

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université de Tiaret
Institut des Sciences Agronomiques

Thème

**Contribution à l'Etude de la Fixation des
Protéines des lactosérums Doux et Acide
par la Bentonite de M'zila Brute et Traitée**

MEMOIRE

En Vue De l'Obtention du Diplôme de Magister
En Sciences Agronomiques
Option : Ecologie et Environnement

Présenté par :
Mr. *ADDA M'hamed*

Date de soutenance : 26 Septembre 2002

**** Année Universitaire 2001-2002 ****

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université de Tiaret
Institut des Sciences Agronomiques
Thème

**Contribution à l'Etude de la Fixation des
Protéines des lactosérums Doux et Acide
par la Bentonite de M'zila Brute et Traitée**

MEMOIRE

En Vue De l'Obtention du Diplôme de Magister
En Sciences Agronomiques
Option : Ecologie et Environnement

Jury

| | |
|---------------------|------------|
| Dr. DELLAL A. : | Président |
| Dr. HADJ SAID A. : | Rapporteur |
| Dr. CHOUKRI A. : | Examineur |
| Mr. REGUIEG Y. H. : | Examineur |
| Mr. SAHNOUN M. : | Examineur |

Présenté par :

Mr. ADDA M'hamed

**** Année Universitaire 2001-2002 ****

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon père

A ma mère

A mon adorable petit frère Mohamed

A mes frères, particulièrement : Ahmed

A mes sœurs et belles sœurs

A ma femme

A mon fils

A toute ma famille

A tous mes amis

Remerciements

Je tiens à présenter mes plus profonds remerciements et ma reconnaissance à mon encadreur **A. HADJ SAID**, chargé de cours à l'institut des sciences agronomiques de Tiaret qui a dirigé ce travail et qui m'a bien aidé et orienté avec ces précieux conseils qui m'ont encouragé à réaliser cette étude.

J'exprime mes profondes gratitudes à messieurs:

A. DELLAL, Maître de conférence pour avoir nous honorer d'accepter de présider le jury.

A. CHOUKRI, Maître de conférence et directeur du Centre Universitaire de Djelfa pour l'honneur qui nous a fait d'avoir accepter d'examiner ce travail.

Y.H. REGUIEG, Chargé de cours à l'Université de Mostaganem qui trouve ici mes vifs remerciements pour m'avoir fait l'honneur d'être l'un des examinateurs.

M. SAHNOUN, Chargé de cours et directeur de l'Institut des Sciences Agronomiques de Tiaret pour son aide, orientations et pour avoir accepter de juger ce travail.

*Toutes mes reconnaissances et mes remerciements à monsieur **A. ADDA** qui m'a soutenu, aider et orienter avec ses précieux conseils tout au long de la durée de ce travail.*

Jacques ADDA, Directeur de l'INRA de Paris qui trouve ici mes profondes remerciements pour l'aide qui m'a offert en matière de documentation.

Je tiens à remercier également les responsables de l'OROLAIT de Tiaret et de Relizane pour leurs aides.

Mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail, particulièrement: **A. BOURICHA, F. MERDAF, KARIMA, ANISSA** et **OUAFAA**. pour leurs encouragements.

ملخص :

يعتبر المصل الحليبي لما يحتويه من مواد غذائية مورد هام للبروتينات بيد أن عدم استغلال هذه المكونات أو تركها في الطبيعة يكون أحد عوامل التلوث البيئي.

إن طرق استغلال و إعادة الاعتبار لاستعمال المصل الحليبي متعددة لكنها تحددت بتكلفة استعمالها.

في هذا الصدد ارتأينا استعمال الطين لتثبيت و إمتزاز بروتينات المصل الحليبي لأجل التقليل من خطورة التلوث.

هذه الدراسة سمحت لنا بتحديد أهم العوامل المؤثرة على هذا الإمتزاز منها :

- كمية الطين المستعمل و الذي قدر ب: 10غ/ل لكل من الطين العادية في حالتي المصل الحليبي القاعدي و الحامضي معا.

- 5 غ/ل من طين نقية بالنسبة للمصل الحليبي القاعدي و 4 غ/ل منها بالنسبة للمصل الحليبي الحامضي و التي استغرقت فيها عملية الإمتزاز 10 دقائق في كل الحالات، في وسط ذو حرارة قدرت ب: 25°م.

النتائج المتحصل عليها بينت لنا أن pH لم يكن عامل مؤثر قوي على عملية الإمتزاز بينما قدرت قدرة إمتزاز البروتينات المحسوبة في نفس عوامل التجربة و في حالة المصل الحليبي القاعدي مع عامل pH=8 ب: 32.89 و 69.93 غ/100غ في حالة استعمال الطين العادي بالنسبة للأولى و الطين النقي في الحالة الثانية.

Résumé

Le lactosérum représente une source protéique très importante. En contrepartie, vue sa richesse en matières organiques fermentiscibles son rejet constitue un facteur de pollution environnemental conséquent.

Les méthodes de la récupération et la valorisation de ce lactosérum demeurent fortement dépendantes des coûts globaux de leurs exécutions.

Dans ce contexte, la présente étude repose sur l'utilisation de la bentonite comme agent de fixation des protéines du lactosérum en vue de minimiser son degré de pollution.

Cette étude nous a permis de déterminer les meilleures conditions de fixation à savoir :

- quantité de bentonite, 10g/l de bentonite brute pour les deux lactosérums doux et acide, 5 et 4g/l de bentonite pure respectivement pour le lactosérum doux et celui acide ;
- Temps de contact : 10min.
- Température : 25°C.

Les résultats de cette fixation ont montré que l'influence du pH est relativement faible.

Par contre les capacités de fixation théoriques obtenues sont à pH=8 et dans les memes conditions dans le meilleur des cas; c'est-à-dire avec le lactosérum doux 32.89 et 69.93g/100g respectivement pour la bentonite brute et pure.

Mots clés :

Lactosérum, protéines, bentonite, fixation, pollution.

Summary

The whey represents a very significant proteinic source. In the other hand, seen its high content in fermentiscibles organic matter its rejection constitutes a consequent factor of pollution environmental.

The methods of recovery and the valorization of this whey remain strongly dependent on the total costs their executions.

In this context, the present study rests on the use of bentonite like agent of fixing of proteins of the whey in order to minimize its degree of pollution.

This study enabled us to determine the best conditions of fixing to know:

- quantity of bentonite, rough bentonite 10g/l for the two soft and acid wheys, pure bentonite 5 and 4g/l respectively for the soft whey and that acid;
- Time of contact: 10min.
- Temperature: 25°C.

