou à de grands élevages de porcs, (Nielsen V., 1974, Webb B., 1973).

Mais pour résorber 60000 l de sérum par jour, il convient de constituer un élevage de 5000 porcs. Le problème de l'évacuation ou du traitement du lisier est alors posé et sa solution suppose des terrains d'épandage ou une station d'épuration, de traitement d'une capacité d'au

moins 30000 habitants équivalents. Le problème du traitement du sérum est remplacé par celui du lisier. Il s'ajoute également des problèmes de nuisance par les odeurs et par le bruit, (Benghouzi L., 1971). Du fait de la concentration des fromageries, du fait que les producteurs de lait ne pratiquent plus l'élevage des porcs et du fait de l'augmentation des coûts de transport, l'utilisation, en alimentation animale, du lactosérum sous forme liquide a considérablement diminué, (Schingoethe D., 1976).

Récemment, dans de nombreux pays des lois sur le contrôle de la pollution de l'eau ont cependant "relancé" l'intérêt pour l'utilisation du lactosérum sous forme de liquide ou sous d'autres formes. Pour l'alimentation des porcs, des ruminants et l'alimentation humaine, un exemple peut être donné en Norvège, par la loi du 26 juin 1975, (Bredeveien J *et al.*, 1976, Schingoethe D et Beardsley G., 1975).

IV.2.1. Lactosérum et gain de poids

Dans d'autres travaux, on signale que les porcs pesant plus de 45 kg ont des gains de poids excellents lorsqu'ils consomment uniquement du lactosérum avec de l'orge ou du froment. Le taux de consommation de lactosérum est de 8,4 kg/j, et celui de l'orge de 3,5 kg/j. Les taux de croissance des porcs sont en général satisfaisants pour une consommation de lactosérum équivalant à 20% de la matière sèche de la ration alimentaire. Les porcs sont plus tolérants au lactosérum que certains autres non ruminants, les poules acceptent 3 à 4 % de lactosérum dans la ration et les rats 20%. Cependant, des régimes à 40% de lactosérum (30% de lactose) engendrent des diarrhées et des troubles digestifs chez les porcs en croissance-finition, (Schingoethe D., 1976).

A réalisé des expériences de digestibilité et de croissance afin de déterminer la valeur nutritive et le taux de tolérance de la matière sèche du lactosérum, pour des porcs en croissance-finition. Le lactosérum ajouté à des taux de 0;20;40 et 60 % à de la farine de soja est directement digestible par les porcs en croissance; l'énergie totale augmentant de 79,8 % pour les témoins à 87,5%, pour les régimes à 60 % de lactosérum (Hanrahan T., 1971, Hanrahan T., 1972).

Les résultats ne relatent pas de troubles digestifs et indiquent que les porcs en croissance-finition peuvent tolérer jusqu'à 40 % de lactosérum dans leur régime. Un taux de 60% dans l'alimentation entraîne un ralentissement de la croissance. A dressé un tableau, que nous reproduisons (tableau 18) donnant les performances d'engraissement des porcs suivant les quantités de sérum utilisées dans la ration, (Hanrahan T., 1971).

Tableau 18: Performances d'engraissement des porcs

Serum concentre% M.S.	1	2	3	4
	0	20	40	60
Nombre de porcs	8	8	8	6
Poids de départ (kg)	25,3	25,4	25,1	25,8
Poids finale (kg)	86,5	85,8	86,2	86,1
Gain journalier (g)	754 a	744a	662 ab	607 b
Quantité ingérée / jour (kg)	2,11	1,82	1,26	0,73
Sérum ingéré / jour (kg)	-	2,27	4,19	5,36
Total /jour (kg)	2,11 a	2,28 a	2,09 a	1,78b

Hanrahan T (1971)

Les indices identiques (a,b) signifient que dans une série donnée, les résultats impliqués ne sont pas statistiquement différents les uns des autres. Préconise de ne pas dépasser les quantités de sérum suivantes (exprimées en % de U.F.), (Besse J.,1969):

	Sérum en % de U .f .	U .F. par Jour
(besoins totaux)		
Truies et porcelets	25	--
Porcs de moins de 40 kg	30	de 1.5 à 2
Porcs de plus de 40 kg	40	de 2 à 3.5

Ce qui donne, en fonction du poids des porcs, pour les quantités maximales de sérum pouvant être ingérées par jour, les valeurs suivantes, (Besse J., 1969):

Poids des porcs en kg	20	30	40	50	60 et plus
Sérum en litres	2	4	6	8	12 à 13

Signale que les quantités maximales de sérum peuvent être augmentées jusqu'à 18 à 20 litres si on utilise du sérum doux acidifié artificiellement par des bactéries lactiques, (Piccioni N., 1965).

IV.2.2. Lactosérum et qualité des carcasses

L'utilisation du lactosérum dans l'alimentation du porc à l'engrais a également une grande influence sur la qualité de la carcasse et en particulier sur son état d'engraissement. Il faut noter l'influence du sexe des animaux sur ce paramètre: les femelles utilisent mieux le lactosérum que les mâles tout en donnant des carcasses plus maigres. Le lactose semble être à

l'origine de cette différence de qualité de carcasse. Le rendement à l'abattage tend à diminuer lorsque la proportion de lactosérum dans la ration atteint 60 %. Là encore, il faut souligner l'importance du sexe: les femelles produisent des éléments de carcasse (jambon, longe, etc...) qui, rapportés au poids net, sont quantitativement supérieurs d'environ 1% à ceux de mâles élevés dans les mêmes conditions, (Fevrier C *et al.*, 1973).

IV.2.3. Influence du stockage et de la conservation sur la valeur nutritive du lactosérum

Pour pallier l'incidence des fluctuations saisonnières de la production de sérum, il a été envisagé de le stocker sans séchage. Quelques auteurs ont étudié les conséquences de ce stockage sur la valeur nutritive du sérum (Best P., 1967, Fox P et O'connor F., 1969, Hanrahan T., 1969, Watkins D., 1968).

A étudié la valeur nutritive du lactosérum concentré, conservé pendant 17 semaines et ajouté à différents taux à l'alimentation des porcs. Le stockage de 17 semaines a provoqué une diminution des taux de matière sèche, de lactose et de protéines brutes. Cependant, les performances des porcs ont été satisfaisantes, mais les régimes à 60% de lactosérum ont provoqué une baisse de consommation journalière d'aliment et un gain de poids plus faible. L'auteur a remarqué que les différents régimes n'avaient pas d'influence sur la taille des carcasses, le poids de l'estomac et du foie, (Hanrahan T., 1971). De plus malgré les taux élevés de lactosérum qu'il utilise, il ne fait pas mention de troubles digestifs ni de diarrhée chez les porcs. Ceci est en contradiction avec les faits rapportés par propose le stockage du sérum dans des fosses. Pendant le stockage, on assiste à une chute du taux de matière sèche, chute due en particulier à la transformation du lactose en acide lactique. Les résultats d'expérimentations ont montré que l'introduction, de ce sérum stocké, dans le régime des porcs en croissance-finition, n'aboutit à aucun trouble digestif malgré les taux importants ajoutés aux rations journalières, on observe de bonnes performances pour tous les porcs: gains de poids de 0.79 kg par jour pour des animaux nourris avec des farines à 16 % de protéines brutes et du lactosérum stocké, dans des proportions respectives de 1 partie pour 3 parties, (Schingoethe D., 1976, Hanrahan T., 1969).

Ont étudié l'effet d'un antibiotique, la chlortétracycline; à raison de 60 mg / kg de matière sèche de sérum, sur la composition du lactosérum au cours du stockage: la teneur en azote augmente les teneurs en acide lactique et en lactose diminuent. D'un point de vue nutritionnel: aucun effet défavorable n'a été remarqué pour des consommations journalières de 8 à 20 l de sérum dans la ration; les gains de poids ont été satisfaisants: 577 g/jour pour des porcs de 50 à 80 kg, (Brune H et Thier E., 1965).

Un autre mode de stockage du lactosérum liquide, pendant un temps relativement long, 4 mois. Le lactosérum traité avec 1% de formaldéhyde à 45% en volume, est conservé dans des réservoirs recouverts de polyéthylène. Le sérum est acheminé par pipelines jusqu'aux mangeoires. Les expérimentations poursuivies n'ont montré que de légers troubles digestifs attribués à l'acide lactique formé par fermentation pendant le stockage, (Best P., 1967).

IV.2.4. Utilisation du lactosérum pour le bétail laitier

IV.2.4.1. Utilisation du lactosérum liquide

Deux problèmes sont soulevés par l'utilisation du lactosérum sous forme liquide (Gordon C *et al.*, 1974):

- le lactosérum attire les mouches, il est donc nécessaire d'entretenir de bonnes conditions hygiéniques dans les étables.

- il arrive que les vaches qui consomment trop de lactosérum gonflent les quantités offertes aux vaches doivent être bien contrôlées.

Selon les vaches, en période de lactation, peuvent consommer, avec succès, du lactosérum liquide, (Anderson C *et al.*, 1974, Gordon C., 1974, Nielsen K., 1972). Estiment qu'une vache laitière peut consommer le lactosérum de la production moyenne de 3 à 5 vaches. La production du lait n'est pas affectée quand le lactosérum remplace en totalité ou en partie l'eau donnée aux vaches. Montre qu'un régime associant à diverses concentrations l'eau et le lactosérum, n'affecte pas la santé de la vache dans la mesure où l'on respecte une certaine période d'accoutumance au lactosérum. Le lactosérum est très rapidement consommé quand il est doux et frais; les animaux n'ont pas besoin de boire d'eau ; cependant, la sapidité du sérum diminue si son acidité augmente: un sérum resté 36 h à température ambiante est consommé moins volontiers qu'un sérum resté à température ambiante est consommé moins volontiers qu'un sérum resté 24 h, (Anderson C *et al.*, 1974). Une vache consomme environ 90 kg de lactosérum par jour quand celui-ci est la seule source de liquide; dans un tel régime, 29% de la matière sèche de la ration journalière est apporté par le sérum. Si l'eau et le lactosérum sont donnés librement, la consommation de lactosérum n'est plus que de 64 à 78 kg / jour, pour une consommation d'eau de 35 kg environ. Rapporte que, pendant l'été, des vaches laitières adultes boivent journallement 80 l de lactosérum qui contiennent 4 kg de lactose. Cela représente environ 40% des besoins d'énergie et plus de 30% des besoins en protéines de vaches frisonnes qui produisent 20 litres de lait par jour, (Dmchuk A *et al.*, 1975, Ternouth J., 1969).

Ont noté des différences de consommation du lactosérum suivant la saison: en mai, alors que les vaches sont encore à l'étable, la consommation était de 136 kg de lactosérum par tête et par jour, et de 11 kg de foin. La ration ne contenait pas de céréales, mais des gains de

poids ont été observés. La production moyenne de lait était de 14 kg à 3,6% de matière grasse et 12,3% d'extrait sec total. Quand les vaches ont été mises en pâture au mois de juin, la consommation de lactosérum est tombée aux environs de zéro, malgré la présence de cet aliment dans la pâture, (Gordon C *et al.*, 1974).

La consommation de lactosérum par les vaches en période de lactation entraîne une diminution de la consommation de foin et de céréales, mais la production de lait n'est pas affectée par ce changement de régime. Cependant, une diminution trop importante, 1 kg par exemple pour une production de lait de 4 kg, de la ration en céréales n'entraîne pas une consommation supplémentaire de lactosérum, ce qui a pour conséquence une réduction de 10% de l'ingestion de matière sèche et du rendement laitier, (Gordon C *et al.*, 1974).

S'interroge sur les quantités de lactosérum pouvant être données aux ruminants. Il serait bien sûr économiquement très avantageux de nourrir le bétail avec de grandes quantités de sérum; mais la production des vaches laitières est normale quand les rations contiennent 30% de lactosérum en poudre, soit 2,1 à 3 kg de lactose, et elle n'est plus que de 87 à 88% de celle des vaches de contrôle quand les rations contiennent 60% de lactosérum, (Schingoethe D., 1976).

IV.2.4.2. Utilisation du lactosérum concentré et en poudre

Des études ont montré que le lactosérum concentré, contenant 40 à 50 % de matière sèche, n'est pas accepté seul, mais en mélange avec des mélasses. Un mélange 50 /50 de lactosérum concentré et de mélasse est donné à des vaches en période de lactation à raison de 3,6 kg / jour; on ne constate aucun effet, ni sur la consommation d'aliments, ni sur la production de lait; 5 kg du même mélange, donné à des vaches taries, entraînent une réduction de la consommation de foin (Welch J *et al.*, 1974).

