

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche**  
**scientifique.**

**UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la**  
**Terre et de l'Univers**  
**Département de Biologie**



**Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en**  
**Sciences Alimentaires**  
**Option : Agroalimentaires et Contrôle de Qualité**

**THEME :**

**Étude comparative : valorisation du lactosérum**  
**comme sous produit de l'industrie laitière**

Présentée par : **BAGHLI Mohammed El Amine**

Soutenue le : 2021 Devant le jury composé de :

Encadreur :	M. BENYOUB Nor eddine	MAA	UNIVERSITE -TLEMCEN
Examineur:	M. BENAMAR Chahid el hocine	Pr.	UNIVERSITE -TLEMCEN
Examineur:	M. TEFFIANI Chokri	MCA	UNIVERSITE -TLEMCEN

Année universitaire : **2020 - 2021**

## Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu **ALLAH** le tout puissant de m'avoir donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce mémoire et d'avoir guidé mes pas, et qui sans lui nous ne sommes rien.

Tout d'abord, mes sincères et profonds remerciements s'adressent à la personne qui m'a encadré tout au long de mes recherches : **Mr. BENYOUB Nor eddine**, Ses remarques successives ont permis d'améliorer les différentes versions de ce travail. Il a toujours trouvé comme promoteur le juste équilibre entre la liberté qu'il m'avait laissée dans le choix des grandes orientations et dans la détermination des pistes à suivre, d'une part, et un soutien total et sans faille dans les moments délicats, d'autre part.

Je tiens également à présenter mes remerciements aux membres de jury : **Mr. BENAMAR Chahid el hocine** et **Mr. TEFFIANI Chokri** pour avoir accepté d'honorer par leur jugement mon travail.

Nous tenons à remercier aussi nos professeurs dès le début jusqu'à la fin de nos études. Aussi nos salutations, à nos collègues d'études pour les moments qu'on a passés ensemble

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude

A mes très chers parents que j'aime beaucoup, qui ont veillé sur mon éducation, en témoignage de ma reconnaissance pour leur patience, leurs sacrifices et leur soutien tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leur prête santé et longue vie.

A mes petites sœurs que j'aime énormément ; Narimane et Nihel.

Je remercie mes chers amis : Oussama, Kheiro, Achraf, Yasmine ; surtout Meriem et Kaoutar pour leurs présences à mes côtés.

Et en fin, un grand merci à toute ma famille, mes camarades et toutes les personnes ayant contribué de loin ou de près à la réussite ce travail.

## Liste des figures

**Pages**

<b>Figure 1</b> : Composition du lait	<b>5</b>
<b>Figure 2</b> : Structure moléculaire du lactose.	<b>6</b>
<b>Figure 3</b> :Composition de la matière grasse du lait	<b>7</b>
<b>Figure 4</b> :Structure d'une sub-micelle caséique	<b>9</b>
<b>Figure 5</b> :Composition des différents laits végétal comparés au lait maternel	<b>1 2</b>
<b>Figure 6</b> :Composition des différents laits de mammifères comparés au lait maternel	<b>1 3</b>
<b>Figure 7</b> : image du lactosérum	<b>1 7</b>
<b>Figure 8</b> : Différents procédés de valorisation du lactosérum	<b>2 4</b>
<b>Figure 9</b> : Représentation des différents types de filtration.	<b>2 5</b>
<b>Figure 10</b> : Principe de la chromatographie gel filtration	<b>2 7</b>
<b>Figure 11.</b> Diagramme de fabrication du camembert à Draa Ben Khedda et les niveaux de soutirage des lactosérums	<b>3 2</b>
<b>Figure 12</b> : fabrication de la poudre de lactosérum doux par lyophilisation	<b>3 5</b>
<b>Figure 13</b> : Dispositif d'ultrafiltration	<b>3 6</b>
<b>Figure 14.</b> Flux du lactosérum en fonction de la pression transmembranaire, Q=40ml/min, t°=20°C ; FCV=1, pH=6.3	<b>4 0</b>
<b>Figure 15.</b> Flux du lactosérum en fonction du temps à différentes pressions transmembranaires=40ml/min, t°=20°C, pH=6.3	<b>4 0</b>
<b>Figure 16.</b> Variation de l'extrait sec total dans le retentât et dans le perméat en fonction du facteur de concentration, PTM=0.75 bar Q=40ml/min, t°=20°C, pH=6.3	<b>4 2</b>
<b>Figure 17.</b> Variation du taux de protéine dans le retentât et dans le permeat en fonction du facteur	<b>4</b>

de concentration, PTM=0.75 bar Q=40ml/min, t°=20°C, pH=6.3	2
<b>Figure 18 :</b> Influence du facteur de concentration sur le taux de rétention des protéines, PTM=0.75 bar Q=40ml/min, t°=20°C, pH=6.3	4 3

## Liste des tableaux

	<b>Pages</b>
<b>Tableau 1</b> :Composition moyenne du lait entier	<b>5</b>
<b>Tableau 2</b> : Constituant lipidique du lait de vache et localisation dans la fraction physicochimique (g/l de matière grasse).	<b>7</b>
<b>Tableau 3</b> : Composition minérale du lait de vache	<b>8</b>
<b>Tableau 4</b> : Classification des protéines	<b>9</b>
<b>Tableau 5</b> : Composition vitaminique moyenne du lait cru	<b>10</b>
<b>Tableau 6</b> :Caractéristiques des principaux enzymes du lait	<b>11</b>
<b>Tableau 7</b> : Caractéristiques physico-chimiques du lait de vache	<b>16</b>
<b>Tableau 8</b> : La composition des différents lactosérums	<b>18</b>
<b>Tableau 9</b> : Composition du lactosérum	<b>19</b>
<b>Tableau 10</b> :Les protéines du lactosérum	<b>20</b>
<b>Tableau 11</b> : acides aminés essentiels (g/100g)	<b>21</b>
<b>Tableau 12.</b> Teneur en minéraux du lactosérum	<b>22</b>
<b>Tableau 13.</b> Teneur en vitamines du lactosérum	<b>22</b>
<b>Tableau 14.</b> Caractérisation physicochimique dulactosérum doux liquide	<b>38</b>
<b>Tableau 15</b> : Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum clarifié	<b>39</b>
<b>Tableau 16</b> : pouvoir polluant du lactosérum.	<b>44</b>

## Liste d'abréviation :

**AG** : acide gras.

**BSA** :Albumine de sérum bovin

**H<sup>3</sup>O<sup>+</sup>** : hydronium.

**IG** : immunoglobuline.

**TB** : taux butyreux.

**PH** :potentiel hydrogène.

**$\alpha$ -LA** :  $\alpha$ -lactalbumine

**$\beta$ -LG** :  $\beta$ -lactoglobuline

**TB** :taux butyreux

**BSA** : l'albumine de sérum bovin

**IgA** :immunoglobuline A

**IgG** :immunoglobuline G

**IgM** :immunoglobuline M

**NaCl** : chlorure de sodium

**KCl** : chlorure de potassium

**UF** :ultrafiltration

**BDO** :demande biologique en oxygène

**BCAA** : branched-chain amino acid

**WPC** : Whey Protein Concentrate

**°D** :degré dornique

**FS** : Furnace auto sampler

**BDO** :demande biochimique en Oxygène

**BDO<sub>5</sub>** : demande biochimique en Oxygène pendant 5 jours

**PES** : polyéther sulfone

**PTM** : pression transmembranaire

**FC** : facteur de concentration

**FCV** : Facteurs de concentration respectives

**KDa** : kilo dalto

# Sommaire

	Pages
<b>Remerciement .....</b>	<b>I</b>
<b>Dédicaces.....</b>	<b>II</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>III</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>IV</b>
<b>Liste des abréviations.....</b>	<b>V</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>VI</b>
<b>Sommaire.....</b>	<b>VII</b>
<b>Introduction -----</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : le lait</b>	<b>4</b>
1 Généralités sur le lait :	4
2 La composition du lait :	4
2.1.Eau	6
2.2.Glucides	6
2.3.Les lipides	6
<u>2.4.Minéraux</u>	8
<u>2.5.Protéines</u>	8
<u>2.6.Vitamines</u>	10
<u>2.7.Enzymes</u>	11
3 <u>Source du lait</u>	11
<u>3.1.Source végétale</u>	11
<u>3.2.Source animale</u>	12
4 <u>Les différents produits laitiers :</u>	13
<u>4.1.Le lait caillé</u>	13
<u>4.2.yaourt :</u>	13
<u>4.3.Lait fermenté acidifié « l’ben » :</u>	14
4.4. <u>Kéfir</u>	14
4.5. <u>Koumis</u>	14

<u>5 Caractères physico-chimiques du lait</u>	14
<u>5.1.Densité</u>	14
<u>5.2.Masse volumique</u>	14
<u>5.3.Point de congélation</u>	15
<u>5.4.Point d'ébullition</u>	15
<u>5.5 Acidité</u>	15
<u>5.6 Le pH</u>	15
<u>6 Valeur nutritionnelle du lait</u>	16
<b><u>Chapitre II : Lactosérum</u></b>	17
<u>1 Définition du lactosérum</u>	17
<u>2 Types du lactosérum</u>	18
<u>3 Composition du lactosérum</u>	19
<u>3.1 Lactose</u>	19
<u>3.2 Protéine</u>	20
<u>3.3Matière grasse</u>	22
<u>3.4.Sels minéraux et vitamines</u>	22
<u>4. Pouvoir polluant du lactosérum</u>	23
<b><u>Chapitre 3 : valorisation du lactosérum</u></b>	24
<u>1 Valorisation du lactosérum :</u>	24
<u>1.1.Fermentation</u>	25
<u>1.2.Séchage</u>	25
<u>1.3.Ultrafiltration</u>	26
<u>2 Valorisation du lactosérum pour un usage alimentaire</u>	27
<u>2.1.Les protéines en poudre ( la whey )</u>	27
<u>2.2.BCAA</u>	28
<u>2.3.Caséine</u>	28
<b><u>Matériel et méthodes</u></b>	30
<b><u>Résultats et discussion</u></b>	39
<b>Conclusion générale.....</b>	48
<b>Annexes.....</b>	58

# **Introduction**



### Introduction :

Le lait est un aliment nutritif, riche en glucides, protéines, lipides, vitamines et minéraux. C'est un aliment traditionnel quasi complet et une boisson de grand intérêt nutritionnel. Les micro-organismes ont trouvé dans le lait un substrat idéal pour leur développement. La présence de plusieurs facteurs de croissance permet de satisfaire de multiples espèces microbiennes exigeantes qui ont du mal à se développer dans un milieu peu complet. **(Labioui et al., 2009).**

Par contre, le lactosérum est un coproduit de l'industrie laitière, est incontestablement une matière noble et riche, il est devenu une source importante de composés actifs et de nutriments spécifiques, avec des caractéristiques inégalées en termes de nutrition et de fonctions techniques, comme le lactose et les protéines solubles, les vitamines hydrosolubles, les matières grasses et les éléments minéraux. **(Benaissa, 2018).** La stimulation de ce développement est associée d'une part à l'énorme potentiel de pollution de ce produit et d'autre part au fait que la majorité de sa matière sèche est constituée d'éléments à haute valeur nutritionnelle. **(Moletta, 2002).**

En Algérie, l'inexistence d'une mise en valeur du lactosérum se pose avec acuité en raison de l'absence d'une réglementation stricte, émanant des pouvoirs publics, pouvant interdire le rejet de ce produit dans la nature. Le rejet de lactosérum dans les égouts représentant une perte sèche de l'élément nutritif. Depuis 2013, la production algérienne de fromage est de 1540 tonnes, ce qui se traduit par une production d'environ 14 million de litre de lactosérum **(FAO, 2017).**

Ces quantités énormes rendent la gestion du lactosérum à la fois économique et écologique. Economique, car la gestion de chaque kilogramme de produit (le terme produit inclut produits finis, coproduits et sous-produits) représente le coût des transformateurs industriels, et écologique car le lactosérum, s'il n'est pas géré correctement, représente un polluant majeur il serait à l'origine de pollution grave due à la fermentation de ses matières organiques (lactose et matières azotées) et à la diminution de la teneur en oxygène dissous de l'eau au-dessous d'un seuil acceptable **(Smithers, 2008).**

L'objectif de ce mémoire est de valoriser le lactosérum, et de trouver divers procédés pour réaliser la séparation des protéines du lactosérum afin de les transformer en protéine en poudre (la whey).

Les travaux réalisés dans ce mémoire sont décrits en deux parties : Une partie bibliographique qui permet de rappeler la composition physico-chimique du lait, ainsi que, la généralité du lactosérum et la possibilité de sa valorisation et une seconde partie expérimentale qui énonce l'analyse des articles.

Selon les résultats et leur interprétation, une conclusion et des perspectives seront exprimées.

# **Synthèse**

# **Bibliographique**

### Chapitre I : le lait

#### 1- Généralités sur le lait :

Le lait est un système complexe et hétérogène dont la composition chimique change en fonction de la race, l'âge, et le nombre de lactation, ainsi que les conditions de traitement et l'alimentation (**Grappin et al., 2000 ; Walstra et al., 2005**). Constituant un aliment équilibré et complet, sécrété par les glandes mammaires de la femme pour la nutrition des jeunes (**Aboutayeb, 2009**). Le lait correspond à une solution aqueuse. Constituée principalement de Protéine sérique, lactose, vitamines et minéraux, à une émulsion de matière grasse sous forme de globules gras et à une suspension de micelles de sels minéraux et des caséine (**Walstra et al., 2005**). Les protéines du lait ont une valeur nutritionnelle très rare. Leur coefficient de fonction digestive et de rendement protéique, ainsi sa valeur biologique est très élevés et parmi les supérieurs (**Jouan, 2002**).

#### 2- La composition du lait :

Le lait est un complexe nutritif qui contient plus de 100 solutions, émulsions ou substance, il est riche en plusieurs substances qui peuvent être ajouté à notre alimentation sous de nombreuses formes (**Franworth et Mainville, 2010**).

**Tableau 1 : Composition moyenne du lait entier (Fredot, 2006).**

Composants	Teneurs (g/100g)
Eau	89,5
Dérivés azotés	3,44
Protéines	3,27
Caséine	2,71
Protéines solubles	0,56
Azote non protéique	0,17
Matières grasses	3,5
Lipides neutres	3,4
Lipides complexes	<0,05
Composés liposolubles	<0,05
Glucides	4,8
Lactose	4,7
Extrait sec total	12,8g

La composition moyenne du lait entier est représentée dans la figure 1 :

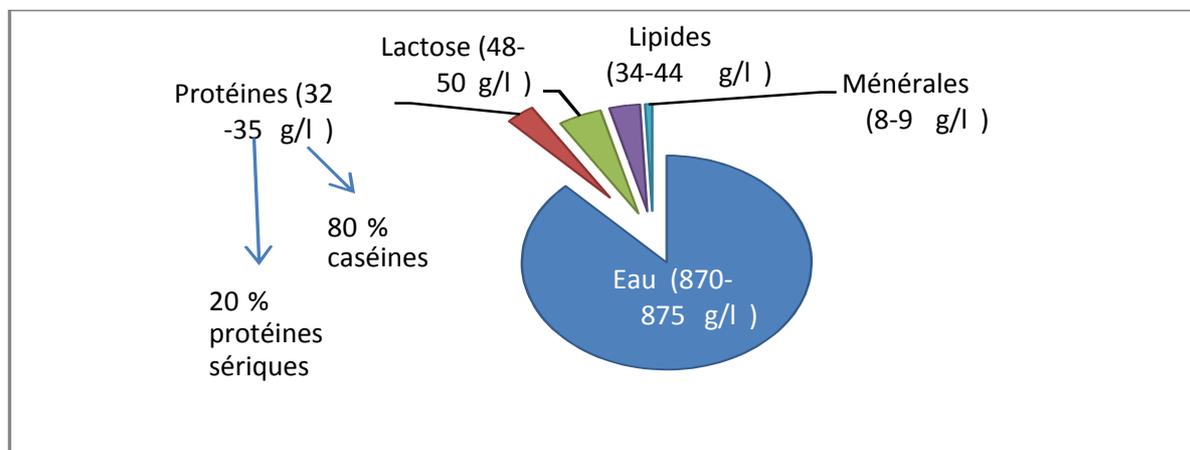


Figure 1 : Composition du lait (Lortal & Boudier, 2011).

Les principaux constituants du lait selon Pougheon et Goursaud, 2001 sont :

### 2.1 Eau

L'eau est le constituant le plus important. Sa présence donne un caractère polaire ce qui lui permet de créer une solution vraie d'une solution colloïdale avec des protéines hydrophiles du sérum et des substances polaires telles que les glucides, les minéraux, etc. Il en est de même pour les micelles de caséines qui formeront une suspension colloïdale (Amiot et coll. 2002).