The results of this fixing showed that the influence of the pH is relatively weak.

On the other hand the theoretical capacities of fixing obtained are with pH=8 and under the same conditions in the best of the cases; i.e. with the soft whey 32.89 and 69.93g/100g respectively for rough and pure bentonite.

Key words:

Whey, proteins, bentonite, fixing, pollution.

Liste des abréviations

| | |
|------------|---|
| L.D | : Lactosérum doux |
| L.A | : Lactosérum acide |
| OROLAIT | : Office Regional du Lait et ses dérivés |
| S.A.F.A.O | : Société Agro-forestiere d'Aménagement Ouarsenis |
| O.M.S | : Organisation Mondiale de la Santé |
| MS | : Matière Sèche |
| g | : Gramme |
| mn | : Minute |
| l | : Litre |
| °C | : Degré Celcius |
| UHT | : Ultra Haute Température |
| CPL | : Concentré de Protéines de Lactosérum |
| IPL | : Isolat de Protéines de Lactosérum |
| MF | : Microfiltrat |
| UF | : Ultrafiltration |
| NF | : Nanofiltration |
| OI | : Osmose Inverse |
| ED | : Electrodialyse |
| TC | : Thermo-Coagulation |
| CSV | : Concentration Sous Vide |
| ID | : Indice de Réfraction |
| Å | : Angström |
| °D | : Degré Dornic |
| % | : Pourcentage |
| <i>Da</i> | : <i>Dalton</i> |
| <i>KDa</i> | : <i>Kilo Dalton</i> |
| Ig | : Immoglobuline |
| NPN | : Matière Azotée Non Protéique |
| s | : Seconde |
| mg | : Milligramme |
| µm | : Microgramme |
| meq | : Milli-équivalent gramme |

| | |
|-----------------|---|
| D.B.O | : Demande Biologique d'Oxygène |
| D.C.O | : Demande Chimique d'Oxygène |
| C.M.C | : Carboxyméthyl-cellulose |
| Tab. | : Tableau |
| Fig. | : Figure |
| T | : Température |
| t | : temps |
| m ³ | : mètre cube |
| nd | : non déterminé |
| C _i | : Concentration initiale |
| C _{eq} | : Concentration à l'équilibre |
| x/m | : <i>Quantité en protéines fixée par la 100g de bentonite</i> |
| C _f | : Concentration fixée |
| T _f | : Taux de fixation |

Liste des tableaux

Tableau 01 : Composition des trois types des lactosérums rapportée à 100g de matière sèche.

Tableau 02 : Comparaison du contenu en acides aminés entre les différentes sources protéiques

Tableau 03 : Caractéristiques des immunoglobulines

Tableau 04 : Caractéristiques des protéines du lactosérum doux

Tableau 05 : Composition du lactosérum avec différents éléments minéraux

Tableau 06 : Composition du lactosérum avec différentes vitamines

Tableau 07 : Les résultats de concentration par osmose inverse.

Tableau 08 : Comparaison entre les différents agents de précipitation des protéines du lactosérum.

Tableau 09 : Taux d'utilisation du lactosérum dans les biscuits

Tableau 10 : Objectifs et avantages du lactosérum dans l'alimentation infantile

Tableau 11 : L'influence de la qualité du lactosérum sur la croissance et l'efficacité alimentaire.

Tableau 12 : Caractéristiques moyennes des eaux usées du secteur agro-alimentaire (par tonne de production)

Tableau 13 : Tableau récapitulatif des différentes sources de pollution

Tableau 14 : La quantité du lactosérum produite quotidiennement en Algérie.

Tableau 15 : Les capacités approximatives d'échange de cations en meq/100g de produit.

Tableau 16 : Caractéristiques de la bentonite de M'zila

Tableau 17 : Quelques caractéristiques physico-chimiques des lactosérums doux et acide.

Tableau 18 : Quantités fixées en protéines du lactosérum doux à saturation.

Tableau 19 : Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute ou pure), pour des pH.

Tableau 20 : Quantités de protéines du lactosérum doux fixées par 100g de bentonite en

fonction de leurs concentrations à l'équilibre.

Tableau 21 : Représentation des équations et leurs coefficients de corrélation selon le modèle de FREUNDLICH à faibles concentrations initiales en protéines du lactosérum doux.

Tableau 22 : Représentation des équations et leurs coefficients de corrélation selon le

modèle de LANGMUIR à fortes concentrations initiales en protéines du lactosérum doux.

Tableau 23 : Capacité maximale de fixation des protéines du lactosérum doux en g par 100g de bentonite déterminée à une concentration initiale selon le modèle de LANGMUIR

Tableau 24 : Quantités fixées en protéines du lactosérum acide à saturation.

Tableau 25 : Taux de fixation maximal des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute ou pure), pour des pH=5 et 8.

Tableau 26 : Quantités de protéines du lactosérum acide fixées par 100g de bentonite en

fonction de leurs concentrations à l'équilibre.

Tableau 27 : Représentation des équations et leurs coefficients de corrélation selon le modèle de FREUNDLICH à faibles concentrations initiales en protéines du lactosérum acide.

Tableau 28 : Représentation des équations et leurs coefficients de corrélation selon le modèle de LANGMUIR à fortes concentrations initiales en protéines du lactosérum acide.

Tableau 29 : Capacité maximale de fixation des protéines du lactosérum acide en g par 100g de bentonite déterminée à une concentration initiale indéterminée selon le modèle de LANGMUIR.

Tableau 30 : Tableau récapitulatif des capacités de fixation des protéines du lactosérum (doux et pure) par la bentonite (brute et pure) à des pH=5 et 8.

Liste des figures

Figure 01 : Technologie d'obtention des principaux types de sérum issus de la première transformation du lait.

Figure 02 : Structure schématique de la montmorillonite.

Figure 03 : Schéma d'une particule.

Figure 04 : Représentation schématique des motifs tétraédriques et octaédriques dans les phyllosilicates.