Ont montré, par des expérimentations sur la croissance et la digestion, que la valeur nutritive de l'ensilage de maïs traité à l'urée est améliorée par l'addition de lactosérum en poudre, (Schingoethe D et Beardsley G., 1975). Les production journalières de lait sont plus élevées: 31,6 kg avec une alimentation composée d'ensilage de maïs, de 0,5% d'urée et 1% de poudre de lactosérum, contre 29,3 kg avec une ration sans lactosérum. Cependant, la consommation de grandes quantités de lactosérum par les vaches laitières entraîne des modifications des teneurs en acides gras du rumen (Schingoethe D., 1976, Volcani R *et al.*, 1974). Mentionne une augmentation des teneurs en acide butyrique (C₄), en acide valérique (C₅), en acide caproïque (C₆) et une baisse du taux d'acide propionique (C₃), (Rook J et Balch C., 1961). Cependant, remarque une augmentation du taux d'acide propionique en même temps que d'acide butyrique. Trouvent également une augmentation du taux d'acide acétique et d'acide

butyrique. Selon ces derniers auteurs, le taux plus important d'acide butyrique provoquerait une augmentation de la concentration en matière grasse du lait. Mais des travaux plus récents aboutissent à des résultats différents, (Storry J et Rook J., 1966). Note que la consommation de lactosérum par les vaches laitières entraîne une diminution de la production de matière grasse, par rapport à un régime normal de foin et d'eau, (Nielsen K., 1974).

Pense que 5% de lactosérum en poudre dans un régime à base de foin n'a pas d'influence sur la production de lait, la teneur en matière grasse, le pourcentage de protéine et de matière sèche, (Dash S., 1973). Mais ont remarqué une baisse de matière grasse dans le lait, de 1,26% pour des régimes contenant 14,0% de poudre de lactosérum entier, de 1,32% pour des régimes contenant 11,8% de sérum déminéralisé; par contre, ils ont noté, pour toutes les rations expérimentales, une augmentation du taux de protéines de 0,2%, (Schingoethe D *et al.*, 1973).

Dans les conditions pratique d'élevage, lors d'une alimentation des vaches avec des régimes riches en concentrés et pauvres en fourrage grossier, on remarque une diminution de la teneur du lait en matière grasse, (Huber J *et al.*, 1967). L'incorporation dans les aliments de 30% de poudre de lactosérum sous forme de granulées (pellets) prévient presque entièrement la baisse de concentration de matière grasse due à un régime contenant 85% de concentré. Dans le mêmes expérimentations, 10%de sérum partiellement délactosé ont donné des résultats similaires quant à la matière grasse. Il est apparu également, que l'effet du sérum sur la matière grasse du lait pourrait être dû aux minéraux plutôt qu'au lactose; en effet, la supplémentation des concentrés avec NaCO^{3+} MgO augmente la production de matière grasse, mais diminue la production totale de lait, (Huber J *et al.*, 1969).

L'alimentation du bétail laitier représente une solution au problème de l'utilisation du sérum liquide. La consommation volontaire dépend de la taille de l'animal, de la nourriture offerte, de l'eau disponible, du stade de lactation. Les vaches en période de lactation, nourries avec des aliments secs, consomment davantage de lactosérum, observent une économie de 15% sur les coûts de gain de poids avec les régimes riches en lactosérum, (Gordon C *et al.*, 1974, Volcani R *et al.*, 1974).

IV.2.5. Utilisation du lactosérum pour le veau

IV.2.5.1. Utilisation du lactosérum liquide

Il semble logique de nourrir les veaux avec un sérum liquide, et dans de nombreux cas, les fermes qui produisent du lactosérum élèvent des bouvillons, (Gordon C *et al.*, 1974). De nombreuses expérimentations, entreprises sur des veaux nourris avec sérum doux et du sérum acide sous différentes formes, ont montré que ces aliments pouvaient être utilisés de manière satisfaisante s'ils sont bien supplémentés avec d'autre aliments. Avant de devenir ruminant, le

veau est un animal monogastrique. Il consomme plus de nourriture lorsque celle-ci lui est offerte à l'état liquide plutôt qu'à l'état sec. Le facteur limitant dans l'incorporation de sérum à la ration des veaux, est sa haute teneur en lactose. Le jeune veau ne possède pratiquement pas de lactase dans le gros intestin. De ce fait, l'hydrolyse du lactose n'intervient que dans les portions supérieures de l'intestin grêle; si le régime apporte un excès de lactose, une partie de celui-ci passe, non hydrolysé, dans le gros intestin où il facilite la multiplication des bactéries causant des diarrhées d'origine fermentaire, (Ternouth J., 1969).

Estime que les veaux préruminants à l'engrais peuvent ingérer, dans leurs aliments d'allaitement, 34% de lactose apporté par de l'ultrafiltrat de lactosérum, (Thivend P., 1977). Il a constaté que les performances des veaux sont légèrement inférieures à celles d'animaux recevant un aliment dans lequel le lactose est apporté par du lactosérum. Par contre, note une baisse de consommation des aliments de "démarrage", si ceux-ci contiennent 30% de lactosérum; pour un taux de 10%, les aliments sont consommés sans aucun problème et même plus volontiers que s'ils ne contenaient pas de lactosérum, (Schingoethe D., 1976).

Le lactosérum liquide pour les veaux, peut être employé frais et à des doses de 5 litre par jour, à partir du 20^{ème} jour après la naissances. Le sérum améliore la valeur nutritive et l'utilisation des mélanges de concentrés. Pour le sevrage, le sérum remplace avantageusement l'eau de reconstitution des farines lactées, améliorant ainsi leur valeur alimentaire et biologique par l'apport de protéine. Cet auteur conseille 100 litres de sérum pour 50 kg de farines, (Piccioni M., 1965).

Expérimentent l'utilisation du lactosérum acide dans la ration alimentaire de bouvillons Holstein, pour la production de viande. L'ingestion de sérum acide est portée au maximum, en restreignant la consommation de céréales, mais avec quelque réductions du gains de poids final et de la couverture de graisse de la carcasse. La tendreté de la viande n'est pas modifiée par le régime lactosérum acide avec restriction des céréales par rapport au régime lactosérum acide avec céréales à volonté, (Lynch G *et al.*, 1975).

Utilise également, de façon satisfaisante, le lactosérum liquide pour l'alimentation des bouvillons et des génisses. Les bouvillons à la pâture, qui consomment 28 à 31% de leur ration journalière en lactosérum, ont des gains de poids aussi rapides que les bouvillons nourris avec une ration de contrôle. Cependant, la réduction des céréales dans les rations, diminue les gains de poids de manière assez importante, par rapport aux bouvillons qui reçoivent les céréales à volonté. Les génisses consomment 34% de la matière sèche de leur ration en lactosérum si elles sont privées de céréales, dans la cas contraire, elles n'en consomment que 21%, (Schingoethe D., 1976).

Les quantités de lactosérum administrables aux veaux sans provoquer de diarrhées ne sont pas suffisantes pour assurer leurs besoins d'entretien. L'utilisation de glucides en complément énergétique du lactosérum n'est possible que chez les veaux âgés. Ont trouvé qu'une petite partie de la matière grasse du lait peut être compensés par addition de matière grasse animale ou végétale; la matière grasse a une action favorable contre les diarrhées, (Mathieu C et Thivend P., 1968). L'ultrafiltrat de lactosérum, sous forme liquide, est bien utilisé par le veau après sevrage: il peut remplacer la totalité de l'eau de boisson en apporter jusqu'à 30–35% de la matière sèche ingérée chez les animaux pesant 100–110 kg, (Thivend P., 1977).

IV.2.5.2. Utilisation du lactosérum en poudre ou concentré

Le lactosérum en poudre, utilisé à raison de 25% dans les aliments de sevrage, serait un facteur d'appétence chez le jeune veau de 2 à 4 semaines, (Thivend P., 1977). Si leur ration contient 1 à 4% de lactosérum en poudre, des bœufs de boucherie, en période de croissance-finition, ont des gains de poids supérieurs de 2 à 13% à ceux de bœufs nourris avec des rations de contrôle. Cet auteur utilise également du lactosérum concentré jusqu'à 55 à 65% de matière sèche: ce concentré est soit non traité, soit fermenté et ammonifié et contient alors 7 à 10% d'azote. Cet aliment est bien consommé par les veaux et les bouvillons quand il est mélangé avec une quantité égale de mélasse; il n'altère pas les performances de croissance des animaux, (Schingoethe D., 1976).

IV.2.5.3. Utilisation de protéines de lactosérum

Ont étudié l'utilisation de protéines de lactosérum par le veau préruminant. Les protéines de lactosérum ont été obtenues par coagulation à chaud avec de l'acide lactique, protéine sérac, ou à chaud avec de l'acide chlorhydrique, Lactoprotéines. La vidange stomacale des matières fraîches n'est pas plus rapide avec l'aliment sérac: au cours de la première heure, les quantités totales émises atteignent respectivement 47, 48 et 79% des quantités ingérées. Les substances réductrices et les minéraux quittent la caillette à vitesses égales pour le lait et les Lactoprotéines, mais beaucoup plus rapidement pour l'aliment sérac: respectivement 36, 36 et 67% dans la 1^{ère} heure. Pour la matière azotée et la matière grasse, la vidange se fait plus vite avec les Lactoprotéines qu'avec le lait, et encore plus vite avec l'aliment sérac: respectivement 37, 24 et 62% des quantités ingérées. Quand les animaux consomment du lait entier, la vidange stomacale des substances réductrices et des minéraux est plus rapide que celle de la matière azotée et de la matière grasse. Dans la cas des deux aliments expérimentés, les constituant de la matière sèche quittent la caillette à la même vitesse du fait de l'absence de coagulation par la présure, (Toulec R et al., 1971).

La vidange stomacale des veaux est influencée par la nature des protéines et aussi par leur mode de préparation. Le remplacement total de protéines du lait par celles du lactosérum entraîne une accélération de la vidange stomacale, celle-ci étant probablement due à l'absence de coagulation par la présure, (Toulec R *et al.*, 1971).

Citent des expérimentation faites à l'INRA, dans lesquelles les matières azotées du lait écrémé étaient remplacées pour moitié ou en totalité par des protéines extraites du lactosérum (Lactoprotéines); aucun effet dépressif sur le gain de poids et l'efficacité alimentaire n'a été observé, comme l'indique de tableau 25; dans ces expériences l'augmentation des gains de poids et celle de l'efficacité alimentaire, constatées entre le lot témoin et les lots d'essai seraient dues à une anémie excessive de certains animaux du lot témoin; en effet, l'aliment témoin était très pauvre en fer (10 ppm), contrairement aux aliments expérimentaux (25 à 47 ppm). Cette dernière alimentation riche en fer a eu pour autre conséquence de donner une viande beaucoup trop colorée. Il faudra donc veiller, lors du remplacement du lait par des protéines de sérum, que leur teneur en fer ne soit pas trop élevée, (Toulec R *et al.*, 1973).

IV.2.5.4. Utilisation du lactosérum dans les lactoreplaceurs

De nombreuses recherches sont actuellement orientées vers l'amélioration des formules de lactoreplaceurs pour veaux, de même que vers le développement de meilleurs " starters " pour permettre un sevrage plus précoce des porcelets et des veaux. Le lait écrémé constitue la source principale de protéines des aliments d'allaitement. Etant bien assimilées par le veau, ces protéines permettent d'obtenir des taux de croissance élevés. L'intérêt des protéines du lait repose sur certaines propriétés spécifiques (Tableau 19), (Toulec R *et al.*, 1973):

- Equilibre satisfaisant des acides aminés indispensable.
- Coagulation sous l'action de la présure, qui est impossible dans le cas d'autres types de protéines.
- Absence de produits indésirables, non digestibles.

Tableau 19: Influence du remplacement des protéines du lait par celles du lactosérum

Origine des protéines (p. 100)	Lait écrémé	100	50	0
	Lactoprotéines	0	50	100
Nombre de veaux		9	12	12
Poids à l'abattage (kg)		146,1	150,1	149,5
Gain de poids (g j)				
-de 0 à 8 semaines		968	957	967
-de 8 à 11 semaines		968(b, c)	1,246 (b)	1,194 (c)
-depuis le début jusqu'à la fin de l'essai		1,006 (a)	1,120	1,105 (a)
Quantité de matière sèche consommée par kg de gain de poids vif (kg)				
- de 0 à 8 semaines		1,376	1,445	1,439
-de 8 à 11 semaines		1,844 (b)	1,608 (b)	1,744
-depuis le début jusqu'à la fin de l'essai		1,594	1,541	1,578
Valeur de l'hématocrite à l'abattage		23,7 (d)	34,1 (e)	43,4 (d, e)
Somme des dépôts adipeux, périrénaux, péritonéaux et intestinaux (p.100 du poids vif vide)		2,59 (a)	2,15 (a)	2,35

Toullec R *et al* (1973)

Les valeurs de la même ligne portant la même lettre sont significativement différentes (a: $P < 0.05$; b et c: $P < 0.001$; d et e: $P < 0.01$).

Dans la plupart des cas, les essais de remplacement de la poudre de lait écrémé par d'autres protéines ont conduit à des résultats médiocres (Warner R., 1969). Les protéines du lactosérum possèdent pratiquement les mêmes qualités nutritionnelles que celles du lait. Les protéines de lactosérum, bien que ne coagulant pas sous l'action de la présure, sont les seules à pouvoir remplacer celles du lait écrémé dans les aliments d'allaitement. Le lactosérum traité par ultrafiltration pour augmenter les taux de protéines, de lactose et de minéraux, est utilisé dans les lactoreplaceurs en tant que concentré de protéines liquides ou séchées, pour donner une composition finale de 24% de protéines, 18% de matière grasse, 7-11% de cendres et 47-51% de lactose (Stewart J *et al.*, 1974).