### 2.2 Glucides

Les glucides représentent 1/3 de la valeur calorique du lait, et cela ne suffit pas pour faire un aliment complet (Fredot E., 2006). Sa teneur est fixe entre 48 et 50 g / l. Cette teneur présente de faibles variations dans le sens des variations du (TB) taux butyreux (Hoden et Coulon, 1991). Il se retrouve sous formes isomères de : lactose hydraté ( $\alpha$ -lactose) et le lactose anhydride ( $\beta$ -lactose). Ces deux formes diffèrent par la configuration stérique de l'atome d'hydrogène et du groupe hydroxyle OH 6 au niveau du carbone C1 du glucose C (Gaiani, 2006 ; Karam, 2013). Disaccharide composé d'une molécule de galactose, et d'une molécule de glucose reliées entre elles par une liaison osidique  $\beta$  (1 - 4) (Gaiani, 2006), (figure 2).

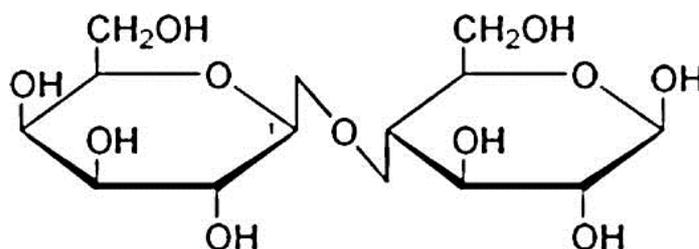


Figure 2 : Structure moléculaire du lactose. (Site web 1)

### 2.3 Les lipides

Les lipides sont présents sous forme d'une émulsion de globules gras. Sa teneur est appelée taux butyreux (TB) **Brulé et al., 2008**. En effet, la matière grasse obtenue par des méthodes mécaniques représente le contenu du globule gras (**FAO, 1998**). Les matières grasses sont présentes sous forme de globules gras de diamètre entre 0,2 et 15  $\mu\text{m}$  qui sont enfermées d'une membrane nommée par « la membrane du globule gras du lait » (**Jeantet et al., 2007**). Elle est composée par 98,5 % de glycéride, 1% de phospholipides et 0,5 % de substances liposolubles cholestérol, hydrocarbures et vitamines A, D, E, et K, (figure 3) (**Goursaud, 1985**).

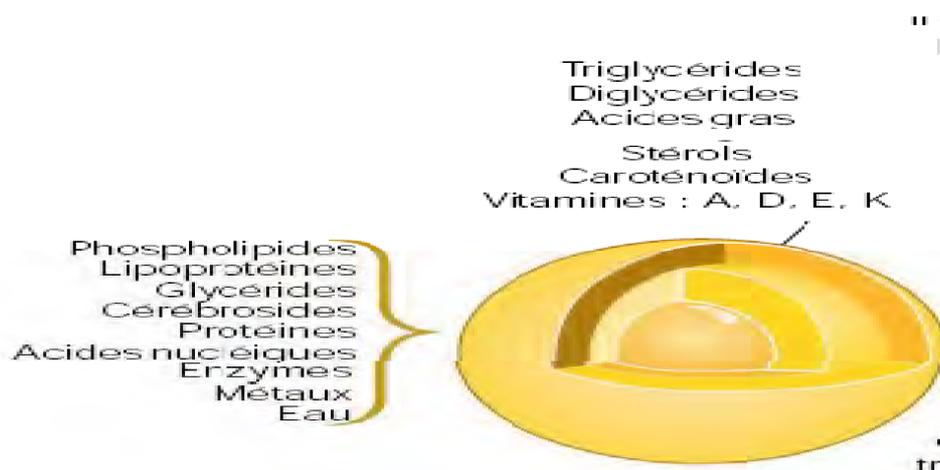


Figure 3 : Composition de la matière grasse du lait (**Bylund, 1995**)

Tableau 2 : Constituant lipidique du lait de vache et localisation dans la fraction physicochimique (g/l de matière grasse). (**FAO, 1998**)

Constituants lipidiques	Proportions	Localisation
Triglycérides	96-98	Globule gras
Diglycérides	0,3-1,6	Globule gras
Monoglycérides	0,0-0,1	Globule gras
Phospholipides	0,2-1,0	Membrane du globule gras et lactosérum
Cérébrosides	0,0-0,08	Membrane du globule gras
Stéroïdes	0,2-0,4	Globule gras
Acides gras libres	0,1-0,4	Membrane du globule gras et lactosérum

Vitamines	0,1-0,2	Globule gras
-----------	---------	--------------

## 2.4 Minéraux

La matière minérale constitue environ 9 g/l. Ses matières ne se sont pas uniquement sous la forme de sels solubles (ions et molécules), Une autre partie importante se localise dans la phase colloïdale insoluble (micelles de caséines) (Neville et Jensen, 1995). Les principaux minéraux sont et phosphate, chlorure et citrate pour les anions et le calcium, magnésium, sodium et potassium pour les cations (Tableau 3) (Gaucheron, 2004).

**Tableau 3** : Composition minérale du lait de vache (Jeantent et coll., 2007)

Eléments minéraux	Concentration (mg.kg-1)
Calcium	1043-1283
Magnésium	97-146
Phosphate inorganique	1805-2185
Citrate	1323-2079
Sodium	391-644
Potassium	1212-1681
Chlorure	772-1207

## 2.5 Protéines

Selon Mc sweeney 2003, Le lait contient de 30 à 35 g/kg de protéines groupées en 2 classes principales, les protéines de lactosérum et la caséine.

Les protéines de lactosérum sous forme soluble et la caséine existe principalement à l'état colloïdal. Ils offrent plusieurs propriétés fonctionnelles suivant l'état et leur structure dans la solution aqueuse.

### A- Les protéines de lactosérum

Les protéines de lactosérum sont des protéines qui restent solubles suite à la coagulation de la caséine par protéolyse limitée avec présure pour produire le lactosérum doux ou suite à la précipitation isoélectrique de la caséine à un pH de 04,6 à 20°C pour fabriquer du lactosérum acide, ou (Tableau 4) (Bylund,1995).

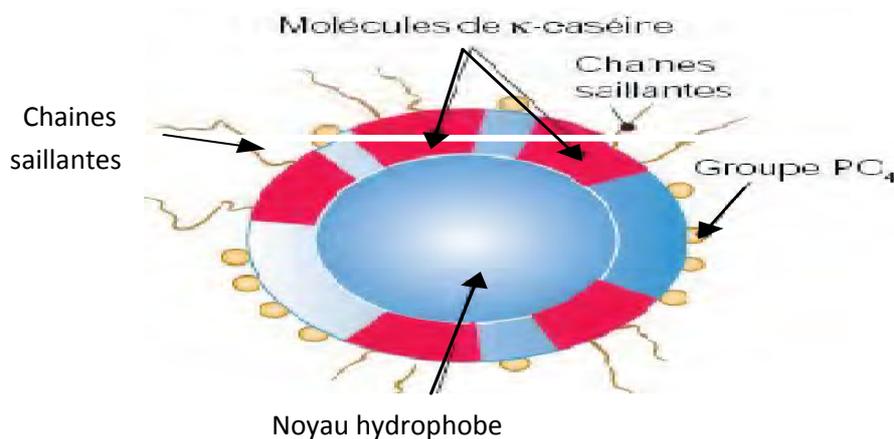
**Tableau 4 : Classification des protéines (Pougheon, 2001)**

NOMS	% des protéines	Nombre d'AA
<b>CASEINES</b>	75-85	
Caséine $\alpha_{s1}$	39-46	199
Caséine $\alpha_{s2}$	8-11	207
Caséine	25-35	209
Caséine k	8-15	169
Caséine g	3-7	
<b>PROTEINES DU LACTOSERUM</b>	15-22	162
Lactoglobuline	7-12	123
Lactalbumine	2-5	582
Sérum-albumine	0.7-1.3	-
Immunoglobulines (G1, G2, A, M)	1.9-3.3	-
Protéoses-peptones	2-4	-

**B- Caséines**

Les caséines sont les principales protéines du lait, constituant environ 80% de la matière azotée totale dans le lait de vache. Elles existent dans le lait comme micelles de caséine. (Huppertz., 2013)

La caséine se compose de : protéine 94%, calcium 3%, phosphore 2.2%, acide citrique 0.5 %et magnésium 0.1 %(Adrian et coll., 2004).



**Figure 4** : Structure d'une sub-micelle caséique (Bylund, 1995)

## 2.6 Vitamines

Les vitamines sont des composants indispensables puisqu'elles participent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires (Vignola 2002).

On particularise d'une part, les vitamines hydrosolubles (vitamine du groupe B et C) en unité constantes, et d'autre part des vitamines liposolubles (A, D, E et K) (Tableau 5) (Jeantet et coll. 2008).

**Tableau 5** : Composition vitaminique moyenne du lait cru (Amiot et coll., 2002)

Vitamines	Teneur moyenne
<b>Vitamines liposolubles</b>	
Vitamine A (+carotènes)	40µg/100ml
Vitamine D	2.4µg/100ml
Vitamine E	100µg/100ml
Vitamine K	5µg/100ml
<b>Vitamines hydrosolubles</b>	
Vitamine C (acide ascorbique)	2mg/100ml
Vitamine B <sub>1</sub> (thiamine)	45µg/100ml
Vitamine B <sub>2</sub> (riboflavine)	175µg/100ml
Vitamine B <sub>6</sub> (pyridoxine)	50µg/100ml
Vitamine B <sub>12</sub> (cyanocobalamine)	0.45µg/100ml
Niacine et niacinamide	90µg/100ml
Acide pantothénique	350µg/100ml
Acide folique	5.5µg/100ml
Vitamine H (biotine)	3.5µg/100ml

## 2.7 Enzymes

Les enzymes sont des substances organiques protidiques, créées par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Environ 60

enzymes essentielles ont été classées dans le lait dont 20 sont des éléments natifs (**Pougheon 2001**).

Une bonne partie se retrouve dans les globules gras mais le lait contient plusieurs cellules (leucocytes, bactéries). Cependant, la distinction entre éléments natifs et extérieurs n'est donc pas facile.

**Tableau 6 : Caractéristiques des principaux enzymes du lait (Vignola, 2002)**

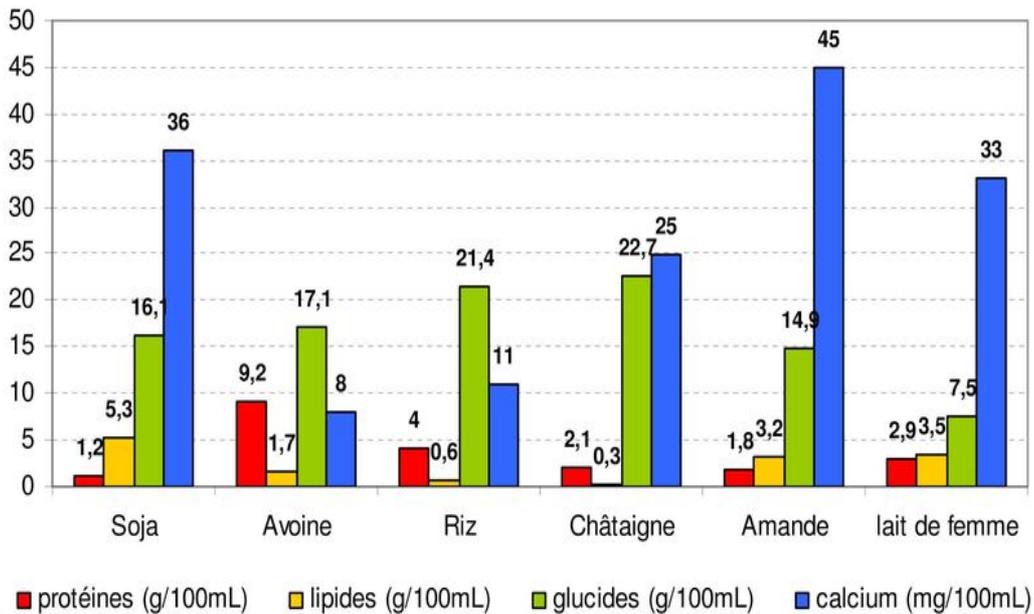
Groupe d'enzyme	Classes d'enzymes	PH	Température (°C)	Substrats
<b>Hydrolases</b>	<b>Estérases</b>			
	Lipases	8.5	37	Triglycérides
	Phosphatase alcaline	9-10	37	Esters phosphoriques
	Phosphatase acide	4.0-5.2	37	Esters phosphoriques
<b>Protéases</b>				
	Lysozyme	7.5	37	Parois cellulaire
	Plasmine	8	37	microbienne Caséines
<b>Déshydrogénases ou oxydases</b>	Sulphydrile oxydase	7	37	Protéines, peptides
	Xanthine oxydase	8.3	37	Bases puriques
<b>Oxygénases</b>	Lactoperoxydase	6.8	20	Composés réducteurs+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
	Catalase	7	20	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>

### 3- Source du lait

#### 3.1 Source végétale

Un lait végétal est produit à partir de végétaux (céréales ou oléagineux principalement), destinée à se remplacer le lait animal. Leur forme est proche du lait de vache et ils peuvent être utilisés de la même façon. Ces laits végétaux se nomment donc dans le marché par des "boissons" de riz, de soja, d'amande... (**Lafaurie,2019**)

Selon **Glover-Bondeau(2020)**, Le lait végétal est intéressant pour ceux qui sont allergiques ou intolérants au lactose de lait de vache et pour ceux qui ont du cholestérol. Ils ont aussi des propriétés nutritionnelles différentes comme : vitamines A, B et E, du calcium, du fer et du magnésium en grande quantité et des fibres...



**Figure 5 :** Composition des différents laits végétaux comparés au lait maternel (Joyeux 2017).

### 3.2 Source animale

Tous les laits de mammifères ont une structure identique base, il existe de fortes homologies structurales entre les protéines du lait des diverses espèces : 97% entre le lait de brebis et le lait de chèvre, 85% entre le lait de vache et le lait de brebis ou de chèvre et au moins 50% entre le lait de vache et les protéines des espèces laitières les plus écartées de la vache. (Navarro, 1993).

Selon Joyeux (2017), du point de vue de la composition nutritionnelle, il est préférable de consommer du lait de chèvre ou de brebis, notamment pour leurs acides gras et leur teneur plus équilibrée en minéraux et en calcium, et surtout pour les facteurs de croissance qu'ils apportent.

Le lait de brebis, très riche en nutriments et moins riche en eau. En cas d'allergies familiales, le lait de jument sert à remplacer le lait maternel chez le nourrisson, ce dernier a une composition d'autant plus intéressante (vitamine C, zinc, acides gras essentiels ou polyinsaturés, non synthétisés par notre organisme...) (Joyeux 2017).

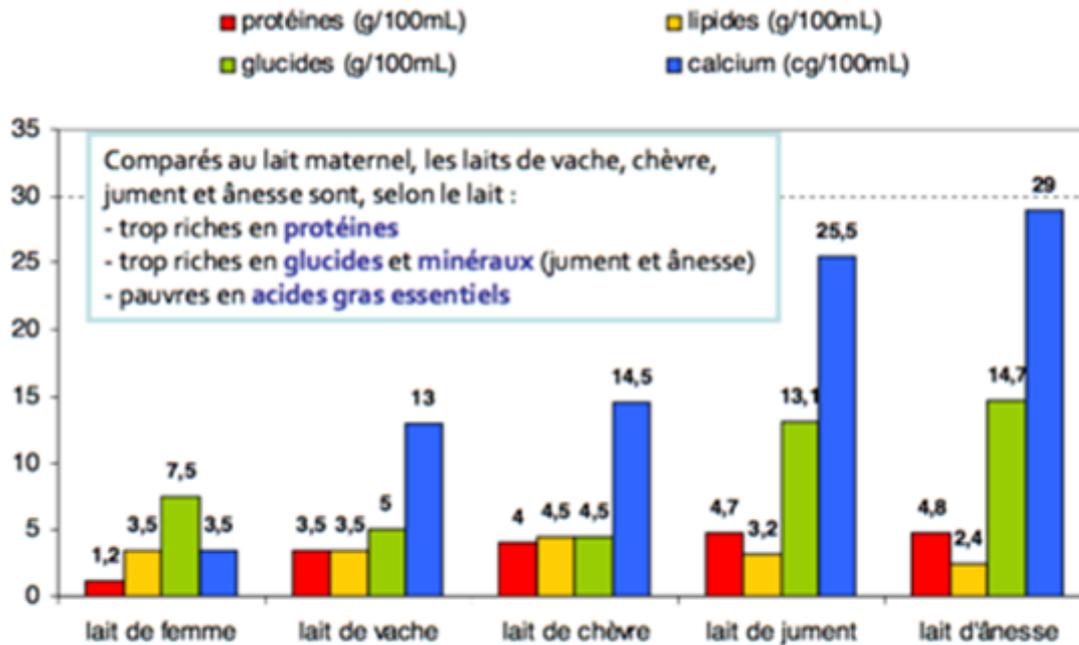


Figure 6 :Composition des différents laits de mammifères comparés au lait maternel (Joyeux 2017)

#### 4- Les différents produits laitiers

Il existe un grand nombre de laits qui se distinguent par leur matière première, leur goût, leur durée de conservation, leur flore microbienne, leur technologie et texture.