Figure 05 : Voie de préparation des deux types du lactosérum (doux et acide)

Figure 06 : Voie de purification de la bentonite de M'ZILA

Figure 07 : Schéma du protocole expérimental

Figure 08 : Voie de détermination de la quantité de bentonite nécessaire

Figure 09 : Schéma de détermination du temps du contact et de la température nécessaire

Figure 10 : Schéma de la préparation des différentes concentrations initiales en protéines des lactosérums doux et acide par dilution avec la solution tampon pH=5 et pH=8

Figure 11 : La courbe d'étalonnage de BRADFORD

Figure 12 : Taux de fixation des protéines du lactosérum doux en fonction de la bentonite

Figure 13 : Taux de fixation des protéines du lactosérum doux en fonction du temps de contact

Figure 14 : Taux de fixation des protéines du lactosérum doux en fonction de la température

Figure 15 : L'influence de la concentration initiale sur l'adsorption des protéines du lactosérum doux par la bentonite brute en fonction du pH

Figure 16 : L'influence de la concentration initiale en protéines sur l'adsorption des protéines du lactosérum doux par la bentonite pure en fonction du pH

Figure 17 : Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite brute en fonction de leurs concentrations initiales

Figure 18 : Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite pure en fonction de leurs concentrations initiales

Figure 19 : Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum doux par la bentonite à pH=5

Figure 20 : Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum doux par la bentonite à pH=8

Figure 21 : Isotherme de FREUNDLICH à faibles concentrations en protéines du lactosérum doux à pH=5

Figure 22 : Isotherme de FREUNDLICH à faibles concentrations en protéines du lactosérum doux à pH=8

Figure 23 : Isotherme de LANGMUIR à fortes concentrations en protéines du lactosérum doux à pH=5

Figure 24 : Isotherme de LANGMUIR à fortes concentrations en protéines du lactosérum doux à pH=8

Figure 25 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide en fonction de la bentonite

Figure 26 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide en fonction du temps de contact

Figure 27 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide en fonction de la température

Figure 28 : L'influence du pH sur l'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite brute.

Figure 29 : L'influence du pH sur l'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite pure

Figure 30 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite brute en fonction de leurs concentrations initiales

Figure 31 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite pure en fonction de leurs concentrations initiales

Figure 32 : Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite à pH=5

Figure 33 : Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite à pH=8

Figure 34 : Isotherme de FREUNDLICH à faibles concentrations en protéines du lactosérum acide à pH=5

Figure 35 : Isotherme de FREUNDLICH à faibles concentrations en protéines du lactosérum acide à pH=8

Figure 36 : Isotherme de LANGMUIR à fortes concentrations en protéines du lactosérum acide à pH=5

Figure 37 : Isotherme de LANGMUIR à fortes concentrations en protéines du lactosérum acide à pH=8

Liste des annexes

Annexe 01 : Les différentes concentrations en protéines obtenues par dilution de la solution mère (1g/l) du B.S.A avec de l'eau distillée

Annexe 02 : Les différentes concentrations en protéines du lactosérum doux obtenues par dilution avec la solution tampon du pH=5 et pH=8

Annexe 03 : Les différentes concentrations en protéines du lactosérum acide obtenues par dilution avec la solution tampon du pH=5 et pH=8

Annexe 04 : Les différentes valeurs du D.O obtenues en fonction de leurs concentrations en

protéines du B.S.A

Annexe 05 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide en fonction de la variation

des quantités de bentonite(brute et pure).

Annexe 06 : Taux de fixation des protéines du lactosérum fixée en fonction de la variation du temps de contact.

Annexe 07 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide en fonction de la variation

du température.

Annexe 08 : La variation de la quantité de protéines du lactosérum doux fixée par la bentonite brute en fonction de leurs concentrations initiales à pH=5 et 8.

Annexe 09 : La variation de la quantité de protéines du lactosérum doux fixée par la bentonite pure en fonction de leur concentrations initiales à pH=5 et 8.

Annexe 10: Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite brute en fonction de leur concentrations initiales à pH=5 et 8.

Annexe 11: Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite pure en fonction de leur concentrations initiales à pH=5 et 8.

Annexe 12: Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute et pure) à pH=5.

Annexe 13 : Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute et pure) à pH=8.

Annexe 14 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide en fonction de la variation ***des quantités de bentonite(brute et pure).***

Annexe 15 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide fixée en fonction de la variation du temps de contact.

Annexe 16 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide en fonction de la variation de la température.

Annexe 17 : Quantité des protéines du lactosérum acide adsorbés par la bentonite brute en fonction de leurs concentrations initiales à pH=5 et 8.

Annexe 18 : Quantité des protéines du lactosérum acide adsorbés par la bentonite pure en fonction de leurs concentrations initiales à pH=5 et 8.

Annexe 19: Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite brute.

Annexe 20: Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite pure en fonction de leur concentrations initiales à pH=5 et 8.

Annexe 21 : Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure) à pH=5.

Annexe 22: Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure) à pH=8.

SOMMAIRE

| | page |
|--------------------|------|
| INTRODUCTION | 01 |

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : LE LACTOSERUM

| | |
|--|-----------|
| 1-Origine et définition du lactosérum | 04 |
| 2- Composition du lactosérum | 04 |
| 2-1- Le lactose | 06 |
| 2-2- Les matières azotées | 06 |
| 2-2-1- Les protéines du lactosérum | 06 |
| 2-2-1-1- Les albumines | 07 |
| 2-2-1-1-1- la bêta lactoglobuline | 07 |
| 2-2-1-1-2- l'alpha lactalbumine | 07 |
| 2-2-1-1-3- la sérum albumine | 08 |
| 2-2-1-2- Les immoglobines | 08 |
| 2-2-1-3- Les protéoses peptones | 09 |
| 2-3- Les matières azotées non protéiques (NPN) | 10 |
| 2-4- Les enzymes | 10 |
| 2-4-1- La lactopyroxidase | 10 |
| 2-4-2- La lactase | 10 |
| 2-5- Les éléments biologiques du lactosérum | 10 |
| 2-6- Les matières minérales | 11 |
| 2-7- Les vitamines | 11 |
| 2-7- Les matières grasses..... | 12 |

| | |
|--|-----------|
| II-LES PRINCIPAUX TRAITEMENTS DU LACTOSERUM | 13 |
|--|-----------|

| | |
|---|-----------|
| 1- La | |
| concentration..... | 13 |
| 1-1 L'évaporation sous vide | 13 |
| 1-2- L'osmose inverse | 14 |
| 2- Le séchage | |
| | 14 |
| 3- La thermo-coagulation..... | 15 |
| 4- L'ultrafiltration..... | 15 |
| 5- Le procédé de la carboxyméthylcellulose (C.M.C)..... | 16 |

III-INTERETS ET DIFFERENTES UTILISATIONS DU LACTOSERUM ...17

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 1-Interet | |
| fonctionnel..... | 17 |
| 1-1-La solubilité..... | 17 |
| 1-2-Capacité de rétention d'eau..... | 17 |
| 1-3-Pouvoir | |
| gélifiant..... | 1 |
| 7 | |
| 1-4-Pouvoir émulsifiant..... | 18 |
| 1-5-Pouvoir moussant..... | 18 |