Une étude comparative, faite sur des veaux nourris avec des lactoreplaceurs et sur des veaux nourris avec du lait écrémé de composition relativement semblable: 35% de protéines,

18% de matière grasse, 7% de cendres, 40% de lactose, n'a révélé aucune différence significative dans les gains de poids jusqu'au sevrage (Stewart J *et al.*, 1974). De nombreuses études ont été poursuivies sur différentes formules de lactoreplaceurs à base de lactosérum concentré ou en poudre et additionné de protéines de soja sous forme de concentré de protéines, dans l'ensemble, les auteurs considèrent que le lactosérum convient bien pour le remplacement partiel ou total du lait écrémé en poudre dans les lactoreplaceurs (Bouchard R *et al.*, 1963, Judaev Y., 1970, Voevodina E., 1972).

Cependant, les différents auteurs ne s'accordent pas sur la quantité maximale de lactosérum que l'on peut introduire dans les lactoreplaceurs, sans nuire aux performances des animaux (Wallace H *et al.*, 1951), observent une baisse des gains de poids chez des veaux nourris avec des lactoreplaceurs contenant 45 à 60% de lactosérum en poudre, ainsi que des diarrhées importantes aux concentrations les plus fortes (Volcani R *et al.*, 1974).

Ont enregistré de bons résultats en utilisant des taux supérieurs de lactosérum (59, 69 et 77%) et ont montré que les formulations essayées peuvent être compétitives avec les lactoreplaceurs du commerce, riches en protéines et en matière grasse et pauvres en lactosérum (16%). Ces derniers auteurs ont également essayé des taux plus faibles de lactosérum (10 à 30%), (Morrill J *et al.*, 1971).

Indiquent qu'une poudre de lactosérum de bonne qualité peut suppléer au moins 68% de la matière sèche des lactoreplaceurs, sans aucun effet sur la santé des animaux et avec un taux de croissance satisfaisant. Ainsi, des quantités assez importantes de lactosérum n'affectent pas les gains de poids des animaux, ne troublent pas la digestibilité de la matière sèche, la digestibilité et la rétention de l'azote, n'utilise dans les lactoreplaceurs contenant 60% de poudre de lait écrémé, que 15% de poudre de lactosérum (Bouchard R *et al.*, 1963, Solms G., 1967).

Jusqu'à des taux de 15%, le lactosérum n'influe pas sur la sapidité des " starters " pour veaux, à condition qu'un supplément de minéraux soit apporté; sans addition de minéraux, la consommation tend à augmenter quand les " starters " contiennent 10% de lactosérum; par contre, à un taux de 30% de lactosérum, la consommation d'aliment diminue, (Morrill J et Dayton A., 1974).

Le prix croissant du lait écrémé en poudre fait que le lactosérum est la source la plus importante et la plus économique de lactose et de protéines de très bonne qualité; le lactose est le meilleur glucide pour la croissance des très jeunes porcs et veaux (Nielsen V., 1974). L'utilisation du lactosérum pour remplacer, en partie ou en totalité, la poudre de lait écrémé dans les lactoreplaceurs présente un intérêt économique certain puisque les coûts de

l'alimentation se trouvent diminués de 20 à 25% pour les lactoreplaceurs ne contenant que du lactosérum (Volcani R et Ben Asher A., 1974, Volcani R *et al.*, 1974, Volcani R *et al.*, 1973)

IV.2.5.5. Utilisation du lactosérum sous forme de blocs à lécher

Une autre formule, pour l'utilisation du lactosérum dans l'alimentation des veaux, est sa transformation en blocs à lécher. Le lactosérum, déminéralisé par ultrafiltration et concentré dans un évaporateur à flot tombant, passe dans une série de cuves, sous agitation constante et à 45°C. Le concentré, à 20-30% d'humidité, est moulé en blocs de 18 kg et laissé refroidir à température ambiante et séché à l'air pendant 1 à 2 jour. Ces blocs contiennent 53,2% de lactose, 10,1% de cendres, 7,33% d'équivalents protéines, (Fischer L et Lister E., 1974, Hargrove R *et al.*, 1974).

Préparent de tels blocs à partir de lactosérum déprotéiné contenant 70 à 72% de lactose, 12% cendre, 0,6% d'azote supplémenté le cas échéant avec 1,7% d'ammoniaque ou d'urée. Les blocs à lécher apportent, dans la ration journalière, 25% de la matière sèche, (Hargrove R *et al.*, 1974, Lynch G *et al.*, 1974). Sous cette forme le sérum est bien accepté, son appétence dépend toutefois des ingrédients (minéraux, urée, mélasse) que l'on utilise pour améliorer la texture des blocs fabriqués, (Thivend P., 1977). Le lactosérum peut être utilisé comme substrat de fermentation par des bactéries et en particulier par des levures. Le lactosérum levuré, enrichi en protéines, sert également à l'alimentation animale, (Cottyn B *et al.*, 1969).

IV.2.6. Utilisation du lactosérum par d'autres animaux

IV.2.6.1. Utilisation par les volailles

Vers 1950, la majeure partie du lactosérum en poudre était utilisée dans l'alimentation des volailles comme source de vitamines hydrosolubles, de facteurs de croissance non identifiés et pour le contrôle de certaines maladies. Mais la production microbienne de vitamine B, l'identification des facteurs de croissance, les antibiotiques ont fait que le lactosérum en poudre ne pouvait plus être considéré comme un élément indispensable à l'alimentation des volailles (Nielsen V., 1974).

Le lactosérum peut être donné frais comme boisson, ou utilisé pour faire macérer les mélanges alimentaires; il est alors nécessaire d'apporter une compensation en protéines. Comme pour l'alimentation des veaux, le lactosérum peut être transformé en blocs semi-solide: le lactosérum pasteurisé, fermente ou non, est concentré jusqu'à 40-60 % de matière sèche, et ensuite moulé en blocs, pendant le refroidissement a lieu une cristallisation complète du lactose. Le produit se comporte comme un gel qui peut être consommé directement. La valeur nutritive du produit peut être consommé directement. La valeur nutritive du produit peut être augmentée par fermentation du sérum par *saccharomyces fragilis* (Webb B., 1973).

IV.2.6.2. Utilisation par les ovins

Ces animaux pourraient en ingérer des quantités relativement importantes: cet auteur a remplacé successivement 20; 40; 70 et 90% de la matière sèche d'une ration de foin de luzerne, par de l'ultrafiltrat en poudre. Les animaux ont ingéré la totalité de leur ration sans présenter de troubles digestifs. Les agneaux sevrés à l'engrais ingèrent également sans difficulté 20 à 50 % de la matière sèche de leur ration sous forme d'ultrafiltrat de lactosérum. L'association d'urée à l'ultrafiltrat permet de réaliser des performances identiques à celles des agneaux du lot témoin et de fournir des carcasses plus riches en muscles, (Thivend P., 1977).

IV.2.6.3. Utilisation par les visons

Le lactosérum est également utilisé pour l'alimentation des visons. Du lactosérum, fermenté par des levures, remplace 22% d'un régime contenant du poisson, de la viande, du poulet, du foie, des lactalbumines, des œufs, des céréales. Les performances de croissance sont satisfaisantes. La qualité des peaux n'est pas affectée, mais les performances de reproduction sont plus faibles et le taux de mortalité chez les jeunes est plus important quand le lactosérum fermenté est incorporé au régime, (Grummer R *et al.*, 1970).

IV.3. Utilisation médicale

Actuellement, les scientifiques évaluent les effets bénéfiques des fractions de protéines de lactosérum et leur intérêt qui pourraient offrir des avantages fonctionnels en matière de santé. L'utilisation de ces fractions est fort prometteuse pour ce qui est d'offrir, aux secteurs de l'alimentation et de la nutrition, des occasions de développer de nouveaux produits vraiment efficaces contre les maladies du cœur (réduction du cholestérol et de la tension artérielle), les ulcères, les cancers, etc, (Tableau 20). (Girard D., 2000, Berry D., 2000)

Tableau 20: Activité biologique des protéines et des peptides du lactosérum

Protéine ou peptide	Activité probable
Protéines du lactosérum brut	Anti-cancérogène Stimule le système immunitaire Prolonge la durée de vie Réduit le cholestérol
β lactoglobuline	Facilite la digestion
β lactorphine	Augmente le contrôle de la douleur
α lactalbumine	Anti-cancérogène
α lactorphine	Augmente le contrôle de la douleur
Lactoferrine	Anti microbien (antibactérien/antiviral) Contrôle le transport du fer Stimule le système immunitaire Anti-inflammatoire Favorise la croissance des cellules
lactoferricine	Anti-cancérogène Anti microbien
Immunoglobuline	Immunité passive
Lactoperoxydase	Antibactérien
Sérum-albumine sérorphine	Augmente le contrôle de la douleur
Glycomacropéptide	Facilite la digestion

McIntoch G (1998), Berry D (2000)

IV.4. Utilisation biotechnologique

En biotechnologie, le lactosérum par sa composition biochimique possède d'intéressantes propriétés comme milieu de fermentation pour plusieurs microorganismes assimilants le lactose comme source de carbone et d'énergie. Il s'agit des levures telles que *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida kefyr* et *Kluyveromyces fragilis* (Metz J *et al.*, 1968, Ecalard J., 1990, Gana S et Touzi A., 2001), cette dernière est cultivée sur le lactosérum doux déprotéiné et enrichi par des facteurs de croissance dans le but de produire de la biomasse, (Gana S et Touzi A., 2001). L'utilisation du lactosérum comme milieu de culture est également favorable au développement de moisissures. *Penicillium camemberti* a permis la production des protéases acides, neutres et alcalines en utilisant plusieurs facteurs de croissance sélectionnés par des méthodes statistiques, (Jollivet N et Belin J., 1993, Mechakra A *et*

al.,1999, Benlounissi A., 2004). Ce coproduit laitier a été utilisé aussi pour la fermentation de *Mucor miehei* et *Endothia parasitica* produisant des aspartylprotéases (Saintpaul F *et al.*,1984, SEKER S *et al.*, 1999). Le lactosérum déprotéiné a servi comme milieu de base pour la production de la cellulase par la moisissure *Aspergillus niger*, (Leghlimi H., 2004). Certaines espèces bactériennes comme *Lactobacillus bulgaricus* fermentent sur des milieux de cultures à base de lactosérum pour la production d'acides organiques et de différentes enzymes, (Jannot P *et al.*, 1984, Ecalard J., 1990, Miyakawa H *et al.*, 1992).

CONCLUSION GENERALE

Malgré les multiples usages de lactosérum dans le domaine de l'alimentation humaine et animale, le domaine médical (Berry D., 2000), et Biotechnologie (Leghlimi H., 2004), mais le lactosérum possède une valeur nutritive considérable. (Ternouth J., 1969). Cependant, le problème du lactosérum ne peut être résolu entièrement par son emploi dans l'alimentation animale (Gordon C *et al.*, 1974). Par conséquent, une large part des recherches doit être orientée vers l'utilisation du lactosérum dans le bon sens qui peuvent être des organismes utiles, tels que la croissance, ainsi que la plus belle chose pour éviter le danger, en particulier le risque de jeter l'eau par les eaux usées, (Casalis J., 1975).

Durant cette étude bibliographique, nous avons vus plusieurs domaines d'utilisation de lactosérum. Notre objectif c'était de sensibiliser les industriels aux risques liés aux rejet de ce sous-produit dans les eaux d'assainissent, ainsi de mettre l'accent sur les voies dévalorisation du lactosérum.

Enfin, cette étude doit être complétée par d'autre étude pratique visant à bien reconnaître les perspectives de l'utilisation du lactosérum dans la vie industriels et quotidienne.