##### 4.1 Le lait caillé

Le lait caillé est un lait acidifié récupérer soit par le lait caillé de la veille, avec ou sans ajout de coagulants (présure, pepsine), ou par une fermentation naturelle après ensemencement avec un levain lactique préparé à l'avance. (Dieng, 2001)

##### 4.2 Yaourt

Le yaourt est le lait fermenté le plus consommé. C'est un lait obtenu par la multiplication de deux bactéries lactiques spécifiques associées : Streptococcus thermophilus et Lactobacillus bulgaricus. (Luquet, 1990).

##### 4.3 Lait fermenté acidifié « l'ben »

Lait acidifié, appelé aussi : Laban ; L'ben ; Ayran, il peut être fabriqué à partir de lait de vache en poudre ou de lait frais d'origine bovine. Il est obtenu par un caillage lactique plus ou moins long, allant de 3h à 18h, selon le caillage, le produit obtenu est identique en apparence mais de saveur et gout très différents. (Luquet, 1986)

### 4.4 Kéfir

C'est un lait fermenté alcoolisé d'origine caucasienne, connue par une texture visqueuse et un goût très acide et un léger arôme de levure et d'alcool. Le ferment utilisé pour sa préparation, l'inoculum ayant l'apparence de petits choux-fleurs qui se compose d'un mélange de levures et de protéines polysaccharides, de bactéries lactiques et de bactéries acétiques. **(Lamontagne, 2002)**.

### 4.5 Koumis

Le koumis est un lait de jument fermenté consommé par la population des steppes d'Asie centrale depuis des siècles. Il est principalement le résultat d'une double fermentation lactique et alcoolique du lactose. Selon l'acidité et la teneur en alcool, il existe des Koumis : doux, moyen et fort. **(Michel et al, 2000)**.

## 5- Caractères physico-chimiques du lait

Les propriétés physico-chimiques appliquées dans l'industrie laitière sont la densité et la masse volumique, le point de congélation, le point d'ébullition, l'acidité et le pH **(Amoït et al ; 2002)**.

### 5.1 Densité

La densité du lait d'une espèce donnée n'est pas une valeur fixe, elle change en suspension et de la proportion de matière grasse et en fonction de la concentration des éléments dissous **(Alais, 1984)**. Elle oscille entre 1,028 et 1,034. Elle doit être supérieure ou égale à 1,0280 à 20 °C. La densité des laits de grand mélange des laiteries est de 1,032 à 20°C **(Vignola 2002)**.

### 5.2 Masse volumique

Selon **(Pointurier, 2003)**, la masse volumique est déterminée comme le quotient de la masse d'une certaine quantité de lait divisée par son volume. Cette masse est formulée en gramme/ml ou kg/l , ses propriétés physiques changent avec la température **(Vignola, 2002)**.

### 5.3 Point de congélation

Le point de congélation est mesuré pour déterminer la quantité d'eau ajoutée au lait qui peut changer sa qualité, la réglementation stipule que le point de congélation du lait pasteurisé ne doit pas dépasser (0°C -0,520°C. **(Rijnvallei, 2013)**.

En général, tous les changements dans la composition du lait ou les traitements qui font varier leurs quantités provoquent une modification du point de congélation. **(Mathieu ,1999)**.

### 5.4 Point d'ébullition

D'après **Amoit et al (2002)**, Le point d'ébullition est la température laquelle la pression de vapeur d'une substance ou d'une solution est égale à la température atteinte lorsque la pression est appliquée. Le point d'ébullition est affecté par la présence de solides solubilisés. Il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, 100, 5°C.

### 5.5 Acidité

L'acidité du lait est le résultat de l'acidité naturelle, due à la caséine, aux groupes phosphates, au dioxyde de carbone, aux acides organiques et de l'acidité développée, due à l'acide lactique produit lors de la fermentation lactique. (**Jean et Dijon1993**).

### 5.6 Le pH

Le lait est considéré comme neutre, ni acide ni alcalin. Il a un pH proche de 7, comme l'eau pure, les graisses et les sucres. (**Bélangier et al ; 2015**).

S'il y a une action des bactéries lactiques, une partie du lactose du lait sera dégradée en acide lactique, ce qui entraîne une élévation de la concentration des ions hydronium (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) dans le lait, donc une diminution du pH, reflétant les composés acides du lait (**CIPC, 2011**).

**Tableau 7** : Caractéristiques physico-chimiques du lait de vache (**Ait Amermeziane, 2008**).

Composition	Vache
Énergie	705
Densité du lait entier a 20°C	1.028 – 1.033
Point de congélation (C°)	-0.520 – (-0.550)
PH-20°C	6.60 – 6.80
Acidité titrable (°Dornic)	15 - 17
Tension superficielle du lait entier a 15°C (dynes cm)	50
Indice de réfraction	1.45 – 1.46
Viscosité du lait entier à 20°C (Centipoises) Indice de réfraction	2.0 – 2.2

## 6- Valeur nutritionnelle du lait

Le lait est un aliment liquide mais sa masse grasse sèche est de 10-13%, sa valeur énergétique est de 700kc/l, ses protéines ont une valeur nutritionnelle élevée, notamment la lactoglobuline et la lactalbumine, qui sont riches en acides aminés soufrés. Le lait est une source de calcium et de phosphate de riboflavine, il est également relativement riche en thiamine, cobalamine, vitamine A. En revanche, il contient peu de fer et de cuivre, peu d'acide ascorbique de niacine, relativement peu de vitamine D. (Nafti, 2011).

## Chapitre II : Lactosérum

### 1- Définition du lactosérum

Le lactosérum est un coproduit de l'industrie fromagère et de la préparation des caséinates (Jouan, 2002). Ce lactosérum est un produit qu'il existe il y a plus de 3000 ans par les bédouins lors du transport du lait. (De Witt, 2001). En effet, il est devenu une source intéressante de composés actifs et de nutriments spécifiques, présentant des propriétés incomparables, tant sur le plan nutritionnel que techno-fonctionnel, tels que le lactose, les protéines solubles, les vitamines hydrosolubles, les graisses et les éléments minéraux (Benaissa, 2018). La production de 10-20 Kg de fromage donne 80 à 90 Kg de lactosérum (Ilker et al., 2006). (Figure7).



Figure 7 : image du lactosérum (Site web 3)

### 2- Types du lactosérum

L'isolat de lactosérum est un lactosérum dont on a retiré la quasi-totalité de la matière grasse et du lactose (**Jean-Yves Dionne, 2011**). On distingue souvent deux grandes classes de lactosérum en fonction du coagulant : le lactosérum doux et le lactosérum acide. (**Linden et al., 1994 ; De La Fuente, 2002**). (Tableau 8)

**Tableau 8** : La composition des différents lactosérums (**Linden et al., 1994 ; De La Fuente, 2002**).

### 2.1 Lactosérum acide

Degré d'acidité	Type	pH	Production
<b>&lt;18°D</b>	<b>Lactosérum doux</b>	$6,5 \pm 6,7$	-Fromagerie à pâte pressée - Fromagerie à pâte cuite - Caséinerie présure.
<b>&gt;18°D</b>	<b>Lactosérum acide</b>	$4,5 - 5,5$	- Fromagerie à pâte fraîche - Fromagerie à pâte molle - Caséinerie acide

Les lactosérums acides ont une faible teneur en lactose et une teneur plus élevée en minéraux. Ils sont également plus chargés en bactéries lactiques et moins enclins à la fermentation que le lactosérum doux (**Moletta, 2002**). Les teneurs élevées en acide lactique et en minéraux posent des problèmes de déshydratation ; le lactosérum acide est habituellement utilisé sous forme liquide, alors que le lactosérum doux est généralement déshydraté. (**Moletta, 2002**) Le lactosérum acide est issu de la production de pâtes fraîches et molles, et son pH varie entre 4,5 et 5 (**Adrian et al., 1991**).

### 2.2 Lactosérum doux

Il est obtenu après la mise en coagulation de la caséine sous l'action de la présure sans acidification préalable, ce qui permet de produire un lactosérum doux, faible en sels minéraux et riche en lactose et en protéines, ce type de lactosérum contient également une glycoprotéine issue de l'hydrolyse de la caséine Kappa par la présure (**Sottiez, 1990, De La Fuente et al., 2002**). Lorsque le lactosérum de fromage n'est pas manipulé avec toutes les précautions nécessaires, la fermentation naturelle se poursuit et augmente son acidité. Le lactosérum doux issu de la fabrication des fromages à pâte pressée cuite ou non cuite (Emmenthal, Saint Paulin, Edam, etc.) a un pH compris entre 5 et 6,3. (**Morr et al., 1993**).

## 3- Composition du lactosérum

Qu'il soit doux ou acide, le lactosérum est composé principalement de lactose, de protéines solubles et d'ions minéraux. En fonction des divers paramètres de fabrication utilisés dans l'industrie laitière, la teneur en caséines résiduelles, en matières grasses et en certains ions minéraux peut changer. Le lactosérum doux contient un peu plus de protéines et de lactose car il n'est pas fermenté en acide lactique, contrairement au lactosérum acide, qui est obtenu par fermentation lactique. (Fick, 2016)

**Tableau 9 : Composition du lactosérum (Bylund,2003)**

Constituants	Lactosérum doux (%)	Lactosérum acide (%)
<b>Eau</b>	94	93.6
<b>Solides totaux</b>	6,0	6,4
<b>Lipides</b>	0.05	0.05
<b>Protéines véritables</b>	0.60	0.60
<b>Azote non protéique</b>	0.20	0.20
<b>Lactose</b>	4.5	4.6
<b>Cendre (minéraux)</b>	0.5	0.8
<b>Calcium</b>	0.035	0.12
<b>Phosphore</b>	0.040	0.065
<b>Sodium</b>	0.045	0.050
<b>Potassium</b>	0.14	0.16
<b>Chlore</b>	0.09	0.11
<b>Acide Lactique</b>	0.05	0.4

### 3.1 Lactose

Le lactose représente 70 à 80% de la matière sèche du lactosérum, il peut subir des transformations de cristallisation, de dégradation physico-chimique et de fermentation lactique bactérienne. Le lactose représente la matière sèche indispensable, il est la source de carbone et d'énergie pour les micro-organismes d'un milieu de culture lors de la fermentation (Gana et al, 2006). Le lactose peut être rattrapé du perméat par une succession de précipitation des minéraux, évaporation de l'eau et cristallisation (Vignola, 2002).

### 3.2 Protéine

Les protéines du lactosérum constituent environ 20% (5-7 g/L) de la matière azotée globale du lait de vache. Les principales protéines du lactosérum sont la  $\beta$ -lactoglobuline ( $\beta$ -LG), l' $\alpha$ -lactalbumine ( $\alpha$ -LA), la sérum-albumine bovine (BSA) et les immunoglobulines (Igs) par

ordre décroissant de concentration en protéines du lactosérum 3 qui sont principalement globulaires avec une distribution assez uniforme des acides aminés hydrophobes/hydrophiles le long de leur chaîne polypeptidique (**Tableau 10**) (**Mulvihill, Donovan, 1989**).

**Tableau 10 : Les protéines du lactosérum (Vierling, 2008).**

**Thapon (2005)**, définit les protéines du lactosérum classé comme des protéines d'excellente valeur nutritionnelle, riches en acides aminés soufrés, en lysine et tryptophane. Elles possèdent des propriétés fonctionnelles remarquables mais sont sensibles à la dénaturation thermique.

Pourcentage respects	%	
<b><math>\beta</math> lactoglobuline</b>	<b>50</b>	<b>A-</b>
<b><math>\alpha</math> lactalbumine</b>	<b>23</b>	<b>La</b>
<b>Protéase peptones</b>	<b>17</b>	<b><math>\beta</math>-</b>
<b>Immunoglobulines</b>	<b>10</b>	
<b>Métalloprotéines</b>	<b>&lt; 1</b>	

### **lactoglobuline**

La  $\beta$ -lactoglobuline est la protéine la plus importante du sérum, représentant environ 55%. C'est une protéine de 162 acides aminés avec 7 variantes génétiques (A, B, C, D, E, F, G). (**Debry, 2001**).

### **B- L' $\alpha$ -lactalbumine**

L' $\alpha$ -lactalbumine est une protéine de 123 acides aminés avec trois variants génétiques (A, B, C). Elle constitue environ 22% des protéines sériques. (**Vignola, 2002**).

### **C- La sérum-albumine**

Représente environ 7 % des protéines du sérum. Elle est constituée de 582 résidus d'acides aminés. Elle ne possède qu'une seule variante génétique A qui est identique à la sérum-albumine. (**Vignola, 2002**).

### **D- Les immunoglobulines**

Ce sont des glycoprotéines de haut poids moléculaire responsables de l'immunité. Il existe trois grandes classes d'immunoglobulines : IgA, IgG, IgM. Elles sont très abondantes dans le colostrum (**Thapon, 2005**).

### E- Protéoses-peptones

Elles forment la fraction protéique soluble après chauffage du lait acidifié à pH 04,6 à 95°C pendant 20 à 30 minutes. C'est un groupe hétérogène résultant de la protéolyse par la plasmine de la caséine  $\beta$ . (**Debry, 2001**).

**Tableau 11 : acides aminés essentiels (g/100g) (Moletta, 2002)**

Acide amine	Protéines de lactosérum	Caséines
<b>Tryptophane</b>	1.38	1.22
<b>Lysine</b>	10.9	8.81
<b>Méthionine</b>	1.95	3.07
<b>Cystéine</b>	1.35	0.57
<b>Leucine</b>	7.09	9.8
<b>Isoleucine</b>	4.06	4.8
<b>Phénylalanine</b>	3.47	5.18
<b>Valine</b>	5.54	3.55
<b>Thréonine</b>	5.03	4.7

### 3.3 Matière grasse

La matière grasse représente que 0,7 % de la matière sèche du lactosérum, la quasi-totalité de la matière grasse du lait étant retenue dans le caillé. La constitution chimique du lactosérum change considérablement en fonction de la provenance du lait, des différents procédés de traitement utilisés pour le transformer en produits consommables et des opérations de fabrication. (**Leghlimi, 2004**).

### 3.4 Sels minéraux et vitamines

La concentration des minéraux contenus dans le lactosérum (tableau 12) est une autre façon de valoriser ce sous-produit. Les sels de calcium, et magnésium, potassium et sodium constituent l'essentiel de ces minéraux (> 50% NaCl et KCl, sels de calcium) avec des traces de métaux tels que le zinc et le cuivre. (**Ryan et Walsh, 2016**).

**Tableau 12.** Teneur en minéraux du lactosérum (**Boudjema et al., 2009**).

	Lactosérum doux		Lactosérum acide		
	Pâte pressée cuite (Emmental)	Pâte pressée non cuite (Edam)	Pâte fraîche	Caséine	Camembert
Ca en %	0.60	0.65	1.90	1.80	0.70
P en %	0.60	0.65	1.50	1.50	0.70
Chlorure (NaCl) %	2.25	2.50	2.50	7.50	2.50

Le lactosérum comprend également des vitamines fondamentales pour notre organisme et plus spécifiquement les vitamines B2, B5, B12, B6 et C, qui peuvent être utilisées dans l'industrie pharmaceutique ou alimentaire. (**FICK, 2016**).

**Tableau 13.** Teneur en vitamines du lactosérum (**Linden et Lorient, 1994**).

<b>Vitamines</b>	<b>Concentration (mg/ml)</b>	<b>Besoins quotidiens (Mg)</b>
Thiamine (vit. B1)	0.38	1.5
Riboflavine (vit. B2)	1.2	1.5
Acide nicotique (vit. B3)	0.85	10-20
Acide pantothénique (vit. B5)	3.4	10
Pyridoxine (vit. B6)	0.42	1.5
Cobalamine (vit. B12)	0.03	2

#### **4- Pouvoir polluant du lactosérum**

Le petit-lait génère une pollution organique importante : 1 litre correspond à environ 85% de la pollution quotidienne générée par une personne. (**Laplanche et al., 2006**).

La fabrication du lactosérum dans le monde est évaluée à 180 à 190 millions de tonnes par an (**Baldasso et al., 2011**). Il pose un grand problème car c'est l'un des rejets industriels les plus polluants en raison de la fermentation organique qui peut s'y produire. Sa teneur en matière organique est très élevée et sa BDO (demande biologique en oxygène) varie autour de 40.000

mg. L-1 alors que la limite de rejet pour une industrie traitant ses effluents de manière autonome est de 30 mg. L-1. **(Poirier, 1996)**.

En effet, le rejet direct du lactosérum dans les cours d'eau (rivières, ruisseaux, etc.) provoque une baisse de la teneur en oxygène dissous, des problèmes d'eutrophisation et de toxicité qui modifient les propriétés physico-chimiques des écosystèmes aquatiques. **(Arevalo, 2017)**.

Selon **Baldasso et al. (2011)**, seulement la moitié du lactosérum est récupéré dans le monde, ce qui nécessite de développer des solutions simples et économiques pour la valorisation de ce co-produit. Les procédés de filtration membranaire ont été appliqués pour récupérer la partie protéique du lactosérum afin de créer un concentré de grand intérêt nutritionnel et commercial.