IV-INTERET NUTRITIONNEL ET THERAPEUTIQUE DU

LACTOSERUM.....19

| | |
|---|-----------|
| 1-Les différentes utilisations du | |
| lactosérum..... | 19 |
| 1-1-Le lactosérum dans l'alimentation humaine..... | 19 |
| 1-4-Utilisation du lactosérum dans la fabrication du fromage..... | 19 |
| 1-5-Utilisation du lactosérum dans la Fabrication du yaourt..... | 20 |
| 1-6-L'utilisation du lactosérum en Pâtisserie et biscuiterie..... | 20 |
| 1-7-Utilisation du lactosérum dans la Confiserie | 21 |
| 1-8-Utilisation du lactosérum en Boulangerie | 21 |
| 1-9-Utilisation du lactosérum dans la Production des boissons | 21 |
| 1-2-Le lactosérum dans l'alimentation infantile | 22 |
| 1-3-Le lactosérum dans l'alimentation animale | 23 |

CHAPITRE II : LA POLLUTION DES EAUX

| | |
|---|----|
| 1- Introduction..... | 24 |
| 2- Les différents polluants de l'eau du secteur agro-alimentaire..... | 24 |
| 3- Caractéristiques des eaux usées..... | 25 |
| 4- Les différentes classes de pollution | 25 |
| 4-1- La pollution ménagère | 26 |
| 4-2- La pollution agricole..... | 26 |
| 4-3- La pollution organique | 26 |
| 4-4- La pollution par les hydrocarbures..... | 26 |
| 4-5- la pollution thermique | 27 |
| 4-6- La pollution minérale | 27 |
| 4-7- la pollution mixte | 27 |
| 5- Le lactosérum en Algérie..... | 29 |
| 5-1- Le lactosérum agent polluant..... | 30 |
| 5-1-1- La pollution des eaux par le lactosérum acide | 30 |
| 5-1-2- La pollution des eaux par le lactosérum doux | 31 |

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES ARGILES

| | |
|---|-----------|
| 1- Généralités sur les argiles | 32 |
| 2- Structure et classification des argiles | 32 |
| 2-1- La structure des argiles | 32 |
| 2-2- La classification des argiles | 33 |
| 2-2-1- Les argiles minéralogiques | 33 |
| 2-2-2- Les argiles granulométriques | 33 |
| 2-2-3- Les argiles montmorillonitiques | 36 |
| 2-2-3-1- La bentonite | 36 |
| 2-2-3-1-1- la forme naturelle | 36 |
| 2-2-3-1-2- Caractéristiques de la bentonite | 36 |
| 2-2-3-2- structure de la montmorillonite | 36 |

| | |
|---|----|
| 2-2-3-4- cations échangeables | 37 |
| 2-2-3-5- les applications | 37 |
| 3- Le processus d'adsorption de la bentonite..... | 38 |
| 3-1-Adsorption physique..... | 38 |
| 3-2- Adsorption spécifique..... | 38 |
| 3-3- Adsorption chimique..... | 38 |
| 4-Facteurs influençant l'adsorption..... | 38 |
| 4-1-L'élément adsorbé..... | 39 |
| 4-2-L'élément adsorbant..... | 39 |

DEXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES

| | |
|--|-----------|
| Matériel utilisé..... | 40 |
| 1-1- Préparation du matériel utilisé | 40 |
| 1-1-1- Les lactosérums (doux et acide)..... | 40 |
| 1-1-2- Préparation de la bentonite pure de M'ZILA | 41 |
| 1-2- Appareillage et produits chimiques utilisés | 43 |
| 1-2-1- Appareillage | 43 |
| 1-2-2- Produits chimiques utilisés | 43 |
| 2- Méthodes | 44 |
| 2-1- Protocole expérimental | 44 |
| 2-1-1- Méthodes de dosage des protéines du lactosérum (doux et acide)..... | 45 |
| 2-1-2- Détermination de quantité d'adsorbant | 47 |
| 2-1-3- Détermination du temps de contact | 48 |
| 2-1-4- Détermination de la température | 48 |
| 2-2- Préparation des dilutions des lactosérums (doux et acide)..... | 49 |

TROISIEME PARTIE :RESULTATS ET DISCUSSION

| | |
|---|----|
| 1- Détermination des protéines du lactosérum (doux et acide)..... | 50 |
| 1-1- La courbe d'étalonnage | 51 |

| | |
|---|----|
| 2- Etude de certaines caractéristiques physico-chimiques des lactosérums, doux et acide... | 51 |
| 3- Détermination des paramètres influençants la fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute et pure)..... | 53 |
| 3-1-La quantité de bentonite | 53 |
| 3-2 Le temps de contact | 53 |
| 3-3-La température | 54 |
| 4- Etude de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute et pure)..... | 57 |
| 4-1- L'influence du pH..... | 57 |
| 4-2- Détermination de la capacité de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute et pure) | 61 |
| 4-3- Etude des isothermes d'adsorption des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute et pure)..... | 63 |
| 5- Détermination des paramètres influençants la fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure)..... | 67 |
| 5-1- La quantité de bentonite | 67 |
| 5-2 Le temps de contact | 67 |
| 5-3- La température | 67 |
| 6- Etude de fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure)..... | 70 |
| 6-1- L'influence du pH..... | 70 |
| 6-2- Détermination de la capacité de fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure) | 74 |
| 6-3- Etude des isothermes d'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure)..... | 76 |
| 7- Comparaison entre l'adsorption des protéines des deux types de lactosérum (doux et acide) par la bentonite (brute et pure)..... | 77 |

CONCLUSION GENERALE

.....80

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

INTRODUCTION

L'environnement est défini comme l'ensemble des qualités du milieu biophysique utilisées par une activité et modifiées par une autre. Il est commun de constater que l'agriculture constitue un réceptacle de premier choix pour les déchets générés par les activités humaines. Le monde agricole a derrière lui une longue tradition d'utilisation des déchets, qu'ils soient d'origine agricole, urbaine ou industrielle.

L'eau peut dissoudre de nombreuses substances chimiques, organiques déversés atteignent aujourd'hui des quantités telles que les micro-organismes présents dans les milieux pollués ne peuvent plus assurer son auto-épuration.

On s'accorde à considérer l'industrie comme le principal agent polluant; citons aussi l'agriculture, les ménages, la circulation routière et l'urbanisation.