Références bibliographiques

- 1-Adrian J. (1973). Valeur alimentaire du lait. Ed La Maison Rustique. Paris. 229p.
- 2-Adrian J. (1987). Les vitamines. In: CEPIL. Le lait matière première de l'industrie laitière. Ed CEPIL –INRA. Paris. 200p.
- 3-Aiello J. (1976). Process for manufacturing cheese product. Ed Masson Rustique. Paris.638p.
- 4-Alais C. (1975). Le lactosérum (Petit-lait). Science du lait : principes de techniques laitières. Ed Sepaic. Paris.755p.
- 5-Alais C. (1984). Sciences du lait. Principes des Techniques Laitières. Ed SEPAIC. Paris. 1510p.
- 6-Amundson C. (1967). Increasing protein content of whey. American Dairy Review. Vol. 29(7): 96-99.
- 7-Anderson M., Lamb R., Mickelsen C., Wiscombe R. (1974). Feedingliquidwhey to dairycattle. Journal of Dairy science. Vol . 57(10):1206-1210.
- 8-Andreevskaja L. (1974). Vitalact un lait pour nourris. Ed Thomson. New Delhi. 700p.
- 9-Apela T. (1973). Les lactosérums: traitements et utilisation. Ed Sepaic. Paris. 70p.
- 10-Arnot R. (1975). Preparation of a simulatidmilk Product. Ed Patent. Paris.126p.
- 11-Ash D., Colmey J. (1975). Austauschprodukt fur magermilchpulver. Ed Brevet . London and New York.84p.
- 12-Bachmann M., Schaub W., Rolle M. (1975). Beitrage zum Problem der Molkenvertwertung allgemeine Betrachtungen und Versuche zum Einbau von Molkenproteinen in die labgallerte. Schweizerische milchwirtschaftliche Forschung.Vol. 4(5): 1-7.
- 13-Baldwin P. (1964). Progress report. Effects of milk components on continuous mix bread. Cereal Science Today. Vol. 60(9): 284-290.
- 14-Bambha P., Setty P., Nambudripad V. (1972)."Whevit" a nourishing soft drink. IndianDairyman. Vol. 24(7): 153-157.
- 15-Bangert J. (1976). Nutritious orange drink concentrate, process and drink resultant there from. Ed Patent . U.S. 1025p.
- 16-Barber R., Braude R., Mitchell K. (1968). The effect of acidity on the voluntaryintake of whey by growingpigs. Animal Production. Vol. 10(2): 238.
- 17-Barbut S. (1995). Cold gelation of whey proteins. Scandinuviun Dairy Information.. vol. 30(9): 20-22.
- 18-Barmant E. (1970). Purification and properties of bovine milk glyco- α -lactalbumin, Biochem. Biophys. Revue Acta. vol. 214 (1-7): 242-244.

19-Bechtle R.(1974). Conversion of whey solide to an edible yeast cell mass. Ed Patent. U.S.A.233P.

20-Bednarski W., Jakubowski J., Poznanski S., Surazynski A. (1973). Production de biomasse de bactéries et de moisissures dans un milieu contenant du lactosérum. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczo-Technicznej wolsztynie. Technologia Zywnosci. Vol. 33(2): 3-18.

21- Bednarski W., Kowalewska J., Poznanski S., Leman J. (1976). Zastosowanie serwatki w produkcji aromatycznych napojow fermentowanych. Przemysl fermenta cyay irolony. Vol. 20(2): 34-36.

22-Benaouida K. (2008). Etude de L'alpha amylase de levures isolées d'un écosystème extrême (sol environnant des sources thermales) et cultivées sur milieu à base de lactosérum. Thèse magister : Microbiologie Appliquée, Université de Mentouri- Constantine. 88p.

23-Benezech T. (1994). Characterization of the rheological properties of yoghuri-A review. Revue. Journal of Food Engineering. Vol. 21 (1-4): 447 – 472.

24-Benghouzi L. (1971). Une contribution originale à la lutte contre la pollution: le traitement des sérums de fromagerie. Génie Rural. Vol. 15(4): 221-227.

25-Benlounissi A. (2004). La protéase acide de Penicillium camemberti. Production sur lactosérum, précipitation par le sulfate d'ammonium et action sur le lait de chèvre. Thèse magister : biochimie appliquée. Université Mentouri. Constantine.97p.

26-Bernal V. (1985). Thermal stability of whey proteins. A calorimetric study, J. Ed Dairy Sci. France. 68 p.

27-Berry D. (2000). Ingredients foods. Dairy foods. Vol. 101(4): 32-40.

28-Besse J. (1969). Les aliments simples concentrés. Ed Sepaic. Paris. 250p.

29-Besserezhnov A. (1968). Méthode pour la préparation de boissons de lactosérum. Ed INRA. Paris. 580p.

30-Best P. (1967). Wehy pioneers . Pig Farming. Vol. 15(3):26-29.

31-Birkkjaer H., Forsingdal K., Thomsen D. (1974). Effet de l'addition d'un concentré de protéines du lactosérum au lait de fromagerie. In: Congrès International de laiterie. Brèves communications. New Delhi. Vol. 19(4):227-228.

32-Birkkjaer H., Forsingdal K., Thomsen D. (1974). Effet de l'addition d'un concentré de protéines du lactosérum au lait de fromagerie. Congrès International de laiteri. Vol. 19(4):227-228.

33-Blakely L., Stine C. (1964). Foam spray-dried Cottage cheese whey as a source of solids in sherbets. Quarterly Bulletin of Michigan Agricultural Experimented Station. Vol .47(2): 142-148.

34-Blanchet M., Biju-Duval M. (1969). Levures de lastosérum: procédé exploité par les fromageries Bel. Ed Sepaic. Paris. 128p.

35-BOTTOMLEY R. (1990). Whey proteins. Elsevier Applied Science. Ed Agric. Food. Chem. London. New-York. 466 p.

36-Bouchard R., Brisson G., Julien J. (1963). Nutritive value of bacterialsludge and wheypowders for protein in calf milkreplacers and on chromicoxide as indicator of digestibility. Journal of Dairy Science. Vol. 56(11): 1445-1449.

37- Boudier J., Luquet F. (1980). Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale. Actualités scientifiques et techniques en industries agroalimentaires. Ed Masson Rustique. Paris. 136p.

38-Boudjema K. (2007). Essai d'optimisation de la production d'acide lactique sur lactosérum par *Strptococcus thermophilus*. Thèse magister : biochimie et microbiologie appliquée, Université M'Hamad Bougara-Boumer dès. 90p.

39-Bredeveien J.,Solgaard R., Lyso A. (1976). Lactosérum et produits à base de lactosérum pour le bétail(en norvégien). Meieriposten. Vol. 65(15): 543-549.

40-Brown R., Ernstrom C. (1977). Incorporation of whey solide into cheese for increased yield. Journal of Dairy Science. Vol. 60(1): 55-56p.

41-Brune H., Thier E. (1965). Zur Verwertbarkeit gelagerter Molke in der Schweinemast und Untersuchungen Uber die stofflichen Veranderungen wahrend der lagerung. Tierenvhrung and Futtermittel- Kunde. Vol. 20(2): 63-79.

42-Brunner J., Finley J., Blakely L. (1969). Whey forms base for new Dairy Drinks. American Dairy Review. Vol. 31(6): 60-103.

43-Buchheim W., Jelen P. (1976). Microstructure of heat-coagulated whey protein curd. Milchwissenschaft. Vol.31(10): 589-592.

44-Carole L. (2002). Science et technologie du lait: transformation du lait. Ed ISBN. Canada. 605p.

45-Casalis J. (1975). Considérations sur l'utilisation du lactosérum dans l'industrie alimentaire. Revue laitière Français. Vol. (332):403-419.

46-Cassegrain M. (1976). Utilisation industrielle du lactosérum et de ses dérivés en alimentation humaine. In : Conférence CPCIA : le lactosérum, nouvelle source de matière en alimentation humaine. Barbizon. n° 2C : 1-4.

- 47-Cayot P., Lorient D. (1998). Modification chimique (biochimique) de l'environnement des protéines du lait .Ed Tec et Doc, Lavoisier. Paris. 180 p.
- 48-Chapman L. (1970). La levure alimentaire provenant du sérum. In: Congrès International de laiterie.vol.17(1): 539-541p.
- 49-Chaput G. (1981). Problèmes techniques et économiques posés par le stockage, le transport, la concentration et le séchage du lactosérum. Revue Tech Lait. vol. (30): 25–28.
- 50-Cheftel J., Besançon P. (1982). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Revue Tech. et Documentation, Vol. (1): 1- 66 p.
- 51-Cheftel, J et Lorient D. (1982). Les propriétés fonctionnelles des protéines laitières et leur amélioration. Revue Lait. vol. (62), 435-483 p.
- 52- Chubinidze T. (1972). Albumine du fromage blanc "Nadugi". Molochnaya Promyshlennost. Vol. 22(10): 36-37.
- 53-Chumachenko N., Demchuk A., Roiter I. (1973). Emploi de lactosérum sec dans la fabrication de pain à partir de farines de première qualité. Kharchova. Vol. (5): 45-47.
- 54-Chumachenko N., Demchuk A., Roiter I. (1974). Amélioration de la valeur alimentaire du pain par addition de lactosérum sec. Khlebopekarnaya Konditerskaya Promyshlennost. Vol. (3): 13-15.
- 55-Clark R., Ferris A., Fey M., Brown P., Hun-drieser K., Jensen R. (1982). Changes in the lipids of human milk from 2 to 16 weeks postpartum. Revue Pediatr Gastroenterol Nutr. Vol.(1): 311-315.
- 56-Clark W. (1979). Major Whey products markets. Journal of Dairy Science. Vol. 62(1): 96-98.
- 57-Cosgrove C. (1974). Consider ice-cream mix formulations when varying the ingredients. American Dairy Review. Vol. 36(5): 24B-24 F.
- 58-Coton S. (1980). The utilization of permeates from the ultrafiltration of whey and skim milk, J. Soc. Revue Dairy Technol. Vol. (33): 89-94 .
- 59-Cottyn B., Casteels M., Buysse F. (1969). Le remplacement de la poudre de lait écrémé par de la poudre de sérum de lait et de la levure S.A.V. dans les rations pour veaux de boucherie. Revue de l'Agriculture.Vol. 22(5): 83- 100.
- 60-Crouzet D., Depres H., Sadou S., Fournier J. (1987). Handbook of Chemistry and Physics. Revue Dijon, ISBN. Vol. 2(2): 4-7.
- 61-Crowhurst B. (1972). Alternatives to milk powder in ice-cream recipes. Ice-cream Frozen Confectionery. Vol. 24(4): 240- 242.

62-Dalum B. (1976). Verwendung von Molke in der Eiscremherstellung. Deutsche Molkerei zeitung. Vol. 97(41): 1260-1262.

63-Danilevich A. (1972). Effet du lactosérum et de ses fractions protéiques et non protéiques sur le pain cuit obtenu à partir de farine et 1^{ère} et 2^{ème} catégorie. Latvijas lauksainniecibas Akademi jas Raksti. Vol. 47(7): 94-98.

64-Dash S. (1973). Driedwhey as an additive for alfalfa haylage and as a grain supplement for dairycows. South Dakota State University. 118 p.

65-Daфин G. (1998). Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire. Collection sciences et techniques agroalimentaires. Ed Technique and Documentation. France. 592 p.

66-Demott B. (1972). Cottage cheese whey used as a beverage. Sunbelt Dairyman. Vol. 10(10): 14-15.

67-Demott B. (1975). Acceptability of flavoured drinks made with Cottage cheese whey produced by the direct acidification process. Journal of Milk and Food Technology. Vol.38(11): 691-692.

68-Dewit J. (1984). Functional properties of whey proteins in food Systems. Revue Milk Daity. Vol. (38): 71-89.

69-Dickinson E. (1996). Les colloïdes alimentaires. Série Sciences de l'Ingénieur. Ed Masson. Paris. 216 p.

70-Dmchuk A., Chumachenko N., Markianova L., Roiter I. (1975). Energie de fermentation et dynamique des acides aminés libres dans la pâte préparée avec du lactosérum déshydraté. Khlebopekarnai Konditerskaja Promushlennost. Vol. (7): 14-15.

71-Drobot V., Chumachenko N. (1975). Effet des complémentations de sérum sec sur les propriétés physiques des pates. Kharchova Promyslovist. Vol. (1): 48-49.

72-Drobot V., Roiter I. (1970). Emploi de lactosérum en panification. Kharchova Promyslovist. Vol. (3): 22-24.

73-Dryer J. (2001). La grande diversité du lactosérum. Les produits laitiers. Ed Masson Rustique. Paris. 35 p.

74-Ecalard J. (1990). Lait et biotechnologie. New Zealand J. Dairy. Sci. Technol. 21 (3): 29-34.

75-Eggen I., Singleton A. (1969). Whey composition for making yeast-raised dough products. Ed Nova. U.S. 65p.

76-Eynard L. (1992). Surface hydrophobicity changes and heat-induced modifications of α -lactalbumin, J. Agric. Food. Chem. vol. 40 (1-3):1731-1736.

77- Fauquant J., Pierre A., Brulé G (1985) Clarification du lactosérum acide de caséinerie. *Revue Tèch Lait*. Vol.(1003): 37-41.

78-Fauquant J., Vieco E., Brulé G., Maubois J. (1986). Clarification des lactosérums doux par agrégation thermo calcique de la matière grasse résiduelle. *Revue Lait*. Vol.(65): 647-648.

79-Fauquant J., Vieco E., Maubois L. (1985). Clarification des lactosérums doux par agrégation de la matière grasse résiduelle. *Revue Lait*. vol. 18(1-2):1-20 p.

80-Feminella J., Melachouris N., LAUCK R. (1975). Use of modified dried whey as a flavour enhancer in foods. Ed STELA. Canada.366p.

81-Feminella J., Melachouris N., Lauck R. (1975). Use of modified dried whey as a flavour enhancer in foods. Ed Stela. Canada. 366p.

82-Février C. (1977). Lactosérum et sous-produits laitiers dans l'alimentation du porc. *Inst. Tech. Porc. série I*. 20p.

83-Février C., Collet J. (1975). Considérations sur l'utilisation du lactosérum en industrie alimentaire. *Revue Laitière Français*, vol(332): 300-301.

84-Février C., Collet J., Bourdon D. (1973). Utilisation de divers types de lactosérum dans les régimes de sevrage des porcelets et durant la période de croissance finition. Ed Masson Rustique. Paris. 90p.