Plusieurs étapes membranaires sont proposées pour le traitement des effluents laitiers tels que des procédés à une seule étape comme l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration ... etc. **(Koyuncu et al., 2000)**

### Chapitre 3 : Valorisation du lactosérum

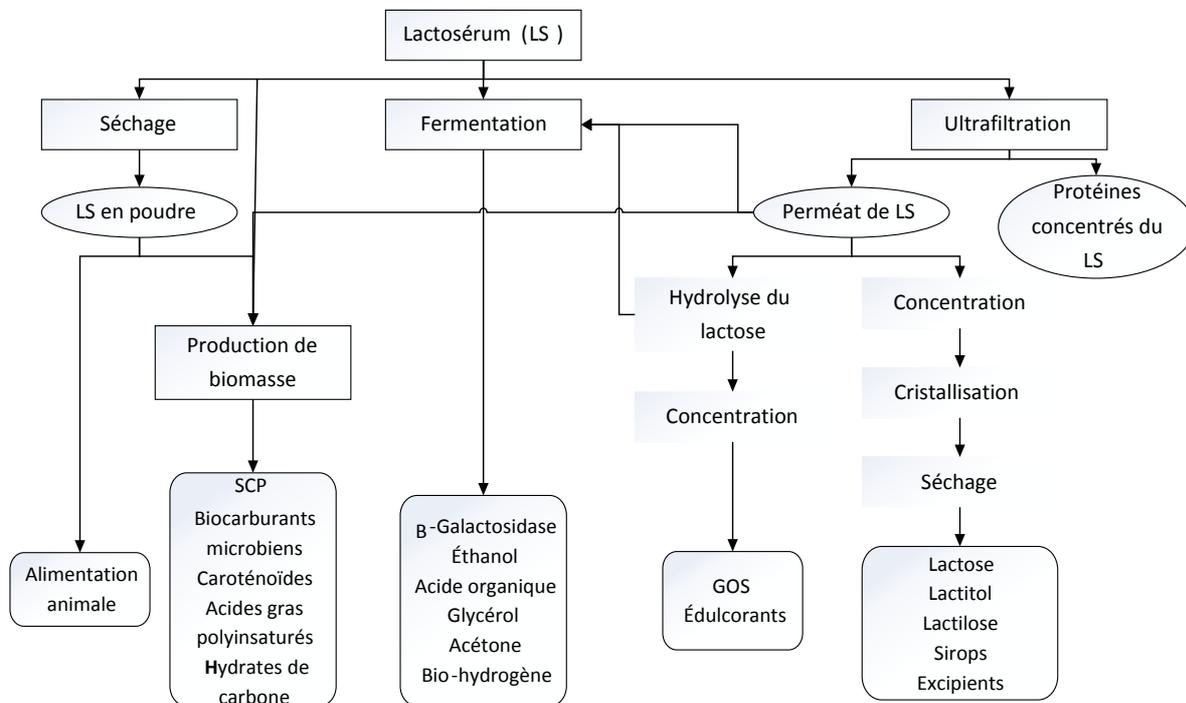
#### 1- Valorisation du lactosérum :

Dans l'industrie laitière, le lactosérum a été longtemps considéré comme un résidu encombrant, car il est fabriqué en très grande quantité au cours de la fabrication du fromage. En Algérie, l'industrie fromagère rejette quotidiennement 6000 litres de lactosérum par jour, soit 4 à 12 kg pour 1 kg de fromage réalisé **(Gana et Touzi, 2001)**. Depuis 2013, la production algérienne de fromage est de 1540 tonnes, ce qui se traduit par une production d'environ 14 millions de litres de lactosérum. **(FAO, 2017)**.

Le lactosérum doit être considéré comme un produit dérivé plutôt qu'un sous-produit de la fabrication des fromages, ou de la caséine. C'est un sous-produit de l'industrie fromagère, son rejet dans les effluents entraînerait une pollution s'il n'était pas valorisé, cependant c'est un produit très riche en protéines, lactose et vitamines donc son rejet représente une grosse perte économique. **(Khodja et Yousfi, 2020)**.

La valorisation du lactosérum se fait en utilisant des produits ayant une valeur économique. Cette valorisation est essentielle pour éviter de payer les coûts de transformation ou d'élimination du lactosérum. Certains des produits dérivés du lactosérum sont le concentré de protéines et de lactose, le phosphate de calcium et le sirop de lactose, le filtrat déprotéiné et délactosé, le beurre de lactosérum. **(Marwaha et al., 1988 ; Pesta et al., 2007)**.

Trois options différentes d'utilisation de lactosérum peuvent être envisagées (Figure 8) :



**Figure 8** : Différents procédés de valorisation du lactosérum (Panesar et Kennedy, 2012 ; Da-Silva et al., 2014)

### 1.1 Fermentation

Elle consiste à utiliser des procédés biologiques pour la valorisation du perméat de lactosérum qui conserve la quasi-totalité du lactose, des minéraux et des vitamines. En effet, l'hydrolyse du lactose permet de générer deux monosaccharides (glucose et galactose) qui sont utilisables dans l'industrie laitière, les pâtes alimentaires, la confiserie et les boissons gazeuses. (Gekas et Lopez-Leiva, 1985).

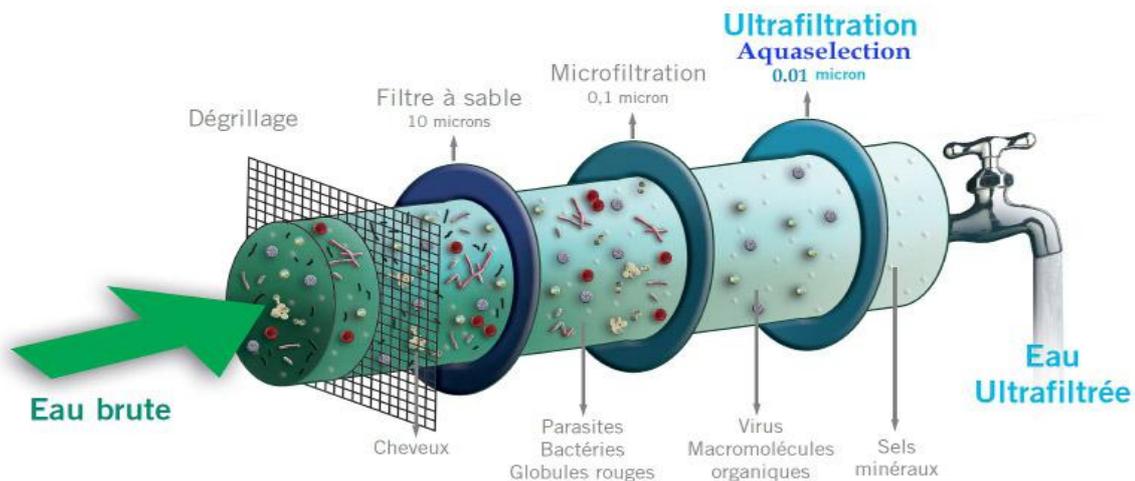
### 1.2 Séchage

Il s'agit de l'utilisation du lactosérum et de son perméat comme substrat pour la fabrication de biomasse. En effet, ils contiennent des protéines solubles (source d'azote protéique), du lactose (source de carbone organique) et des sels contenant l'azote (source d'azote non protéique). Il est nécessaire à la croissance de certains micro-organismes et ils contiennent également des vitamines hydrosolubles et constituent un très bon milieu de base pour tous les modes de culture hétérotrophes et mixotrophes. (Siso, 1996)

### 1.3 Ultrafiltration

Elle est basée sur l'application de procédés de valorisation dont l'objectif est de récupérer des éléments de haute valeur nutritionnelle et fonctionnelle tels que les protéines et le lactose

(environ 10g et 50g respectivement dans chaque litre de lactosérum), une démarche économique qui permet de préserver la qualité des protéines extraites sans les dénaturer, peut être utilisée comme additif dans l'industrie du pain (concentré de protéines à 35%) ou comme ingrédient dans la fabrication d'aliments pour bébés (concentré de protéines à 92%). (Domingues et al., 1999) (figure 9).



**Figure 9** : Représentation des différents types de filtration. (Fick, 2016)

Il existe d'autres procédés pour réaliser la séparation des protéines du lactosérum :

- **Thermo coagulation**

Il s'agit d'une technique basée sur la précipitation des protéines sériques par le réchauffement en milieu acide. Cependant, il faut noter que si le rendement maximal de récupération se situe autour de pH 5,0-5,5, la précipitation à des pH inférieurs ou supérieurs rend la préparation de protéines plus solubles et plus facilement dispersables. (Linden et Lorient., 1994).

- **Précipitation**

La précipitation avec du sulfate d'ammonium permet la séparation des protéines. Cette technologie utilise leur solubilité différentielle, en changeant la force ionique du milieu, il est possible de précipiter et de séparer plus ou moins rapidement différentes protéines. A faible force ionique, les protéines sont solubles dans le milieu, mais quand la force ionique du milieu est augmentée, elles seront privées de leur couronne d'eau, s'aggloméreront et formeront un précipité. (fick, 2016).

- **La chromatographie d'échange d'ion**

La chromatographie est une technique de séparation et d'analyse des composants d'un mélange consistant en la migration d'une phase mobile (soluté) sur une phase stationnaire (solide ou liquide fixe). Le fonctionnement est basé sur les différences d'affinité des composés entre la phase stationnaire et la phase mobile, on retrouve la chromatographie par filtration sur gel qui est une méthode de séparation des protéines en fonction de leur poids moléculaire. Le support est constitué de billes poreuses avec des trous de taille différente, ce qui permet de séparer des protéines de tailles variées selon la gamme de fractionnement. Les grosses molécules seront éluées en premier car elles ne traversent pas les billes, mais les petites molécules pourront pénétrer dans les billes poreuses et mettront plus de temps à migrer. (Figure 10). (fick, 2016)

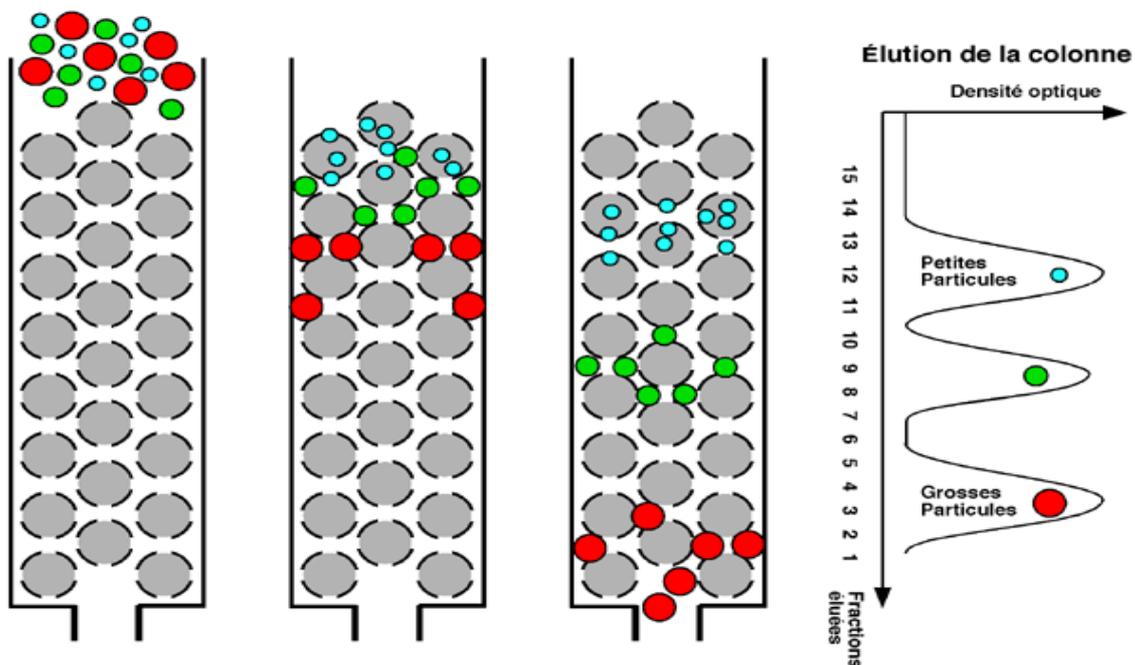


Figure 10 : Principe de la chromatographie gel filtration (fick, 2016)

## 2- Valorisation du lactosérum pour un usage alimentaire

### 2.1 Les protéines en poudre (la whey)

Elles ont une haute valeur nutritionnelle mais sont également utiles pour élaborer des produits diététiques et thérapeutiques. En effet, ces protéines de lait possèdent plusieurs caractéristiques intéressantes, elles sont utilisées pour leurs bonnes solubilités (environ 95% de pH 1 à 4 et pH 6 à 8), leurs propriétés moussantes et émulsifiantes. (fick, 2016)

A partir du lactosérum, on peut également former des co-précipités en modifiant la teneur de quelques éléments qui le composent. Ainsi, il est possible d'obtenir une concentration plus

forte en protéines dans la poudre résiduelle pour ensuite améliorer la teneur en protéines des produits laitiers tels que les yaourts ou encore dans les produits de boulangerie ou réservés à l'alimentation infantile. Ce procédé est effectué à basse température afin de préserver la conformation native des protéines. Ces protéines sont ensuite intégrées à l'aliment. On l'appelle WPC (Whey Protein Concentrate) : il contient en général 35 à 85% de protéines. Par ailleurs, la technique d'hydrolyse, par digestion enzymatique, appliquée aux protéines de lactosérum, permet d'obtenir des hydrolysats de protéines qui sont riches sur le plan nutritionnel et facilement applicables dans les préparations diététiques. L'hydrolyse contrôlée des protéines peut également permettre d'éliminer leurs propriétés allergènes, et elles peuvent donc être utilisées pour la fabrication de produits hypoallergéniques. Enfin, une hydrolyse très poussée conduit à de petits peptides composés de seulement 2 à 5 acides aminés. Ceux-ci ont souvent un rôle très actif sur le plan biologique. **(fick, 2016)**

### 2.2 BCAA

Selon, **(fick, 2016)** Les BCAA (acides aminés à chaîne ramifiée), appelés acides aminés à chaîne ramifiée (leucine, valine et isoleucine) sont principalement utilisés comme substrats énergétiques en raison de leur abondance dans les muscles. De nombreux produits à base de protéines et d'acides aminés destinés à "augmenter les performances physiques" et qui agit sur l'activation de l'anabolisme musculaire en optimisant le temps de récupération.

### 2.3 Caséine

La caséine est la principale protéine du lait de vache. Elle représente près de 80% des protéines contenues dans le lait. Les 20% restants sont des protéines sériques. Les caséines sont des polypeptides phosphorés associés principalement à des constituants minéraux, notamment le calcium, mais aussi le phosphate, le magnésium et le citrate, de façon à former des micelles de phospho-caséine de calcium. **(MOKHTARI, 2018)**

# **Matériel et méthodes**

### **Valorisation des rejets de l'industrie laitière (lactosérum) par technique membranaire (ultrafiltration)**

**S. Lachebi and F. Yelles. Algerian Journal of Environmental Science and Technology, ISSN : 2437-1114. December edition. Vol.4. No3. (2018)**

#### **I. Introduction :**

Le lactosérum représente 90% du volume initial du lait destiné à la fabrication du fromage et le principal sous-produit (**Molette, 2002**). Il est très riche en lactose et en protéines, ce qui le rend dommageable pour les écosystèmes aquatiques (DBO5 de 40 à 50g de O2/l de lactosérum) (**Ghaly ; et al 1989**), alors que la norme internationale de rejet pour une industrie est de 30mg de O2/l. (**Poirier, 1996**).

La valorisation complète des glucides et des protéines par évaporation, séchage ou filtration membranaire peut réduire efficacement la DBO5 dans les effluents de fromages industriels.

Les méthodes basées sur la filtration membranaire permettent de combiner dépollution et récupération (**Pontalier, 1995**) et de travailler dans des conditions particulièrement douces (**Aimar, 1998**). De plus, les membranes permettent de supprimer la consommation de produit chimique (floculant, coagulant...) pour le traitement de l'effluent (**Cartwright, 1992**). C'est un avantage important pour un développement systématique plus propre.

L'ultrafiltration permet de valoriser et de concentrer les protéines du lactosérum tout en supprimant le lactose et les sels minéraux. Ces opérations permettent de retenir les protéines de la membrane filtrante et de laisser un perméat composé principalement d'eau, de lactose et de sels minéraux.

#### **II. Objectif de la recherche :**

L'objectif de (ce mémoire de (**Lachebi, 2008**) et l'article de (**Lachebi et Yelles, 2018**) sur la valorisation du l'industrie laitière (lactosérum) par technique membranaire (ultrafiltration) est de donner aux industries fromagères algériennes un outil de récupération des protéines du lactosérum par un procédé économique et efficace (ultrafiltration) et ainsi réduire le caractère polluant de ce sous-produit.

