

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la
Recherche scientifique

Centre universitaire Abdelhak Ben Hamouda – jijel -
Institut des Sciences de la Nature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

المركز الجامعي عبد الحق بن حمودة – جيجل -
معهد العلوم الطبيعية

MEMOIRE

03/03

En vue de l'obtention du diplôme d'étude supérieur
en biologie moléculaire et cellulaire

Option: Biochimie

Thème

**Contribution a l'étude et a la
Valorisation du lactosérum**

Jury:

Mr. Hamames Nour Eddine	President
Mr. Kebieche Mohamed	Encadreur
Mr. Hendis Mohamed Essadek	Examineur

Présenté par:

Chikh Mohamed Azim
Abdelaziz yacine

Session Octobre 2001



REMERCIEMENTS

Il nous est agréable d'exprimer notre vif et profonde gratitude à toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de notre mémoire, et en particulier :

-Notre promoteur, Mr KEBIECHE qui nous à guidé et conseillé.

-Le personnel des différentes bibliothèques.

-Les Ingénieurs du laboratoire centrale de l'hôpital de Jijel et Taher.

-Le personnel du laboratoire d'hygiène et de la santé de la wilayat de jijel.

-Dr CHABOU El Badr, pour sa précieuse aide.

-A tous nos professeurs, pour nous avoir transmis leurs savoir, en particulier, Mr Anani, Mr Bounar, Mr Hamames, Dr Lahouel, Mr Handis, Mme Roula.

-A Mr Tilbi pour son orientation.

-A B-LAB (Bensouhali.N) pour sa précieuse aide.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à ma défunte mère (EL AZIZA), pour son long dévouement et pour tous les sacrifices qu'elle a fait pour moi, Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde affection et une éternelle reconnaissance.

A mes sœurs Sila, Tita et Nacia, pour leurs présence.

A mon père et sa femme, pour leurs aide et patience.

A toute ma famille, Chikfi et Amirouche et aux Allioua.

A tous mes amis(es), en particulier à yacine, Ghadrrou, Khlajib, Khlakib, Khlachir, Kiki, Sonia, Dalila, Latifa.

A Zino (Ilhème) pour son soutient morale.

AZIM

Sommaire

SOMMAIRE :

	Page
Introduction	1
Partie 1 : Etude bibliographique	
Chapitre n°1 : Généralité sur le lactosérum	
I- Généralités	2
1- Définition.....	2
2- Différents types de lactosérum.....	2
3- Caractéristiques.....	2
4- Facteurs influençant la composition du lactosérum	4
II- Composition du lactosérum	4
1- Les protéines	5
1.1-Caractéristiques et leurs intérêts.....	6
a/ Valeurs nutritionnelles.....	6
b/ Propriétés.....	6
b.1- Solubilité.....	6
b.2- Pouvoir gélifiant.....	6
b.3- Pouvoir moussant.....	7
b.4- Pouvoir émulsifiant.....	7
1.2-Les différentes fractions des protéines sériques.....	8
a/ Lactoprotéines majeurs.....	8
a.1- Bêta lactoglobuline.....	8
a.2- Alpha lactalbumine.....	9
a.3- Protéose-péptone.....	9
a.4- Immunoglobuline.....	9
a.5- Sérum albumine.....	9
b/ Lactoprotéines mineurs.....	10
b.1- Lactotransferrine.....	11
b.2- Lactolline.....	11
b.3- Protéines membranaires.....	11
2- Le lactose.....	11
3- Matières minérales.....	13
4- Vitamines.....	14
5- Matière grasse.....	14
Chapitre n°2 : Procédés d'extraction des constituants essentiels du lactosérum.	
1- Séparation de l'eau.....	15
1.1- Osmose inverse.....	15
1.2- Evaporation sous vide.....	15
1.3- Cristallisation.....	16
1.4- Séchage spray.....	16
1.5- Surconcentration.....	19
2- Séparation des protéines.....	20
2.1- Ultrafiltration.....	20
2.2- Echangeurs d'ions.....	21
2.3- Thermocoagulation.....	23
3- Séparation du lactose.....	25
3.1- Principe de la cristallisation industrielle du lactose.....	25

3.2- Inhibiteurs de cristallisation.....	27
3.3- Séparation et Séchage.....	27
4- Séparation des éléments minéraux.....	28
4.1- L'électrodialyse.....	28
4.2- L'échange d'ions.....	30

Chapitre n°3 : Différents domaines d'utilisation du lactosérum

I- Utilisation du lactosérum dans l'alimentation animale.....	32
1- Utilisation du lactosérum par le bétail laitier.....	32
2- Utilisation du lactosérum par le veau.....	32
3- Utilisation du lactosérum par la volaille.....	33
4- Utilisation du lactosérum par les ovins.....	33
II- Le lactosérum dans l'alimentation humaine.....	34
1- Le lactosérum dans l'alimentation infantile.....	34
2- Utilisation de lactosérum en pâtisserie et biscuiterie.....	35
3- Boisson de lactosérum.....	35
4- Utilisation du lactosérum dans les desserts glacés.....	35
5- Produits de fermentation à partir de lactosérum.....	36
6- Utilisation du lactosérum en fabrication fromagère.....	36
7- Utilisation du lactosérum en confiserie.....	36
III- Utilisation du lactosérum en industrie pharmaceutique.....	37
1- Production de vitamines.....	37
1.1- Riboflavine (vit B2).....	37
1.2- Cobalamine (vit B12).....	37
2- Production d'enzymes.....	38
2.1- B-galactosidase.....	38
2.2- Autres enzymes.....	38
3- Utilisation des protéines lactosériques.....	38

Partie 2 : Etude Pratique

I – Matériels et méthodes.....	40
1- Matériels.....	40
1-1 Prélèvement des échantillons.....	40
1-1-1 Matériels du prélèvement.....	40
1-1-2 Le lactosérum du lait de vache.....	40
1-1-3 Le lactosérum du lait recombinaison.....	40
1-2 Traitement du lactosérum.....	40
2- Méthodes.....	41
2-1 Etude physicochimique du lactosérum.....	41
2-1-1 Détermination de l'acidité.....	41
2-1-2 Matière sèche.....	41
2-1-3 Matière grasse.....	42
2-2 Etude biochimique.....	43
2-2-1 Dosage des protéines.....	43
2-2-2 Fractionnement électrophorétique des protéines.....	44
II- Résultats.....	46
1- Les Résultats physicochimique.....	46
1-1 Acidité du lactosérum.....	46

1-2 Matière sèche.....	46
1-3 Matière grasse.....	46
2- Les Résultats biochimique.....	47
2-1 Dosage des protéines.....	47
2-2 Fractionnement électrophorétique	48
III- Discussion.....	49
Conclusion.....	51

Liste des tableaux:

	Page
Tableau I : Composition moyenne, rapportée à 100g de matière sèche des 3 types de lactosérum.....	4
Tableau II : Moyenne des différents composants du lactosérum.....	5
Tableau III : Comparaison de la composition en acides aminés du sérum et le lait de vache.....	7
Tableau IV: Répartition des protéines sériques et leurs proportions.....	8
Tableau V: Propriétés des lactoprotéines majeures.....	10
Tableau VI: Les teneurs en certains minéraux des protéines du lactosérum et des caséines.....	13
Tableau VII: Importance vitaminique du lactosérum en comparaison avec les quantités nécessaires à un enfant de 10 kg.....	14
Tableau VIII: La composition des différents types de lactosérum en matière grasse.....	14
Tableau IX: Composition des concentrée protéiques obtenus avec différentes techniques de séparation à PH= 4.5, exprimée en g/100g d'extrait sec.....	23
Tableau X: Quelques caractéristiques techniques des deux type de lactose.....	27
Tableau XI: Composition comparée du lait humain et du lait de vache.....	34
Tableau XII: Taux d'utilisation du lactosérum pour biscuits.....	35
Tableau XIII: Résultats du dosage de l'acidité (degré Dornic).....	46
Tableau XIV: Matière sèche obtenue dans les types du lait (g/l).....	46
Tableau XV: Résultats du dosage de La matière grasse.....	47
Tableau XVI: Les D.O des échantillons à analyser.....	47
Tableau XVII: Teneurs des protéines total des échantillons à analyser représenter en g/l de lactosérum.....	47
Tableau XVIII: Les résultats du fractionnement électrophorétique (g/l).....	48
Tableau XIX: Résumé des résultats de l'expérimentation (g/l).....	48

Liste des figures :

	Page
<i>Figure 1</i> : Schéma de l'obtention des principaux types de lactosérums issus de la première transformation du lait.....	3
<i>Figure 2</i> : Schéma de fabrication de la poudre de lactosérum.....	18
<i>Figure 3</i> : Schéma de fabrication traditionnelle de la poudre du lactosérum.....	19
<i>Figure 4</i> : Schéma d'une ultrafiltration d'un lactosérum.....	21
<i>Figure 5</i> : Schéma de principe de l'échange d'ions (lactosérum acide).....	22
<i>Figure 6</i> : Schéma de principe de l'échange d'ions (lactosérum doux).....	22
<i>Figure 7</i> : Schéma d'une thermocoagulation des protéines du lactosérum.....	24
<i>Figure 8</i> : Schéma de fabrication du lactose spray à partir de perméat d'ultrafiltration.....	26
<i>Figure 9</i> : Schéma de fabrication classique du lactose à partir de lactosérum ou de perméat.....	26
<i>Figure 10</i> : Schéma du principe de l'électrodialyse.....	29
<i>Figure 11</i> : Schéma du principe de l'échange d'ions.....	31

Introduction

Introduction :

L'industrie fromagère produit à partir du lait un nombre très important de variétés de fromages ; mais le fromage ne renferme ni quantitativement, ni qualitativement tous les éléments apportés par le lait ; une partie de ces éléments se trouve dans le sous produit obtenu après la coagulation du lait qui est le lactosérum.

Dans les pays développés, le lactosérum n'est plus considéré comme un déchet polluant, mais plutôt comme une matière première noble, vu la valeur alimentaire existante dans certains éléments notamment le lactose, les protéines et les sels minéraux.

Malgré la situation nutritionnelle et économique actuelle, le secteur laitier en Algérie continue à rejeter d'énorme quantité de lactosérum qui varie entre 19000-21000 litres/jour (1). Ce sous-produit, qui représente 80 – 90% du lait servant à la fabrication fromagère, est toujours considéré comme un déchet inutile mais surtout encombrant.

De ce fait, il est grand temps de se retourner vers ce sous produit de l'industrie fromagère, dans le but d'exploiter ces grandes quantités de lactosérum rejetées dans la nature en pure perte, dans le but de réduire le déficit nutritionnel que l'on peut enregistrer en Algérie notamment en protéines animales. Cette démarche est surtout encouragée par plusieurs facteurs qui nous poussent à intensifier et poursuivre les recherches concernant le lactosérum, parmi ces facteurs on peut citer :

- L'accroissement d'année en année de la production laitière implique une augmentation de la production du lactosérum.
- L'évolution de la structure même des industries laitières a pour conséquence une augmentation des quantités de lait traitées et donc une augmentation des quantités du tonnage du lactosérum.
- La pollution des rivières, des nappes d'eaux superficielles ou profondes représente un grand danger pour l'environnement (2).

Notre travail consiste en premier lieu en l'étude théorique de la composition du lactosérum, des méthodes d'extraction de certains constituants lactosériques et leurs utilisations dans différents domaines. Dans un second temps nous procédons à l'étude pratique qui comprend l'étude physico-chimique (acidité, matière sèche, matière grasse) puis à l'étude biochimique qui implique, le dosage des protéines en utilisant la méthode de Biuret en lecture spectrophotométrique, et leurs fractionnements par l'électrophorèse.

Partie 1:
Etude bibliographique

Chapitre n°1 :
Généralité sur le lactosérum

I- GENERALITES :

1-DEFINITION:

Le lactosérum est un sous-produit de la transformation du lait en fromage, en caséine ou en dérivé de la caséine.

Le lactosérum retient environ 55% des éléments nutritifs du lait, on le considère comme constituant essentiel du lait formant la phase hydrique (après séparation du caillé) renfermant les substances ionisées en solution (sels, acides), moléculaires (lactose en particulier) et en vitamines hydrosolubles (surtout du groupe B), le lactosérum présente une teneur non négligeable en protéines de valeur nutritionnelle élevée, riche en Lysine et en Tryptophane et d'autre part bien équilibré en acides aminés soufrés grâce à sa teneur élevée en Cystéine (3).

2-DIFFERENTS TYPES DE LACTOSERUM :

Selon le type de coagulation on peut distinguer trois types de lactosérum :

- *Sérum doux* est obtenu par coagulation du lait par la présure, et provenant de la fabrication des fromages à pâtes pressées ou cuites et dont l'acidité est inférieure à 18°D*.

- *Sérum acides* est obtenu par coagulation lactique, et provenant de la fabrication des fromages à pâtes fraîches ou pâtes molles et dont l'acidité est supérieure à 18°D.

- *Sérum de caséine acide* est obtenu par coagulation d'un acide minéral, et provenant de la fabrication des caséines aux acides (4).

Les principaux types de lactosérum issus de la fabrication fromagère sont résumés dans la figure 1.

3-CARACTERISTIQUES :

Le lactosérum est caractérisé par :

- Son état physique liquide.
- Son PH : 6 à 6,5.
- Sa couleur vert jaunâtre, qui est due à la présence de la riboflavine (vitamine B2).
- Sa richesse en lactose, en protéines solubles, en sels minéraux et en vitamines hydrosolubles.
- Sa sensibilité à diverses fermentations (2).

*Le degré DORNIC (°D) correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de lait.

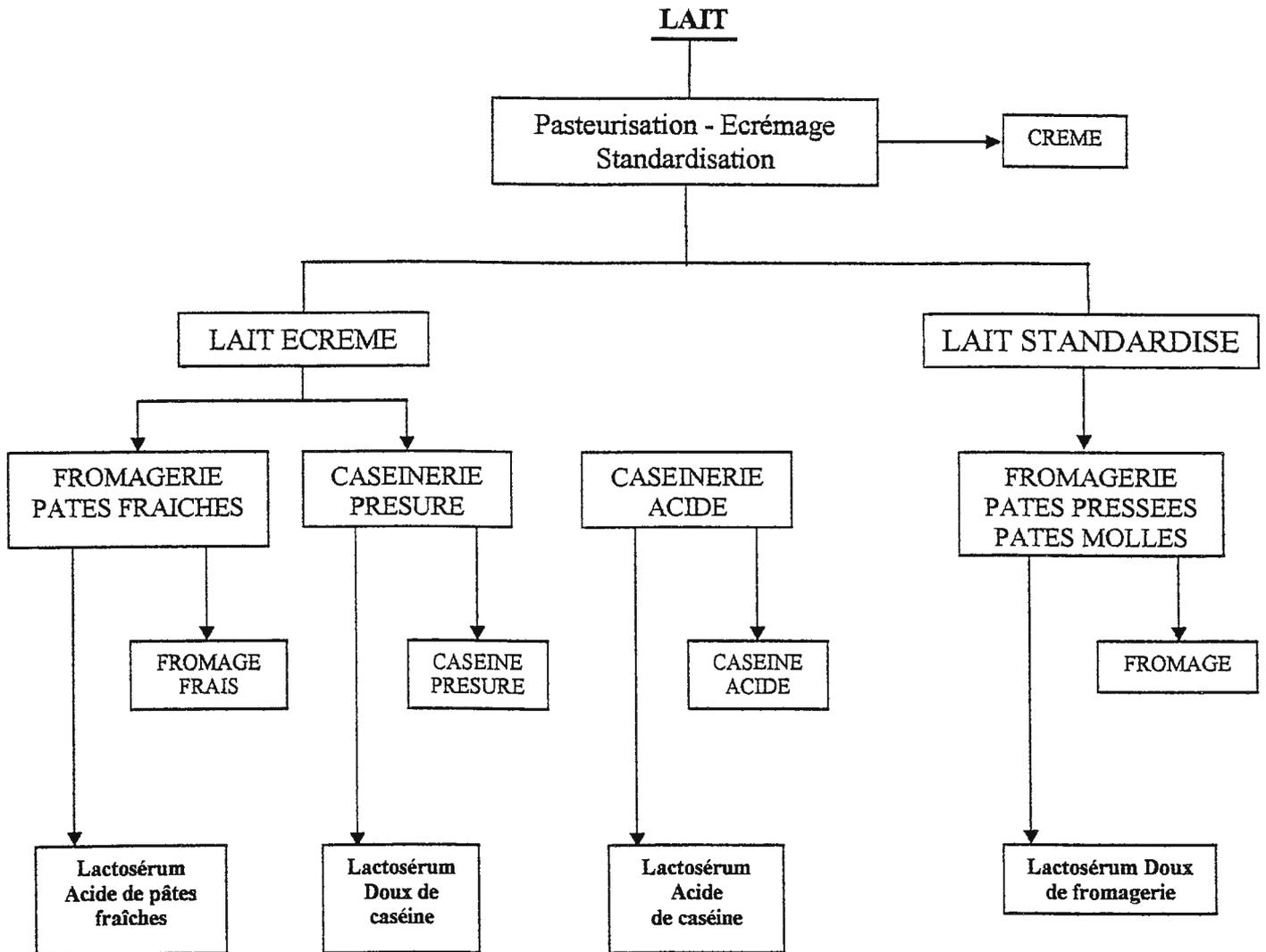


Figure 1 : Schéma de l'obtention des principaux types de lactosérums issus de la première transformation du lait (4).