Cette industrie présentée par le nombre élevé des unités de transformation mis en œuvre l'utilisation des éléments minéraux cause par leur rejet un problème de pollution des eaux. Cette pollution s'accroît par le fait de l'accroissement des usines de fabrication alimentaire telle que l'industrie fromagère. La production mondiale de lait bovin en 1997 a été de 530 millions de tonnes et de celle-ci environ 60 % ont été acheminés vers des usines laitières. Si la plus grande partie de ce tonnage a quitté la fabrique en tant que lait prêt à la consommation, soit pasteurisé, stérilisé ou UHT, ou en tant que fromage ou beurre, environ 10 % de la production mondiale totale ont été transformés en poudre, soit directement en poudre de lait entier ou écrémé, soit dans différents dérivés laitiers tels que lactose, lactosérum, concentrés de protéine, caséinates, etc (J. STEIN ET K. IMHOF., 1998).

L'industrie du fromage produit des quantités importantes de lactosérum.

Parmi les rejets on retrouve particulièrement le lactosérum qui représente plus de 80% du lait de fromagerie (F.A.O 1998).

Le lactosérum doux (petit lait) est issu de la fabrication fromagère. En effet, 10 Kg de lait permettent la production de 1 kg de fromage et de générer en moyenne 9 kg de lactosérum (KRAULIS P, 1991).

Ce sous-produit industriel comporte divers composés extraits par concentration et/ou séchage, maintenant utilisés pour leurs propriétés nutritionnelles et fonctionnelles. La valorisation du lactosérum a mené à la mise en marché d'une variété de produits d'intérêt pour le monde alimentaire, la cosmétique et l'industrie

pharmaceutique. En effet, les concentrés et isolats de protéines de lactosérum (CPL, IPL), les phospholipides et le lactose comptent parmi les ingrédients produits à partir du lactosérum.

La production du lactosérum a plus que doublée en dix ans, à titre d'exemple rien qu'en France actuellement elle est de 500.000 tonnes de matière sèche disponible dont 350.000 sont valorisées (Ministère de l'env. France 1998). Les Etats Unis à eux seuls ont produit en 1999 environ 530,000 tonnes de lactosérum en poudre (RAFFAEL B, 2000).

L'accroissement considérable des quantités de fromage fabriquées dans les pays laitiers industrialisés cause un problème d'élimination du sérum. Il est soit distribué à la consommation animale, soit déversé dans les cours d'eau ou il est à l'origine de la pollution des eaux. Ce produit dérivé de l'industrie laitière ses constituants possèdent une valeur nutritive élevée et ils présentent des aptitudes fonctionnelles très intéressantes au niveau des industries alimentaires.

Selon ADLER-N.J., (1986) les protéines de lactosérum sont disponibles sous diverses formes, soit la poudre de lactosérum (10-13 %), les concentrés (35-85 %) ou isolats (>90 %) protéiques, ainsi qu'en protéines purifiées telles en la beta-lactoglobuline et l'alpha-lactalbumine. Les protéique et le coût de ces produits varient selon le degré de purification des protéines.

Il existe plusieurs méthodes de purification et d'obtentions des protéines du lactosérum; telles que :

- 1-La microfiltration (MF) qui permet de retenir les particules ou composantes de taille supérieure à 0,1 μ m;
- 2-L'ultrafiltration (UF) qui assure la rétention des molécules avec une taille de 4 nm ou plus;
- 3-La nanofiltration (NF) qui retient les molécules d'un poids moléculaire supérieur à 300kD;
- 4-L'osmose inverse (OI) qui est utilisé pour éliminer l'eau;
- 5-L'électrodialyse (ED) qui sert à éliminer les ions minéraux et organiques;
- 6-La thermocoagulation (TC) qui sert à obtenir les protéines par élévation de température jusqu'à l'ébullition;
- 7-La concentration sous-vides (CSV) qui s'utilise pour isoler les fractions protéiques par leur concentration.

Dans ce travail on a choisi la bentonite pour l'utiliser comme un agent fixateur des protéines du lactosérum. Cette bentonite appartient à la famille des argiles, non toxique, elle agit particulièrement sur les protéines et se caractérise par des sites de fixation situés entre les feuillets avec un diamètre variant de 4 à 10Å° (SPOSITO G. 1989, SCHOONHEYDT R.A., 1995).

La bentonite naturelle trouve des applications très variées, à côté des usages spécifiques dans plusieurs domaines. Son onctuosité, sa haute résistance aux agressions chimiques, de même que sa stabilité aux modifications, en ont fait un matériau naturel de choix, aussi bien pour l'industrie pharmaceutique et alimentaire que pour la production cosmétique. Ainsi, la finesse de ses particules qui la rendent apte à pénétrer même dans les pores de l'épiderme et à ses qualités hypoallergiques, expliquent son usage dans la préparation des crèmes ou shampooings par exemple, tandis que son pouvoir d'absorption naturel est notamment mis à profit pour le filtrage des contenant des constituants indésirables.

Le but de notre travail est d'étudier la fixation des protéines du lactosérum doux et acide par la bentonite.

Notre travail est constitué par trois parties distinctes ; une étude bibliographique, une partie expérimentale et une conclusion générale.

1-Origine et définition du lactosérum

Le lactosérum est un sous-produit provenant de l'industrie laitière, dont la fabrication des fromages, des caséines et leurs dérivés (Fig.01).

Selon APRIA (1973), le lactosérum est un liquide de couleur jaune verdâtre obtenu par la coagulation de la caséine du lait lors de la fabrication des fromages, ou par l'acidification lactique.

Dans l'industrie fromagère la mise en œuvre d'un litre de lait produit environ 0.6 à 0.9 litre de lactosérum.

Originellement les lactosérums sont classés selon leur degré d'acidité. Ainsi selon ce même critère, ils sont classés en trois classes distinctes:

- les sérums doux : provenant des fabrications des fromages à pâtes molles, pressés ou cuits. Leur acidité est inférieure à 18°D.

- les sérums acides : provenant des caséineries et des fabrications des fromages à pâtes fraîches et pâtes molles. Ils sont caractérisés par un degré d'acidité supérieure à 18°D.

- les sérums de caséines acides : sont obtenus à partir de la coagulation des caséines par un acide minéral caractérisé par un degré d'acidité supérieur à 18°D.

Ce classement est maintenu que si les sérums sont obtenus dans les meilleures conditions de conservation qui se traduit par l'arrêt de la transformation du lactose en acide lactique ou fortement ralenti. De ce fait l'acidité n'est pas un critère fidèle de jugement, tant qu'il existe une différence entre un sérum naturellement acide et un sérum originellement doux, et qui est acidifié suite aux mauvaises conditions de conservation. Ces dernières font transformer une partie du lactose en acide lactique.