#### **III.1. Produit étudié**

Les échantillons utilisés dans cette étude proviennent de l'unité laitière et fromagère de Draa Ben Khedda (D.B.K.) le lactosérum est de type doux, du premier soutirage lors de la

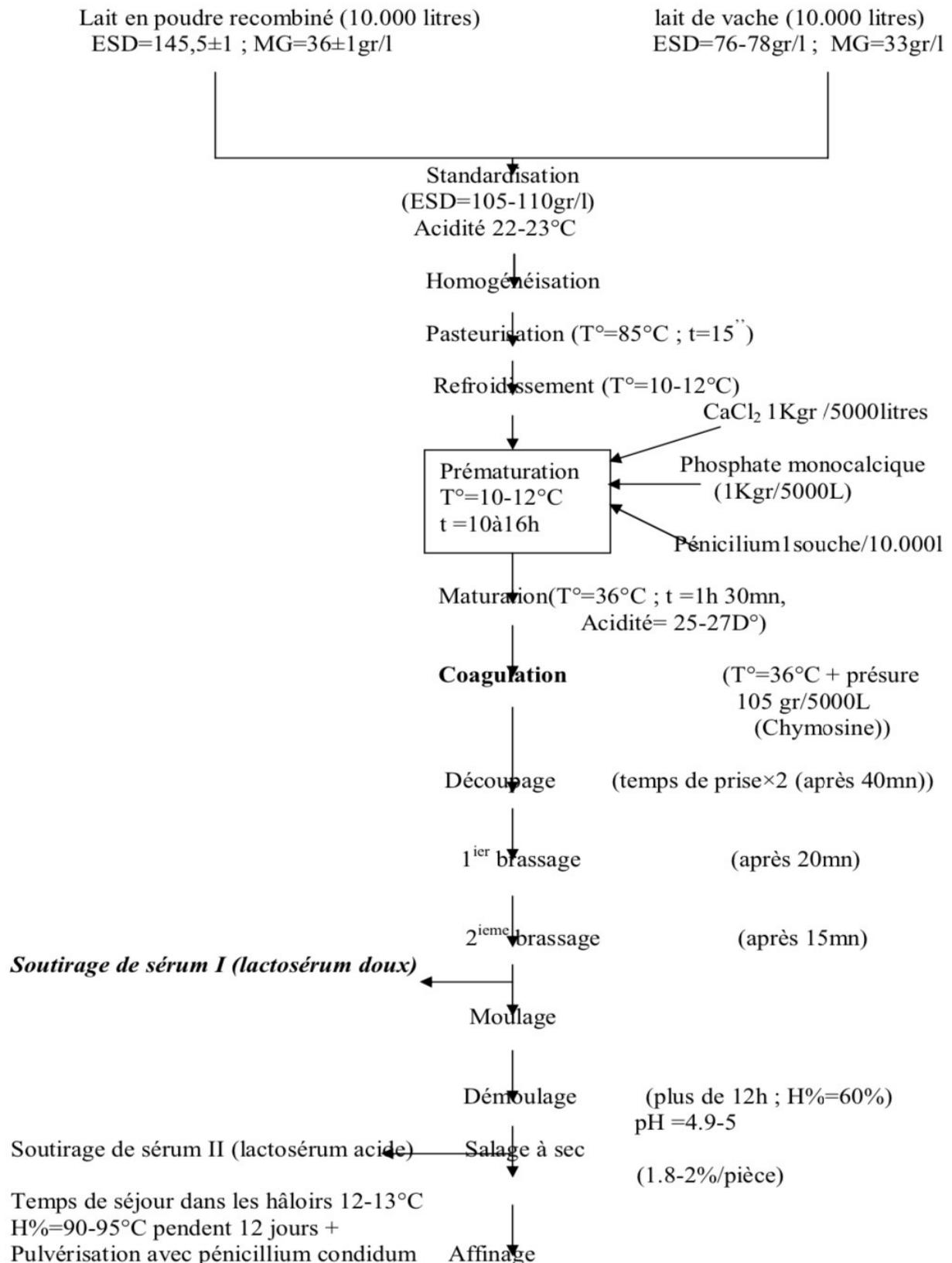
fabrication du fromage de type Camembert selon le schéma de la figure 1, les échantillons ont été prélevés au niveau de la cuve de coagulation, dans des bouteilles en plastique stériles et conservés à 4°C jusqu'à l'analyse et le traitement.

### III.2 Obtention du lactosérum

Le lactosérum est obtenu à partir d'un mélange de lait en poudre reconstitué et de lait de vache local qui a subi des opérations d'homogénéisation, de standardisation, de pasteurisation, de refroidissement et de prématuration par l'ajout de : phosphate monocalcique (**FAO, 1980**), chlorure de calcium et pénicillium.

C'est à ce moment que l'on fait des apports en : présure, la coagulation, d'écaillage, brassage ... etc. (Figure 11)

## Matériel et méthodes



**Figure 11.** Diagramme de fabrication du camembert à Draa Ben Khedda et les niveaux de soutirage des lactosérums (Lachebi et Yelles, 2018)

### III.3. Caractérisation des lactosérums

#### 1. Détermination du pH (Afnor, 1986)

Elle est réalisée par un PH mètre de type JENWAY 3510.

#### 2. Détermination de l'acidité titrable (Afnor, 1986)

Un lait non frais contient des acides produit par la fermentation lactique du lactose. L'acidité est exprimée en degré dornique (°D) selon la relation : Acidité en °D= V x 10

#### 3. Détermination de la matière sèche total (Afnor, 1980)

Cette technique est de déterminer la teneur en eau du lactosérum. La perte de masse de ce produit, lorsqu'il est soumis à la dessiccation dans une étuve de type Heaeus-electronic pendant 4heures à la température de 105°C jusqu'au poids constant

#### 4. Détermination de la matière grasse (méthode Gerber) (Afnor, 1980)

Par la méthode Gerber le lactosérum est agité dans un butyromètre Gerber, avec de l'acide sulfurique et de l'alcool iso amylique qui facilite la séparation de la matière grasse, celle-ci est liquéfiée par augmentation de la température.

#### 5. Dosage des protéines par la méthode Kjeldahl (Gavrilovic et al., 1996)

Les protéines ont été déterminées après le dosage de l'azote total et de l'azote non protéique par la méthode Kjeldahl.

La Teneur en protéine = 6,38 (NT - NNP)

#### 6. Dosage du lactose par la méthode polarimétrique (Afnor, 1986)

Cette méthode consiste à mesurer l'activité optique du filtrat obtenu après défécation du lactosérum par l'hexacyanoferrate de potassium à 15%, l'acétate de zinc à 30%, cette méthode a été réalisé sur un polarimètre type polaritonique I.

#### 7. La demande biochimique en oxygène (DBO5) à l'aide d'un DBO mètre type OXITOP BOX. (Rodier, 1996)

Mesure de l'oxygène consommé en cinq jours par un échantillon dilué saturée en oxygène, puis placé dans une enceinte thermo statée 20°C±2 types WTW OXITOP BOX.

#### 8. La demande chimique en oxygène (DCO) à l'aide d'un DCO mètre type VELP Scientifica (Franck, 2002)

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans 10ml de lactosérum sont oxydées par un excès de dichromate de potassium 0,04mol/ (5 ml), en milieu acide et en présence de 15ml de sulfate d'argent et 0,4gr de sulfate de mercure permettant de complexer les ions chlorures.

### **III.4. Méthode d'obtention de la poudre de lactosérum**

L'obtention de la poudre a été réalisée en trois étapes : concentration, congélation et lyophilisation.

#### **1. Concentration**

Comme le lactosérum est constitué en moyenne de 92% d'eau, la concentration est réalisée dans un évaporateur rotatif sous vide type IGNOS une température de 60 à 70°C et une pression de 0,2 à 0,3 bar

Directement après chaque concentration, les échantillons sont introduits dans des gélules en porcelaine de manière à avoir une épaisseur identique, pour tous les échantillons l'épaisseur est inférieure à 10mm.

#### **2. Congélation**

Il s'agit d'une étape préliminaire à la lyophilisation ; les capsules contenant les échantillons sont placées dans un congélateur pendant au moins cinq heures, jusqu'à ce que le produit soit totalement solidifié.

#### **3. Lyophilisation**

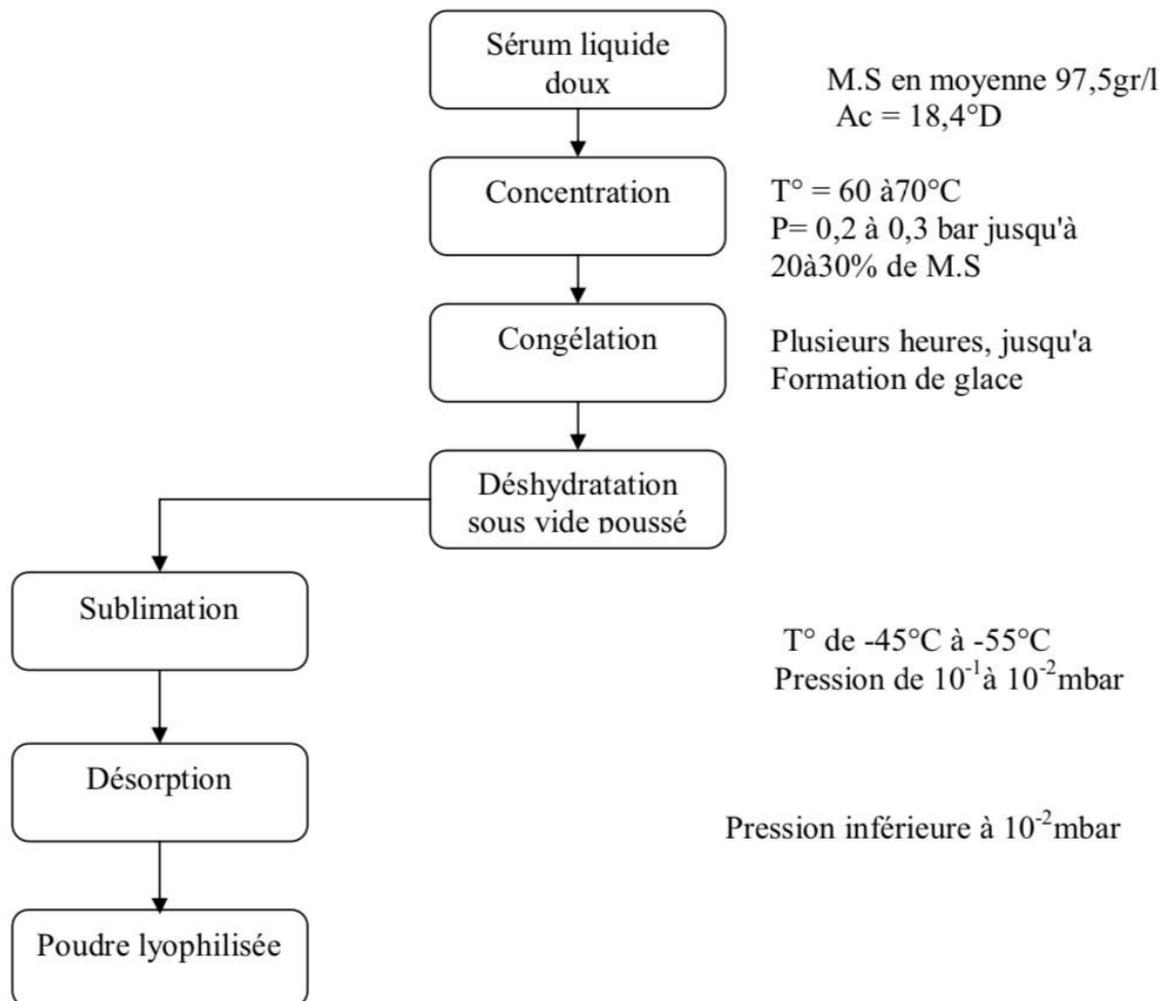
Les échantillons sont placés dans un lyophilisateur de laboratoire de type TELESTAR Cryodos-50 à une température d'environ -45°C à -55°C et à une pression très basse de 10-1 à 10-2 mbar.

##### **a- Mise en place les échantillons dans le lyophilisateur**

La lyophilisation débute après activation de la pompe à vide.

##### **b- Récupération de la poudre**

La poudre est récupérée dans des flacons stériles, en verre couvercle hermétique



**Figure 12** : fabrication de la poudre de lactosérum doux par lyophilisation (**Lachebi et Yelles, 2018**)

### III.5. Récupération des protéines par ultrafiltration

La récupération des protéines a été effectuée au laboratoire sur une membrane plane, type Oméga en polyéther sulfone (PES), d'une surface de 50 cm<sup>2</sup> et de seuil de coupure de 10 KDa disposée à l'intérieur d'un module d'ultrafiltration type *minimate TFF OA010C12* en polypropylène de 8cm d'épaisseur, 20cm de longueur et 3,8cm de largeur

Le lactosérum a été circulé à partir d'un réservoir de 500 ml en utilisant une pompe péristaltique *FS700M01*. Deux indicateurs de pression type *FS700X14* ont été utilisés l'un à l'entrée et l'autre à la sortie de la membrane pour mesurer la pression transmembranaire (PTM). Le liquide a été homogénéisé à l'aide d'une plaque magnétique. Au cours de la circulation du lactosérum, le perméat a été collecté dans un cylindre gradué tandis que le retentât a été retourné vers le réservoir (figure 2).

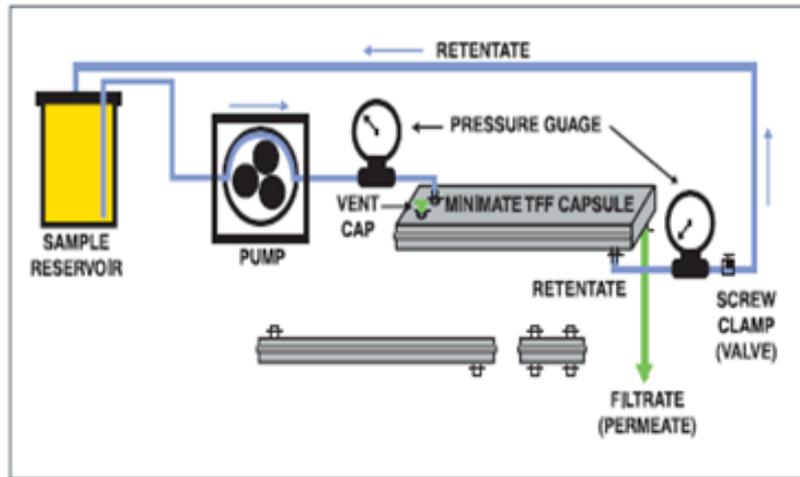


Figure 13 : Dispositif d'ultrafiltration (Lachebi et Yelles, 2018)

### II.6. Détermination de pression transmembranaire (PTM)

#### Expérience 1

Le lactosérum clarifié a été ultrafiltré à un débit de 40ml/min, température de 20°C, pH=6,3 et à des pressions transmembranaires de 0,1 ; 0,55 ; 0,65 ; 0,75 ; 0,95 ; 1,05 ; 1,15 ; 1,3 et 1,4 bar.