85-Filipovitch D. (1954). Etude sur les variations de la densité du lait de mélange. *Revue lait*. Vol. 40(1-3):129-132.

86-Fischer L., Lister E. (1974). The inclusion of whey in rations for ruminants. Ottawa, Canada. 364p.

87-Fleury M., Henriët M. (1977). Traitement du latosérum par le procédé Caliqua/Sireb. Ed Dgrst. Paris.186p.

88-Foda M. (1976). Anovel approach for whey utilization in production of native and microbial proteins. *Milchwissenschaft*.vol.31(3): 138-141.

89-Folch J., Lees M., Sioane-Stanley G. (1957). A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem*. *Revue Lait*. Vol. (266):497-509.

90-Fonden R., Petterson L. (1974). Une méthode simple de fermentation du lactosérum. In: *Congrès International de Laiterie*. Vol. 19(1): 903-905.

91-Fox P. (1989). Developments in dairy industry. Ed Elsevier Applied Sciences. New York. 30p.

92-Fox P., O'connor F. (1969). Storage characteristics of raw and concentrated whey. *Irish Journal of Agricultural Research*. Vol. 8(2): 183-190.

93-Frazeur D. (1967).The use of wheys in frozen desserts. Ice-cream Field and Ice cream Trade Journal. Vol. 149(8):22-32.

94-Frazeur D., Harrington R. (1967). Consumer preference for frozen desserts containing whey . Ice-cream Field and Ice-cream Trade Journal. 149(9): 40-48.

95-GAC A., DELAUNAY I., BERTRAND F. (1975). Les valorization industrielles des lactosérums.CTGREF. Ministère de l'Agriculture. Vol. 32(4): 1-65.

96-Galani D., Owusu R. (1996). The effect of heat on whey proiens. Food Science and Technology To day. Vol. 60(10): 163- 168.

97-Gana S., Touzi A. (2001). Volarisation du lactosérum par la production de levures lactiques avec les procédés de fermentation discontinue et continue. Journal of Food Engineering. Vol. 32(8): 51-58.

98-Georgakis S. (1974). Umkehrosmose und ihre anwendung in der Technologie von lebensmitteln tierischer Herkunft. Trennung des Molkeneiweisse fur die Herstellung von Fetakase. Milchwissenschaft. Vol. 29(11): 660-663.

99-Gesan G. (1995). Microfiltration tangentielle de lactosérums doux prétraités: mécanisme de colmatage et conduite opératoire. Ed Cahier scientifique IAA. Paris.700 p.

100-Gillies M. (1974). Whey processing and utilization. Economic and technical aspects. Park ridge, Noyes Data Corporation. Ed Harold Park Ridge. london. 211p.

101-Gillies M. (1974). Whey processing and utilization. Ed Stela. Canada. 211 P.

102-Girard D. (2000). Le lactosérum etl'industrie. Food technology. Vol. 56(4): 32-44.

103-Glattli H., Blanc B. (1974). Gewinnung von hefebiomasse aus Molke. Schweizerische milchwirtschaftliche Forschung. Vol. 3(11): 14-19.

104-Goller H. (1974). Anwendungsmöglichkeiten des Milchzuckers in der Schokolade- und Susswarenherstellung. In: Internationaler congress uber kako und Schokolade-forschung. Munchen. Dissertation und Fotodruck Frank Ohg. Vol. 1(3): 187-193.

105-Goller H., Kube J. (1975). Lactose as a constituent of skim-milk solids used in ice-cream manufacture. International Review for sugar and Confectionery. Vol. 28(4): 153-158.

106-Gordon A., Jenness R., Geddes W. (1953). Further studies on the heat- labile loaf volume depressant of milk serum proteins. Cereal Chemistry. Vol. 30(7): 213-221.

107-Gordon C., Lynch G., Mcdonough F. (1974). Liquid whey for dairy animals. Ed Stela. Canada. 135p.

108-Grummer R., Shackelford R., Amundson C. (1970). Yeast whey as a minkfeed. Research Report of the college of agriculture Life Sciences. Wisconsin University. Vol.57(4):46-52.

109-Grutte F., Schulze J., Hempel H. (1974). Process for manufacture of simulated human milk. British Patent. Vol. 13(4): 44-52.

110-Guerault A. (1966). La fromagerie devant les techniques nouvelles. Ed Sipaic. Paris. 351p.

111-Guy E. (1970). Bakery products. Ed Westport. U.S. 230 p.

112-Guy E., Pallansch M. (1969). Spongebread loaf volume depressant effects of lactose. Journal of Dairy Science. Vol. 52(6): 900-901.

113-Guy E., Vettel H., Pallansch M. (1967). Use of Cottage cheesewhey solids in spongebread. Bakers Digest. Vol. 41(3): 44-50.

114-Guy E., Vettel H., Pallansch M. (1968). Citrus beverages made from cheese wheys and soy flours. Journal of Dairy Science. Vol. 51(6): 931-932.

115-Guy E., Vettel H., Pallansch M. (1969). Spray – dried cheesewhey – soy flour mixture. Journal of Dairy Science. Vol. 52(4): 432-438.

116-Guy E., Vettel H., Pallansch M. (1971). Effect of lactose in non fat dry milk and cheese whey solids on sponge bread loaf volume and yeast activity. Bakers' Digest. Vol. 45(3): 43-51.

117-Guy E., Vettel H., Pallansch M. (1972). Milk fat and cheese whey make snackspread. Food Product Development. Vol.6(1): 54-62.

118-Guy E., Vettel H., Pallansch M. (1974). Effect of cheese whey protein concentrates on the baking quality and rheological characteristics of sponge doughs made from Hard Red Spring wheat flour. Cereal Science Today. Vol. 19(12): 551-556.

119-Haber T. (1973). Serwatka jako surowiec do produkcji pieczywa. Przegląd Piekarski Cukierniczy. Vol. 21(7): 155-157.

120-Haber T., Jakubczyk T. (1971). Effet du lactosérum déshydraté sur quelques propriétés organoleptiques et nutritives du pain. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego Technologia Rolno-Spożywcza. Vol. (7): 71-85.

121-Hadorn H., Zurcher K. (1973). Herstellung Analyse und Beurteilung von Molkenessig. Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene. Vol. 64(4): 480-503.

122-Hanning F., De Goumois J. (1952). Influence of dried whey on cake quality. Cereal Chemistry. Vol. 29(3):176-189.

- 123-Hanrahan T. (1969). Lagoon-stored whey in the diet of growing-finishing pigs. Irish Journal of Agricultural Research. Vol. 8(2): 271-277.
- 124-Hanrahan T. (1971). Whey solids in the diet of growing- finishingpigs. I. Driedwhey as a feed for pigs. Irish Journal of Agricultural Research. Vol. 10(1): 1-7.
- 125-Hanrahan T. (1972). Functional properties of why proteins. Ohio report on research and development in agriculture. Vol. 57(6): 93-94.
- 126-Hanrahan T., O' Grady J. (1970). The use of dairy by-products in pigfeeding. Irish Grassland Animal Production journal. Vol. 23(5): 136-145.
- 127-Hansen P. (1972). Functionalproperties of wheyproteins. Ohio report on research and development in agriculture. Vol. 57(6): 77-78.
- 128-Hargrove R., Macdonough F., Alford J. (1974). Whey fraction converted into animal feed without drying. Food Engineering. Vol. 46(2): 77-78.
- 129-Harju M., Heikonen M., Kreula M., Linko M. (1976). Nutrient supplementation of swiss cheese whey for the production of feed yeast. Milchzissensschaft. Vol. 31(9): 530-534.
- 130-Hartman G. (1975). The use of whey in manufacture of yoghurt. Cultured Dairy Products Journal. Vol. 10(2): 6-8.
- 131-Haustein B. (1972). Ruckgewinnung von Molkeaproteinen und der en Verwendungsmoglich-keiten in der Kaserei. Deutsch Molkerei Zeitung. Vol. 93(35): 1492-1499.
- 132-Havlatko F., Knez W. (1959). Calciumlactat-Erzeugung aus Molke und Molkensyrup (Molkenmelasse) mit Anwendung Kontinueller Sauerng. Congrès International de laiterie. Vol. 54(2):1235- 1240.
- 133-Hebert J., Scriban R. (1974). Lexique simple. Malterie-Brasserie. Boissons gazeuses. Ed douai. ENSIA. 57p.
- 134-Hekmati M., Lame H. (1972). Présentation d'un produit laitier iranien "Dough". Industries Alimentaires et Agricoles. Vol. 89(12): 1751-1752.
- 135-Hekmati M., Lame H. (1974). Nouvelle utilisation du lactosérum en Iran. Industries Alimentaires et Agricoles. Vol. 19(2): 107-108.
- 136-Hesse A. (1948). Molkengetränke. Sammelbericht uber einige neuere Arbeiten. Zeitschrift fur lebensmitteluntersuchung und-forschung. Vol. 88(2): 499-506.
- 137-Hileman C. (1976). Dough additive reducesbakerymixing time 30%. Food Processing. Vol. 37(5): 69-70.
- 138-Hiroaka Y. (1980). α -lactalalbumin: a calcium metallo-protein. Biochem. Biophys. Revue RES Commun. vol. 95 (1-7): 1098-1104.

139-Hirschl R., Kosikowski F. (1975). Manufacture of Queso Blanco using acide whey concentrates as coagulants. Journal of Dairy Science. Kansas State University. Manhattan. Vol. 58(5): 793.

140-Hofi A., Mahran G., Ashour M., Khorshid M., Farahat S. (1973). The use of casein and whey protein hydrolysates in "Ras" cheese making. Egyptain Journal of Dairy Science. Vol. 1(1): 79-83.

141-Hofi A., Mahran G., Ashour M., Khorshid M., Farahat S. (1973). The use of casein and whey protein hydrolysates in "Ras" cheese making. Egyptain Journal of Dairy Science. Vol. 1(1): 79-83.

142-Hoilo S. (1976). Données économiques sur l'utilisation du sérum et de perméate d'ultrafiltration en Norvège. Meieriposten. Vol. 65(13): 449-454.

143-Holmes C. (1970). Some thermal effects on the pig of the ingestion of liquidfeedatvarioustemperatures. Animal Production. Vol. 12(3): 485-492.

144-Holmes C. (1971). Growth of pigsfid cool wheyattwoambienttemperatures. Animal production. Vol. 13(1): 1-6.

145-Holsinger V., Posati L., Devilbiss E. (1974). Whey beverage : are view. Journal of Dairy Science. Vol. 57(8): 849-859.

146-Holsinger V., Sutton C., Vettel H., Crowley P., Berntson B., Pallansch M. (1974). Production and properties of a nutritiousbeverage base fromsoyproducts and cheesewhey. Proceedings of the International congress of food Science and Technology. Consejo Superior de InvestigacionesCientificas. InstitutoNacional de Ciencia y Tecnologia de Alimentos. Vol. 5(1): 25-33.

147-Holt W. (1974). Condensed fermented whey animal feed product and method. U.S. Patent . vol. 28(3): 78-79.

148-Hoppe G., Higgins J. (1992). Whey and lactose processing. Ed Applied Science. London et New York. 135 p.

149-Huber J., Emery R., Thomas J., Yousef I. (1969). Milk fat synthesis on restrictedroughage rations containtingwhey, sodium tricarbonate and magnesiumoxide. Journal of Dairy Science. Vol. 52(1): 54-59.

150-Huber J., Polan C., Rosser R. (1967). Effect of whey on milk composition and rumen volatile fattyacids in restrictedroughage rations . Journal of Dairy Science. Vol. 50(5): 687-691.

151-Igoe R., Watrous G., Keeney P., Macneil J. (1973). Utilization of Cottage cheese whey in ice-cream. Dairy and Ice-Cream Field. Vol. 156(5): 61-68.

152-Imbert-Pontaven A. (1977). Étude de l'évolution de la composition des lactosérums au cours de leur conservation. *Revue Lait*. vol. 310 (1-3): 521–546.

153-Ivanchenko F. (1969). Utilisation de lait écrémé et de lactosérum dans le pain et les produits de cuisson. *Revue Kharchova Promyslovist*. Vol. (3): 37-41.

154-Jackel S., Horn M. (1975). A new dried dairy culture ingredient for bakers. *Baker's Digest*. Vol. 49(3): 38-39.

155-James A., Addyman C. (1974). By-product recovery from food wastes by microbial protein production. Ed Institute of water pollution control. Maidstone. 155p.

156-Jannot P., LuuTien H., Divies C., Cachia J. (1984). Utilisation de la méthodologie expérimentale pour quantifier l'action des facteurs du milieu sur la croissance et l'activité microbienne. Cas des bactéries lactiques. *Aliments*. Vol. 12(4): 55-59.

157-Jarry A. (1994). Production industrielle d'acide lactique in: les bactéries lactiques T1. Ed LORICA. Paris, 604p.

158-Jelen P. (1975). Use of coagulated lactalbumin from cheese whey in ground meats. *Journal of food Science*. Vol. 40(5): 1072-1047.