2- Composition des lactosérums

Les lactosérums sont identiques en leur composition avec celle du lait privé de sa caséine et de sa matière grasse. C'est un liquide très fermentescible à évolution rapide avec un pH variant entre 4.6 à 6.4 et une acidité située entre 18°D et 60°D (APRIA, 1973).

L'extrait sec d'un litre de lactosérum se situe entre 60 et 70 g. Il est riche en nutriments essentiels, dont principalement, les protéines, les vitamines, sels et éléments minéraux. Les proportions consignées dans le tableau 01, qui illustre la composition de 100g de l'extrait sec des différents types de lactosérums.

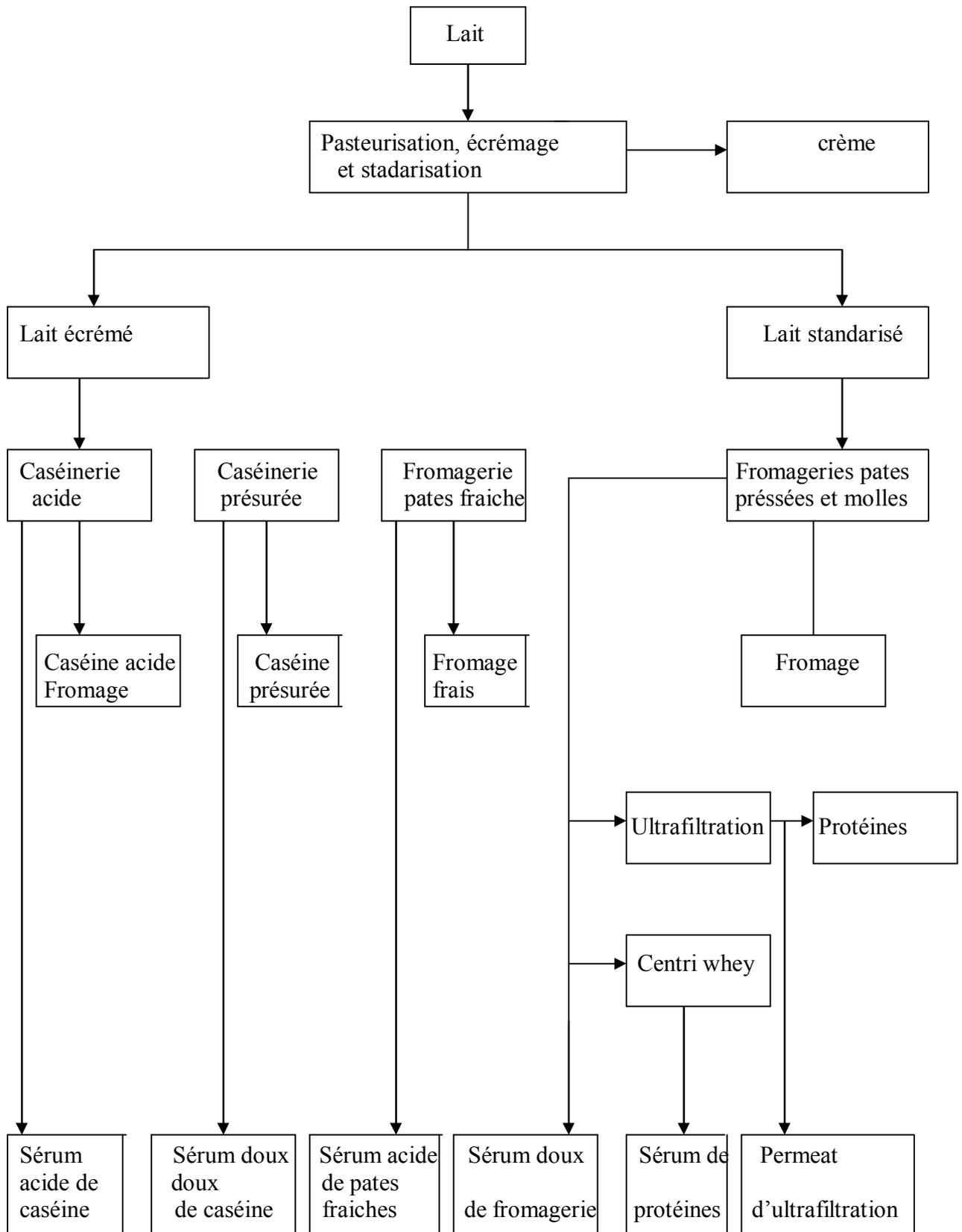


Figure 01: Technologie d'obtention des principaux types de sérum issus de la première

Tableau 01: Composition des trois types des lactosérums rapportée à 100g de matière sèche.

| Composantes en % | Lactosérum | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|----------------|
| | Présure | Lactique | Acide minérale |
| Lactose | 70 à 80 | 60 à 70 | 65 à 75 |
| Protéines (8x6.39) | 9 à 13.5 | 9 à 13.5 | 9 à 13 |
| Azote non protéique | 0.6 à 0.8 | 0.5 à 0.7 | 0.3 à 0.5 |
| Matières minérales | 7.5 à 9 | 9 à 14 | 9 à 13 |
| Matières grasses | 0.7 à 5 | 0.7 à 5 | 0.7 à 5 |
| Acidité (en % acide lactique) | 0.05 à 0.11 | 0.50 à 0.80 | 0.40 à 0.50 |

BOUDIER et LUQUET, (1974)

2-1- Le lactose

Le lactose est le constituant le plus abondant dans le lait; comme il représente l'essentiel de la matière sèche du sérum. Dans ces deux milieux, il est sujet à de nombreuses transformations dont notamment son hydrolyse. Cette évolution est liée à la présence des enzymes qui en sont responsables. L'activité des ces dernières demeurent grandement associée aux conditions de manipulation.

A une échelle industrielle, le lactose et sans autres modifications, demeure une substance utile, en raison de ses propriétés fonctionnelles. Cette importance se justifie par son utilisation dans des domaines diverses. Il présente de bonnes capacités de fixation des arômes, une aptitude à la compression et au moulage et un agent émulsifiant. On rencontre son utilisation particulière dans les industries alimentaires et pharmaceutiques (ADLER-NISSEN J., 1986)

2-2- Les matières azotées

Les matières azotées présentent une fraction importante dans la composition du lactosérum. Ces matières se distinguent entre les protéines dont le taux est estimé à environ 65%. Le rapport restant (35%) exprime les matières azotées non protéiques où figurent essentiellement l'azote uréique ou ammoniacal, acides aminés libres (acide glutamique, lysine...) et nucléotides (ADRIAN, 1973).