4- FACTEURS INFLUENCANT LA COMPOSITION DU LACTOSERUM :

La composition du lactosérum n'est pas constante, elle varie en fonction de plusieurs facteurs, parmi eux on a :

- Les variations de la composition du lait se répercutent sur celle du lactosérum.
- Pour le lait de vache lui-même des variations sensibles qui peuvent être constatées dans les laits individuels, ces variations dépendent essentiellement de la race, de l'individu, de la période de lactation et de l'alimentation. Les variations de la composition du lait se répercute sur celle du lactosérum (2).
- Les différents traitements que l'on fait subir au lait pour le transformer en fromage ou en caséine, ont une influence importante et profonde sur la composition quantitative du lactosérum.

II- COMPOSITION DU LACTOSERUM :

La composition des lactosérums varie selon leur origine (4), les variations sont les suivantes :

- Matière sèche totale	50 à 65 g/l
- Lactose	39 à 48 g/l
- acide lactique	1 à 8 g/l
- matière grasse	0.5 à 3 g/l
- sels minéraux	3 à 6 g/l
- matières azotées	6 à 8 g/l

La composition des différents lactosérums selon leurs origines, est résumée dans le tableau I (4).

Tableau I: composition moyenne, rapportée à 100 g de matière sèche, des 3 types de lactosérum (4).

	LACTOSERUM		
	PRESURE	LACTIQUE	ACIDE MINERAL
Lactose	70 à 80	60 à 70	65 à 75
Protéines	9 à 13.5	9 à 13.5	9 à 13
Azote non protéique	0.6 à 0.8	0.5 à 0.7	0.3 à 0.5
Matières minérales	7.5 à 9	9 à 14	9 à 13
Matière grasse	0.5 à 0.7	0.5 à 0.7	0.5 à 0.7
Acidité (en %acide lactique)	0.05 à 0.11	0.5 à 0.8	0.4 à 0.5

La composition en général du lactosérum est résumé dans le tableau II (5).

Tableau II: moyenne des différents composants du lactosérum (5).

Composants	Unités	Lactosérum par kg
Matières sèches	g	61
Humidité	g	44
Lactose	g	48-42
Protéines	g	9
Graisses	g	2
Minéraux	g	5-7
Acide lactique	g	1-5
Calcium	g	0,5-1,0
Phosphor	g	0,5
Potassium	g	1,4
Sodium	g	0,45
Chlore	g	1,0
Magnésium	g	0,04-0,08
Zinc	mg	0,3-2,3
Fer	mg	0,9
Cuivre	mg	0,2
Manganèse	µg	6-26
Thiamine	mg	0,4
Riboflavin	mg	1,4
Pyridoxine	mg	0,5
Cobalamine	µg	1,5
Acide nicotinique	mg	2
Acide folique	µg	50
Acide pantothénique	mg	45
Acide ascorbique	mg	9
PH		6,0 - 4,5

1- LES PROTEINES :

Les protéines du lactosérum ou lactoprotéines, représentent 16% des matières azotées du lait. Il s'agit de protéines de valeur nutritive très élevée, leur équilibre en acides aminés leur assure une utilisation métabolique tout à fait remarquable pour couvrir les besoins de la croissance (5).

Certaines de ces protéines ont des propriétés spécifiques, par exemple ; la Lactotransferrine transporteuse de fer, l'immunoglobuline vectrice d'anticorps de nature diverse.

Les calories fournies par les lactoprotéines représentent 13 à 15% des calories totales contenues dans le lactosérum. Ceci montre le grand intérêt de leur extraction et leurs utilisation dans l'alimentation humaine (5).

1.1- Caractéristiques des lactoprotéines et leurs intérêt :

Les lactoprotéines restent solubles dans le sérum que le lait soit coagulé par acidification à $\text{PH}=4,6$ ou par voie enzymatique, par contre le chauffage du lait les dénature. Elles ont une très haute valeur nutritionnelle, vu la richesse en acides aminés essentiels notamment en lysine et tryptophane. Elles forment des solutions colloïdales parfaites avec de l'eau à des concentrations allant jusqu'à 25%. Elles sont plus agréable pour la consommation que les caséines et caséinates puisqu'elles sont neutre au niveau du goût .leur couleur peut varier de blanc à crème selon la nature du lactosérum utilisé (6). Elles ont des propriétés fonctionnelles très intéressantes :

- pouvoir émulsifiant en présence de matière grasse.
- Pouvoir gélifiant par coagulation a la chaleur.
- Pouvoir moussant.

Ces caractéristiques et propriétés seront élucidées plus loin.

a- Valeur nutritionnelle :

La valeur nutritionnelle d'une protéine se juge en priorité par la comparaison de sa composition en acides aminés dits indispensables à celle d'une protéine choisie comme référence (par exemple lait de vache vu sa large consommation).

Plusieurs études ont montré que la valeur biologique des lactoprotéines est assez importante, vu leur solubilité qui leur permet de franchir l'estomac ou la caillette sans coagulation, donc elles ont une bonne digestibilité et sont plus disponibles (rapidement) par rapport à la caséine (6).

Le tableau III (dans la page qui suit) donne, la composition du lactosérum en acides aminés en comparaison avec celle du lait de vache

En effet, les lactoprotéines peuvent couvrir les besoins de croissance, en acides aminés en quantité suffisante, et même excédentaire en lysine, par contre, elles sont moins adoptées pour l'adulte où le besoin en méthionine est presque le double du contenu dans les protéines du lait .Ceci montre l'intérêt de récupérer ces protéines a grande valeur alimentaire et les destiner a l'alimentation humaine et animale.

b- Propriétés :

On distingue quatre principales propriétés des protéines lactosériques à savoir :

b.1- La solubilité :

Cette propriété est utile, en particulier pour l'intérêt qu'elle représente dans le cas de son utilisation dans les boissons diététiques (par exemple).

b.2- Le pouvoir gélifiant :

Les lactoprotéines confèrent en présence d'agents favorisants d'excellents gels pouvant être utilisés dans certains desserts comme le flan ou les crèmes.

Les études faites sur la poudre du lactosérum, ont montrés que celle-ci devait contenir un taux de protéines d'au moins 35%.

La gélification des lactoprotéines dépend de leur provenance :

- les lactoprotéines issues d'une ultrafiltration auraient un pouvoir gélifiant inférieur à celui du blanc d'œuf.
- les lactoprotéines obtenues par échange d'ions, auraient un pouvoir gélifiant comparable à celui du blanc d'œuf (6).

b.3- Le pouvoir moussant :

Selon les procédés appliqués sur les lactoprotéines (ultrafiltration, échanges d'ions sphérosil). Ces dernières peuvent avoir un pouvoir moussant plus au moins satisfaisant vis-à-vis a celui du blanc d'œuf, il apparaît possible que le remplacement du blanc d'œuf par les lactoprotéines dépend du degré de pureté de ces dernières (6).

b.4- Le pouvoir émulsifiant (propriétés émulsifiantes) :

Ces propriétés sont directement liées à la solubilité des protéines dans l'eau, et sont définies par la capacité émulsifiante (quantité d'huile pouvant être émulsifiée par unité de protéine avant inversion de phase).

Le tableau III (attaché au paragraphe « valeur nutritionnelle ») donne, la composition du lactosérum en acides aminés en comparaison avec celle du lait de vache (en g pour 100g de protéines).

Tableau III: Comparaison de la composition en acides aminés du sérum et le lait de vache (6). (les acides aminés indispensables sont écrit en gras).

Acides Amines	Lactosérum	Lait de vache
Acide Aspartique	9,0	7,8
Thréonine	5,9	4,6
Serine	4,6	5,75
Acide Glutamique	15,7	22,2
Proline	5,5	10,1
Glycine	1,95	2
Alanine	4,2	3,5
Valine	5,5	7,15
Isoleucine	5,6	5,75
Leucine	8,7	10
Tyrosine	2,65	5,1
Phenylalanine	3,35	5,35
Méthionine	1,75	2,6
Cysteine	1,5	0,9
Lysine	8,1	8,5
Histidine	1,7	2,9
Arginine	2,2	3,55
Tryptophane	1,4	1,4

1.2-Les différentes fractions des protéines sériques :

Le tableau ci dessous rassemble l'ensemble des séroprotéines.

Tableau IV: Répartition des protéines sériques et leurs proportions.
(La teneur est exprimée en %) (7).

Les Séroprotéines 20% des protéines totales du lait			
Séroprotéines majeurs > 99% des Séroprotéines		Séroprotéines mineurs < 1% des Séroprotéines	
Constituants	Taux	Constituants	Taux
- Bêta lactoglobulines	50%	- Lactoférines	Faible
- Alpha lactalbumines	22%	- Lactolines	
- Immunoglobulines	12%	- Protéines	
- Protéoses-péptones	10%	membranaires	
- Sérum-albumine	5%		

a- Les Lactoprotéines majeurs :

a.1- La Bêta lactoglobuline :

Elle représente environ 70% de la fraction albumine (3 g/l), elle est constituée d'une seul chaîne peptidique de 162 résidus, dont le PM est d'environ 18000, comportant deux ponts disulfures et un groupement thiol libre, dont la présence a des conséquences importantes en technologie laitière.

Des études ont montré que les ponts disulfures sont impliqués dans l'élaboration de la structure du gel, soit liaison entre groupe -SH, soit par échange de liaison -S, le PH joue aussi un rôle important.

La solubilité de la bêta lactoglobuline dans l'eau pure est nulle, mais a une certaine solubilité en présence de matières salines (elle est soluble dans une solution demi-saturée de sulfate d'ammonium)

Elle a un rôle nutritionnel par sa richesse en acides aminés essentiels, en particulier les acides aminés soufrés (cystéine et méthionine) (8).

a.2- Alpha lactalbumine :

Elle représente environ 25% de la fraction albumine. Elle se présente en une chaîne peptidique unique, qui est constituée de 123 résidus comportant quatre ponts disulfures, ayant un PM de 16300, et très soluble dans l'eau à PH= 6 , mais beaucoup plus soluble à PH= 4 à 4,6.

Sa structure est très voisine du lysozyme bien que les deux protéines ne présentent pas la même spécificité.

C'est une métalloprotéine, parcequ'elle renferme un atome de calcium par molécule. Le rôle biologique (enzymatique) de cette protéine a été récemment découvert et qui intervient dans la synthèse du lactose qui dépend de trois enzymes dont l'une est la lactose synthétase qui est constituée de deux sous-unités protéiques A et B ; la protéine B n'est autre que l'alpha-lactalbumine et ce en activant la galactosyl-transférase qui lie le galactose au glucose.

Sa dénaturation irréversible est obtenue à plus haute température que pour la Bêta lactoglobuline, car l'alpha lactalbumine possède quatre ponts disulfures et aucun groupe thiol libre. Si un groupe thiol (-SH) est libéré d'une autre molécule (par exemple la bêta lactoglobuline) il réagira avec un pont S-S, il y aura association (complexe mixte, bêta latoglobuline-alpha lactalbumine).

Elle contient une quantité importante de tryptophane, de plus qu'elle n'existe que chez les mammifères (8).

a.3- Protéoses-péptones :

Ce sont des protéines issus de la caséine Bêta après une protéolyse par la plasmine, elle ne sont pas précipitées par chauffage à 95°C pendant 30mn suivi d'une acidification a PH = 4,6, elle représente 10% des protéines du lactosérum, elle est très hétérogène et n'est pas encore bien définie. Elle renferme principalement 4 composants dénommés composants **3,5,8** rapide, **8** lent.

Le composant **3** se trouve exclusivement dans le lactosérum, il est riche en hexose 7%, en hexamine 6%, en acide sialique 3% mais pauvre en phosphore 0,5%. Les trois autres sont moins riches en glucides et en acide sialique, mais plus riche en phosphore, ils se trouvent à la fois dans le lactosérum et les micelles (7).

a.4- Immunoglobulines :

Ce sont des protéines à PM très élevé supérieur à 150000, représente de 10 à 12% des protéines solubles. Elles sont d'origine sanguine et se présente en faibles proportions dans la fraction soluble du lait (lactosérum), ce sont des anticorps qui peuvent se fixer sur les antigènes (microbes ou protéines) en formant un complexe insoluble notamment les IgG (80% des protéines solubles du colostrum) et IgM (7).

a.5- Sérum albumine :

C'est une grosse protéine, d'origine sanguine, de faible proportion dans le lactosérum, de PM= 65000, elle comporte dans sa molécule un groupement thiol et 17 ponts disulfures, elle représente environ 5 à 6% de la fraction albumine (7).

Les propriétés des lactoprotéines majeurs sont résumées dans le tableau V qui suit.

Tableau V: propriétés des lactoprotéines majeures (7).

Les séroprotéines	Variants ou fractions	Masse molaire	In solubilisation par Chauffage
Bêta lactoglobuline	- 5 variants génétiques (A,B,C,D,Dr) - 162 AA (27 acides, 20 basique)	18000	++++ surtout le variant B
Alpha lactalbumine	- 2 variants A et B - 123 AA (17 acides, 15 basique).	14200	+++
Protéoses-peptones	- Fragments de la caséine bêta 1 - 28 29-105 et 29-107 1-105 et 1-107 - thermostables	4000 à 40000	
Immunoglobuline	- IgG1 (1,1 à 3, 3) - IgG2(0,2 à 0,7) - IgA (0,2 à 0,7) - IgM (0,1 à 0,7) - FSC (0,2 à 0,3) très grosses glycoprotéines, facteurs immunitaires thermosensibles	162000 152000 400000(dimère) 950000(pentamère) 80000	++++
Sérum-albumine	- D'origine sanguine, thermosensible. 542 acides aminés (136 acides,65 basiques).		

b- Les LACTOPROTEINES MINEURS :

Elles se trouvent en quantité minime (moins de 5% des protéines du lactosérum), parmi elles on note la lactotransferrine ou protéine rouge, la lactolline, et les protéines membranaires des globules gras.

b.1- Lactotransferrine :

C'est une molécule à chaîne polypeptidique unique d'un PM = 86000, elle contient 7% de glucides, 5% de cystine, 0,1% de fer. Elle permet le transport d'ions inorganique, parmi ces ions, elle peut fixer réversiblement le fer et acquérir une coloration rose. La fixation du fer sur la protéine est en fonction du PH et de la présence d'ions carboniques (7).

b.2- Lactolline :

C'est une protéine de PM = 43000, elle ne contient pas de métaux, très pauvre en phosphore et en glucides (7).

b.3- Les protéines membranaires :

Ce sont des protéines qui forment des complexes très solubles avec les lipides membranaires.