#### Expérience 2

Un suivi de flux d'ultrafiltration en fonction du temps à un débit de 40 ml/min, température de 20°C et à un pH de 6,3 ; les pressions transmembranaires étudiées situées autour de la pression trouvée dans l'expérience précédente. Des échantillons de 5 à 10ml de perméat et de retentât étaient prélevés à différents facteur de concentration (FC) : 2 ; 5 et 10 pour la détermination de la concentration en protéines, en cendres, en lactose (extrait sec total)

# **Résultats et Interprétation**

### I. Caractérisation physicochimique du lactosérum reconstitué (doux liquide)

Des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur le lactosérum reconstitué et le résultat trouvés sont regroupé dans le tableau 1

**Tableau 14.** Caractérisation physicochimique du lactosérum doux liquide

PH	Acidité (D)	EST (gr /l)	MG (gr/l)	Protéine (gr/l)	Lactose (mg de P /l)	DCO (mgd'O2/l)	DBO5(mg d'O2/l)		
6,20	16,10	72,98	1,00	3,10	57,25	84480	40000		
6,30	16,20	72,90	1,00	3,84	57,25	84480	42500		
6,40	16,00	72,89	1,00	3,80	57,25	84470	42000		
Moyenne	6,30	16,10		72,92	1,00	3,58	57,25	84476,66	41500
EN EST	-	-		-	1,37	4,90	78,51	-	-
Ecart type	±0,1	±0,1		±0,05	±0,00	±0,4	±0,00	±5,77	±1322,9

### I- Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum clarifié

La clarification a été réalisée afin de limiter les effets néfastes du colmatage sur la membrane d'ultrafiltration et d'augmenter le flux de perméation. Les résultats sont indiqués dans le tableau 2

**Tableau 15** : Caractéristiques physico-chimiques du lactosérum clarifié

PH	Acidité (D)	EST (gr /l)	MG (gr/l)	Proteines (gr/l)	Lactose (mg de P /l)	DCO (mgd'O 2/l)	DBO5(mgd 'O2/l)	
6,20	15,90	60,31	0,00	2,27	52,48	62404	31800	
6,30	16,00	61,12	0,00	2,26	52,48	62400	31800	
6,40	16,10	60,77	0,00	2,25	52,48	62396	31800	
Moyenne	6,30	16,00	60,73	0,00	2,26	52,48	62400	31800
EN EST	-	-	-	0,00	3,72	86,41	-	-
Ecart type	±0,1	±0,1	±0,4	±0,00	±0,01	±0,00	±4	±0,00

Les tableaux 14 et 15, montrent qu'après clarification de lactosérum :

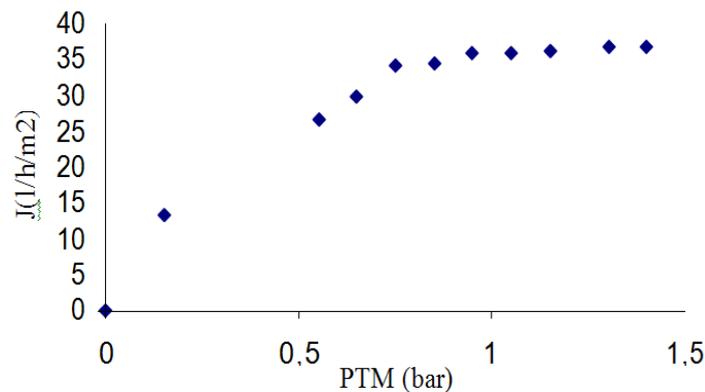
- La matière grasse a été totalement éliminée ce qui est recherché pour l'ultrafiltration ultérieure.
- Une diminution d'extrait sec total de 72 ,92 gr/l (lactosérum reconstitué) à 60,73 gr/l (lactosérum clarifié).
- Une diminution en protéine de 36,87% qui est plus élevée à celle trouvée par **Fauquantet al., 1985** (17%) lors de l'application d'un traitement thermique 79°C pendant secondes.
- Une légère diminution de lactose de 57,25gr/l à 52,48gr/l.
- Une diminution remarquable de la DCO de la 84476,66 mg d'O2/l à 62400mg d'O2/l ainsi que la DBO de 41500 mg d'O2/l à 31800 mg d'O2/l, ce qui montre que cette clarification conduit à une légère diminution de la charge polluante de notre produit

### III.1 Ultrafiltration du lactosérum clarifié

#### III.1.1 Choix de la pression transmembranaire optimale

Le flux de perméation augmente avec l'augmentation de la pression transmembranaire. Atteint le point critique (PTM = 0,95-1,05 bar) Correspond à une limite de débit de 36,08 l/h/m<sup>2</sup>, en Au-dessus de cette valeur, le flux devient indépendant de la pression transmembranaire, ce qui

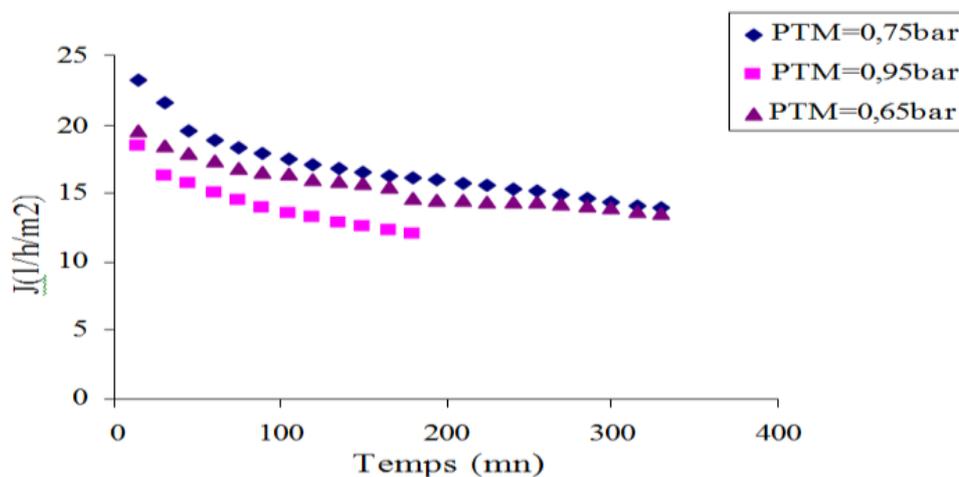
est dû au dépôt de protéine à la surface de la membrane et à la formation d'une couche de polarisation de concentration ; certains auteurs ont observé ce phénomène (Myong., et al 1992 ; Belfort., et al 1994 et Aïmar et al 1988). La pression transmembranaire critique trouvé par Atra et al., 2005 se situe entre 2 et 4 bars.



**Figure 14.** Flux du lactosérum en fonction de la pression transmembranaire,  $Q=40\text{ml/min}$ ,  $t^\circ=20^\circ\text{C}$  ;  $\text{FCV}=1$ ,  $\text{pH}=6.3$  (Lachebi et Yelles, 2018)

Afin de sélectionner la meilleure pression transmembranaire, une deuxième expérience a été réalisée avec la même membrane après nettoyage chimique et rinçage.

Cette expérience nous a permis de sélectionner trois pressions transmembranaires au-dessous de la pression critique trouvée (0,95 ; 0,75 et 0,65 bar), pour une durée de d'environ 5 heure 30 min sont montré dans la figure



**Figure 15.** Flux du lactosérum en fonction du temps à différentes pressions transmembranaires,  $Q=40\text{ml/min}$ ,  $t^\circ=20^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=6.3$  (Lachebi et Yelles, 2018)

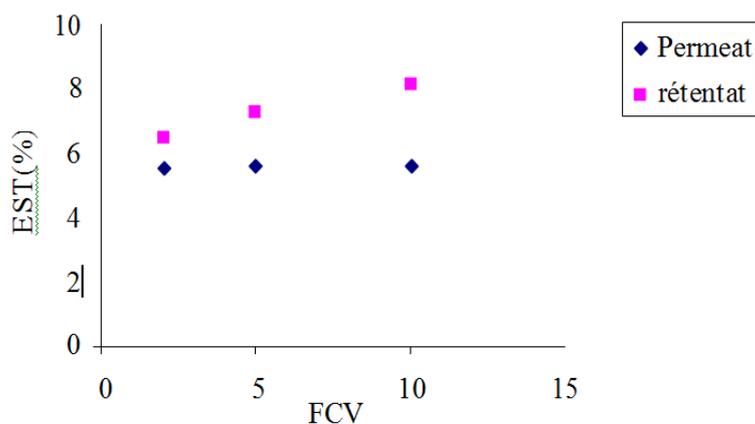
Les courbes de filtration en fonction du temps ont une allure hyperbolique. On note que le flux décroît rapidement pendant la première heure quel que soit la valeur de la pression transmembranaire, ceci est dû à l'adsorption des protéines et la formation d'une couche de polarisation de concentration qui est susceptible d'engendrer une pression osmotique (Myong., et al 1992 ; Belfort., et al 1994), puis diminue lentement à cause de l'établissement d'un dépôt de gel à la surface membranaire (Aimar., et al 1998 et Howell., et al 1981).

### II.1.2 Caractérisation du retentât et du perméat durant l'ultrafiltration

La figure 16, 17, 18 et 19 montrent la répartition des constituants du lactosérum clarifié entre le perméat et le retentât durant l'ultrafiltration du lactosérum à trois facteurs de concentration (FCV) 2, 5 et 10.

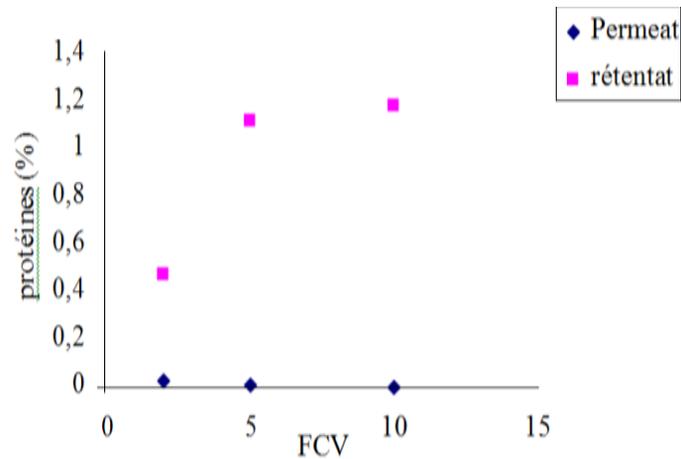
La figure 16 nous montre que l'extrait sec total du retentât augmente avec l'augmentation du facteur de concentration (6,65% ; 7,35% et 8,23%).

La figure 17 nous révèle que le taux des cendres au niveau du perméat augmente de 0,268% à FC=2 à 0,312% à FC=10. Au niveau du retentât, le taux des cendres au facteur de concentration 2, 5 et 10 est respectivement de 0,338% ; 0,469% et 0,445%, ce qui montre que les cendres passent à travers la membrane au cours de l'ultrafiltration du lactosérum clarifiée.



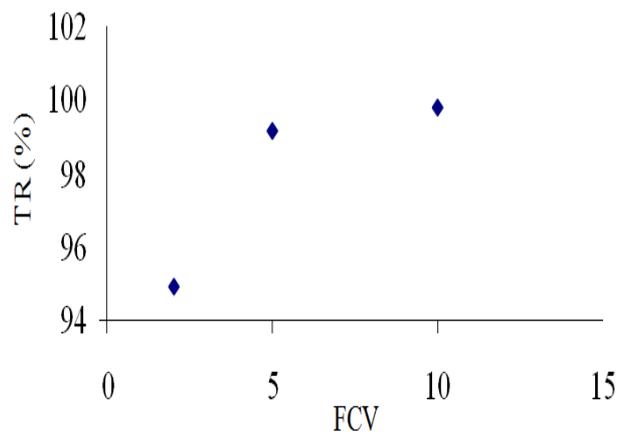
**Figure 16.** Variation de l'extrait sec total dans le retentât et dans le perméat en fonction du facteur de concentration, PTM=0.75 bar Q=40ml/min, t°=20°C, pH=6.3 (Lachebi et Yelles, 2018)

La figure 18 nous révèle que le taux des protéines retenues au niveau de retentât augmente avec l'augmentation du facteur de concentration, il est de 0,473% ; 1,115% et 1.182% à des facteurs de concentration de 2, 5 et 10. Parallèlement au niveau du perméat le taux des protéines diminue avec l'augmentation du facteur de concentration (2, 5 et 10), il est respectivement de 0,024% ; 0,0095% et 0,0015%.



**Figure 17.** Variation du taux de protéine dans le retentât et dans le permeat en fonction du facteur de concentration, PTM=0.75 bar Q=40ml/min,  $t^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$ , pH=6.3 (Lachebi et Yelles, 2018)

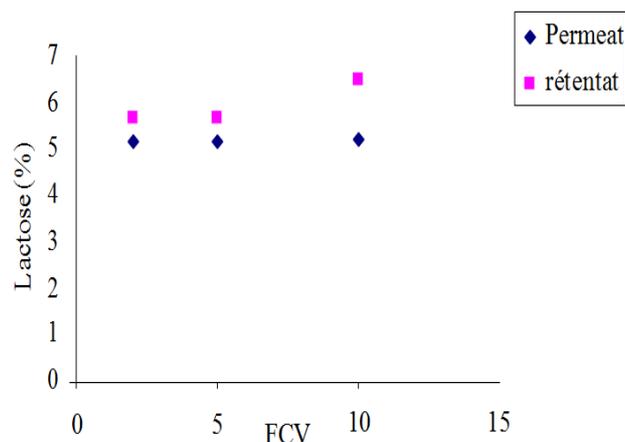
La figure 19 nous montre que le taux de rétention des protéines aux facteurs de concentration 2, 5 et 10 est respectivement de 94,9% ; 99,14% et 99,8%. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par *Atra et al., 2005* qui ont obtenu un taux de rétention des protéines de 93 à 98%.



**Figure 18 :** Influence du facteur de concentration sur le taux de rétention des protéines, PTM=0.75 bar Q=40ml/min,  $t^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$ , pH=6.3 (Lachebi et Yelles, 2018)

La figure 20, nous montre que le taux du lactose dans le perméat est de 5,20 ; 5,22 et 5,23% à des facteurs de concentration 2, 5 et 10 respectivement, le taux du lactose dans le retentât augmente avec l'augmentation du facteur de concentration, il est de 5,70 ; 5,72 et 6,55% aux facteurs de concentration 2, 5 et 10 respectivement. Ces résultats montrent que le lactose se

concentre dans le retentât et ne passe pas totalement dans le perméat à cause de l'importance du colmatage de la membrane.



**Figure 19** : Variation du taux de lactose dans le retentât et dans le perméat en fonction du facteur de concentration, PTM=0.75 bar Q=40ml/min,  $t^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$ , pH=6.3 (**Lachebi et Yelles, 2018**)

Le retentât obtenu contient un taux de protéine de 1.182% (14,36% en EST) soit un rendement de 52,03% un taux de rétention (TR) de 99,8%, un taux de cendres de 0,445% (5,4% en EST) et un taux de lactose de 6,55% (79,5%).

### Pouvoir polluant

Le tableau 16 nous révèle que le pouvoir polluant du lactosérum diminue au cours des traitements. Après 'ultrafiltration du lactosérum clarifié, nous avons obtenu un perméat de 18875 mg d' $\text{O}_2$ /l de  $\text{BDO}_5$ , ce résultat est proche à celui trouvé par **Beatriz et al., 2006** ou la

$\text{BDO}$ , du perméat du lactosérum après ultrafiltration par une membrane en PES de 10 KDa est de 10771 mg d' $\text{O}_2$ /l. Nous remarquons aussi une diminution de la DCO de 62400 mg d' $\text{O}_2$ /l à 42818,5 mg d' $\text{O}_2$ /l. D'après les valeurs trouvées on constate que la diminution de la  $\text{DBO}_5$  dans le perméat n'est pas importante à cause de la présence du lactose. Le perméat 'ultrafiltration constituera donc un polluant redoutable de l'environnement. Pour éliminer la pollution provoquée par le lactosérum, le lactose doit être récupéré soit par nanofiltration ou bien par d'autres procédés (cristallisation, hydrolyse).

**Tableau 16** : pouvoir polluant du lactosérum. (Lachebi et Yelles, 2018)

	Lactosérum brut	Lactosérum reconstitué	Lactosérum clarifié	Perméat du lactosérum ultrafiltré
BDO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /l)	49333	41500	31800	18875
DCO (mg d'O <sub>2</sub> /l)	127712	84476,66	62400	42818,5

# Discussion générale

Ce travail est une participation de récupération des protéines du lactosérum par l'ultrafiltration tangentielle. Il a présenté que cette technique est intéressante pour limiter la pollution du milieu causée par le rejet du lactosérum dans la nature par les industries laitières algériennes.

L'analyse physico-chimique du lactosérum nous a permis de montrer que c'est un produit à haute valeur nutritionnelle. En effet, il contient :

2,566gr/l de matières grasses.

62,764gr/l de lactose.

5,323gr/l de protéines.

7,831 g/l de cendres (0,482 g/l de P ; 1,014 g/l de K ; 1,104 /l de Na ; 0,666 g/l de Ca ; 0,118 g/l de Mg et 1,327 g/l de Cl).

La caractérisation physico-chimique du lactosérum clarifié, révèle une diminution des cendres de 5,53 gr/l à 3,93 gr/l, du phosphore de 600,00 mg/l à 371,80 mg/l et une élimination totale de la matière grasse. Ces constituants aggravent le phénomène de colmatage des membranes d'ultrafiltration. Par contre, le taux de protéines a réduit de 3,58 gr/l à 2,26gr/l.

La mesure de la perméabilité de la membrane utilisée montre que la résistance hydraulique de la membrane passe de  $1,48.10^{12} \text{ m}^{-1}$  à  $2,47.10^{12}$  et son taux de régénération diminue de 89,57% à 59,71%.

La recherche de l'effet de la pression transmembranaire sur le flux de perméation lors de l'ultrafiltration du lactosérum clarifié a permis de sélectionner la pression transmembranaire optimale de 0,75bar.

La concentration des protéines du lactosérum par ultrafiltration a été effectuée à PTM=0,75 bar, Q=40ml/min,  $t^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$  et pH= 6,3.

Les résultats obtenus, révèlent que :

- l'extrait sec total du retentât augmente avec l'augmentation du facteur de concentration il est 6,65% ; 7,35% et 8,23% aux facteurs de concentration (FCV) respectives de 2, 5 et 10 . Alors qu'au niveau du permeat l'extrait sec total obtenu est presque constant, il est de 5,62% ; 5,68% ; et 5,68% pour les trois facteurs de concentrations.

Le taux des protéines, contenu dans le retentât, à différents facteurs de concentration 2, 5 et 10 représente respectivement 1,473%, 1,115% et 1,182%

. -Le retentât d'ultrafiltration à FCV de 10 contient : 0,445% (5,4% en EST) de cendres, 6,55% (79,5% en EST) de lactose et 1,182% (14,36%en EST) de protéines. La grande

quantité de lactose retenue et concentrée par la membrane est probablement due à un colmatage important de la membrane, entraînant la restriction et probablement l'obstruction de ses pores.

-Le retentât obtenu contient un taux des protéines de 1,182% (14,36%en EST) soit un rendement de 52,03%, cependant le taux de rétention est de 99,8%, ce résultat montre que le faible rendement en protéines est dû à la participation de ces dernières au colmatage de la membrane.