2-2-1- Les protéines du lactosérum

Ces protéines d'origine laitières demeurent dans le sérum après la précipitation de la caséine par acidification du lait à pH=4.6 ou par action de la présure. Elles présentent 20% des protéines totales du lait (VEISSEYRE, 1975).

Elles se classent en trois grands groupes hétérogènes (Tab. 04) selon leur solubilité: une fraction albumine prédominant cette teneur avec 80% du taux global, dans laquelle figurent la beta-lactoglobuline, l'alpha-lactalbumine et le sérum albumine à des proportions respectives de 55%, 20% et 5%.

L'écart restant est occupé par les fractions de globuline (10%) et protéose-peptone (10%) (ALAIS, 1984).

Selon ADRIAN (1973) et du point de vue nutritionnel, les fractions alpha-lactalbumine et bêta-lactoglobuline sont assez riches en acides aminés importants (Tab.02).

2-2-1-1- Les albumines

Ce groupe de protéines semble le plus abondant. Il représente environ 75% du total des protéines du lactosérum et 15% des protéines globales du lait.

Il engendre trois types de protéines l' α -lactalbumine, β -lactoglobuline et le sérum albumine (VEISSEYRE, 1975).

2-2-1-1-1- La bêta-lactoglobuline

C'est la protéine la plus abondante dans le lactosérum. Elle est d'un poids moléculaire de 18300 Da (PHILIPPE C. et al, 1998). Elle représente environ 12% des protéines totales du lait de la vache, soit 50 à 60% du poids total de l'ensemble des protéines du lactosérum (Tab. 04).

Selon (VEISSEYRE, 1979 ; ALAIS, 1984) elle est constituée de 162 résidus d'acides aminés différents. Son endommagement provoque la coagulation du lait qu'elle s'absorbe sur la surface des molécules des caséines et empêche le rôle de la présure (CHEFTEL et al, 1978).

2-2-1-1-2- L'alpha lactalbumine

De point de vue quantitatif elle vient en seconde place après la β -lactoglobuline. Elle présente un poids moléculaire de 14200Da (Tab. 04). Elle est constituée d'environ 123 résidus d'acides aminés (PHILIPPE C. et al, 1998). Elle occupe 20% des protéines

totales du lactosérum, et présente la particularité d'être soluble dans l'eau à pH 6. Cette solubilité diminue dans la gamme de pH étalée entre 4,6 et 6. Elle est très riche en acide aminé triptophane (DYBING S.T et SMITH D.E,1998).

2-2-1-1-3- La sérum albumine

cette protéine compte environ 582 résidus d'acides aminés avec un poids moléculaire estimé à 69.000.000, n'est pas synthétisée par la glande mammaire, elle est structurée par 17 ponts disulfure intramoléculaire (PHILIPPE C. et al, 1998)

Tableau 02: Comparaison du contenu en acides aminés entre les différentes sources protéiques

| Acides aminés (g/100g de protéines) | Œuf entier | lait | caséine | Protéines du lactosérum | soya | Blé gluten |
|-------------------------------------|------------|------|---------|-------------------------|------|------------|
| Alanine | - | 3.0 | 2.6 | 7.5 | 4.3 | 9.9 |
| Arginine | 6.0 | 3.7 | 3.6 | 1.9 | 7.6 | 2.7 |
| Acide aspartique | 10.0 | 7.0 | 6.3 | 10.0 | 11.6 | 6.4 |
| Cystéine | 2.3 | 0.7 | 0.3 | 4.3 | 1.3 | 2.0 |
| Acide glutamique | 13.1 | 20.6 | 20.0 | 14.1 | 19.1 | 25.6 |
| Glycine | 4.3 | 1.7 | 2.4 | 2.8 | 4.2 | 2.8 |
| Histidine | 2.4 | 2.6 | 2.7 | 1.6 | 2.6 | 1.9 |
| Isoleucine | 5.5 | 5.2 | 5.4 | 5.4 | 4.9 | 4.6 |
| Leucine | 8.6 | 9.4 | 8.2 | 13.5 | 8.2 | 18.9 |
| Lysine | 7.2 | 8.3 | 7.3 | 9.6 | 6.3 | 1.5 |
| Méthionine | 3.1 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | 1.3 | 2.8 |
| Phénylalanine | 5.3 | 4.7 | 4.4 | 3.1 | 5.2 | 6.9 |
| Proline | 4.0 | 9.9 | 10.1 | 4.4 | 5.1 | 10.6 |
| Sérine | 7.4 | 5.3 | 5.6 | 4.8 | 5.2 | 5.6 |
| Thréonine | 4.8 | 4.1 | 4.3 | 5.3 | 3.8 | 3.6 |
| Tryptophane | 1.2 | 1.6 | 1.1 | 2.2 | 1.3 | 0.5 |
| Tyrosine | 4.1 | 4.6 | 5.6 | 2.9 | 3.8 | 5.4 |
| Valine | 6.1 | 6.0 | 6.4 | 5.6 | 5.0 | 5.0 |

ADLER NISSEN J., (1986)

2-2-1-2- Les immoglobines

Selon HENRI HESLOT (1996) cette partie protéique est la plus sensible à la chaleur dont elles précipitent entre 65 à 90°C.

Leur poids moléculaire varie entre 150KDa à 1600KDa (Tab.03). Elles se trouvent dans le plasma sanguin puis se transportent dans le lait. Elles se trouvent en grande quantité dans les premiers jours de lactation à environ 80% de protéines de colostrum.

Ces protéines sont facilement précipitées avec les sulfates de cuivre (CuSO₄) et les sulfates de sodium (Na₂SO₄). Elles se trouvent sous forme de IgG1, IgG2, IgA, IgM et jouent un rôle défensif dans l'organisme.

Tableau 03: Caractéristiques des immunoglobulines.

| Caractéristiques | IgG (1) | IgA | IgM |
|----------------------------|-----------|-------------------------------|-----------------|
| Poids moléculaire (KDa) | 160.00 | (160.00) x 2 | 960.00 |
| Glucides (%) | 3 | 8 | 11 |
| Rôle biologique principale | Anticorps | Spécificité de groupe sanguin | Isoagglutinines |

ALAIS, (1984)

2-2-1-3- Les protéoses peptones

Il s'agit d'une petite fraction protéique qui représente environ 0.6g/l du lactosérum du lait de la vache et sa masse moléculaire est estimée à 14.300Da.