Elles peuvent être isolées à partir du babeurre obtenu par barattage d'une crème levée. La présence des glucides (3 à 4%) et de phosphore (0,6 à 0,7) en font des glycoprotéines phosphorées partiellement solubles dans l'acide trichloroacétique à 12%.

2- LE LACTOSE :

Le lactose est le constituant le plus abondant du lait, il représente l'essentiel de la matière sèche du sérum (environ 70 %). C'est un sucre réducteur, de formule $C_{12}H_{22}O_{11}$. Il est formé par l'union d'une molécule de galactose et d'une molécule de glucose. Dans certains sérums, le lactose est partiellement hydraté (0 à 6%).

Le lactose est caractérisé par un point de fusion bas 202°C pour la forme monohydraté, et 252°C pour la forme amorphe. Son pouvoir sucrant est faible par rapport à celui du saccharose, à titre de comparaison le fructose a l'indice 170, le saccharose a l'indice 100, le glucose 75 et lactose 17 seulement. Il est difficile à hydrolyser par voie chimique alors que cette hydrolyse est très rapide et simple en même temps par voie enzymatique (en utilisant la bêta-galactosidase ou la lactase) (5).

DUPUIS et FOURNIER (cité par VRIGNAUD (8), 1979) ont démontré en 1960 que le lactose était un glucide de structure, cette caractéristique joue un rôle capital et irremplaçable pour la fixation du calcium, donc pour la formation du squelette, le lactose joue un rôle important dans la formation des muscles lisses de l'intestin et de la peau. Le galactose issu du lactose après clivage au niveau de l'intestin grêle, est indispensable, car il rentre dans la formation des cellules cérébrales et du système nerveux. L'acidité du tube digestif au niveau de l'intestin grêle constitue une barrière aux infections intestinales, cette acidité est occasionnée par l'action des ferments lactiques sur le lactose, qui est dédoublé en deux molécules d'acide lactique.

Il apparaît donc bien clair que par les trois caractéristiques spécifiques citées ci-dessus, aucun autre glucide ne peut remplacer le lactose pendant la période d'allaitement.

En outre le lactose est un grand fixateur d'arômes même volatiles, il en fixe deux fois plus que le saccharose. Le lactose peut subir un certain nombre de réactions autres que l'hydrolyse, il est susceptible d'être oxydé ou réduit. C'est un sucre extrêmement réactif dans la réaction de MAILLARD, quand il est associé aux protéines du sérum. Le mécanisme de cette réaction est encore imparfaitement connu (9).

Le lactose peut se présenter sous deux formes :

- forme alpha monohydratée, qui est la forme commerciale normale, et dont les propriétés sont les suivantes :

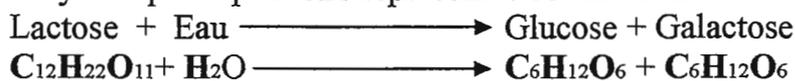
- pouvoir rotatoire de + 89°
- solubilité pour 100 ml d'eau à 20°C : 8g ;

- forme bêta anhydre, dont les propriétés sont les suivantes :

- pouvoir rotatoire de + 35°
- solubilité pour 100 ml d'eau à 20°C : 55g. (9).

Quand on dissout du lactose ordinaire (alpha), dans l'eau, il s'établit un équilibre entre les formes alpha et bêta, c'est le phénomène de la mutarotation qui est à l'origine des caractères particuliers de la solubilité du lactose (7).

L'hydrolyse du lactose peut se faire selon deux voies possibles ; chimique ou enzymatique et peut être représentée comme suit :



Cette opération est réalisée actuellement industriellement de trois façons :

- Soit par l'enzyme libre, principalement la lactase issue de *Saccharomyces fragilis* ou *Aspergillus niger*.
- Soit par une enzyme fixée sur un support inerte (procédé Corning) ;
- Soit par catalyse sur résine échangeuse d'ions (procédé Applexion-prospérité Fermière)

Cette hydrolyse connaît un développement principalement en alimentation animale, avec la mise au point d'un aliment liquide complémentaire pour veaux de boucherie (4).

En alimentation humaine, une étude toxicologique est en cours pour démontrer l'innocuité du galactose ; car certains individus présentent une intolérance au lactose, à cause d'une déficience en lactase intestinale. Dans ce cas, l'absorption de lactose doit se faire progressivement ; cela permet l'implantation d'une flore intestinale qui prend le relais de la lactase et qui permet de métaboliser le lactose.

Une autre anomalie (moins fréquente heureusement) est l'intolérance spécifique au galactose qui peut entraîner des cataractes et des troubles nerveux ce qui nous montre l'importance du galactose à l'égard du système nerveux, tout en sachant que le galactose est le constituant essentiel des cérébrosides composant le tissu nerveux.

3- MATIERES MINERALES :

Toutes les matières minérales en solution dans le lait se retrouvent dans le lactosérum. Dans 100 g de matières sèches du sérum on trouve différents éléments minéraux dont la teneur moyenne est la suivante (5):

- calcium 500 à 725 mg
- sodium 650 à 950 mg
- potassium 2400 à 2900 mg
- magnésium 80 à 160 mg
- phosphore 700 à 800 mg
- chlore 1500 à 1800 mg

Dans les sérum, les matières minérales se trouvent sous forme de sels : chlorures, sulfates, citrates, bicarbonates. Il faut ajouter la présence de quelques métaux à l'état de traces. Les chiffres suivants indiquent les teneurs du sérum en quelques métaux (5):

- Manganèse 10 mg/100 g sérum brut
- Fer 1 mg/100 g sérum brut
- Soufre 10 mg/100 g sérum brut

Il ne convient pas d'accorder une trop grande importance à ces résultats. En effet, certaines sources de contamination, telles que les récipients de stockage du sérum, peuvent modifier de façon notable la teneur en oligo-éléments.

La teneur relativement élevée matières salines constitue plutôt un inconvénient, qui limite dans certains cas la consommation des produits à l'état brut.

Les protéines du lactosérum et des caséines renferment une certaine quantité de **Na**, **Ca**, **K** et **P** qui sont rassemblés dans le *tableau 6* suivant.

Tableau VI: les teneurs en certains minéraux des protéines du lactosérum et des caséines (3).

Teneur en minéraux (g/kg de poudre)

	Ca	Na	K	P mg/100g de peptide
Protéines du sérum	2.85	7.60	7.75	-
Protéines des caséines	0.60	12.50	14.50	0.60

Sur le plan nutritionnel, certains éléments salins jouent un rôle primordial ou essentiel, notamment le cas du phosphore (p) et du calcium (Ca) où le lait représente une excellente source (6).

4- VITAMINES :

Les vitamines du sérum sont en majorité des vitamines hydrosolubles puisque la matière grasse a été totalement éliminée, entraînant avec elle les vitamines liposolubles.

Parmi les vitamines présentes, on note des quantités importantes de riboflavine (B2), d'acide pantothénique, de thiamine (B1) et de la pyroxidine (B6) (5).

Tableau VII: Importance vitaminique du lactosérum en comparaison avec les quantités nécessaires à un enfant de 10 kg (5).

Vitamines	Sérum (mg/kg de produit)	Quantité nécessaire a un enfant de 10 kg (mg/jour)
Thiamine (B1)	4	0.4
Riboflavine (B2)	43	0.6
Vitamine B5	12.5	-
Pyridoxine (B6)	5.3	0.5
Cobalamine (B12)	0.159	-
Acide pantothénique	45	5
Acide folique	0.03	0.1
Acide nicotinanique	8	0.6
Biotine	116	-

5- MATIERES GRASSES :

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

La matière grasse représenté par des globules gras de 1 à 8 micromètres de diamètre en émulsion dans la phase aqueuse et qui est constituée de 98.5 % de glycérides, 1 % de phospholipides et 0.5 % de substances liposolubles (10).

La composition lipidique des différents lactosérums est résumée dans le tableau VIII qui suit.

Tableau VIII: La composition des différents types de lactosérum en matière grasse (lactosérum du lait de vache) (5).

Type de caillé	Lactosérum présuré	Lactosérum Mixte	Lactosérum lactique
Matières grasses (g/l)	5.06	3.38	0.85



Chapitre n°2 :
Procédés d'extraction des
constituants essentiels du
lactosérum.

La mise en valeur du lactosérum passe par la séparation des ses différents constituants à savoir : l'eau, 15 à 20 kg d'eau accompagnent 1 kg de matière sèche de lactosérum (11). Cette constatation nous laisse imaginer l'importance économique de ce traitement.

La seconde séparation importante est l'extraction du lactose. Ce sucre constitue 75% de la matière sèche du lactosérum (9).

Quantitativement, l'extraction des protéines vient au troisième rang. Ces protéines représentent le $1/10^{\text{ème}}$ de la matière sèche (0.6 à 0.7 % du lactosérum) (11), sachant que ces protéines soient d'une très haute valeur biologique et nutritionnelle, leurs extraction ne se justifie donc que si elles sont bien valorisées (voir le Tableau III).

Les minéraux résiduels ne présentent pas d'intérêt particulier. Il s'agit principalement de chlorures, un peu de phosphates, surtout du potassium et dans une moindre mesure de calcium et de sodium (11).

1- Séparation de l'eau :

1.1- L'Osmose inverse :

Les installations d'osmose inverse actuellement commercialisées permettent d'obtenir du lactosérum un extrait sec de 20%. C'est-à-dire que si l'on part d'un lactosérum à 5% de matière sèche, il pourra être concentré quatre fois par osmose inverse. Dans ce cas, 79% de l'eau aura été éliminée par osmose inverse (3).

Les intérêts de l'osmose inverse :

- Economies d'énergie : pas de changement de l'état de l'eau ; l'utilisation uniquement de l'énergie électrique pour le fonctionnement des pompes ;
- Travail à basse température ; donc, peu de modifications des propriétés des protéines ;
- Investissement plus faible que pour un évaporateur ;
- Mise en régime plus simple que pour un évaporateur ;
- La plus grande partie de l'eau peut être éliminée de cette façon (80% environ)
- Le processus de concentration en deux étapes est intéressant pour mieux maîtriser la concentration finale.

Les inconvénients de l'osmose inverse :

- Les membranes, dont la durée de vie est limitée et qui fait monter le coût de l'exploitation ;
- L'évaporateur sous vide reste nécessaire pour atteindre les concentrations plus élevées utiles au séchage (3).

1.2- L'Evaporation sous vide :

Actuellement, la plupart des évaporateurs sous vide mis sur le marché de l'industrie laitière, sont à recompression mécanique des vapeurs. C'est-à-dire que par rapport à un évaporateur classique comprenant :

- Plusieurs effets successifs ;

- Un ou plusieurs thermocompresseurs permettant de recomprimer thermiquement les vapeurs molles des derniers effets ;
- Un condenseur pour absorber les vapeurs molles inutilisées ;

On remplace le condenseur par une turbine qui, en recomprimant la vapeur molle excédentaire, lui remonte son niveau enthalpique. Dans ce cas, on n'utilise donc plus de vapeur :

- Qu'au moment du démarrage ;
- Qu'en tête d'évaporateur pour la pasteurisation.

Cette dernière n'a de but que de compenser les pertes par convection ; et parfois, si la température de pasteurisation est trop élevée, on a un excès d'énergie qu'il faut éliminer par le condenseur auxiliaire.

En pratique tous se passe comme si la seule énergie utilisée était l'énergie électrique (3).

1.3- La Cristallisation :

A la sortie de l'évaporateur, le lactosérum concentré ne peut être séché tel quel. Il contient en effet une grande quantité de lactose sous forme amorphe, qui est très hygroscopique et qui risque de donner une poudre collante et donc d'entraîner des phénomènes de collage dans la tour de séchage. Pour éviter ce phénomène, on utilise la faible solubilité du lactose, qui une fois cristallisée sous forme d'alpha lactose monohydrate, n'est plus hygroscopique du tout. Pour faciliter cette cristallisation, on "ensemence" le concentré de lactosérum avec 0.5 à 1% de lactose en poudre. Chaque grain de poudre va servir d'amorce à la cristallisation ; la taille des cristaux sera fine et la vitesse de cristallisation sera accélérée.

Une cristallisation spontanée présente le double inconvénient d'être lent et de donner des cristaux gros et durs qui peuvent endommager et entraîner des usures prématurées des stators des pompes positives et des orifices des turbines d'atomisation.

On peut suivre la cristallisation par réfractométrie : l'extrait sec mesuré au réfractomètre n'est fonction que des substances en solution dans le concentré. Donc, plus la cristallisation sera poussée, plus l'extrait sec au réfractomètre sera faible.

En pratique pour conduire une bonne cristallisation, on laisse refroidir lentement le lactosérum concentré pour avoir le meilleur compromis entre la vitesse de cristallisation qui est proportionnelle à la température et le taux de cristallisation qui lui est inversement proportionnel à la température.

La cristallisation du sérum doux est réalisée à 90% après une durée de 8 heures.

En fait, selon la composition du lactosérum, la cristallisation peut être ralentie ou partiellement inhibée par les minéraux, les protéines et l'acide lactique (3).

1.4- Le Séchage spray :

Une fois cristallisé, le concentré peut être atomisé. Le réglage de la tour doit se faire pour éviter les phénomènes de collage, très pénibles pour les conducteurs et très coûteux pour l'exploitation. Même si économiquement on recherche l'humidité la plus élevée possible (par exemple 5%), techniquement, on recherche une humidité plus faible (2.5 à 3%).

Il faut en effet raisonner sur l'humidité libre de la poudre contenant le lactose amorphe ; le lactose cristallisé est inerte et contient de toute façon, 5% d'eau de constitution qui n'apparaît pas à l'analyse par dessiccation à l'étuve à 105°C. il faut éviter à tout prix d'avoir une température d'air de sortie trop élevée sinon, on atteint le point de ramollissement du lactose (vers 100°C). En effet, le lactose alpha-monohydrate se transforme en bêta lactose amorphe et la poudre a tendance à s'agglomérer sous forme d'une " guimauve " particulièrement gênante : collage aux parois, collage dans les cyclones, blocs de poudre agglomérés.

Etant donné que l'humidité de la poudre est réglée par son activité de l'eau, donc par l'équilibre avec l'air de sortie ambiant, les facteurs positifs seront les suivants :

- baisser la température d'entrée ;
- diminuer l'humidité de l'air d'entrée, donc éviter les brûlures direct au gaz (qui introduisent l'eau de combustion) ;
- augmenter l'extrait sec du concentré à atomiser, la limite est la viscosité ;
- augmenter la durée du séjour dans la chambre ;
- utiliser le système à séchage deux temps, où l'on obtient une poudre plus humide en bas de chambre, mais où l'on poursuit le séchage dans un lit fluidisé. Dans ce cas on résous du même coup les points 3 et 4 ci-dessus.

Le séchage d'un lactosérum acide en tour spray est nettement plus difficile que le séchage du lactosérum doux ; ceci est dû au caractère très hygroscopique de l'acide lactique ou des chlorures. Des améliorations peuvent être apportées aux tours de séchage classique par le montage de " Wall Sweep " constitué de déflecteurs qui permettent de balayer la paroi par de l'air froid ; on crée ainsi une paroi artificielle constituée par un coussin d'air. On évite alors le contact entre les grains de poudre et la paroi.

Les derniers développements dans les techniques de séchage, notamment avec les tours multiple effet, permettent de sécher beaucoup plus facilement les produits " sirupeux " et donc les lactosérums acides (7).

La figure 2 (ci dessous) résume les différents étapes de transformation que subi le lactosérum avec deux chemins possibles, le premier ; concentration sous vide (évaporation sous vide), et le second par osmose inverse. Ces transformation primaires permettes d'effectuer la cristallisation qui est suivi par le séchage spray qui permet d'obtenir une poudre de lactosérum a faible niveau d'humidité.