159-Jelen P., Buchheim W. (1976). Characteristics of Norwegian whey "cheese". Cheese like products completely utilize whey solids, could reduce pollution. *Food Technology*. Vol. 30(11):62-74.

160-Jelen P., Horbal H. (1974). Utilization of cottage cheesewhey in yogurt manufacture. *Journal of dairy science*. Vol. 57(5): 582-584.

161-Jenness R. (1959). Characterization of milkserum protein component S. *Journal of Dairy Science*. Vol. 42(9): 882-885.

162-Jenness R. (1970). The composition of milk of various species: a review. *Dairy science*. Vol. 32 (1-2): 599-612 p.

163-Johnsen S., Arp H. (1974). Influence de quelques paramètres sur la texture de la crème glacée. *Congrès International de Laiterie*. Vol. 19(1): 706-707.

164-Jollivet N., Belin J. (1993). Comparison of volatile flavor compounds produced by ten strains of *Penicillium camemberti*. *Journal of Dairy Science*. Vol. 76(2): 1837-1844.

165-Jolly R., Kosikowski F. (1975). Blue cheese flavor by microbial lipases and mold spores utilizing whey powder. Butter and coconut fats. *Journal of Food Science*. Vol. 40(2): 285-287.

166-Jost R., Damenberg F., Rosset J. (1989). Heat-set gels based on oil/ water émulsions : an application of whey protein. *Revue Food Microstructure*. Vol. 32(8): 23-28.

167-Judaev Y. (1970). Croissance et développement des veaux nourris avec un succédané de lait composé de lactosérum et de constituant d'origine végétale. *Doklady Timirjazevskoj sel' skokhozjajstvennoj akademii*. Vol. 16(4):169-172.

168-Kalatzopoulos G. (1974). Technologie des fromages grecs. *Le Lait*. Vol. 54(1-2): 553-559.

169-Kaminski S. (1972). Zdrozdowanie serwatki w zakladzie doswiadczalnym w borowie. *Przemysl Fermentacyjny i Rolny*. Vol. 16(6): 27-31.

170-Kamoun M. (1995). Evolution de la composition du lait de dromadaire durant la lactation: conséquence technologique. Acte de colloque. Ed CIRAD. Français. 169p.

171-Kann A., Libert J., Raya K. (1973). Production d'une préparation enzymatique par la culture d'*Aspergillus oryzae* dans du lactosérum. *Tallinna Poliitehnilise Instituudi Toimetised A*. Vol. 331(9): 65-75.

172-Kask K., Kreen M. (1971). Emploi de lait écrémé concentré pour améliorer la qualité des pains grossiers estoniens à base de blé. *Tallinna Poliitehnilise Instituundi Toimetised A*. Vol.300(46): 63-67.

173-Kelly J. (1995). Nanofiltration of whey by nanofiltration. *International Dairy Federation. Revue Special Issue*. vol. 33(1): 30- 140.

174-Khalafalla S., Mahran G., Abdel-Hamid L., Fares F. (1975). The use of whey solids in ice-cream. *Egyptian Journal of Dairy Science*. Vol. 3(1): 43- 50.

175-Kiger J. (1946). Notes complémentaires relatives à l'emploi du lactosérum concentré dans la fabrication de pâtes alimentaires. *Le lait*. Vol. 29(281-282): 28-32.

176-Kirk D. (1973). Milk and its replacers in baked food. *Baker's Digest*. Vol.47(5): 76-79.

177-Klimenko L., Kamneva Z. (1971). Boissons fruitées à base de lait. *Konservnaja i Ovoshchesushilnaja Promyshlennost*. Vol. 47(3): 23-24.

178-Knight S., Smith W., Mickle J. (1972). Lactose removal from cheese whey using *Sacharomyces fragilis*. *Miscellaneous Publication. Oklahoma Agricultural Experiment*. Vol. 66 (87): 158-168.

179-Knipschildt M. (1977). Utilization of whey to avoid pollution and to recover a valuable food product. *American Dairy Review*. Vol. 39(9): 135-138.

180-Kopp J., Mickelsen R., Kropf D., Caul J. (1969). Dried cottage cheese whey as a nonmeat binder in an emulsion type sausage. *Journal of Dairy Science*. Vol. 52(6): 900-901.

181-Kosikowski F. (1967). Greater utilization of whey powder for human consumption and nutrition. *Journal of Dairy Science*. Vol. 50(8): 1343-1345.

182-Kosikowski F. (1968). Nutritional beverages from acid whey powder. Journal of Dairy Science. Vol. 51(8): 1299-1301.

183-Kosikowski F. (1969) . Producing nutritional beverages from acid whey powder and fruit juices . Cultural dairy Products journal. Vol.2(4): 2-8.

184-Kosikowski F. (1979). Utilisation du lactosérum et produits à base de lactosérum. Revue Laitière Français. vol. 50(1-3): 11-21.

185-Krashenin P., Ramazanov I., Shvetsova. (1972). Fabrication d'un nouveau fromage semi dur de type kopinskii. Molochnaja Promyshlennost. Vol.33(1): 32-34.

186-Krashenin P., Zvyagintsev V., Nebert V., Tolkachev A. (1974). Effet des protéines du lactosérum sur la structure et la consistance du fromage. Congrès International de laiterie. Vol.19(1-2): 911-912.

187-Kronman M. (1963). Inter and intramolecular interactions of α -lactalbumin: the apparent heterogeneity at acid pH. Revue Biochemistry. Vol. (12):1145-1151.

188-Kronman M.(1964). Inter and intramolecular interactions of α -lactalbumin: aggregation reactions at acid pH. Revue Biochemistry. Vol.(8):1151-1160.

189-Kronman M. (1989). Metal ion binding and the molecular conformational properties of α -lactalbumin, Crit. Rev. Biochem. Revue Mol Biol. vol.(24): 565-667.

190-Kube J., Goller H. (1975). Laktose: ein neuer Rohstoff für Konfektherstellung. Süßwaren. Vol. 19(15): 599-602.

191-Kunciewicz A., Kiska J. (1974). Utilisation de lactosérum dans la synthèse de biomasse d'Escherichia Coli ayant une teneur accrue en composés soufrés. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie Technologia Żywności. Vol.45(121): 89-100.

192-Kuzmin'Skij R., Chjuchuk A. (1969). Emploi du lactosérum en panification. Khlebopekarnaja Konditerskaja Promyshlennost. Vol. 13(5): 37-38.

193-Ladet J., Moulin G., Galzy P., Joux J., Biju-Duval F. (1972). Comparaison des rendements de croissance sur lactose de quelques *Kluyveromyces fragilis* de *Walt.* Le lait. Vol. 52(519-520): 613-621.

194-Lang F., Lang A . (1967). New yogurt flavours and UHT products in Switzerland. Milk Industry. Vol. 61(3): 26-28.

195-Lang F., Lang A. (1968). The development of new liquid and semi-liquid milk products. 2 the milk industry. Vol. 62(3): 27-30.

196-Lang F., Lang A. (1972). Recent developments in dairy research and dairy products in Czechoslovakia. the milk industry. Vol. 71(6): 28-30.

- 197-Laonipon R., Cardwell J. (1971). Development of a nutritious drink made from fresh whey. *Journal of Dairy Science*. Vol. 54(3): 450-452.
- 198-Laplanche J. (2004). Système d'épuration du lactosérum d'alpage par culture fixée sur lit de compost. *Revue suisse Agric.* vol.(36): 220-224.
- 199-Larpen J. (1990). Influence de l'alimentation et de la saison sur la composition du lait, In la vache laitière. Ed INRA. Paris. 256 p.
- 200-Larsen R., Jenness R., Geddes W. (1949). Effect of heat treatment of separated milk on the physical and baking properties of dough enriched with dry milk solid. *Cereal Chemistry*. Vol. 26(1-2): 189-200.
- 201-Larson P., Yang H. (1976). Some factors involved in the clarification of whey wine. *Journal of milk and food Technology*. Vol. 39(9): 614-618.
- 202-Lauck R. (1974). Modified whey in imitation frankfurters. *Journal of Dairy Science*. Vol. 57(5): 585p.
- 203-Le Floch A. (1972). Procédé biochimique pour la conversion du lactosérum. Brevet français. Ed E.N.S.I.A. Paris. 211p.
- 204-Lefrançois L., Naiditch V. (1971). Traitement du lactosérum pour l'obtention d'un produit alimentaire. Brevet français. Ed Stela. Canada. 415p.
- 205-Leghlimi H. (2004). Optimisation de la production de la cellulase d'*Aspergillus niger* ATCC 16 404 cultivé sur un milieu à base de lactosérum : étude comparative entre *Aspergillus niger* ATCC 16 404 et *Aspergillus niger* O.Z isolée localement. Thèse magister : Biochimie Appliquée, Université Mentouri. Constantine. 90p.
- 206- Le Jaouen G. (1990). Fabrication du fromage de chèvre fermier. Ed ITOVIC. 209 p.
- 206-Len'kov N. (1969). La boisson "Bodrost". *Molochnaja Promyshlennost*. Vol. 30(11): 24-25.
- 207-Levinton A., Whittier L. (1950). The utilization of whey in the microbiological synthesis of riboflavin. *Journal of Dairy Science*. Vol. 33(1): 402.
- 208-Liebert T. (1973). Effet de l'addition de lactosérum et d'une préparation enzymatique sur les caractéristiques de la pâte et de pain. *Tallinna Poliitehnilise Instituudi Toimetised A*. Vol. 33(7): 59-63.
- 209- Liebrecht J., (1997). Nutritional liquid supplement beverage and method of making same. Ed International Dairy Federation. Bruxelles. 45 p.

210-Loewenstein M., Reddy M., White C., Speck S., Lunsford T. (1975). Utilization of cottage cheesewhey fractions and/or derivatives in ice-cream. *Journal of Dairy Science*. Vol. 58(5): 797-799.

211-Luquet F., Boudier J. (1976). *Lexique des termes utilisés en industrie laitière*. Ed Scefal. Douai. 450p.

212-Luquet F., Boudier J. (1984). Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale. *Revue Apria*. Vol. 66 (1-7): 83-90.

213-Lutskova M. (1966). Production of vitamine B₁₂ in from of biomass by means of microbiological synthesis on whey nutrient medium. *Congrès International de laiterie*. Vol.17(2): 75-77.

214-Lynch G., Macdonough F., Rough D., Smith D., Gordon C. (1975). Growth and carcass evaluation of Holstein steers fed liquid acid whey. *Journal of Dairy Science*. Vol.58(11): 1688-1694.

215-Lynch G., Poos M., Hargrove R. (1974). Nutritional value of whey (permeate) blocks for calves. *Journal of Dairy Science*. Vol. 57(1): 650-652.

216-Mann E. (1968). Dairy products research in America. *Dairy Industries*. Vol.33(11): 767-768.

217-Mann E. (1969). Whey processing and utilization2. *Dairy Industries*. Vol.34(9): 571-573.

218-Mann E. (1971). Whey processing and utilizationpart 2. *Dairy Industries*. Vol.36(2): 96-97.

219-Mann E. (1972). Whey beverages. *Dairy Industries*. Vol.37(3): 153-154.

220-Mann E. (1974). Whey utilization part 1. *Dairy Industries*. Vol.39(8): 303-304.

221-Mann E. (1976). Whey utilization part 3. *Dairy Industries International*. Vol.41(2): 50-51.

222-Mann E. (1977). Whey utilization in animal feeds. *Dairy Industries International*. Vol.42(5): 26-27.

223-Mann E.(1967). Lactic beverages. *Dairy Industries*. Vol. 33(5): 326-327.

224-Mann R., Mathur B., Srinivasan M. (1975). Studies on the formulation of egg substitutes frommilkprotein complexes for use in cake making. *Journal of Food science and Technolgy*. Vol. 12(5): 241-244.

225-Marinchenko A., Drobot V., Roiter I. (1976). Amélioration de la valeur nutritive du pain par supplémentation avec du lactosérum enrichi en protéines. *Izvestija VysshikhUchebnykh Zavedenij Pishchevaja Tekhnologija*. Vol. 23(1) : 52-54.

226-Marshall K. (1974). Production of beta-galactosidase by continuous culture of *Saccharomyces fragilis* in a whey medium. Congrès International de Laiterie. Vol. 19(1): 365-366.

227-Marshall K., (1982). Industrial fractionation of milkproteins: Whey proteins. Ed Applied Science Publisher. London and New York. 200p.

228-Marth E. (1970). Fermentation products from whey. Ed Westport. Paris.100p.

229-Mathieu J. (1998). Initiation à la physicochimie du lait, technique et documentation. France, 257 p.

230-Mathieu C., Thivend P. (1968). Digestion et utilisation par le veau préraminant à l'engrais. III. Remplacement des matières grasses du lait par différents amidons. Annales de Biologie Animal Biochimie Biophysique. Vol. 8(2): 249 -271.

231-Mathur B., Shahani K. (1977). Utilization of whey for the manufacture of Ricotta cheese. Journal of Dairy Science. Vol. 60(1): 39-40.

232-Mathur B., Shahani K. (1979). Use of total whey constituents for human food. Journal of Dairy Science. Vol. 62(1): 99- 105.