-Le permeat contient 5,68 % d'EST dont 5,23% de lactose. La mesure de sa DBO<sub>5</sub> et de sa DCO a montré qu'il y a eu une baisse importante de ces deux paramètres. En effet la DBO<sub>5</sub> a diminué de 49333 mg d'O<sub>2</sub>/l du lactosérum à 18875 mg d'O<sub>2</sub>/l de permeat 'ultrafiltration de lactosérum. La DCO a diminué de 127712 mg d'O<sub>2</sub>/l de lactosérum à 42818,5 mg d'O<sub>2</sub>/l de permeat

-Cependant les valeurs de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO restent élevées. Le permeat 'ultrafiltration constituera donc une source de pollution de l'environnement. Pour éliminer la pollution provoquée par le lactosérum, le lactose contenu dans le permeat doit être récupéré soit par nanofiltration ou bien par d'autres procédés tel que l'osmose inverse, la cristallisation ou l'hydrolyse.

# **Références**

# **Bibliographiques**

### A

1. **Aboutayeb R., (2009)** Technologie du lait et dérivés laitiers [http:// www.azaquar.com](http://www.azaquar.com)
2. **ADRIAN J ., LEGRAND G et FRANGNE R., (1991).** Dictionnaire de biochimie alimentaire et de nutrition. Tec et doc. Lavoisier. 3ème édition : 116p.
3. **ADRIAN J ., LEGRAND G et FRANGNE R., (1991).** *Dictionnaire de biochimie alimentaire et de nutrition.* Tec et doc. Lavoisier. 3ème édition : 116p
4. **ADRIAN J., POTUS J. et FRANGNE R., (2004)** La science alimentaire de A à Z ,2ème édition, Tec et Doc, Lavoisier : 79 (477 pages)
5. **Aimar, P. ; Daufin, G. ; Rene, F.** Les séparations à membranes dans les procédés de l'industrie alimentaire. *Techniques et documentation, Lavoisier* 1(1998) 592p.
6. **AIT AMER MEZIANE L. 2008.** Aptitude des laits de chèvres et berbis à la coagulation par des protéases d'origine avicole. Thèse de Magister en science Agronomiques, 2008, pp.10-14.
7. **ALAIS C. (1984).** Science du lait, Principe des techniques laitières, 3eme édition. Paris, 807p, Tom 1 ET 2 sl Paris.
8. **AMIOT J., FOURNER S., LEBEUF Y., PAQUIN P., SIMPSON R et TURGEON H., (2002)** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait In VIGNOLA C.L, Science et technologie du lait – Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, ISBN:3-25-29 (600 pages)
9. **AMIOT J., FOURNER S., LEBEUF Y., PAQUIN P., SIMPSON R et TURGEON H., (2002)** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait In VIGNOLA C.L, Science et technologie du lait – Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, ISBN:3-25-29 (600 pages)
10. **Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P. et Simpson R., 2002.** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse. In : Science et technologie du lait, transformation du lait (Vignola C. L), 2 eme Edition, Lavoisier, Paris, France.
11. **Anne-Sophie Glover-Bondeau, 2020.** doctissimo (en ligne), (modifié le 16 avril 2020) disponible sur : <https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/aliments/articles/15319-lait-vegetal.htm>

12. **Arevalo, A.T.2017.** “Étude environnementale comparative des procédés de valorisation du lactosérum”. Mémoire, Université Laval, 78 p.

13. **Atra, R.; Vtai, G.; Bekassy, M.; Balint, A.** Investigation of ultra and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. *Journal of food engineering*, 67(2005) 325-332.

### B

14. **Baldasso, C., Barros, T.C and Tessaro, I.C. 2011.** Concentration and purification of Whey proteins by ultrafiltration. Elsevier, volume 278, Issues 1-3, 381-386.

15. **Bélangier, M., LeBlanc, M.J., Dubost, M. La nutrition (4<sup>e</sup> éd.) 2015.** Chenelière Éducation.

16. **Belford, G.; Davis R.H.; Zydney, A.L.** The behavior of suspensions and macromoléculaire solutions in cross flow microfiltration. *Journal of membrane science* 96 (1994) 1-58.

17. **BENAISSA M., (2018).** Valorisation Du Lactosérum Par Les Bactéries Lactiques. Université D’Oran Ahmed Ben Bella Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie département De Biotechnologie thèse De doctorat En sciences spécialité: Biotechnologie option Ecosystèmes Microbiens Complexes.

18. **BENAISSA M., (2018).** Valorisation Du Lactosérum Par Les Bactéries Lactiques. Université D’Oran Ahmed Ben Bella Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie département De Biotechnologie thèse De doctorat En sciences spécialité:Biotechnologie option Ecosystèmes Microbiens Complexes.

19. **Brulé G, Jeantet R, Croguennec T, (2008).** Fondement physicochimique de la technologie laitière. Rennes, Lavoisier, 160p

20. **Bylund G. (1995).** Dairy processing handbook-Tetra pak processing systems AB S-221 86 , Lund . Sweden: 18- 23-381(436 pages).

21. **BYLUND G., (1995)**Dairy processing handbook-Tetra pak processing systems AB S-221 86 , Lund ,Sweden : 18- 23-317JELEN P, RATTRAY W. Thermal denaturation of whey proteins. Dans : FOX PF, éditeur : Heat -induced changes in milk. 2èmeédition. Bruxelles, Belgique : Fédération laitière internationale ; (436 pages)

22. **Bylund, G.,** Dairy processing handbook. 2003: Tetra Pak Processing Systems AB.

### C

23. **Cartwright, P.S.** Industrial wastewater treatment with membranes: United States Perspectives. *Water Science and technology* 10 (1992) 373- 390.

24. **CHRISTINE BOUGUET-JOYEUX, 2017.** (EN LIGNE), (modifié le 28 décembre 2017) disponible sur :[https://christinebjoyeux.com/quels-laits-nos-bebes-2e-partie/#\\_ftn1](https://christinebjoyeux.com/quels-laits-nos-bebes-2e-partie/#_ftn1)
25. **CIPC Lait Commission Interprofessionnelle des Pratiques Contractuelles (2011).** Avis relatif à la définition et aux méthodes d'analyse de l'acidité du lait n°2011-02.
- D**
26. **Da-Silva, T.L., Gouveia, L., Reis, A. 2014.** Integrated microbial processes for biofuels and high value-added products: the way to improve the cost effectiveness of biofuel production. *Appl Microbiol Biotechnol*, 98 : 1043–1053.
27. **DE LA FUENTE M.A., HEMAR Y., TAMEHANA M., MUNRO P.A. et SINGH, H., (2002).** Process Induced changes in whey proteins during the manufacture of whey protein Concentrates. *International dairy journal* 12 (2002), pp361-369.
28. **DE LA FUENTE M.A., HEMAR Y., TAMEHANA M., MUNRO P.A. et SINGH, H., (2002).** Process Induced changes in whey proteins during the manufacture of whey protein Concentrates. *International dairy journal* 12 (2002), pp361-369.
29. **De Witt J.N., (2001).** Manuel de l'Enseignant sur le Lactosérum et les Produits de Lactosérum, 1e édn., European Whey Products Association, Bruxelles, Belgique, 2001.
30. **DEBRY G., (2001)** Lait, nutrition et santé, Tec et Doc, Paris : 21 (566 pages).
31. **Dieng M, 2001 :** Contribution à l'étude de la qualité microbiologique des laits caillés industriels commercialisés sur le marché Dakarois. Thèse Docteur vétérinaire, Université de Dakar Sénégal.
32. **Domingues, L., Lima, N., Teixeira, J.A., 1999.** Novas Metodologias para a Fermentação Alcoólica do Soro de Queijo. In: Actas da 6.a Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, vol. 3. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. 271-280 p.
- F**
33. **FAO ,1998.** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine.
34. **FAO-ONU (2017),** production alimentaire : fromage (Algérie). Organisation des Nations Unies.
35. **FAVIER J.C., (1985).** Composition du lait de vache-Laits de consommation, <http://www.horizon.documentation.fr>.
36. **Fick M. 2016.** Rapport de projet sur la valorisation du lactosérum.
37. **FICK M., (2016).** Rapport de projet, valorisation du lactosérum

38. **FIT**, expert en la matière. Tout connaître sur le lactosérum industriel 11 juillet 2016.
39. **FOX PF (2003)**. Milk Proteins: General and Historical Aspects. Dans : FOX PF, MCSWEENEY PLH, éditeurs Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins. 3<sup>ème</sup> édition. New York, NY : Kluwer Academic/Plenum Publishers ; 1-48.
40. **Fredot E, (2009)**. Connaissance des aliments : bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Paris, Lavoisier, 530p.
41. **FREDOT E., (2006)** Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Tec et Doc, Lavoisier : 25 (397 pages).
42. **FREDOT E., (2006)**. *Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique*, Tec et Doc, Lavoisier : 25 (397 pages).

### G

43. **Gana S. & Touzi A. 2001**. Valorisation du lactosérum par la production de levures lactiques avec les procédés de fermentation discontinue et continue. Rev. Energ. Ren : 51-58.
44. **Gana S. et Touzi A. (2001)**. Valorisation du lactosérum par production de levures lactiques avec les procédés de fermentation discontinue et continue. Rev .Energ. Ren : production et valorisation –Biomasse, 5158.
45. **GAUCHERON F., (2004)** Minéraux et produits laitiers, Tec et Doc, Lavoisier :783 (922 pages)
46. **Gekas, V., Lopez-Leiva M.H. 1985**. Hydrolysis of lactose: a literature review. Process Biochem. 20: 2-12.
47. **Ghaly, A.E.;** Singh, R.K. Pollution potential reduction of cheese whey through yeast fermentation. *Art biochemistry and biotechnology* 22 (1989) 220-22
48. **GOURSAUD, J. (1985)**. Composition et propriétés physico-chimiques. Dans Laites et produits laitiers vache, brebis, chèvre. Tome 1 : Les laines de la mamelle à la laitière. Luquet F.M. Edition Tec et Doc Lavoisier, Paris.
49. **Grappin, R., Lefier, D., Mazerolles, G., (2000)**. Analyse du lait et des produits laitiers. La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques, 497-540.

### H

50. **HODEN P., et COULON H., (1991)** Composition chimique du lait, <http://www.2.vet.lyon.fr>
51. **Howell, J. A.; Velicangil, O.; Le, M.S.; Herrer, A.L.** Ultrafiltration of protein solutions. *Annals of the New York Academy of Sciences* 369 (1981) 355-366.

52. **HUPPERTZ T. (2013)** Chemistry of caseins. Dans : MCSWEENEY PLH, FOX PF, éditeurs Advanced Dairy Chemistry, Volume 1A: Proteins: Basic Aspects. 4<sup>ème</sup> édition. New York, NY : Springer Science+Business Media ; 135-160

### I

53. **ILKER E., MUSHSIN C., SEBNEM H., (2006)**. separation of whey Components by using ceramic composite membranes; desalination 189.

### J

54. **Jean C et Dijon C. (1993)**. Au fil du lait, ISBN 2-86621- P172-3.

55. **JEANTET R., CROGUENNEC T., MAHAUT M., SCHUCK P. et BRULE G., (2008)** Les produits laitiers ,2<sup>ème</sup> édition, Tec et Doc, Lavoisier: 1-3-13-14-17 (185 pages).

56. **JEANTET R., CROGUENNEC T., MAHAUT M., SCHUCK P. et BRULE G., (2008)** Les produits laitiers ,2<sup>ème</sup> édition, Tec et Doc, Lavoisier: 1-3-13-14-17 (185 pages).

57. **JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P. et BRULE G., (2007)** Science des aliments-technologie des produits alimentaires tec et doc, Lavoisier : 17 (456pages).

58. **Jean-Yves Dionne** ; Passeport santé, Janvier 2011.

59. **Jouan P., 2002**. Lactoprotéines et lactopeptides propriétés biologiques. INRA(Paris).127p.

60.

**Jouan,P.(2002)**,Lactoprotéinesetlactopeptides:propriétésbiologiques.Ed.Quae.INA.127p.

### K

61. **Karam, M.-C., (2013)**. Réhydratation des protéines laitières dans un milieu complexe : influence de l'état d'hydratation sur les propriétés texturales des gels acides. Université de Lorraine.

62. **KHODJA, Zeyneb et YOUSFI, Nadjat**. *Etude de différentes voies de valorisation du lactosérum dans l'industrie agroalimentaire*. 2020. Thèse de doctorat. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.

63. **KOYUNCU I., TURAN M., TOPACIK D., ATES A., (2000)**. Water sci. Techno 41, (1), (2000), pp213

### L

64. **LABIOUI H., ELMOUALDI L., BENZAKOUR A., EL YACHIOUI M., BERNY E., OUHSSINE M., (2009).** Étude physicochimique et microbiologique de laits crus. Société de Pharmacie de Bordeaux, 148(1-4) : 7-16 P.
65. Lachebi S., Yelles F., Valorisation du lactosérum par technique membranaire, *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 4:3 (2018) 820-825
66. **Lamontagne M, 2002 :** Produits laitiers fermentés, dans : Sciences et technologie du lait ; transformation du lait – Canada : presses internationales polytechniques, 600p.
67. **LAPLANCHE J., DUCOGNON V., TREVISAN D., (2006).** Traitement du lactosérum par filtration Sur compostensemencé de vers, épuration of lactosérum in a compost filterwith worms, syndicat des apagistes, fruits communs et vendeur direct de Savoie, Maison De l'agriculture- 73/90 SAUT BALDOPH.2006.
68. **Lapointe-Vignola, C. (2002).** Science et technologie du lait : Transformation du lait. Montréal, QC : Presses inter Polytechnique, 600p.
69. **Leghlimi H.,2004.** Optimisation de la production de la cellulase d'Aspergillus niger ATCC 16 404 cultivé sur un milieu à base de lactosérum : étude comparative entre Aspergillus niger ATCC 16 404 et Aspergillus niger O.Z isolée localement. Thèse de Magistère. Université Mentouri. Constantine.
70. **LINDEN G ; LORIENT D, (1994).** Biochimie agro- industrielle, valorisation alimentaire de la production agricole. Ed Masson, Paris, 67p.
71. **Lise Lafaurie, 2019.** Le journal des femmes (en ligne), (modifié le 27 novembre 2019) disponible sur : <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-sante-du-quotidien/2590061-lait-vegetal-bienfaits-sante-meilleurs-comparaison-calories/>
72. **LORTAL S., BOUDIER J.F., (2011).** *La valorisation de la matière première lait*, évolution passée et perspectives. Innovations Agronomiques 13, VOL 12.LUPIN
73. **Luquet F.M, 1986 :** Lait et les produits laitiers : vache, brebis, chèvre. ED.TEC et DOC. Lavoisier, paris, T3, 445P
74. **Luquet F.M, 1990 :** Lait et produits laitiers, vache brebis, chèvre : Transformation et technologie, Ed TEC et DOC. Lavoisier, Paris. Tome 2 ,637p.
- M**
75. **Marwaha, S. S., & Kennedy, J. F. (1988).** Review: whey - pollution problem and potential utilization. International Journal of Food Sciences and Technology, 23(4), 323-336.
76. **Michel M ; Romain J ; Gerard B et Pierre S, 2000 :** les produits industriels laitiers, Edition technique et documentation.

77. **Mokhtari, S. 2018.** Mémoire sur Caractérisation électrophorétique des caséines du lait de vache collecté durant les saisons d'hiver et de printemps
78. **MOLETTA R., (2002).** Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA. Paris : Tech et Doc 2002Xx -600p
79. **MOLETTA R., (2002).** Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA. Paris : Tech et Doc 2002Xx -600p.
80. **Moletta R.** Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA. Paris : Tech et Doc 2002Xx -600p.
81. **Moletta, R.** Gestion des problèmes environnementaux dans les IAA. Paris: *Techniques et Documentation* (2002), xx-600p.
- MULVIHILL DM, DONOVAN M. (1989)** Whey Proteins and Their Thermal Denaturation - A Review. *Ir J Food Sci Technol.* 1987;11:43-47. 19PEARCE RJ. Thermal denaturation of whey protein. *Int Dairy Fed Bull* (Page 238)
82. **Myong, K.; Koand, J.; Pellegrino, J.** Determination of osmotic pressure and Fouling resistances and their effects on performance of ultrafiltration membrane. *Journal of membrane science* 74 (1992) 141- 157.
- N**
83. **NAFTI Y.,(2011)** .Biochimie alimentaire, édition Biohay :17 -08- 2011,p57 .
84. **NEVILLE, M. C., et JENSEN, R. G. (1995).** The physical properties of human and bovine milks In JENSEN R., Handbook of milk composition-General description of milks,Academic Press,Inc: 82 (919 pages)
- P**
85. **Panesar, P.S., Kennedy, J.F. 2012.** Biotechnological approaches for the value addition of whey. *Critical reviews in biotechnology* 32(4): 327-348.
86. **Pesta, G., Meyer-Pittroff, R., & Russ, W. (2007).** Utilization of whey. Dans V. Oreopoulou & W. Russ (Édit.), *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry* (p. 193-207). New York : Springer.
87. **POINTURIER H. 2003.** La gestion matière dans l'industrie laitière. Tec et Doc, Lavoisier, France, 388 p.
88. **Poirier et Micheline. 1996.** Industrie de transformation du lait et environnement : Guide technique sectoriel". Gouvernement du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune. Direction des politiques du secteur industriel.
89. **Poirier, M.** Industrie de transformation du lait et environnement. *Guide technique sectoriel. Gouvernement de Québec*, (1996).