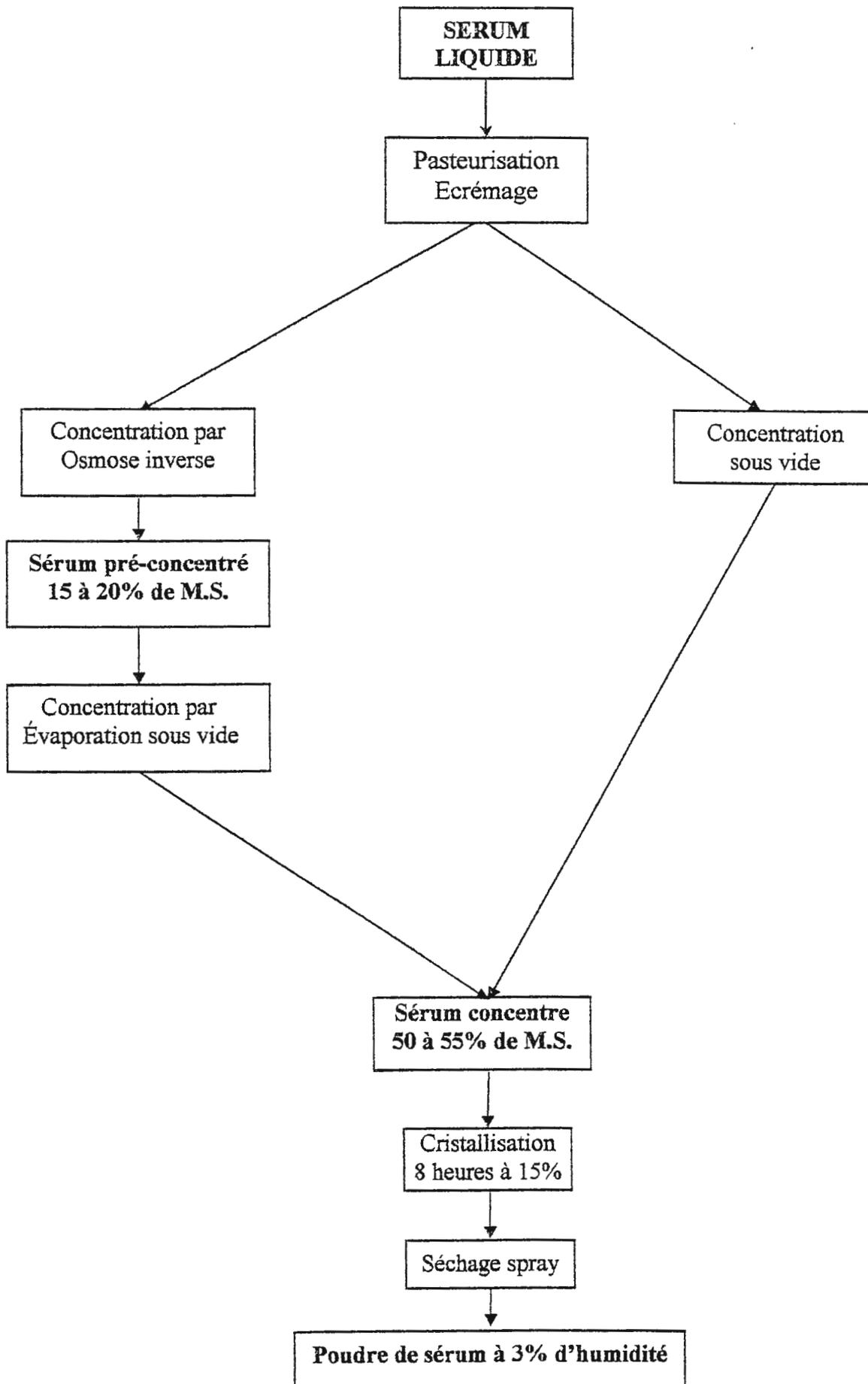


Figure 2: Schéma de fabrication de la poudre de lactosérum (3).

1.5- La Surconcentration " cristallisation en continu " :

- Présentation :

Le surconcentrateur-cristalliseur continu est un matériel mettant en œuvre la technologie de cristallisation continue par concentration sous vide. Cet appareil s'insère entre les évaporateurs et les sécheurs " spray ". Son objectif est de diminuer les quantités d'eau évaporées dans ces derniers.

Cette technologie de surconcentration et cristallisation en continu a été mise au point et éprouvée depuis de nombreuses années dans l'industrie sucrière. La similitude des opérations d'évaporation, cristallisation et séchage de l'industrie laitière avec celles de l'industrie sucrière est à l'origine de ce transfert de technologie permettant :

- Une plus grande maîtrise de la cristallisation du lactose ;
- Un meilleur rendement de fabrication de lactose ;
- Une diminution sensible des dépenses énergétiques de séchage pour la production de poudre de lactosérum.

Le surconcentrateur-cristalliseur est un appareil d'évaporation cylindrique, horizontal, dont la partie inférieure est équipée d'un faisceau tubulaire d'échange thermique. Des cloisons transversales délimitent des compartiments traversés successivement par le produit. A l'inverse d'un évaporateur classique, la vapeur circule dans les tubes et le produit à l'extérieur de ces tubes.

- Applications :

Suivant les essais effectués avec le surconcentrateur-cristalliseur continu pilot, les applications de cet appareil sont les suivantes :

- Surconcentration du lactosérum a extrait sec de l'ordre de 70% ;
- Surconcentration du perméat a extrait sec d'environ 75 % et cristallisation du lactose;
- Surconcentration du perméat (deminéralisé) à lactose hydrolysé à un taux de matière sèche d'environ 85 à 90%.

La surconcentration est représentée par la *figure 3*.

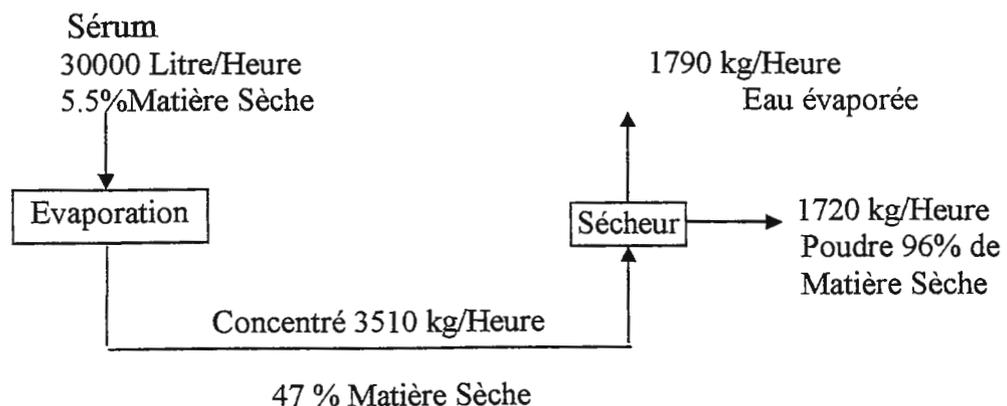


Figure 3: Schéma de fabrication traditionnelle de la poudre du lactosérum (3).

- Avantages :

Les applications suscitées ayant plusieurs intérêts parmi d'autres, on peut citer :

- Economie d'énergie dans la fabrication de poudre de lactosérum ;
- La séparation des cristaux de lactose des eaux mères par essorage offre la possibilité aux utilisateurs de faire varier la formulation des poudres ;
- L'adjonction d'un surconcentrateur-cristallisateur continu dans une installation existante permet, sans modification du sécheur, d'augmenter la capacité de production de l'ensemble (3).
- Augmentation de rendement dans la production de lactose cristallisé : le surconcentrateur-cristallisateur continu permet de mieux maîtriser les phénomènes de la cristallisation, ce qui se traduit, ainsi qu'on l'a indiqué précédemment, par une faible granulométrie des cristaux, constante avec un coefficient de variation relativement faible. Les pertes sous forme de fine (microcristaux issus de faux grains) sont donc diminuées.

Ce gain de rendement est encore accru par le fait que les eaux-mères provenant de l'essorage des cristaux de lactose sont à saturation et à une température d'environ 45/50°C, ce qui permet la recristallisation du lactose par refroidissement, augmentant ainsi le taux de récupération.

2- Séparation des protéines :

Les protéines du lactosérum présentent un intérêt nutritionnel important. Leur composition en acides aminés essentiels est très riche, le problème va être de les isoler, étant donné qu'elles sont en très faibles quantités dans le lactosérum (3).

Mis à part les procédés d'acidification et de chauffage qui ont principalement pour but d'augmenter le rendement fromager en le réintroduisant dans le lait de fabrication où elles vont jouer le même rôle que la caséine (11).

On peut distinguer 2 principaux procédés de séparation des protéines de sérum :

- L'ultrafiltration.
- Les échangeurs d'ions.

2.1- Ultrafiltration :

L'ultrafiltration est le résultat des développements industriels des procédés de séparation par membranes semi-perméables et qui permet de retenir les molécules d'un poids moléculaire de l'ordre de 5000, sous une pression relativement faible : de 1 à 7 bars.

L'ultrafiltrat va contenir :

- Les solides en suspension ;
- Les colloïdes ;
- Les matériaux à haut poids moléculaire en solution. L'eau et les solutés à bas poids moléculaire passent au travers de la membrane.

Dans le cas du lactosérum (figure 4), en plus de la phase aqueuse, le retenat va contenir :

- La totalité de la matière grasse ;
- Les protéines à haut poids moléculaire ;
- Une partie des sels minéraux.

Le perméat va contenir l'eau, les sels minéraux, les matières azotées non protéiques et le lactose. Ce qui va caractériser le retenat sera sa teneur en protéines dans la matière sèche, puisque ce retenat sera ensuite séché en poudre, une poudre qui peut contenir jusqu'à 80% de protéines à faible degré de dénaturation.

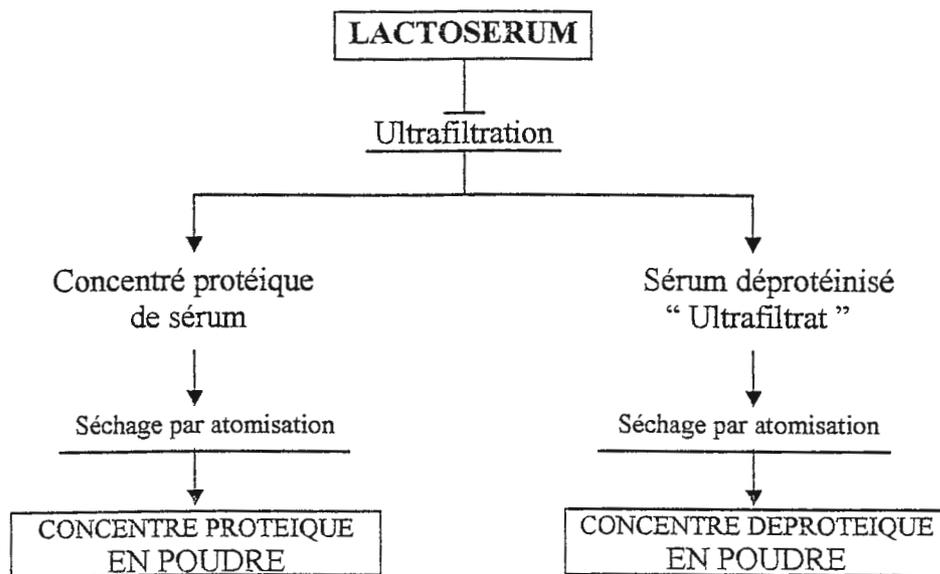


Figure 4: Schéma d'une ultrafiltration d'un lactosérum (3).

2.2- Les Echangeurs d'ions :

L'échange d'ion des protéines se fait en général :

- Sur les échangeurs d'anions par des solutions acides ;
- Sur les échangeurs de cations par des solutions basiques.

Dans le cas du lactosérum, le procédé dépend de ce qu'on va traiter, lactosérum doux ou acide.

- Lactosérum acide :

On utilise une colonne de sphérosil échangeuse de cations. Au PH du lactosérum acide (PH=4.6), l'ensemble des protéines est sous forme cationique et s'adsorbe sur l'échangeur de cations.

L'éluât protéique, après concentration, séchage, donne une poudre contenant 90% de protéines, la figure 5 ci-dessous représente les différentes étapes effectuées pour la séparation des protéines.

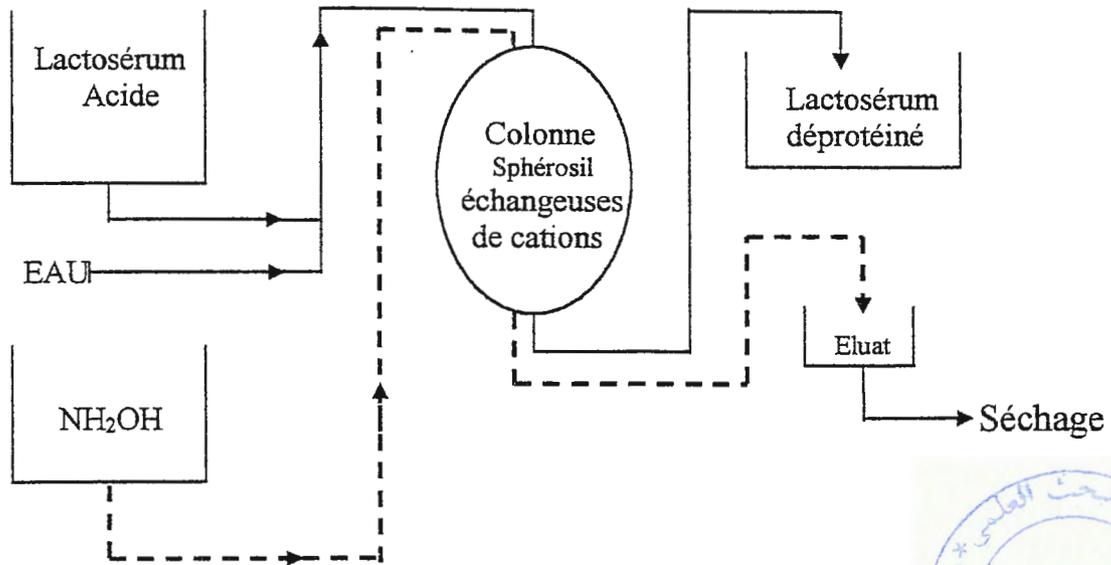


Figure 5 : Schéma de principe de l'échange d'ions (lactosérum acide) (3).



• Lactosérum doux :

On met en œuvre 2 colonnes :

- Une colonne A de sphérosil échangeuse d'anions.
- Une colonne C de sphérosil échangeuse de cations faibles.

Au PH du lactosérum doux (PH=6.6), la plupart des protéines sont sous forme anionique et s'adsorbent sur échangeur d'anion et une faible proportion (7 à 10%) essentiellement constituée d'immunoglobulines est sous forme cationique et s'adsorbe sur échangeur de cations.

L'éluat A donne une fraction anionique (protéique) de 87.5%, l'éluat C donne une fraction cationique (protéique) de 86.5% (figure 6).

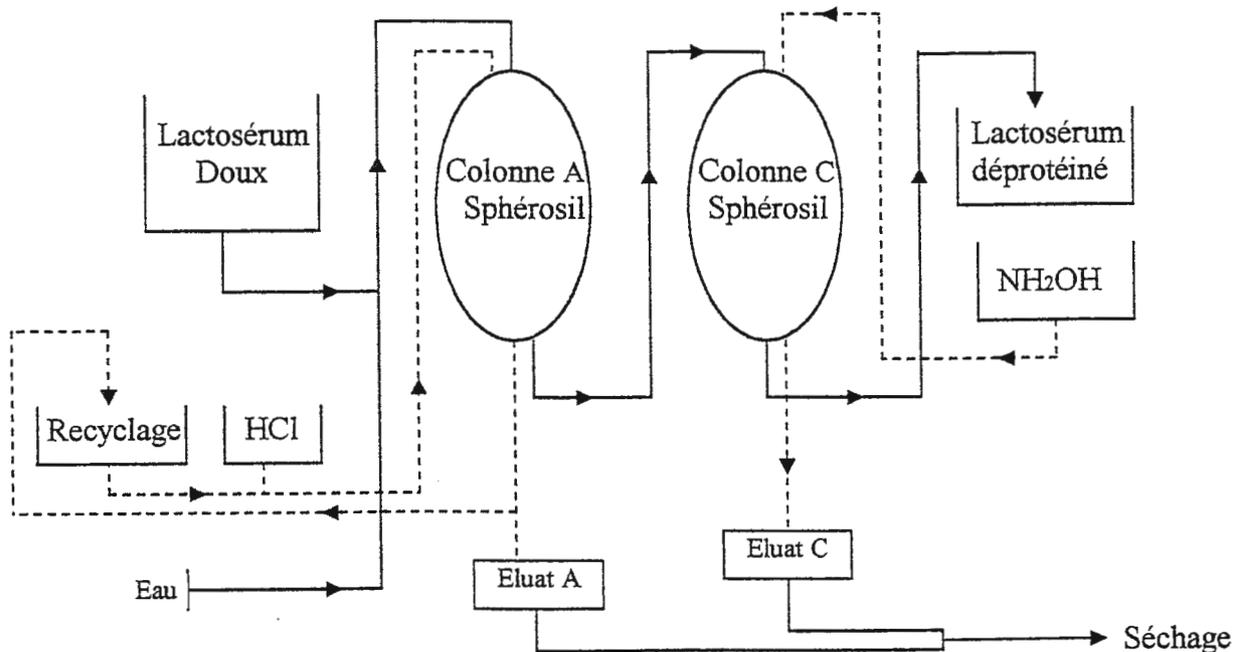


Figure 6 : Schéma de principe de l'échange d'ions (lactosérum doux) (3).