233-Maubois J., Piene A., Fauquant J., Piot M. (1987). Industried fractionation of main whey proteins. Ed International Daby Fedederation. Bnissels. 160p.

234-McIntoch G. (1998). Whey proteins as functional food ingredients. Dairy J . Vol.47(8): 425-434.

235-Mechakra A., Auberger B., Remeuf F., Lenoir J. (1999). Optimisation d'un milieu de culture pour la production d'enzymes protéolytiques acides par *Penicillium camemberti*. Sci. Aliments. Vol.19 (6) : 663-675.

236-Mereo J. (1980). Les utilisations industrielles du sérum, fromagerie. Revue française vol. (365): 40-41.

237-Mergl M., Uher J. (1975). Vyroba kvasnicne biomasy ze syrovatky. Prumysl Potravin. Vol.26(10): 475-477.

238-Mergl M., Uher J. (1975). Vyroba kvasnicne biomasse ze syrovatky. Prumysl Potravin.Vol. 26(10): 475-477.

239-Metz J., Zalusky R., Herbert V. (1968). Folic acid binding by serum and milk. Amer . J. clin. Nutr. . Vol. 21(9): 289-297.

240-Miyakawa H., Kobayashi A., Shimamura S., Tomita M. (1992). Purification and characterization of an aminopeptidase from *Lactobacillus helveticus* LHE-511 Congrès International de Laiterie. Vol. 75(3): 27-35.

241-Moebus O. (1976). Abwasserbeseitigung durch Molkenverhefung. Deutsche Milchwirtschaft. Vol.27(8): 212-214.

242-Moebus O.,Lembke A. (1975). Die Erzeugung von biosynthrtischem Eiweiss aus landwirtschaftlichen Abfallstoffen insbesondere aus molke. Kieler Milchwirt-schaftliche Forschungberichte. Vol. 27(1): 3-23.

243-Moon N, Hammond E, Glatz B. (1977). Cod reduction of whey and whey ultrafiltrate by fermentation to yeast oil. In: American Dairy Science Association.72 nd Annual Meeting, Ames(Iowa). ADSA Meeting and Divisional Abstracts. Journal of Dairy Science. Vol. 60(1): 140-141

244-Morr C., Ha Y. (1993). Whey protein concentrates and isolates : Processing and functional properties. Revue Food Sci. Vol.20(1-3): 33-43.

245-Morrill J., Dayton A. (1974). Effect of whey on calf starter palatability. Journal of Dairy Science. Vol. 57(4): 450-433.

246-Morrill J., Melton S., Dayton A., Guy E., Pallansch M. (1971). Evaluation of milk replacers containing a soy protein concentrate and high whey. Journal of dairy Science. Vol. 54(7): 1060-1063.

247-Moulin C., Varchon P., Galzy P. (1977). Une nouvelle utilisation possible du lactosérum: la préparation de boisson à base de galactose. Industries Alimentaires et Agricoles. Vol. 94(1): 29-34.

248-Muller A. (1996). Procédé d'obtention d' α -lactalbumine de haute pureté : étapes élémentaires du fractionnement des protéines du lactosérum et mise en cascade. Thèse magister : L'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes.78p.

249-Muller W. (1975). Contribution à la production de levure en partant du petit-lait. Le lait. Vol.31(308): 588-559.

250-Murthy P. (1976). High protein pasta formulation. Ed E.N.S.I.A. Paris. 400p.

251-Nandini U. (1992). Membrane based separation technology in recovery of valuable products along with pollution abatement from dairy effluents. Revue Biotechnology. Proc .Int. Semin. Processing. vol. 88(5): 98-110.

252-Nebert V., Sakharov S. (1975).Production de fromage lituanien avec utilisation de protéines du lactosérum dénaturées. Moloch naja Promyshlennost. Vol. 11 (1): 19-21.

253-Nelson F, Brown W, Taylor R. (1972).Whey utilization in fruit-flavored drinks. Cultured Dairy Products Journal. Vol. 7(1): 11-12.

254-Nelson F., Browne W. (1971). Whey as a component of fruit flavored drinks. Journal of Dairy Science. Vol. 54(5): 757-758.

- 255-Nielsen V. (1974). Dried whey in calf feeds. Park Ridge. U.S.752p.
- 256-Nilson K. (1975). The role of whey solide in the ice-cream industry. American Dairy Review. Vol. 37(7): 42-43.
- 257-Ohler H. (1948). Processing of sour foods with fermented whey. Canner. Vol. 127(6): 20-22.
- 258-Osovik A., Gridina L., Marinchenko A., Bashirova R .(1975). Culture de la levure *Trichosporon cutaneum* k-1 sur du lactosérum (en russe). Prikladnaja Biokhimija Mikrobiologija. Vol.1(3): 473-476.
- 259-Paillon P. (1974). Le lactosérum en biscuiterie et en patisserie industrielle. Biscuits, Biscottes, Panification , pâtisseries industrielles, produits diététiques, Chocolat, Confiserie. vol 12(11-12): 29-31.
- 260-Paquin P. (2004). Etude de potentiel de marché des ingrédients laitiers protéiques .Ed STELA. Canada. 63 p.
- 261-Pechyulis J. (1972). Utilisation des déchets alimentaires provenant des industries de la viande/ lait dans la production de levures. Izvestija vysshikh Uchebnykh Zavedenij, Pishchevaja Tekhnologija. Vol. 47(3): 110-112.
- 262-Perzow B. (1974). Fermentation of whey. In Proceedings of the whey utilization symposium. Ed Ottawa. Canada. 100p.
- 263-Piccioni M. (1965). "Lactosérum ". In: Dictionnaire des aliments pour les animaux. Ed Bologne. EdIzioni Agricole. 300p.
- 264-Pien J. (1970). Boissons à base de lait et de produits laitiers. Industries Alimentaires et Agricoles. Vol. 87(5): 595-602.
- 265-Pien J. (1974). Etude de la coagulation du lait par la présure (suite et fin). La technique laitière. vol. 29(835): 33 - 40.
- 266-Pien J. (1976). Etude de la récupération des protéines dans le sérum de fromagerie. La Technique laitière. vol. 54 (884): 17- 21.
- 267-Pien J.(1943). Utilisation du sérum de fromagerie et des lactoprotéines dans l'alimentation. Le lait. Vol. 23(227-228): 193-222.
- 268-Pien J.(1975). Etude de la récupération des protéines dans le sérum de fromagerie.. Ed Survilliers. La Nurée BLeue. 480p.
- 269-Pierre J. (2002). Lactoprotéines et lactopeptides. Propriétés biologiques. Ed INRA. Paris. 125p.

270-Pijanowski E., Molska I., Byczynska W. (1974). Les grains de kefir comme agent potentiel dans la transformation du lactosérum en boissons fermentées. Congrès International de laiterie. Vol. 19(1): 907-908.

271-Popova Y., Bakhchevanska S. (1972). Effet de la source carbonée sur la biosynthèse de la vitamine B₁₂ par propionibacterium shermanii. Nauchni Trudove. Vissh Institut po khranitelna i vkusova promishlennost. Vol. 19(1): 237-244.

272-Poznanski S., Smietana Z., Jakubowski J., Bednarski W., Kornacki K., Rymaszewski J., Reps A., Kowalewska J. (1974). Fabrication du fromage à partir de toutes les protéines du lait. Congrès international de laiterie. Vol. 19(3): 854-855.

273-Prodanski P., Simov Z. (1974). Détermination des paramètres technologiques de fabrication du cashcaval à forte teneur protéique obtenu à partir de lait de vache et de brebis Khranitelna Promishlennost. Vol. 23(1): 12-14.

274-Prokopek D., Voss E., Thomasow J. (1976). Die Herstellung von Camembertkaseaus Konzentraten der Ultrafiltration. Milchwissenschaft. Vol. 31(9): 539-545.

275-Raccotta V., Rodriguez-Zendejas A. (1975). Recovery of rennet cheese whey as a food for children. Tecnologia de alimentos. Vol. 10(5): 205-210.

276-Racotta V., Rodriguez-Zendejas A. (1974). Recovery of rennet cheese whey in form of a children's food. Ciencia y Tecnologia de Alimentos. Vol. 37(11): 9-11.

277-Ramazanov I., Rakitskaja M. (1974). Schéma technologique optimal de production du caillé de fromage "Caucase" (en russe). Molochnaja Promshlennost. vol. 1(11): 11-13.

278-Reddy C., Henderson H., Erdman M. (1975). Production of a feed supplement high in crude protein by bacterial fermentation of cheese whey. Abstracts of the Annual Meeting of the American Society for Microbiology. Vol. 75(5): 196.

279-Reddy C., Henderson H., Erdman M. (1976). Bacterial fermentation of cheese whey for Production of a ruminant feed supplement rich in crude protein. . Applied and Environmental Microbiology. Vol. 32(6): 769-776.

280-Reesen L., Nielsen P. (1975). Utilization of the permeate. D.D.M.M. Information .vol. 11(1): 11-16.

281-Renner E., Abd El-Salam M. (1991). Application of ultrafiltration in the dairy industry. Ed Elsevier Applied Science. England, 371 p.

282-Roff C., AND FOEGEDING E., (1996). Dicationic-induced gelation of predenatured whey protein isolate. Revue Food Hydrocolloides. vol. 64(10): 193- 198.

283-Rogosa M., Browne H., Whittier E. (1947). Ethyl alcohol from whey. *Journal of Dairy Science*. Vol. 30(4): 263-269.

284-Roiter I. (1975). Energie de fermentation et dynamique des acides aminés libres dans la pâte préparée avec du lactoséumdeshydraté. *Khlebope karnajaikomditorskaja Promushrennost*. Vol. 24(7): 14-15.

285-Rolland J. (1984). Sous-produits du lait *Dam: Science et technologie du lait*, La Fondation de technologie laitière. Ed Québec. Canada. 392 p.

286-Romanska N., Verbyak L., Kalmysh V. (1972). Fabrication d'une boisson à partir du sérum. *Kharchova Promyslovist*. Vol. 3(1): 42-44.

287-Romanskaya N, Kalmysh V. (1971). Méthode pour produire des boissons à partir du lactosérum. Ed USSR. Paris. 373p.

288-Rook J., Balch C. (1961). The beffects of intraruminal infusions of acetic, propionic and butyric acids on the yield and composition of the milk of the cow. *British Journal of Nutrition*. Vol. 41(15): 29-31.

289-Rothwell J. (1974). Alternative MSNF ingredient for use in ice- cream. *Ice-cream and Frozen Confectionery*. Vol. 27(3): 178-186.

290-Rothwell J. (1974). Alternative MSNF ingredient for use in ice-cream. *Ice-cream and Frozen Confectionery*. Vol. 27(3): 178-186.

291-Rothwell J. (1976). Ice cream : its present day manufacture and some problemes. *Journal of the Society of Dairy Technology*. Vol. 29(3): 161 – 166.

292-Rzewuskarutte R., Jadwiga J. (1967). Utilisation du sérum dans l'industrie de boissons alcoolisées. *przemysl Fermentacyjing Rolny*. Vol. 11(5): 196-198.

293-SaintPaul F., Humbert G., Paquet D. Linden G. (1984). Hydrolyse enzymatique de protéines laitières industriellement : incidences sur leur solubilité. *Sci. Aliment*. Vol. 41(4): 259-264.

294-Samtsewich S., Astanovich N., Lobanok A. (1971). Biosynthèse des pectinases et cellulases par les champignons dans le lactosérum . *Doklady Akademii Nauk Belorusskoj SSR*. Vol. 15(5): 457-459.

295-Sanderson W . (1967). Milk proteins, protein-protein interactions and theireffects of doughproperties and breadquality.*Dissertation Abstracts B*. vol. 28(2): 399-400.

296-Saulnier F. (1996). Composition minérale et organique de différents lactosérums industriels, analysée par électrophorèse capillaire. *Revue Lait*. Vol. 76 (1-2): 423– 432.

297-Sawaya W., Khalil J., Al-Shalhat A., Al-Mohammad H. (1989). Chemical composition and nutritional quality of camel milk. *J. Food Sci*. vol. 49 (1-2):744 -747.