90. **Pontalier, P.Y. ; Ismail, A. ; Ghoul, M.** Étude de l'influence des conditions opératoires sur la séparation sélective des ions par des membranes de nano filtration. *Cahier scientifique, Industrie AgroAlimentaire* 112 (1995) 642- 646.
91. **POUGHEON S .et GOURSAUD J., (2001)** Le lait caractéristiques physicochimiques In DEBRY G., Lait, nutrition et santé, Tec et Doc, Paris : 6 (566 pages).
92. **POUGHEON S., (2001)** Contribution a l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière, Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse, France: 34 (102 pages).
93. **Prazeres, A.R., F. Carvalho, and J. Rivas,** Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management*, 2012. 110: p. 48-68.
- R**
94. **Rijnvallei A. 2013.**Point de congélation du lait n : 375, disponible sur : <https://www.lely.com/fr/farming-insights/fms-etude-sur-la-qualite-du-lait-point-de-congelat/>
- S**
95. **SMITHERS G.W., (2008).** Whey and Whey Protein. From “Gutter-to-Gold”. *International Dairy Journal*, 18, 695-704.
96. **SOTTIEZ P., (1990).**produit dérivés des fabrications fromagères, lait et produits laitiers, tome 2. Ed ; Lavoisier, Paris. (1990), pp 357- 392.
- T**
97. **THAPON J.L., (2005)** Science et technologie du lait, Agrocampus-Rennes, France: 14 (77 pages).
- V**
98. **VIGNOLA C. (2002).** Science et Technologie du Lait Transformation du Lait. Edition Presses Internationales Polytechnique, Canada. pp. 3-75.
99. **VIGNOLA C.L., (2002)** Science et technologie du lait –Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, ISBN: 29-34 (600 pages).
100. **Vignola, C. 2002.** Science et technologie de lait. Ecole polytechnique de Monterial. P70.
- W**
101. **Walstra, P., Wouters, J.T., Geurts, T.J., (2005).** Dairy science and technology. CRC press.

# ANNEXES

## Annexe 1

### Détermination de l'acidité titrable (Afnor, 1986)

#### Mode opérateur

Dans un bécher de 100ml, verser 10ml de l'échantillon. Ajouter 3 gouttes de Phénophtaléine (rose en milieu basique et incolore en milieu acide). Placer le bécher sous la burette graduée, et ajouter doucement à la burette une solution d'hydroxyde de sodium de normalité N/9 (0,111 mol/l) titrer jusqu'au changement persistant de couleur.

### Détermination la teneur en eau puis EST (Afnor, 1980)

#### Mode opératoire

##### 1. Préparation de l'échantillon pour l'essai

Mélanger soigneusement l'échantillon pour laboratoire en secouant à plusieurs reprises et à en Retournant le récipient le contenant afin d'homogénéiser notre échantillon prélevé.

##### 2. Préparation du matériel

Placer la capsule découverte et son couvercle dans l'étuve au moins une heure à la température de  $90 \pm 1^\circ\text{C}$ . Couvrir ensuite la capsule et la placer dans le dessiccateur. Laisser refroidir la capsule à la température ambiante pendant 30min. Et la peser à 0,1 mg.

##### 3. Prise d'essai

Introduire rapidement environ 5gr (5ml) de l'échantillon dans la capsule, replacer le couvercle et peser immédiatement, à 0,1 mg près.

### Détermination de la matière grasse (méthode *Gerber*) (Afnor,1980)

#### Mode opératoire

Se munir de lunettes de sécurité et de gants. Travailler si possible sous hotte au cours de la première de la manipulation

- Bien mélanger l'échantillon avant prélèvement. Lorsque le lactosérum repose, la matière grasse a tendance à remonter en surface.
- Dans un butyromètre, mettre 10ml d'acide sulfurique concentré ( $d=1,82$ ).
- Ajouter doucement 1ml de l'échantillon à analyser et 1ml d'alcool iso amylique.
- Boucher et agiter en se protégeant de la chaleur qui se dégage.
- Centrifuger dans une centrifugeuse Gerber à 1100tr/min, pendant 5 minutes.

- Mettre le tube au bain marie type à 70°C pendant 10 minutes sans le retourner. Avec le bouchon, faire correspondre le début de la matière grasse avec le 0 du butyromètre et lire directement la teneur en matière grasse.
- Vider le butyromètre dans un récipient approprié car le mélange est encore un acide concentré.

### **Dosage du lactose par la méthode polarimétrie (Afnor, 1986)**

#### **Mode opératoire**

Dans un bécher de 100ml, peser 10gr de l'échantillon, ajouter en plusieurs fractions 50ml d'eau tiède 50 à 6°C.

Verser dans une fiole jaugée de 100ml et rincer à plusieurs reprises le bécher. Ajouter

3ml de l'héxacyanoférate de K agiter et 3ml d'acétate de zinc agiter refroidir la solution.

Compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée, ajouter à pipette 1ml d'eau à pour tenir compte du volume du précipité agiter laisser reposer 15mn. Filtrer, le filtrat doit être limpide.

Déterminer la rotation optique du filtrat à 20°C.

### **Dosage des protéines par la méthode Kjeldahl (Gavrilovic ; et al ; 1996)**

#### **Mode opératoire**

##### **1. Minéralisation**

Dans un matras de minéralisation on introduit 10 gr de substance à analyser, 2gr de sélénium, 6gr de sulfate de potassium et 20ml d'acide sulfurique concentré, une bille de verre pour régulariser l'ébullition. Agiter et place le matras dans le digesteur. Déclenchez le chauffage et régler le thermostat à une température de 400°C pendant 30mn, lorsque le contenu devient limpide arrêter le chauffage.

##### **2. Distillation**

- Diluer le contenu du matras de minéralisation par addition progressive de 50ml d'eau distillée.
- Le bout réfrigérant doit plonger au fond d'un bécher contenant 20ml d'acide borique à 4%.
- Alcaliniser le contenu du matras en introduisant 50ml de NaOH (33%)

- Distiller en chauffant modérément e régulièrement l'entraînement de l'ammoniac se produit rapidement. Durée de la distillation est 3mn

### 3. Dosage de $\text{NH}_3$

Après la distillation titrez la solution contenant  $\text{NH}_3$ , ave une titrés d'acide sulfurique (0, 1N) jusqu'au virage soit V la chute de la burette.

Après traitement, une partie significative du produit est sur la membrane sous forme de "couche de gel" et de besoins doit être récupéré de nouveau dans la solution avant que le système soit vidangé. Le recyclage de l'amortisseur frais peut récupérer la majeure partie de cette couche de gel, mais peut de manière significative diluer le produit que tu as juste concentré. Le procédé suivant peut améliorer le rétablissement sans dilution significative. Le procédé réel put devoir être changé selon la configuration de système de TFF.

#### Étape 1

Après concentration/diafiltration, ouvrir la valve de retentât et fermer la ligne de filtrat avec une valve ou vis. Ajuster la pompe pour donner un débit de retentât de ml/min. Circuler le produit pendant 5- 10 minutes.

#### Étape 2

Arrêter à pompe. Mettre la tuyauterie de retentât dans un bêche de collection. Mettre un en marche la pompe et pomper lentement hors du produit dans le bêche de collection. Arrêter la pompe juste avant que le volume dans le réservoir atteigne le fond. Ajouter au réservoir un au volume d'eau égal au volume restant dans le système. Pomper hors du produit dans le bêche de collection s'arrêtant juste comme le niveau de liquide atteint le fond du réservoir. (Cette méthode déplace de la plupart de produit restant gauche dans les cassettes et le matériel). Enregistrer le volume rassemblé.

#### Étape 3

Ajouter assez de volume d'eau au réservoir d'alimentation pour permettre la circulation sans tirer d'air. Circuler pendant 10 minutes essayer de récupérer le produit additionnel. Le liquide restant dans le système put être pompé dehors dans un récipient séparé en permettant à l'air d'être pompé par la capsule pour la déplacer. Une décision peut alors être prise si combiner ce volume avec le produit principal

## Valorisation du lactosérum par technique membranaire

S.Lachebi \* (1,2), F.Yelles (3)

(1): Unité de Recherche Matériaux-Procédés et Environnement, (UR-MPE), Université M'Hamed Bougara, 35000, Boumerdes. Algérie; (2) : Unité de Recherche en Analyses et Développement Technologique en Environnement (UR-ADTE)/ Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimiques (CRAPC), Tipaza, Algérie ; (3) : Laboratoire de Recherche Technologie Alimentaire, Université M'Hamed Bougara, 35000, Boumerdes. Algérie

\*Corresponding author E.mail: samia\_lachebi@yahoo.fr

### ARTICLE INFO

#### Article History :

Received : 10/09/2018  
 Accepted : 20/11/2018

#### Mots clés :

Lactosérum;  
 Membranes;  
 Protéines du lactosérum;  
 Techniques membranaires;  
 Ultrafiltration.

#### Key Words:

Whey;  
 Membranes;  
 Whey protein;  
 Membrane techniques;  
 Ultrafiltration.

### ABSTRACT/RESUME

**Résumé :** La quantité de lactosérum produite chaque année, à partir de 20000 litres de lait mis en œuvre par jour pour la fabrication de camembert tassili, a été estimée à 5 840 000 litres soit 581 605.6 kg d'éléments nutritifs qui sont purement et simplement évacués dans les effluents de la laiterie de Draa Ben Khedda.

L'analyse biochimique du sérum a permis de mettre en évidence des aptitudes nutritionnelles très intéressantes pour l'alimentation humaine.

En effet, le lactosérum est caractérisé par sa richesse en matière sèche représentant 67.02 % des éléments nutritifs originaires du lait. Il est riche en lactose, protéines, matière grasse et éléments minéraux représentant respectivement 64.34 %, 5.63 %, 2.55% et 8.35 %. Et d'autre part d'après les valeurs très élevées obtenues de la DCO (127 712 mg d'O<sub>2</sub>/l) et la DBO<sub>5</sub> (49333.32 mg d'O<sub>2</sub>/l), nous pouvons affirmer que ce sous produits est un facteur de pollution très redoutable de l'environnement donc il serait nécessaire de le valoriser. L'objectif de notre étude vise à récupérer les protéines du lactosérum par le procédé d'ultrafiltration et de réduire ainsi le caractère polluant de ce sous produit par l'utilisation d'une membrane en polyéther-sulfone (PES) et de 10KDa de seuil de coupure.

L'influence de la pression transmembranaire sur le flux de perméation sera étudiée et le taux de rétention des protéines ainsi que l'évolution du colmatage de la membrane seront déterminés.

**Abstract :** The quantity of whey produced each year, from 20000 liters of milk used per day for the manufacture of tassili Camembert, has been estimated at 5 840 000 liters or 581 605.6 kg of nutrients which are simply evacuated in the effluents of the Draa Ben Khedda dairy.

The biochemical analysis of the serum made it possible to highlight nutritional skills that are very interesting for human nutrition.

The biochemical analysis of the serum made it possible to highlight nutritional skills that are very interesting for human nutrition. It is rich in lactose, protein, fat and mineral elements respectively representing 64.34%, 5.63%, 2.55% and 8.35%. On the other hand, according to the very high values obtained of COD (127,712 mg of O<sub>2</sub> / l) and BOD<sub>5</sub> (49,333.32 mg of O<sub>2</sub> / l), we can affirm that this by-product is a factor of very formidable pollution of the environment so it would be necessary to value it. The objective of our study is to recover whey

## I. Introduction

Le lactosérum, sous produit des industries laitières, constitue, d'une part un facteur de pollution redoutable et d'autre part, renferme des constituants (lactose, éléments minéraux et protéines) à valeur nutritive élevée donc la diminution du degré de pollution de l'environnement provoqué par le lactosérum peut être réalisé par la récupération de ses constituants. Le but de notre travail est la valorisation du lactosérum en récupérant les protéines solubles par ultrafiltration. Notre étude comporte cinq étapes :

- Caractérisation physicochimique du lactosérum brut.
- Lyophilisation et caractérisation physicochimique du lactosérum reconstitué.
- Clarification et caractérisation physicochimique du lactosérum clarifié.
- Ultrafiltration et caractérisation physicochimique du permeat et du retentât.
- Diafiltration et caractérisation physicochimique du permeat et du retentât.

## II. Produit étudié

Les échantillons utilisés dans cette étude proviennent de l'unité laitière et fromagère de Draa Ben Khédoua (D.B.K.) le lactosérum est de type doux, issu du premier soutirage lors de la fabrication du fromage type camembert selon le procédé représenté sur la figure IV.1 ; les échantillons ont été prélevés au niveau de la cuve de coagulation, dans des flacons en plastiques stériles et conservés à 4°C jusqu'à analyse et traitement.

### II.1. Obtention du lactosérum

Le lactosérum est obtenu à partir d'un mélange de lait en poudre reconstitué, et de lait de vache local soumis à des opérations de standardisation, homogénéisation, pasteurisation, refroidissement et pré-maturation par l'ajout de :

- phosphate mono calcique pour améliorer sensiblement le problème de manque de cohésion du caillé qui se pose en fromagerie (F.A.O, 1980) et de favoriser la coagulation.
- chlorure de calcium.
- de pénicillium (ferment lactique) capables de se multiplier dans le lait et dans le fromage (Eck, 1990). Par leur activité acidifiante, elles conditionnent, pour une grande part, l'aptitude du lait à la coagulation, l'aptitude de gel et du caillé à l'égouttage et la composition finale du fromage. Leurs activités protéolytiques aromatiques, texturant et gazogène, déterminent les principales caractéristiques organoleptiques du produit fini (Miettinen et al., 1994). Après la

prématuration et la maturation, le mélange est envoyé dans les cuves de coagulation (de 1000 litres) c'est à ce moment que l'on fait des apports en :

- **Présure** : Extrait liquide ou pâteux provenant de la macération de la caillette des jeunes bovidés, nourris au lait (Eck, 1984). La présure est un mélange de chymosine (80%) et de pepsine (20%). la chymosine est l'enzyme dominante qui compte tenu des conditions du milieu, entraîne une hydrolyse de la caséine Kappa présente en surface des micelles (Eck, 1997).

La présure a une double activité. Une protéolyse très spécifique sur la caséine Kappa, et une protéolyse générale sur toutes les protéines pouvant se manifester au cours de l'affinage des fromages. L'emprésurage se fait en général 40 mn après l'ensemencement lactique. On utilise 105 gr de présure lyophilisée par 5000 l de lait.

- **La coagulation** : Le temps de coagulation est lié directement à la dose de présure appliquée, le temps de prise est de 20 minutes et la coagulation deux fois le temps de prise.

- **Le décaillage** : Se réalise manuellement par des tranches caillées à faible vitesse afin d'obtenir des grains de fromage fins et dure 20 minutes, au cours de cette opération qu'il y a exsudation du lactosérum.

- **Brassage** : Le premier brassage dure environ 20 minutes, les brasseurs sont ensuite stoppés afin de permettre le dépôt des grains au fond de la cuve. Le liquide surnageant dans la cuve est le premier lactosérum, les échantillons utilisés tout au long de notre étude ont été prélevés à ce stade de fabrication (sérum I). Un volume de sérum I soutiré, représentant environ 1/3 du volume de lait utilisé par cuve de 1000 litres.

**Résumé :**

Le lactosérum est considéré comme un sous-produit laitier riche en éléments nutritifs, son rejet dans les effluents constitue une perte économique énorme. Ce travail vise à valoriser le lactosérum liquide et mettre en évidence son pouvoir polluant ainsi que sa valeur nutritive. La valorisation de ce sous-produit permettra de réduire la pollution de l'environnement ainsi que ultrafiltrer ce dernier pour récupérer les éléments nobles du lait comme les protéines solubles à valeur ajoutée afin de les valoriser pour des usages alimentaires.

**Mots clés :** lactosérum, valorisation, ultrafiltration, protéines, alimentaire.

**Abstract :**

Whey is considered as a dairy by-product rich in nutrients, its discharge in effluents constitutes a huge economic loss. This work aims to valorize the liquid whey and to highlight its polluting power as well as its nutritive value. The valorization of this by-product will allow to reduce the pollution of the environment as well as to ultrafilter this last one to recover the noble elements of the milk like the soluble proteins with added value in order to valorize them for food uses.

**Key words :** whey, recovery, ultrafiltration, proteins, food.

**المخلص:**

يعتبر مصّل اللبّن منتجًا ثانويًا غنيًا بالمغذيات، كما أن إطلاقه في النفايات السائلة يمثّل خسارة اقتصادية ضخمة. يهدف هذا العمل إلى تعزيز مصّل اللبّن السائل وإبراز قوته الملوثة بالإضافة إلى قيمته الغذائية. تؤدي استعادة هذا المنتج الثانوي إلى تقليل التلوث البيئي بالإضافة إلى الفلتر الفائق الأخير لاستعادة العناصر النبيلة للحليب مثل البروتينات القابلة للذوبان ذات القيمة المضافة من أجل استعادتها للاستخدامات الغذائية.

**الكلمات المفتاحية:** مصّل اللبّن، تحسين، الفلتر الفائق، البروتينات، غذاء