2.3- La Thermocoagulation :

C'est une technique classique, qui permet la récupération des protéines du lactosérum par un procédé facile qui consiste à chauffer à 92°C pendant 10 à 15 mn le lactosérum acidifié à PH=4.5 qui est mélangé à un lactosérum décationisé sur résine cationique, évitant ainsi l'adjonction acide.

Après un repos de 10mn, le coagulum protéique peut être séparé selon trois méthodes :

- Centrifugation à 3500 tours/mn durant 10mn.
- Filtration (sous pression de 4 atmosphères).
- Egouttage.

Le coagulum protéique ainsi séparé, est lavé à l'eau chaude et séché ensuite à 45-55°C dans une étuve à ventilation (12).

La *figure 7* représente les différentes méthodes de séparation qui succèdent la thermocoagulation ; Centrifugation, filtration et Siphonnage afin d'obtenir les différents concentrés protéiques.

La composition des différents concentrés protéiques varie selon la technique de séparation utilisée et est exprimée dans le tableau qui suit.

Tableau IX: composition des concentrées protéiques obtenus avec différentes techniques de séparation à PH= 4.5, exprimée en g/100g d'extrait sec (3).

	Ex trait sec	Protéines	Lipides	Lactose	Cendres
Centrifugation	93.1	66.0	32	1.0	1.0
Filtration	94.4	57.5	36.3	5.0	0.6
Siphonnage	90.1	60.7	28.4	9.6	1.4

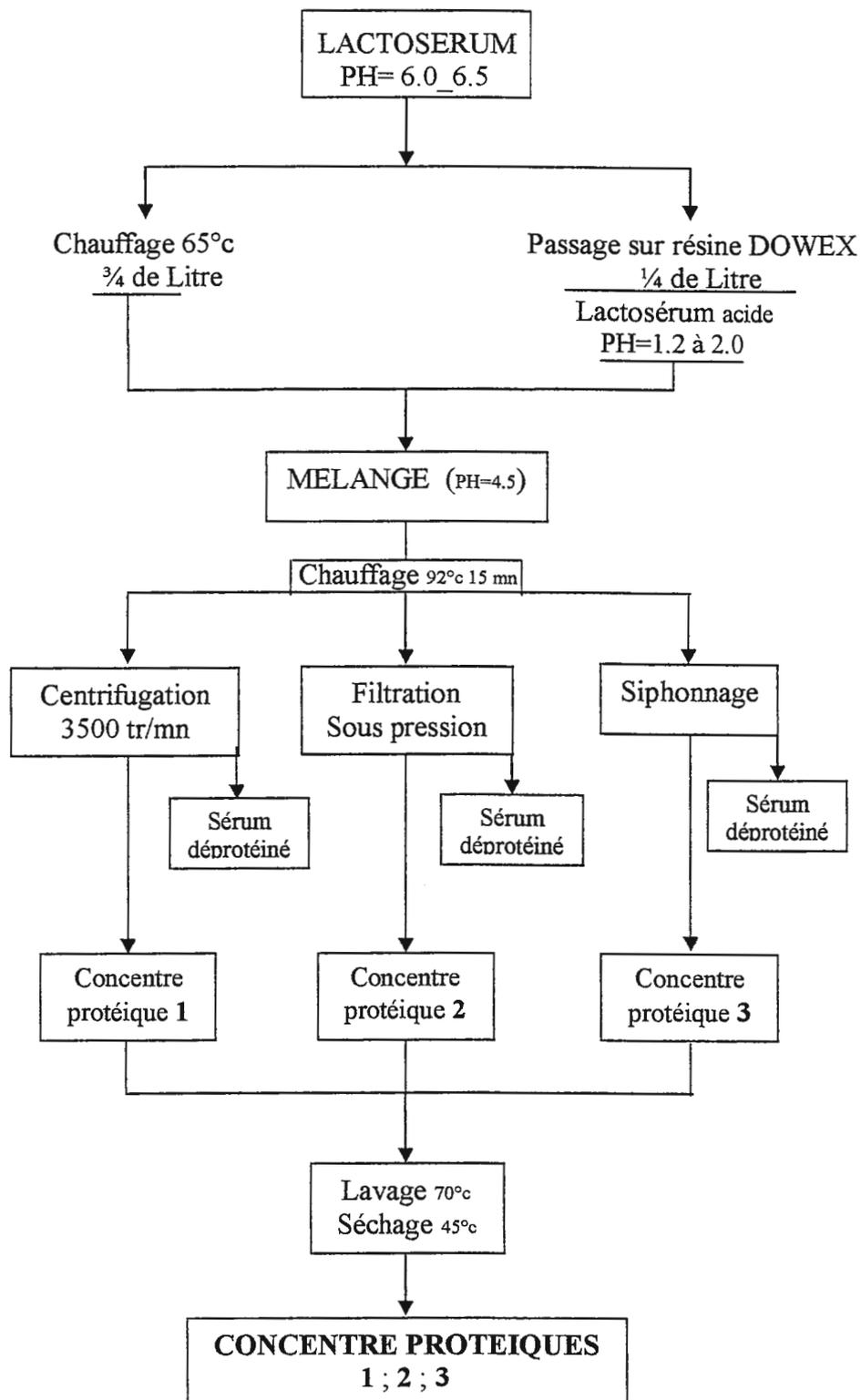


Figure 7: Schéma d'une thermocoagulation des protéines du lactosérum (3).

3- Séparation du lactose :

Le lactose est l'un des principaux constituants du lactosérum. Pour le séparer des autres constituants afin de le purifier, on peut opérer suivant deux méthodes :

- Soit en enlevant un par un l'autre constituant (*figure 8*) par différents procédés à savoir :

- Les protéines et la matière grasse par ultrafiltration ;
- Les sels minéraux par échange d'ions et électrodialyse ;
- L'eau par concentration puis séchage spray.

A la fin de ces différentes séparations on obtient alors du lactose spray.

- Soit en utilisant l'une des propriétés du lactose : sa faible solubilité, en concentrant le lactosérum et en faisant cristalliser le lactose (*figure 9*). Les cristaux de lactose alpha-mono-hydraté sont ensuite séparés par centrifugation (essorage), lavés puis séchés sur lit fluidisé. On obtient alors du lactose alimentaire (édible). Si on souhaite le purifier davantage pour obtenir du lactose Codex, on redissout le lactose alimentaire et on recommence l'opération de concentration et de cristallisation. C'est la technique la plus répandue dans les grandes lactoseries françaises (9).

3.1- Principe de la cristallisation industrielle du lactose :

Le lactosérum est donc dans un premier temps concentré dans un évaporateur sous-vide. Au cours de cette opération, on cherche à obtenir la plus haute concentration possible et donc on travaille à la plus haute température possible pour augmenter l'extrait sec limite de saturation. Sur certains lactosérums déprotéinés, on peut obtenir un extrait sec de 65 à 75%. Au-delà, on risque une prise en masse par cristallisation rapide.

La solution saturée est envoyée dans des tanks de cristallisation à double enveloppe, munis d'agitateurs puissants. Le lactose est alors en équilibre sous plusieurs formes : lactose bêta, lactose alpha et une petite quantité sous forme amorphe. Au cours de la cristallisation, le phénomène de mutarotation va se produire et la forme bêta va se transformer en forme alpha qui va cristalliser sous forme de lactose alpha-mono-hydraté.

La taille et la forme des cristaux vont dépendre des conditions de refroidissement de la solution.

Si l'on pratique un refroidissement très rapide avec ensemencement en cristaux par exemple, on obtient un nombre important de petits cristaux sous forme parallélépipédique. C'est de cette façon que l'on opère pour le lactosérum que l'on désire sécher (9).

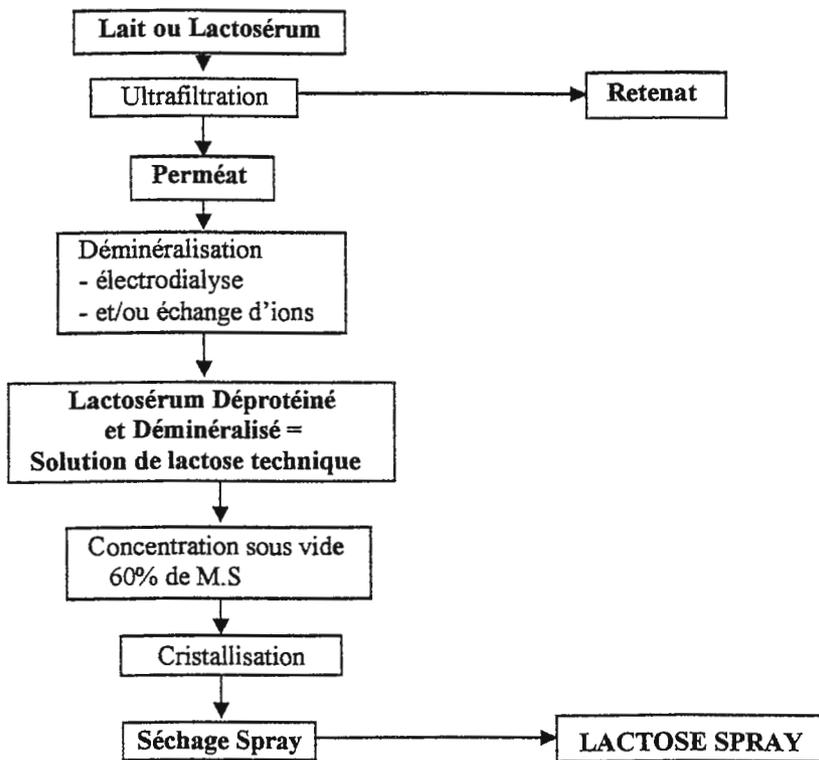


Figure 8 : Schéma de fabrication du lactose spray à partir de perméat d'ultrafiltration (9).

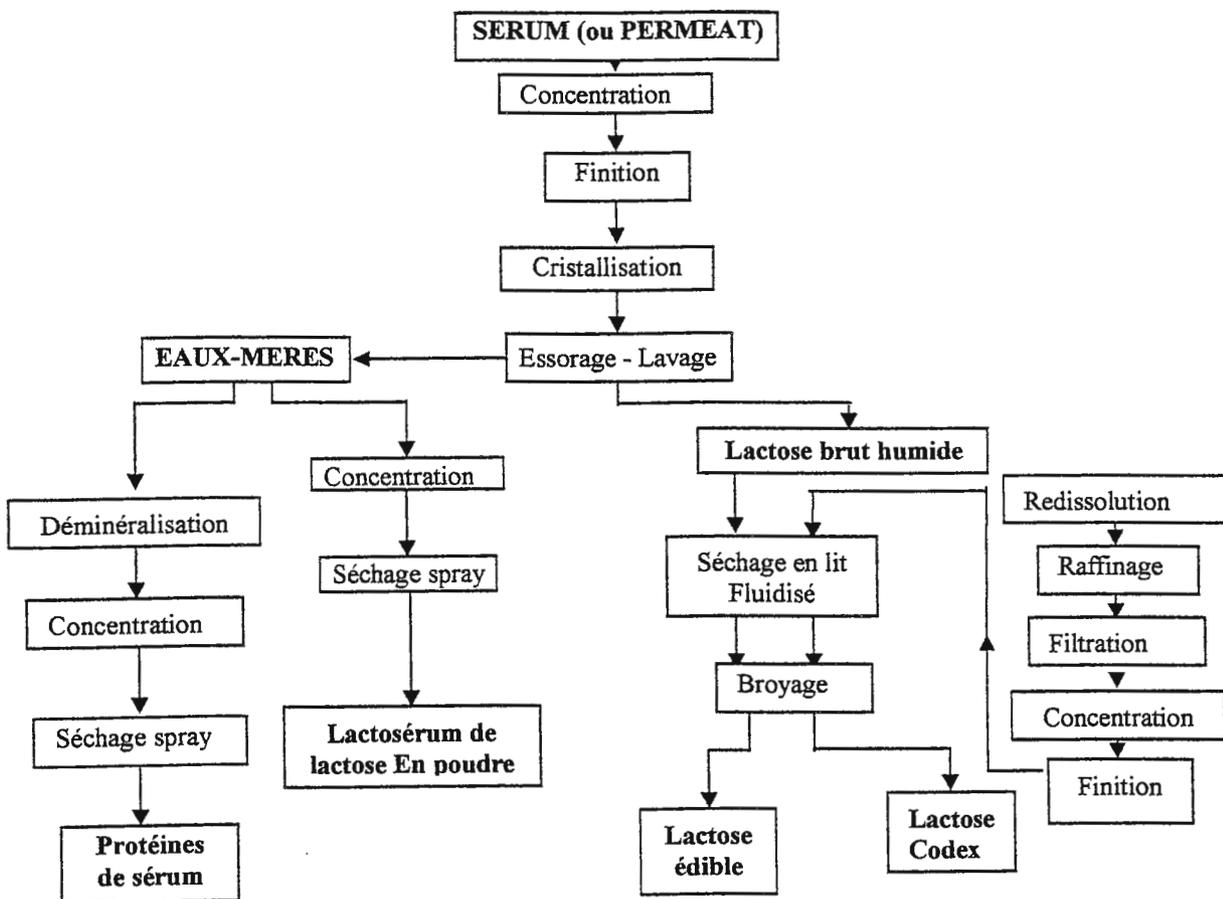


Figure 9 : Schéma de fabrication classique du lactose à partir de lactosérum ou de perméat (9).

3.2- Inhibiteurs de cristallisation :

En fait, à cause de la diversité des lactosérums, de nombreux facteurs peuvent perturber la bonne marche de la cristallisation.

Les principaux facteurs inhibiteurs de la cristallisation sont les suivants :

- La viscosité du concentré, qui est liée principalement à la concentration et à l'état des protéines ;
- La présence de lactose hydrolysé qui gêne les transferts entre solution mère et cristal ;
- La présence d'acide lactique.

La présence de ces facteurs peut être diminuée à un PH de 4 à 5, voisin du point isoélectrique des protéines ; on a alors une diminution de la viscosité et de l'interaction entre les protéines et le lactose.

Il est indispensable de pratiquer une agitation puissante mais lente, qui a pour effet d'une part d'améliorer le refroidissement qui se fait par la double paroi, d'autre part de faciliter le renouvellement de la solution mère en contact avec le cristal et donc de favoriser le nourrissage.

Le procédé décrit ci-dessus, s'il présente des avantages du point de vue rendement et qualité du lactose, présente l'inconvénient de favoriser les réactions de Maillard, avec les protéines d'où une forte coloration des eaux mères.

Certains industriels qui cherche à valoriser les eaux mères à partir de sérum pratiquent donc une cristallisation fine par refroidissement brutal, ce qui donne un lactose plus fin et donc plus difficile à extraire et à laver (9).