- 298-Scanlon J. (1974). A new sweet whey-soyproteinblend for the baker. Baker's digest. Vol. 48(5): 30-57.
- 299-Schingoethe D. (1976). Whey utilization in animal feeding: a summary and evaluation. Journal of Dairy Science. Vol. 59(3): 556-570.
- 300-Schingoethe D., Beardsley G. (1975). Feeding value of corn silage containing added urea and dried whey. Journal of Dairy Science. Vol. 58(2): 196-201.
- 301-Schingoethe D., Stake P., Owens M. (1973). Whey components in restricted roughage rations, milk composition and rumen volatile fatty acids. Journal of Dairy Science. Vol. 56(7): 909-914.
- 302-Schmid B., Busta F., McKay L. (1977). Protein production by successive growth of bacillus subtilis and lactobacillus acidophilus on combined food wastes. Journal of food processing and preservation. Vol. 1(1): 13-29.
- 303-Schuck P. (2002). Spray drying of dairy products: state of the art. Revue Lait. Vol. (82): 375-382.
- 304-Schuler R. (1971). Schnelle kontinuierliche Gärung für die Herstellung der sauren Lebensmittel. Brevet RFA. Vol. 77(7): 225-228.
- 305-Schulz M., Drache K. (1947). Getränke mit Molke und Früchte. Milchwissenschaft. Vol. 2(6): 276-286.
- 307-Seibles T. (1975). Whey protein fortification of macaroni. Cereal Foods world. Vol. 20(10): 487-488.
- 308-Seker S., Beyenal H., Tanyolaç A. (1999). Modeling milk-clotting activity in the continuous production of microbial rennet from *Mucor miehei*. J. food sci. Vol. 64 (3): 525-529.
- 309-Shannon C., Cardwell J. (1971). Consumer acceptability of orange flavored whey drink. Journal of Dairy Science. Vol. 54(3): 449-450.
- 310-Shilovskaja T., Konokova A., Degtjarev N., Evdokimovag. (1974). Emploi de lactosérum concentré dans la fabrication de biscuits aromatisés. Ed Masson Rustique. Paris. 1577p.
- 311-Sienkiewicz T., Riedel C. (1990). Whey and whey utilization: possibilities for utilization in agriculture and circhen-Buer. Ed Springer. Germany. 379 p.
- 312-Sienkiewicz T., Riedel C. (1990). Whey and whey utilization: possibilities for utilization in agriculture and circhen. Ed Buer. Germany. 379 p.
- 313-Sjostrom G., Hakansson E. (1953). The production of riboflavin in whey by *Ereniothecium ashbryii*. Congrès International de laiterie. Vol. 13(3): 697-700.

314-Skaltveit T. (1959). Production du fromage de couleur brune en Norvège. Le lait. Vol. 40(397): 427-428.

315-Slanovec T. (1974). Iskoristavanje sirutke za izradu Bohinijske skute. Mljekarsstvo. Vol. 24(5): 101-105.

316-Solms G. (1967). Calf fattening experiments with different types of dried sour whey as milk replacer components. Molkerei and Kaserei Zeitung. Vol. 19(14): 452-456.

317-Sottiez P. (1990). Produits dérivés des fabrications fromagères. Ed SEPAIC. Paris. 392p.

318-Spinnato N., Tormo H. (1994). Aptitude fermentaire des laits crus de chèvre et de leurs lactosérums. Centre Fromager de Carme jan. Ed INRA. Paris. 82 p.

319-Spurgeon K., Seas S., Dalaly B. (1973). Effects of nonfat milk solid and stabilizers on body. Texture and water retention in low-fat dairy spreads. Food Product Development. Vol. 7(3): 34-44.

320-Steinsholt K. (1971). Produits à base de lait séché en tant que matière première pour l'industrie de la crème glacée. Meiriposten. Vol.60(2): 27-39.

321-Sten-Olof A. (1970). Centri-whey, a continuous whey processing method. Maelke ritidende. Vol. 83(21): 477-482.

322-Stewart J., Muller L., Griffin A. (1974). Use of whey solids in calf feeding . The Australian Journal of Dairy Technology. Vol. 29(2): 53-58.

323-Storry J., Rook J. (1966).The relation hip in the cow between milk fat secretion and ruminal volatile fattyacids. British Journal of Nutrition. Vol. 20(1-2): 217.

324-Stuart D.(1986). α -lactalbumin possesses a novel calcium binding loop, Nature. Biochemistry. Vol. 324 (1-3): 84-87.

325-Surazynski A., Poznanski S., Budslawski J., Czerwinski S., Chojnowski W. (1967). Utilisation du lactosérum pour la preparation de l'acide lactique 1. Production de lactate de zinc. Zeszyty Naukowe Wyzszej Szkoły Rolniczej w olsztynie. Vol. 23(3): 623-634.

326-Surazynski A., Poznanski S., Chojnowski W., Mrozek Z., Rogala L. (1974). Préparation et utilisation de la beta-D-galactosidase pour l'hydrolyse du lactose du lait (en polonaise). Zeszyty Naukowa Akademii Rolniczo Technicznej wolsztynie. Vol.57(2): 77-86.

327-Susli J. (1956). Neue Art der Molkenverwertung : einlactominerales Tafelgetränk. Congrès International de laiterie. Vol. 14(1): 477-486.

328-Ternouth J. (1969). Whey utilisation. Compositional and nutritional aspects as related to animals. Seminaire FIL sur "Traitements et utilisations du lactosérum". Weiheinstephen. Vol. (4): 1-17.

329-Théodet C., Gandemer G. (1990). Comparaison de cinq méthodes pour extraire les lipides du lactosérum et de ses dérivés. Lait Elsevier/INRA. Vol.(71): 41-54.

330-Thibaudat C. (1964). Utilisation du sérum de fromagerie pour la préparation d'aliments levurés destinés à l'alimentation animale. Revue laitière française. Vol. 48(209): 131-132.

331-Thivend P. (1977). Utilisation de l'ultrafiltrat du lactosérum dans l'alimentation ruminant. Economie agricole. Vol. (2): 25-27.

332-Todoric R., Savadinovic K. (1973). Koristenie surutke uprahu uproizvodnji jogurta i njegov uticaj na kiselost i konzistenciju. Mljekarstvo. Vol. 23(4): 78-86.

333-Toullec R., Thivend P., Mathieu C., Raynal C. (1971). Utilisation des protéines du lactosérum par le veau préruminant à l'engrais. Vidange Stomacale comparé du lait entier et deux laits de remplacement ne contenant que des protéines de lactosérum comme source de matières azotées. Annales de Biologie animale Biochimie Biophysique. Vol. 11(3): 435-453.

334-True L., Patel C. (1973). Recovered Ricotta cheese whey acceptable as snack dip base. Food Product Development. Vol. 7(4): 72-87.

335-True L., Williams L., Ousley T. (1972). Utilization of acid whey as a base for salad dressings. Culted Dairy Products Journal. Vol. 7(3):14-15.

336-Trystram G. (1991). Optimisation du procédé industrielle de fermentation continue de levures sur lactosérums. Ed E.N.S.I.A. Paris. 108 p.

337-Tvanchenko F.(1969). Utilisation de lait écrémé et de lactosérum dans le pain et les produits de cuisson. Kharchova Promyslovist. Vol.15(3): 37-41.

338-Urbanski Z. (1966). Fabrication de boissons à base de lait ou produits laitiers .Ed warzawa. Paris. 809p.

339-Vajdi M., Pereira R. (1973). The feasibility of wheyutilization for the production of various drinks. Modern Dairy. Vol. 52(3): 14-16.

340-Veissyere R. (1975). Technologie du lait. Ed Masson Rustique. Paris.63p.

341-Vernois G.(1970). Culture de levure fourragère sur lactosérum de fromagerie et son influence sur la pollution des eaux. Le lait. Vol. 50(493-494): 137-140.

342-Voevodina E. (1972). Alimentation des jeunes veaux avec du lactosérum séché et concentré. Zhivotnovodstvo. Vol. (7):76-77.

343-Volcani R., Ben Asher A. (1974). Growth response of pail fed heifers to an all-whey milk replacer. Journal of Dairy Science. Vol. 57(5): 567-575.

344-Volcani R., Gordin S., Niban Z. (1974). High in whey milk replacers for bull calves. Feedstuffs. Vol. 46(13): 24-25.

345-Volcani R., Holzer Z., Ben Asher A. (1973). Soy enriched whey as a milk replacer for pail fed calves. *Feedstuffs*. Vol. 46(17): 37-38.

346-Volpe J., Zabik M. (1975). A whey protein contributing to loaf volume depression. *Revue Cereal Chemistry*. vol. 52(2): 188-197.

347-Vrignaud Y. (1976). Lactose-Hefen. Die Methoden der Produktion und ihre Verwertung in der Ernährung. *Osterreichische Milchwirtschaft*. Vol.31(21): 405-410.

348-Walker Y. (1970). Le centriveau procédé permettant d'augmenter les rendements fromagers. *Congrès International de laiterie*. Vol. 39(3): 327-334.

349-Wallace H., Loosli J., Turk K. (1951). Substitutes for fluidmilk in feeding dairy calves. *Journal of Dairy Science*. Vol. 34(6): 256-264.

350-Warner R. (1969). Relative value of several protein sources in calf milk replacers. *Ed Nova*. U.S. 564p.

351-Wasserman A., Hopkins W., Porges N. (1959). Rapid conversion of whey to yeast. *Congrès International de Laiterie*. Vol. 15(3): 1241-1247.

352-Watkins D. (1968). Storing whey in pits for use in pig food. *New Zealand Journal of Agriculture*. Vol. 117(1): 70-73.

353-Webb B. (1966). Whey a low cost dairy product for use in candy. *Journal of Dairy Science*. Vol. 49(10): 1310-1313.

354-Webb B. (1973). Utilization of whey in foods and feeds. *Ed Usda*. Canada. 1254.

355-Weiner., Rhodes R. (1974). Fermentation of feedlot waste filtrate by fungi and streptomycetes. *Applied Microbiology*. Vol.28(5): 845-850.

356-Welch J., Nilsone K., Smith A. (1974). Acceptability of whey concentration mixtures for dairy cows. *Journal of Science*. Vol. 57(5): 632-634.

357-Wolff R., Castera-Rossignol A. (1987). Mise au point d'une méthode d'extraction de la matière grasse de fromage de type emmental. *Fr Corps Gras* Vol.(34): 123-132

358-Yoo B., Mattick J. (1969) utilization of acid and sweet cheese whey in wine production. *Journal of Dairy Science*. Vol.52 (6): 880-900.

359-Zalashko L., Oleshko V., Tsvigun V. (1973). Croissance et accumulation de biomasse de levure dans différents types de lactosérum. *Ed Otdel Mikrobiol*. Minsk.210p

360-Zbikowski Z., Kiswa J. (1974). Aspects biochimiques et technologiques de la fabrication et du stockage de lait humanisé en poudre. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczo Technicznej Olsztynie*. Vol. 41(137): 25- 46.

RESUME

Le lactosérum a été depuis longtemps considéré comme un sous-produit encombrant, sans intérêt, dont il fallait se débarrasser aux moindres frais, en particulier en rejetant dans les eaux résiduaires des usines laitières. Or, depuis quelques années, les recherches effectuées par la plupart des pays laitiers ont mis en évidence sa valeur nutritionnelle. Depuis le lactosérum a une grande importance nutritionnelle, car il contient les éléments de base riches en énergie et essentiels pour la croissance de l'organisme.

le lactosérum contient des protéines et des lipides et du lactose et des sels minéraux et vitamines est utilisé dans les fromages blancs, aux yaourts et toutes sortes de produits laitiers fermentés, aux fromages, aux crèmes glacées et aux pâtisseries. Une quantité considérable de lactosérum est utilisés dans l'alimentation animale. De plus, il est utilisé pour enrichir les aliments ou les régimes pauvres en protéines. En pathologie, il est utilisé pour l'alimentation des diabétiques, les personnes âgées et existe Intérêt médical du lactosérum sur l'utilisation de ces fractions protéique est efficaces contre les maladies du cœur (réduction du cholestérol et de la tension artérielle), les ulcères, les cancers, etc. En biotechnologique; le lactosérum par sa composition biochimique possède d'intéressantes propriétés comme milieu de fermentation pour plusieurs microorganismes assimilant le lactose comme source de carbone et d'énergie. Il s'agit des levures telles que *Saccharomyces cerevisiae*.

Mots clés : Lactosérum, Valorisation, Industrie, Composition biochimique.

ملخص

منذ فترة طويلة تعتبر مصل اللبن كمنتج ضخم، بدون فوائد، والتي كان لا بد من التخلص منها بأقل تكلفة، وبخاصة في مياه الصرف الصحي تصب مصانع الألبان. ومع ذلك، في السنوات الأخيرة، أظهرت الأبحاث التي أجريت من قبل معظم البلاد إن للألبان قيمته الغذائية. مصل اللبن له أهمية غذائية عالية لاحتوائه على عناصر أساسية غنية من الطاقة وضروري لنمو الجسم. مصل اللبن يحتوي على البروتينات والدهون واللاكتوز والأملاح المعدنية والفيتامينات ويستخدم في الجبن الأبيض، والزبادي وجميع أنواع المنتجات المخمرة الألبان والجبن، والآيس كريم إلى الحلويات. يتم استخدام كمية كبيرة من مصل اللبن في تغذية الحيوانات. وبالإضافة إلى ذلك، يتم استخدامه لتحسين الأطعمة أو الوجبات الغذائية منخفضة البروتين. في علم الأمراض، ويتم استخدامه لتغذية مرضى السكري، لمصلحة المسنين على مصل اللبن. استخدام هذه الكسور بروتين فعال ضد أمراض القلب (الحد من الكوليسترول وضغط الدم)، والقرحة، السرطان، الخ. الفائدة ومصل اللبن ا بتركيبته له خصائص مثيرة للاهتمام مثل المتوسطة التخمر لكثير من الكائنات الحية الدقيقة استيعاب اللاكتوز كمصدر للكربون والطاقة. هذه الخمائر مثل خميرة الخباز

الكلمات المفتاحية: مصل اللبن، التقييم، الصناعة، المكونات البيوكيميائية.