3.3- Séparation – Séchage :

La suite du traitement comporte des opérations mécaniques de séparation centrifuge sur essoreuse ou décanteuse. Le choix du matériel va dépendre du type de cristallisation réalisé. Les essoreuses convenant mieux à la cristallisation fine. L'évacuation des eaux mères et le lavage des cristaux réalisés au cours de cette séparation sont facilités dans le cas d'une cristallisation grosse.

Le lactose séparé et lavé, contenant encore un peu d'humidité (5 à 6%) est séché puis broyé à une granulométrie correspondant à la demande des utilisateurs.

On peut obtenir des qualités très différentes:

- Soit la qualité alimentaire (lactose Edible);
- Soit la qualité pharmaceutique (lactose Codex).

Tableau X: Quelques caractéristiques techniques des deux type de lactose (9).

	Lactose édible (alimentaire) non raffiné	Lactose Codex (Pharmaceutique)
Lactose min, en %	99	99.8
Humidité libre max, en %	0.3	0.1
Cendre sulfuriques max, en %	0.3	0.1
Métaux lourds: Plomb max	2 ppm	0.5 ppm
Arsenic max	1 ppm	1 ppm
Extractible à l'alcool	-	0.48

4. Séparation des éléments minéraux :

Il s'agit plus d'élimination que de séparation, puisque la partie minérale est rejetée à l'égout.

Il existe deux moyens permettant de déminéraliser le lactosérum :

- Un moyen électrochimique : l'électrodialyse.
- Un moyen chimique : l'échange d'ions.

4.1- L'électrodialyse :

C'est une méthode qui allie deux procédés :

- L'électrolyse ; c'est-à-dire la propriété qu'ont les minéraux en solution de s'ioniser sous l'action d'un courant électrique continu et de s'orienter vers l'un ou l'autre pôle :

- Les ions négatifs (anions) : chlorure Cl^- , PO_4H^- , phosphates PO_4^{--} , PO_4H_2^- , citrates, lactates, etc. Sont attirés par le pôle +, c'est-à-dire l'anode ;

- Les ions positifs : sodium Na^+ , potassium K^+ , Calcium Ca^{++} , magnésium Mg^+ , ammonium NH_4^+ , etc. sont attirés par le pôle -, c'est-à-dire la cathode.

- La dialyse polarisée des sels minéraux :

Entre les deux pôles sont empilées des membranes de dialyse, alternativement anionique et cationique. Les membranes anioniques sont des membranes de dialyse sur lesquelles on a déposé une fine couche de résine sur échangeuse d'ions, greffée d'un groupement alcalin, en général, une amine quaternaire. Les membranes cationiques sont des membranes de dialyse sur lesquelles on a déposé une fine couche de résine échangeuse d'ions, greffée d'un groupement acide, en général un groupement sulfurique. Les membranes anioniques vont laisser passer les anions et repousser les cations. Les membranes cationiques vont faire l'inverse, c'est-à-dire laisser passer les cations et repousser les anions.

L'empilement des membranes, alternativement anioniques et cationiques, délimite deux circuits différents (*figure 10*).

* Le circuit appelé " dilué ", qui s'appauvrit en sels minéraux de la manière suivante :

- Les cations K^+ , Na^+ , Ca^{++} ... se dirigent vers l'anode, rencontrent une membrane cationique (-), la traversent ;
- Les anions Cl^- , lactate⁻, citrate⁻ se dirigent vers la cathode, rencontrent une membrane anionique (+), la traversent.

* Le circuit appelé " concentré " ou " saumure ", qui s'enrichit en sels minéraux de la manière suivante :

- Les cations K^+ , Na^+ , Ca^{++} qui viennent de traverser la membrane cationique rencontrent ensuite une membrane anionique qu'ils ne peuvent traverser ;
- Les anions Cl^- , lactate⁻, citrate⁻, qui viennent de traverser dans l'autre sens la membrane anionique rencontrent ensuite une membrane cationique qu'ils ne peuvent traverser.

Les deux circuits se font à contre-courant ; le circuit " dilué " est constitué par le lactosérum à déminéraliser et le circuit " saumure " est maintenu à un PH de l'ordre de 5 pour éviter les précipitations de sels de calcium, et il est également alimenté en eau sous forme de trop-plein, pour éviter que sa concentration en sels ne soit trop forte.

Le fonctionnement se fait par cycle de 20 minutes environ, qui sont réglés par des points de consigne de résistivité : il y a une relation directe entre résistivité et la teneur en sels minéraux. Pour un lactosérum dont la composition varie peu, un même point de consigne en résistivité conduira toujours au même rapport cendres/matière sèche.

Au cours d'un cycle, la résistivité augmente au fur et à mesure de la baisse de la teneur en sel. Lorsque l'on atteint la résistivité de consigne, le cycle est terminé, le lactosérum déminéralisé est expédié, et l'on admet une nouvelle charge de lactosérum. Mais alors, les circuits sont inversés de manière automatique :

- Le sens du courant électrique est inversé ;
- Les compartiments saumure et dilué sont permutés.

Cela évite les encrassements par polarisation. Plus la résistivité augmente, plus la vitesse de dessalement est faible.

En pratique, le taux de déminéralisation est de 50%, mais il est possible de monter à 70% sans trop de problèmes.

Les appareils industriels d'électrodialyse peuvent fonctionner 20h, et sont ensuite nettoyés par des produits spéciaux adaptés aux membranes (3). La *figure 10* représente le principe de l'électrodialyse.

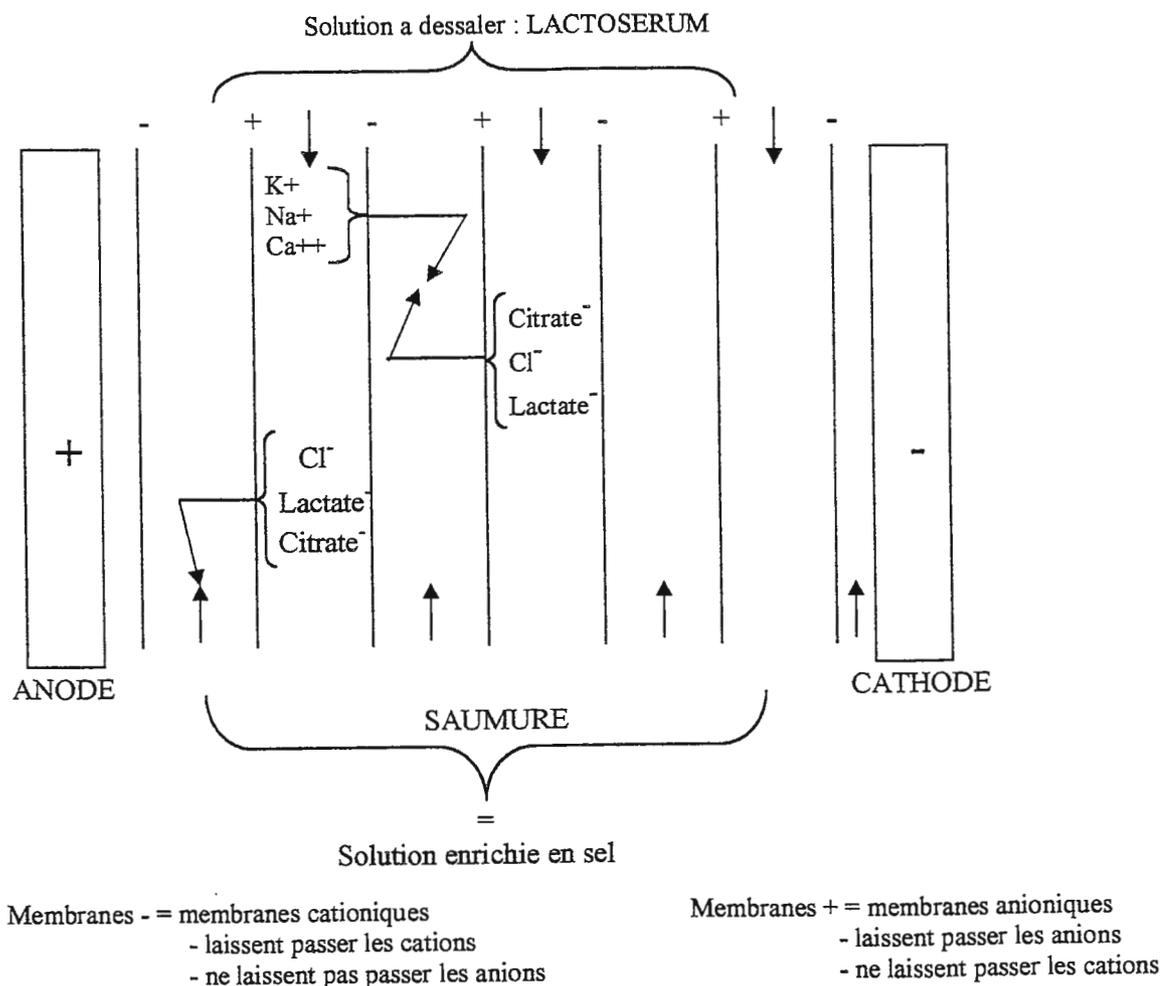


figure 10: schéma du principe de l'électrodialyse (3).

4.2- L'échange d'ions :

Les résines échangeuses d'ions sont des substances organiques insolubles sur lesquelles sont greffés des groupements polaires. Ces résines ont la forme de petites billes et qui ont un diamètre d'environ 0.5 mm.

Le groupement polaire peut être de deux sortes :

- Pour les résines cationiques, un groupement sulfonique $\text{SO}_3^- \text{H}^+$ qui sera donc un échangeur de cations ;
- Pour les résines anioniques, un groupement ammonium quaternaire $\text{>NH}^+ \text{OH}^-$ qui sera donc un échangeur d'anions.

Ces deux résines ci-dessus ont été représentées sous forme régénérée, acide pour la cationique, et basique pour l'anionique dont le principe d'application est le suivant :

- Pour la résine cationique :

On introduit le lactosérum sur la résine cationique, qui est sous forme H^+ . le lactosérum va donc s'acidifier en abandonnant ses cations K^+ , Na^+ , Ca^{++} , et en se chargeant en ions H^+ ; son PH descend aux environs de 1. La qualité de lactosérum qui pourra être ainsi traitée est en fonction de la capacité de la résine. Lorsque la résine commence à se saturer, le PH du lactosérum remonte. On arrête alors le cycle, la résine est rincée, en général à contre-courant, puis il faut régénérer, c'est-à-dire faire passer une solution d'acide chlorhydrique. Le phénomène inverse va alors se produire : la résine va alors abandonner ses cations K^+ , Na^+ et Ca^{++} et se charger en protons H^+ . Après l'acide on effectue un rinçage lent et un rinçage rapide. La résine est alors prête à fonctionner à nouveau sur lactosérum.

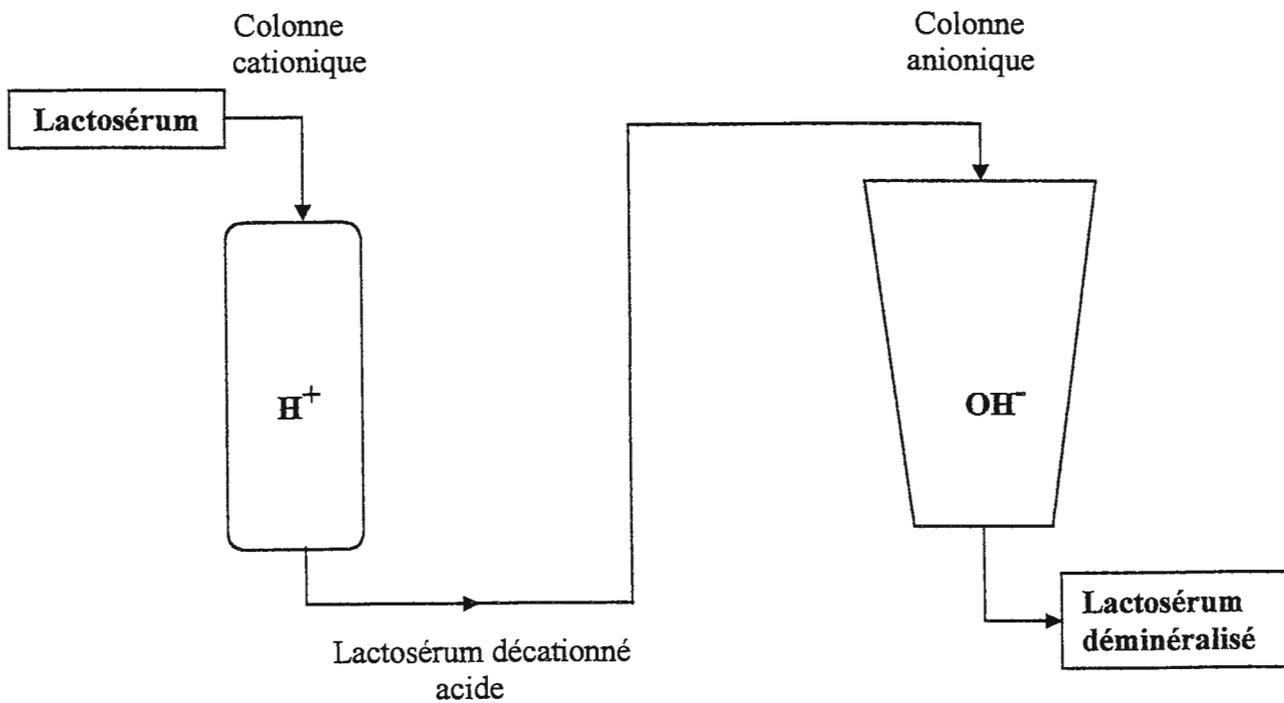
- Pour la résine anionique :

Au niveau de la résine anionique sous forme OH^- , on introduit le sérum "décationné", c'est-à-dire ayant perdu ses cations et chargé en protons H^+ . il va échanger de la manière ses anions Cl^- , Lactate⁻, Citrate⁻ contre les ions OH^- .

On aura alors la réaction $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$ et donc le PH va remonter vers 6, et on aura alors obtenu un lactosérum presque totalement déminéralisé. La déminéralisation n'est jamais totale puisqu'il y a toujours des fuites, ou des ions difficilement échangeables, ou des sels difficiles à solubiliser même à PH fortement acide. On observe que la résine anionique est saturée lorsque le PH du lactosérum en sortie de colonne anionique se met à baisser : on arrête alors le cycle pour effectuer la régénération. Cette opération consiste à déplacer à nouveau l'équilibre à l'aide d'une base forte, en général de la soude ou de l'ammoniaque. La résine relargue alors ses anions Cl^- , Lactate⁻, Citrate⁻ pour capter les ions OH^- . On opère ensuite un rinçage lent et un rinçage rapide et la résine est alors prête à fonctionner à nouveau sur le lactosérum.

Le système d'échange d'ions est un gros consommateur de produits chimiques, il exerce une déminéralisation élevée (90%).

Le principe d'échange d'ions est résumé dans la *figure 11* qui suit.



- Colonne cationique, sous forme acide ; échange les cations contre les ions.
- Colonne anionique, sous forme basique ; échange les anions contre les ions.

Figure 11: Schéma du principe de l'échange d'ions (3).

Chapitre n°3 :
Différents domaines d'utilisation
du lactosérum

I- 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, l'utilisation du lactosérum en alimentation animale offre de réels avantages ; le côté écologique (l'arrêt des rejets) et économique .

les applications les plus étudiées ont été l'alimentation du bétail laitier et des veaux (des essais ont également été effectués sur les ovins et la volaille) (13).

1- Utilisation du lactosérum par le bétail laitier :

Deux problèmes sont soulevés par l'utilisation du lactosérum sous forme liquide :

- 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 se météorisent ; les quantités offertes aux vaches doivent être bien contrôlées.

Les vaches en période de lactation peuvent consommer avec succès du lactosérum liquide, on estime 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. Le lactosérum est très vite consommé quand il est doux et frais.

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/jours, pour une consommation d'eau de 35 kg environ.

En été les vaches laitières adultes boivent journalièrement 80 litres 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 qui produisent 20 litres de lait par jour.

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. Il est observé une économie de 15% sur les coûts de gain de poids avec les régimes riches en lactosérum (14).

2- Utilisation du lactosérum par le veau :

De nombreuses expérimentations entreprises sur les veaux nourris avec du sérum doux et du sérum acide, ont montré que ces aliments pouvaient être utilisés de manière satisfaisante s'ils sont bien supplémentés avec d'autres aliments. Avant de devenir ruminant, le veau est un animal monogastrique. Il consomme plus de nourriture à l'état liquide qu'à l'état sec.

Le facteur limitant l'incorporation totale du sérum à la ration des veaux est sa haute teneur en lactose et comme le veau ne possède pratiquement pas de *lactase* dans son gros intestin donc si on a un excès de lactose cela impliquera une diarrhée (d'origine fermentaire) (14).

Selon Piccioni.M. (13), le lactosérum liquide pour les veaux, peut être employé frais et à des doses de 5 litres par jours à partir du 20^{ème} jour après la naissance. Le sérum améliore la valeur nutritive et l'utilisation des mélanges de concentrés.

L'utilisation du lactosérum ne se limite pas à son utilisation à l'état liquide mais il est aussi utilisé en poudre ou en 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.

Si leur ration contient 1 à 4% de lactosérum en poudre, les 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 (15).

3- Utilisation du lactosérum par la volaille :

Vers les années 50, la majeure partie du lactosérum en poudre était utilisée dans l'alimentation des volailles comme source de vitamines hydrosolubles, mais son utilisation a dû être abandonné et cela pour plusieurs facteurs.

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. La valeur nutritive du produit peut être augmentée par fermentation du sérum par *Saccharomyces fragilis* (16).

4- Utilisation du lactosérum par les ovins :

THIVEND.P (15), mentionne dans ces travaux, l'alimentation des ovins par l'Ultrafiltrat de lactosérum. Ces animaux pourraient en ingérer des quantités relativement importantes sans présenter de troubles digestifs.

II- 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.

Les domaines d'utilisation particulièrement étudiés sont : l'alimentation infantile, les boissons, les produits laitiers (fromage et yaourts), les crèmes glacées et la production de biomasse (levure en particulier), l'utilisation dans d'autres secteurs alimentaires a aussi été exploitée et devrait se développer dans les industries de panification, la confiserie, les produits carnés.

1- Le lactosérum dans l'alimentation infantile :

Dans de nombreux pays, des chercheurs étudient actuellement la mise au point de produits de remplacement au lait maternel, ces produits doivent présenter une valeur nutritionnelle égale à celle du lait humain, et pouvoir être incorporée à des formules d'aliments 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 X, 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 caséines 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, le traitement le plus approprié, pour le sérum, est l'électrodialyse et l'échange d'ions qui ne réduisent pas la teneur en vitamines.

Tableau XI: composition comparée du lait humain et du lait de vache (17).

Composition	Lait humain /100 ML	Lait de vache /100ML
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

2- Utilisation de lactosérum en pâtisserie et biscuiterie :

La qualité des gâteaux obtenus à partir de pâte additionnées de lactosérum est améliorés par rapport aux gâteaux ne contenant pas de matière sèche du lait, leur volume, leur 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 (18).

Tableau XII: taux d'utilisation du lactosérum pour biscuits (19).

Types d'articles	Poids de lactosérum
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-press cookies)	3 à 6 kg 600
Biscuits découpés (wire-cut cookies)	3 à 7 kg 600

3- Boissons de lactosérum :

De tous temps, les propriétés thérapeutiques du lactosérum ont été exploitées : Hippocrate prescrivait le lactosérum pour certain nombre de maladies ; au moyen âge, 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 (20).

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, la concentration et le séchage sont nécessaires pour résoudre les problèmes de stockage et de transport, et ceci réduit fortement cet avantage.

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 agréables à boire.

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 mixtes de crèmes glacées, à 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.

L'utilisation, à la place du lait écrémé, de poudre de lactosérum dans les mixtes de crèmes glacées, n'est pas seulement rentable, mais elle permet d'obtenir des produits d'aussi bonne qualité, si le sérum est employé correctement (20).

5- 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 est son arme 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.

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 levurés obtenus sont des sources très importantes de protéines et de vitamines (21).

6- Utilisation du lactosérum en fabrication fromagère :

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.

Les lactoprotéines ont une grande qualités 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 être donc négligé, l'autre point de vue important est à considérer l'augmentation du rendement.

Les exemples les plus concrets sont :

- la fabrication d'un fromage norvégien, « le mysost » qui est fabriqué avec du lactosérum doux , par simple concentration , toute la matière sèche étant retenue dans le fromage.

- Sont utilisation dans les yaourts.

Production d'arôme de fromage ; en utilisant une lipase microbienne et des spores de *Penicillium roqueforti* qui fermente le lactosérum et donne un arôme typique de fromage (20).

7- 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 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 84% pour la confection de fondants, caramels... (20).

III- Utilisation du lactosérum en industrie pharmaceutique :

Le développement technologique que connaît notre air justifie pleinement l'impact grandissant de l'industrie des dérivés laitiers, une industrie en pleine essor destinée à aborder les excédents laitiers et qui est confrontée à une nouvelle demande, qui est celle du secteur pharmaceutique et cosmétique.

Il faut souligner que l'Algérie importe des constituants du lactosérum (lactose et vitamines) (22), un argument supplémentaire pour attacher plus d'importance au lactosérum.

Les dérivés du lactosérum sont utilisés dans différentes branches de l'industrie pharmaceutique essentiellement comme des excipients (pour faciliter la formulation des médicaments), les protéines sont utilisées pour leur pouvoir gélifiant essentiel pour la fabrication de crèmes et pommades, le lactosérum sert de milieu de culture pour la production d'enzymes et de vitamines (voir le tableau VII).

Les recherches s'intensifient sur les différentes possibilités d'exploitations des différents composants du lactosérum en cosmétique, et en industrie pharmaceutique.

1- Production de vitamines :

1.1- Riboflavine (vitamines 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.

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 (23).

1.2- Cobalamine (vitamines B₁₂) :

Le lactosérum acide, amené à PH= 6.8 à 7.0 et additionné de 0.2% de (NH)₂SO₄, comme source d'azote, et de 5mg/l de COCl₂, 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 conditions aseptiques.

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 du 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 B₁ et B₂. Elle peut être utilisée pour enrichir certains produits en vitamine B₁₂, augmentant ainsi leurs propriétés médicales et diététiques. Étant donné son bas prix, elle peut être largement utilisée pour compléter les rations des animaux d'élevage.

2- Production d'enzymes :

2.1- B-galactosidase

La B-galactosidase (lactase) a une importance potentielle pour l'industrie laitière. Cette enzyme hydrolyse le lactose en galactose et glucose. Ces sucres sont plus doux et plus solubles que le lactose, et l'emploi de B-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 fragillis* mais les conditions considérées comme optimales pour la croissance de la levure, ne sont pas nécessairement les meilleures pour obtenir des rendements élevés en B-galactosidase (24).

2.2- Autres enzymes :

La 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 sclerotorium* 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 (24).

3- Utilisation des protéines lactosériques :

Depuis qu'on a démontré l'importance des protéines lactosérique et l'effet qu'elles produisaient sur l'organisme, on ne cesse de les utiliser comme supplément alimentaire naturel ou de les associer à divers traitements expérimentaux (contre le cancer, le sida et autres maladies).

Immunotec (compagnie de recherche et développement médical et pharmaceutique) a lancé sur le commerce pharmaceutique Immunocal qui est un concentré protéique de source naturelle, un isolat spécialement préparé qui contient trois protéines thermolabiles, soit la sérum-albumine, l'alpha lactalbumine et la lactoferrine. L'isolat est dérivé du lactosérum bovin .

Le concentré protéique aide l'organisme à maintenir des niveaux optimaux de glutathion (GSH) en approvisionnant les précurseurs nécessaires à la synthèse intracellulaire de celui-ci.

Le glutathion (L-gamma-glutamyl-L-cystéinyglycine) est le principal antioxydant endogène produit par les cellules. Il participe directement à la neutralisation des radicaux libres et des éléments d'oxygène réactifs, et maintient les antioxydants exogènes comme les vitamines C et E dans leur état réduit (actif). En outre, grâce à la conjugaison directe, il favorise la détoxification de nombreux xénobiotiques (agents étrangers) organiques et inorganiques. Le glutathion est un élément essentiel de la réponse immunitaire humaine qui contribuerait notamment à optimiser les fonctions macrophages, réparer les dommages causés par l'expansion lymphocytaire monoclonale et a stabiliser la membrane mitochondriale afin de ralentir l'apoptose dans les lymphocytes (25).

Une équipe de chercheurs canadiens a élaborée un traitement qui associe divers composés et a pu démontrer une diminution des taux de mortalité directement liée a l'emploi de leurs traitement, des résultats concrets ont été obtenue et qui se reflète par le prolongement de l'espérance de vie des malades et l'amélioration de leurs état de santé.

Le traitement inclus une protéine lactosérique (nommé CTN079) qui est associée a d'autres composés (AZT...), joue le rôle de supplément diététique qui influence la production et l'activité de la glutathione (comme expliquer ci-dessus) et améliore de ce fait la fonction immunitaire et ralenti les pertes de poids qui sont souvent manifestée par les gens atteints de sida a stade avancé (26).

Partie 2 :
Etude Pratique

I. Matériels et Méthodes :

1. Matériels :

1.1. Prélèvement des échantillons :

1.1.1. Matériel de prélèvement :

Pour le prélèvement des échantillons du lait, nous avons utilisé des bouteilles en verre qui sont auparavant bien lavées et stérilisées. Le transport des échantillons s'effectue dans une glacière pour leur conservation à basse température.

1.1.2. Le lactosérum du lait de vache :

Le lait de vache utilisé provient d'une ferme située à la commune d'el Emir-Abd El Kader (à 20 Km de Jijel), ce dernier est incubé à une température de 20°C durant 48 heures et cela jusqu'à l'apparition de trois couches différentes correspondant respectivement à la crème, le caillé et au lactosérum, après écrémage, la solution est filtrée pour éliminer le caillé et le filtrat recueilli correspond au lactosérum.

1.1.3. Le lactosérum du lait recombiné :

Le lait recombiné est issu d'une laiterie de Batna. Ce dernier est incubé à une température de 20°C durant 48 heures et cela jusqu'à l'apparition de 3 couches différentes correspondant respectivement à une très fine couche de crème, d'une couche de caillé et du lactosérum, la solution est filtrée pour éliminer la crème et le caillé, le filtrat recueilli correspond au lactosérum.

1.2. Traitement du lactosérum :

Pour le dosage des protéines, vu que les ions cuivriques contenus dans le réactif de BIURET risquent d'être réduits par ce sucre, ce qui par conséquent faussera les résultats, nous avons dû séparer les protéines pour les analyser en procédant à une thermocoagulation pour pouvoir séparer les protéines du liquide lactosé où on a acidifié par de l'acide chlorhydrique puis réchauffé jusqu'à ébullition suivie d'un passage à la centrifugation puis à purification afin de récupérer le filtrat protéique pour le dosage.

2. Méthodes :**2.1. Etude physico-chimique du lactosérum :****2.1.1. Déterminations de l'acidité :****Principe :**

L'acidité est déterminée par dosage titrimétrique de l'acide lactique à l'aide de l'hydroxyde de sodium, en présence de phénolphtaleine comme indicateur. Cette détermination s'effectue sur une prise d'essai de 10ml de lactosérum.

Le virage est détecté par comparaison avec un témoin de lactosérum.

Réactifs et appareillage :

- Solution alcoolique de phénolphtaleine à 1% :
 - Phtaléine du phénol 1g
 - Alcool à 90° 100ml
- Soude Dornic ou soude N/9 :
 - Soude normale..... 111,1ml
 - Eau distillée..... 1000ml
- Burette graduée
 - Graduée en 0.05 ou 0.1ml

Mode opératoire :

On introduit dans un tube à essai :

- 10 ml de lactosérum.
- 0.1 ml de phénolphtaléine (solution alcoolique)
- Titrer avec la solution de soude N/9 jusqu'au début du virage au rose. Après le virage, la teinte rose disparaît progressivement, ce virage n'est pas pris en considération. On considère que le virage est atteint, quand la coloration rose persiste pendant une dizaine de secondes.

2.1.2. Matière sèche :**Principe :**

La matière sèche du lactosérum (extrait sec) est obtenue par évaporation et dessiccation de 10 ml de lactosérum dans les conditions définies, avec pesée du résidu.

Appareillage :

- Etuve.
- Capsule pouvant résister aux températures élevées.
- Balance de précision.
- Dessiccateur.

Mode opératoire :

- Peser la capsule.
- Mettre dans cette capsule 10 ml de lactosérum.
- Mettre la capsule pendant 4 heures au moins à l'étuve dont la température a été réglée à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Peser et remettre à l'étuve pendant 1 heure faire cette opération jusqu'à ce que la différence entre deux pesées successives soit au plus de 0,1% du poids total.

2.1.3. Matière grasse :

Pour doser ce constituant nous avons utilisé la méthode de Gerber.

Principe :

Le lactosérum est agité dans un butyromètre, avec de l'acide sulfurique et de l'alcool iso-amylique. L'acide sulfurique concentré dissout tous les constituants mis à part la matière grasse. L'alcool iso-amylique facilite la séparation de la matière grasse. Celle-ci est liquéfiée par l'augmentation de la température.

La centrifugation rassemble dans la partie graduée du butyromètre la matière grasse liquéfiée qui forme une couche claire, transparente.

Réactifs et appareillage :

- acide sulfurique concentré.
- alcool iso-amylique
- butyromètre de GERBER gradué
- pipette 10 ml
- pipette de sûreté de 10 ml
- pipette de sûreté de 1 ml
- centrifugeuse
- bain-marie.

Mode opératoire :

Dans un butyromètre bien nettoyé et sec on introduits :

- 10 ml d'acide sulfurique concentré.
- On ajoute doucement 11 ml de lactosérum à analyser et 1 ml d'alcool iso-amylque.
- Boucher et agiter en se protégeant de la chaleur qui se dégage.
- Centrifuger à 1200 tr/mn, pendant 5 minutes.
- Mettre le tube au bain-marie à 70°C pendant 10 minutes.
- Avec le bouchon, faire correspondre le début de la matière grasse avec le 0 du butyromètre et lire directement la teneur en matière grasse.

2.2. Etude biochimique :

2.2.1. Dosage des protéines :

Pour le dosage des protéines nous avons procédé selon la méthode de Biuret.

Principe :

La méthode de Biuret se caractérise par le développement de la coloration propre du complexe des ions cuivriques avec les liaisons peptidiques en milieu alcalin.

Comme les liaisons peptidiques sont à la base de la structure des protéines, cette réaction est générale et l'intensité de la coloration est directement reliée à la teneur en protéines. La lecture spectrophotométrique est faite en générale entre 540 et 650 nm.

Réactifs et Appareillage :

- 1- Tubes en verre.
- 2- Pipette de 50 μ l.
- 3- Spectrophotomètre.
- 4- Réactif de Biuret 5cc
- 5- Sérum de contrôle.....5cc
- 6- Etalon.....5cc

Mode Opératoire :

On met quatre tubes :

1er tube : 5 cc du réactif du Biuret : Pour régler le zéro de l'appareil.

2ème tube : étalon + 5 cc de réactif de Biuret

4ème tube : 100 µl du lactosérum +5 cc de réactif de Biuret pour le dosage.

On mélange et on incube pendant 30mn dans une température ambiante (20-25 °C).

On règle le spectromètre à 546 (longueur d'onde) et on calcule les densités optiques de chaque tube.

Calcul des résultats :

La lecture de la DO des différents échantillons utilisés est suivie par la conversion de celle ci en concentration protéique en utilisant la formule f_l qui suit:

$$\frac{D.O \text{ dosage}}{D.O \text{ étalon}} \times \text{concentration de l'étalon (60 g/l)}$$

(Tel que la D.O de l'étalon est égale à 0,319)

2.2.2. Fractionnement électrophorétique des protéines:

Principe :

L'électrophorèse est une technique très employée pour séparer les protéines d'après leur charge électronique, les protéines sont placées dans un milieu basique, elles acquièrent ainsi une charge globale négative et migrent de la cathode vers l'anode dans un champ électrique.

Mode Opératoire :

Conserver le cellogel dans une solution de méthanol à 35%.

1- Immerger le cellogel dans le tampon (200 ml pour 3 membranes) pendant 15 mn (minimum).

2- Bien sécher chaque membrane entre deux feuilles de papier filtre pour éliminer l'excès de tampon.

3- Repérer la face absorbante (surface mate) en plaçant le coin coupé en bas, à droite.

4- Placer la membrane sur le portoir (face absorbante vers le haut).

5- Migration : Semi-micro électrophorèse ; migration 32 mm à 200 volts, effectuer les dépôts à 15 mm du bord du portoir coté cathodique. Fin de migration : arrêter le générateur, déconnecter les cuves, numéroter les bandes en utilisant le sérum comme marqueur.

6- Coloration : présenter la face absorbante du cellogel contre le colorant (rouge de ponceau) immerger et agiter immédiatement (5 mn).

- 7- Décoloration à l'acide acétique en 3 bains avec 3 minutes pour chaque bain.
- 8- 2 bains de méthanol pour la déshydratation (2 minutes).
- 9- Séchage à chaud puis à froid.
- 10- Lecture au densitomètre.

II. Résultats :

1. Les résultats physico-chimiques :

1.1. Acidité du lactosérum :

Les résultats de l'évaluation de l'acidité du lactosérum du lait recombinaé et du lait de vache sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau XIII: Résultats du dosage de l'acidité (degré Dornic).

Echantillon	Lactosérum du lait recombinaé	Lactosérum du lait de vache
1	36°D	37.50°D
2	35.5°D	38°D
3	36°D	38°D
Moyenne	35.83°D	37.83°D

1.2. Matière sèche:

Les résultats sont calculés selon la formule ci dessous :

- M1 étant la masse de la capsule vide
- M2 étant la masse de la capsule après étuvage
- V= volume de la prise d'essai.

Le résultat est exprimé de la manière suivante :

$$\text{Matière sèche} = \frac{M2 - M1}{V} \times 100 \text{ et exposée dans le tableau qui suit.}$$

Tableau XIV: Matière sèche obtenue dans les types du lait (g/l).

Echantillon	Lactosérum du lait recombinaé (g/l).	Lactosérum du lait de vache (g/l).
1	58	60
2	57	62
3	61	60
Moyenne	58,66	60.66

1.3. Matière grasse :

L'évaluation de la matière grasse globale dans le lactosérum du lait recombinaé et le lactosérum du lait de vache est donnée dans le tableau qui suit.

Tableau XV: La matière grasse obtenue dans le lactosérum.

Echantillon	Lactosérum du lait recombinaé (g/l)	Lactosérum du lait de vache (g/l)
1	traces	0.5
2	traces	0.5
3	traces	0.5
Moyenne	traces	0.5

2. Les résultats biochimiques :

2.1. Dosage des protéines :

Les densités optiques (D.O) lue sur le spectrophotomètre des échantillons à analyser sont représentées dans le tableau qui suit :

Tableau XVI: Les D.O des échantillons à analyser.

Echantillons	D.O du lactosérum du lait recombinaé	D.O du lactosérum du lait de vache
1	0.0265	0.0327
2	0.0280	0.0282
3	0.0322	0.0322

Pour calculer les protéines totales, nous avons utilisé la formule $f1$.
Et obtenue les résultats ci-après :

Tableau XVII: Teneurs des protéines total des échantillons à analyser représenter en g/l de lactosérum.

Echantillons	Lactosérum du lait recombinaé	Lactosérum du lait de vache
1	5.0	6.15
2	5.25	5.30
3	6.05	6.05
Moyenne	5.43	5.83

2.2. Fractionnement électrophorétique :

Le fractionnement des protéines nous a permis d'obtenir cinq fractions protéiques dont les plus importantes sont les Bêta-lactoglobulines et les Alpha-lactalbumines (Tableau XVIII) :

Tableau XVIII: Les résultats sont exprimés en gramme par litre.

	Lactosérum du lait recombiné	Lactosérum du lait de vache
Bêta-lactoglobulines	2.65	2.85
Alpha-lactalbumines	1.20	1.25
Immunoglobulines	0.60	0.65
Protéoses-péptones	0.55	0.60
Serum-albumine	0.25	0.30
Totale des fractions protéiques	5.25	5.65

Tableau XIX: Résumé des résultats de l'expérimentation (exprimés en g/l).

	Lactosérum du Lait recombiné	Lactosérum du lait de vache	Référence (7) et (8)
Acidité	3.583	3.783	1.8-80
Eau	941.34	939.34	935-950
Matière sèche	58.66	60.66	50-65
Matière grasse	Traces	0.5	0.5-3
Protéines totales	5.43	5.83	6-9
Bêta-lactoglobulines	2.65 = 48.80%	2.85 = 48.90%	Max 50% des P.T.*
Alpha-lactalbumines	1.20 = 22.10%	1.25 = 21.44%	Max 22% des P.T.
Immunoglobulines	0.60 = 11.05%	0.65 = 11.15%	Max 12% des P.T.
Protéoses-péptones	0.55 = 10.13%	0.60 = 10.30%	Max 10% des P.T.
Serum-albumine	0.25 = 4.60%	0.30 = 5.15%	Max 5% des P.T.
Totale des fractions protéiques	5.25 soit 96.68% des lactoprotéines.	5.65 soit 96.91% des lactoprotéines	Max 99% des P.T.

* P.T : protéines totales.

III- Discussion :

Les résultats obtenus après une analyse physico-chimique et biochimique du lactosérum du lait de vache et du lait recombinaé sont comparables à ceux obtenus par Veissyere (7) et Vrignaud (8).

En effet il s'avère que l'acidité de nos échantillons correspond à un lactosérum de type acide avec une moyenne de 37.83°D pour le lactosérum du lait de vache et 35.83°D pour le lactosérum du lait recombinaé.

L'acidité se justifie par le fait que notre lactosérum a été obtenu par fermentation lactique. Il faut souligner que l'acidité obtenue par fermentation lactique est en fonction de la matière sèche (2).

Nous remarquons que l'acidité du lactosérum du lait de vache (37.83°D) est légèrement supérieur à celle du lactosérum du lait recombinaé (35.83°D) car la valeur en matière sèche du lactosérum du lait de vache est supérieur à celle du lactosérum du lait recombinaé.

En ce qui concerne la matière sèche, les valeurs obtenus dans le lactosérum du lait de vache (60.66 g/l) et du lait recombinaé (58.66 g/l) après l'analyse physico-chimique, correspondent aux valeurs avancées par Veissyere (7) et Vrignaud (8).

La matière sèche du lactosérum du lait de vache est légèrement supérieur à celle du lactosérum du lait recombinaé, cette écart pourrait s'expliquer par les pertes en matière sèche lors de la recombinaison de ce lait puisqu'il subit dans ce cas différents traitements au niveau des laiteries. La teneur en matière sèche nous renseigne sur l'importance quantitative du lactosérum.

On remarque que la teneur en protéines des deux lactosérums semblent avoir une quantité protéique moindre par rapport aux valeurs bibliographiques (5). Cette différence est éventuellement due à la thermocoagulation effectuée pour isoler les protéines à doser. Cette technique ne permettant pas d'obtenir plus de 66% des protéines lactosériques. Nos résultats représente 60.33% pour le lactosérum recombinaé et 64.77% pour le lactosérum du lait de vache, correspondant à une valeur de 5.43 g/l et 5.83 g/l dans l'ordre, sachant que cette valeur peut atteindre 9 g/l (9 g/l c'est la valeur maximal de protéines que peut contenir un litre de lactosérum (5)) en utilisant d'autres méthodes d'extractions (voir chapitre 2).

Le fractionnement électrophorétique nous a permis d'identifier cinq fractions qui représente les protéines majeurs, les plus grosse fractions sont : les B-lactoglobulines, les alpha-lactalbumines, avec un pourcentage de 48.80% et 22.10% (dans l'ordre) par contre les protéines mineurs n'ont pu être identifiées à cause de leurs faible présence (elles représentent 1 % des protéines lactosérique) et leur identification nécessite d'autres techniques de dosage qui ne sont pas disponibles.

La présence de traces de matières grasse dans le lactosérum recombinaé pourrait s'expliquer par l'écémage du lait au niveau des laiteries réduisant considérablement sa teneur en matière grasse.

La teneur en matière grasse du lactosérum du lait de vache pourrait aussi se justifier par le fait que lors de la coagulation du lait, la matière grasse aurait fait surface sous l'effet de sa densité qui est inférieure à celle du lactosérum.



Conclusion

Conclusion :

L'étude théorique et pratique tant sur le plan physico-chimique que biochimique met en valeur les différents constituants que renferme le lactosérum que se soit en quantité ou en qualité.

En effet la présence de protéines de haute valeur alimentaire et sa richesse en lactose laisseraient envisager sa récupération et son utilisation dans divers domaines à savoir ; l'alimentation du bétail, l'alimentation humaine ou en industrie pharmaceutique.

En exploitant le lactosérum nous pouvons résoudre le problème de la pollution causée par les rejets des laiteries , des rejets interdit dans les pays développés (27) et qui incitent les professionnels de l'industrie laitières à promouvoir et à porter plus d'attention à ce sous produit aux multiples intérêts. De par ces faits l'arrêt des rejets et la révision de réglementation en vigueur s'impose en Algérie.

Des recherches devraient être orientées vers la supplémentation de l'alimentation humaine par les constituants du lactosérum et le développement des techniques d'extractions de ses constituants. Ces constituants représentent un intérêt particulier tant pour l'industrie pharmaceutique que diététique.

Bibliographie

Bibliographie :

- (1) :Rouabah.A. - Aspects technologiques dosages des acides aminés, thèse de DES. Université de Constantine, 1982.
- (2) :Saadaoui.L. - Le lactosérum Algérien :aspect compositionnel, thèse de DES. Université de Constantine, 1981.
- (3) :Clement.J.M. - Dictionnaire des industries alimentaires. Edition Masson, (Paris), 1998.
- (4) :Boudier.J.F. et al. - Actualités scientifiques et techniques en industries agro-alimentaires. Association pour la promotion de l'industrie agricole, N°21, 1987.
- (5) : www.FAO.org. - Organisation mondial de la santé. Bases de données Internet, chapitre 7. (dernière mise a jour du site 2001).
- (6) :Adriar.J. - Valeur alimentaire du lait. Edition la maison rustique, (Paris), 1973.
- (7) :Veissyere.R. - Technologie du lait. Edition la maison rustique, (Paris), 1975.
- (8) :Vrignaud.Y. – Le lactosérum matière première noble pour les industries alimentaires humaines et animales. Revue laitière française, N°372, février 1979.
- (9) :Landre.B. – Extraction et valorisation du lactose. Revue la technique laitière, mars 1981.
- (10) : www.bluewin.ch. Berrocal.R – Produits alimentaires intermédiaire : dérivés laitiers. (dernière mise a jour du site 1999).
- (11) :Luquet.F. – Lait et produits laitiers. Edition Lavoisier, (Paris), 1999.
- (12) :Kebieche.M. – Contribution à l'étude de la valorisation du lactosérum. thèse de DES. Université de Constantine, 1987.
- (13) : Piccioni.M. – Dictionnaire des aliments pour les animaux. 3^{ème} édition. , Edition agricole, (Bologne), 1985.

- (14) :Gordon.C. et al. – Lactosérum dans l'alimentation du bétail laitiers : aspects économique et technique., noyes data corporation, (Park Ridge), 1979.
- (15) : Thivend.P. – utilisation de l'ultrafiltrat du lactosérum dans l'alimentation du ruminant. Economie agricole, N°2,1977.
- (16) : Webb.B. – utilisation du lactosérum dans l'alimentation animal. U.S.D.A. Centre de recherche agricole. Publication N°66173, 1973.
- (17) :Knipschildt.M.- utilization of whey to avoid pollution and to recover a valuable food product. American Dairy Review,39, N°9,1977.
- (18) :Paillon.P. – Le lactosérum en biscuiterie et en pâtisserie industrielle.12, N°11-12, 1974.
- (19) :Hanning.F. et al. – influence du lactosérum dans la qualité des gâteaux. Cereal Chemistry, 29, 1982.
- (20) : Pien.J. – utilisation du sérum de fromagerie et des lactoprotéines dans l'alimentation. Le lait, 23, N°227-228,1973.
- (21) : Bel industrie. – La levure lactique. Bel industrie, (Paris),1973.
- (22) : Douanes Algérienne. – Bilan globale de l'importation en Algérie. Direction générale des douanes, (Alger), 1999.
- (23) : Sjostrom.G. – La production de riboflavine par *Eremothecium ashbyii*. Congrès international de la laiterie. (La Haye),1975.
- (24) : Samtsewich.S. et al. – Biosynthèse des pectinases et cellulases par les champignons dans le lactosérum. Doklady Akademii Nauk Belorusskoj . (Russie), 1971.
- (25) : Baruchel S, et al. Nutraceutical modulation of glutathione with a humanized native milk serum protein isolate IMMUNOCAL: Application in AIDS and cancer. In: Oxidative stress in Cancer AIDS and Neurodegenerative Diseases. Ed.; Montagnier L, et al. Marcel Dekker Inc. New York, 1996.
- (26) : www.hivnet.ubc.ca - UBC. Rapoort annuelle l'évolution des recherches anti-VIH. (Canada), 2000.

(27): www.fnade.fr. - Fédération nationale des activités du déchet et de l'environnement. Déchets et recyclage. (France), 2000.

Noms & Prénoms:

Chikh Mohamed Azim
Abdelaziz Yacine

Date de soutenance

Le 10/10/2001

Titre: Contribution a l'étude et a la valorisation du lactosérum.

Nature du diplôme: Diplôme d'études supérieures en biologie moléculaire et cellulaire.
Option: biochimie.

Résumé:

Le lactosérum est un sous produit de la transformation du lait, il retient 55 % des éléments nutritifs du lait (essentiellement le lactose, les protéines et les sels minéraux)

Notre étude, concerne l'aspect compositionnel, les différentes méthodes d'extraction des constituants lactosériques et leurs utilisations dans différents domaines, elle met en évidence l'importance quantitative et qualitative des fractions protéiques de hautes valeur nutritionnelle, rajoutés a cela une teneur élevée de lactose et en moindre quantité les sels minéraux et les vitamines.

Son utilisation après récupération ayant un double intérêt à savoir:

- Intérêt nutritionnel dans l'alimentation du bétail, humaine et industrie pharmaceutique.
- Résolution du problème de la pollution causé par son rejet dans la nature.

Summary:

The milk serum is one coins product of the transformation of milk, it keeps 55% of elements (nourishing of milk (essentially the lactose, proteins and the mineral salts

Our survey, concern aspect compositional, the different methods of constituent milk serum extraction and their uses in different domains, it puts in evidence the quantitative and qualitative importance of high value nutritionally proteins fractions, added has it a content raised of lactose and in least quantity, the mineral salts and vitamins

:His/her/its use after recuperation having a duplicate interest to know

.Interest nutritional in the food of livestock, human and pharmaceutical industry -

.Resolution of the problem of the pollution caused by his/her/its dismissal in the nature -

ملخص:

مصل الحليب ينتج عن تحويل الحليب، و يأخذ 55% من العناصر الغذائية (أساسا اللاكتوز، البروتينات و الأملاح المعدنية).
دراستنا تشمل في دراسة مركبات مصال الحليب مختلف مبادئ استعماله، هذا ما يبين أهمية عناصره البروتينية من الناحية الغذائية، إضافة إلى هذا محتواه المرتفع من اللاكتوز و بكمية أقل الأملاح المعدنية و الفيتامينات.
استعماله له فائدتين:

- فائدة غذائية في تغذية الحيوانات، الإنسان و الميدان الصيدلاني.
- حل مشكل التلوث الصادر من رمي مصال الحليب في الطبيعة.