Ces composés se subdivisent en deux fractions: l'une hydrophobe d'un poids moléculaire de l'ordre de 3.000KDa à 7.000KDa, caractérisée par sa richesse en glucide (17%), en acide lactique (3%) mais pauvre en phosphore (0.5%). la seconde englobant une gamme de protéine, d'une masse moléculaire d'environ 9.700Da, connues sous le nom des métalloprotéines (MORR. C.V. et al., 1993).

Tableau 04: Caractéristiques des protéines du lactosérum doux.

| Protéines | Concentration (g/l) | Masse moléculaire (KD) | Point iso-électrique | PH |
|------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----|
| Immunoglobulines | 0.6 à 0.9 | 160.000 | 6 à 7 | 8.6 |
| Albumines : | | | | |
| -B-lactalbumine | 3.0 à 3.9 | 18 | 5.2 à 5.3 | 6.7 |
| -lactalbumine | 1.0 à 1.5 | 14 | 4.7 à 5.0 | 5.7 |
| -sérumalbumine | 0.3 à 0.6 | 69.000 | 4.5 à 4.7 | 6.7 |

| | | | | |
|--------------------|-----|------------|---|-----|
| Protéoses peptones | | | | |
| - comp « 8 » | - | 400 à 1000 | - | 8.6 |
| - comp « 5 » | 0.6 | 140 | - | 8.6 |
| - comp « 3 » | - | 200 | - | 8.6 |

BOURGEOIS et LE ROUX (1982).

4-2- Les matières azotés non protéiques (NPN)

Il s'agit de substances à petites molécules qui appartiennent à plusieurs familles chimiques. Elle traversent aisément les membranes de dialyse, elle sont solubles en présence de l'acide trichloroacétique à 12% (SANTORO M. et al., 1996).

Selon HUGUNIN A.G. (1987) les constituants de cette fraction non protéique sont nombreux, on trouve entre autre l'urée avec une concentration de 0.25g/l, ainsi que d'autres acides aminés libres. En présence de ces substances et également des vitamines du groupe (B), la fraction non protéique joue un rôle très important dans le développement des bactéries.

2-4- Les enzymes

Le lactosérum renferme deux types d'enzymes telle, la lactopéroxydase et la catalase.

2-4-1- La lactopyroxydase

Elle apparaît être associée à l'albumine, c'est une glycoprotéine à masse moléculaire de 77.000KDa (MECKENZIE, 1971).

WIERZBICKI L.E., (1973) indique que la lactopéroxydase possède une thermo-résistance assez élevée, un chauffage de 72°C pendant 15s inhibe son activité de 80%.

2-4-2- La catalase

La concentration en cet enzyme dépend effectivement du peuplement bactérien et des leucocytes. Elle se caractérise par sa stabilité thermique, où elle se désactive qu'à un haut chauffage de 85°C pendant 15min. Son activité principale s'inscrit dans la décomposition du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène (WIERZBICKI L.E., 1973).

2-5- Eléments biologiques du lactosérum

Le lactosérum renferme les mêmes éléments biologiques que le lait à l'exception de ceux éliminés par les méthodes de précipitation et des procédés de fabrication de certains produits parmi les quelles on peut citer :

De nombreux micro-organismes sont présents dans le lactosérum. Cette diversité englobe la majorité des genres rencontrés habituellement. Ils se manifestent en présence de l'oxygène et en contact avec l'air. Ils sont responsables ainsi de la fermentation microbienne du lait et par conséquent du lactosérum.

Ce peuplement est constitué essentiellement des moisissures, des levures et des bactéries (VEISSEYRE, 1975).

Selon OLSEN J. et al., (1989) les levures sont responsables de la transformation des sucres en alcool. Les bactéries présentent la frange des micro-organismes la plus importante et diversifiée, symbolisée par les bactéries lactiques. Parmi ces dernières on dénombre les entérobactères, les bactéries propioniques et les bactéries butyriques. Les premières sécrètent la catalase qui transforme le lactose en acide lactique, substance évoluant par sa transformation en acide propionique et gaz carbonique sous agissements des bactéries propioniques. Enfin, la dernière classe en est responsable de la conversion des lactates en acide butyrique.

2-6- Les matières minérales

Dans les sérums les matières minérales se trouvent sous forme de sels (chlorures, sulfates, citrates et bicarbonates). On note également la présence de quelques métaux à l'état de traces (RERAT et FEVRIER , 1973).

Le tableau n°05 récapitule la composition en minéraux et métaux de 100g de matière sèche de sérum.

Tableau 05: Composition du lactosérum avec différents éléments minéraux .

| Elément minéral | La valeur moyenne en (mg) |
|-----------------|---------------------------|
| Calcium | 500 - 725 |
| Sodium | 650 - 950 |
| Potassium | 2400 - 2900 |
| Magnésium | 80 - 160 |
| Phosphore | 700 - 800 |
| Chlore | 1500 - 1800 |
| Manganèse | 10 |
| Fer | 1 |
| Soufre | 10 |

RERAT et FEVRIER (1973).

2-7- Les vitamines

Les vitamines du sérum sont, en majorité des vitamines hydrosolubles. La disponibilité des vitamines liposolubles se trouve fortement corrélée aux taux de la matière grasse contenue dans le lactosérum et par conséquent de la nature des différents procédés employés dans la transformation laitière. Une grande quantité de ces vitamines liposolubles est éliminée suite aux différents traitements que subit le lait (VRIGNAUD, 1986).

Parmi les vitamines rencontrés (Tab.06), figurent principalement et en quantités importantes la riboflavine (B2), l'acide pantothénique, la thiamine(B1), la pyroxidine (B6) et la vitamine C. La riboflavine confère sa couleur au lactosérum et ce par fixation sur le lactose.

Tableau 06: Composition du lactosérum avec différentes vitamines.

| Composant | Quantité (mg/g) |
|----------------------------|-----------------|
| Vitamine B1 | 4 |
| Vitamine B2 (riboflavine) | 43 |
| Vitamine B6 (pyridoxine) | 5.3 |
| Vitamine B5 | 12.5 |
| Vitamine B12 | 0.159 |
| Acide pantothénique | 45 |
| Acide folique | 0.03 |
| Biotine | 116 |
| Vitamine C | 62.8 |

D'après (YVES VRIGNAUD ; 1986)

2-7-Les matières grasses

Une certaine quantité des lipides du lait est entraînée dans le lactosérum brut. Cependant, cette quantité est faible. Le plus souvent, dans les traitements industrielles le lactosérum est écrémé.

II-LES PRINCIPAUX TRAITEMENTS DU LACTOSERUM

1- La concentration

C'est un procédé physique utilisé pour la déshydratation partielle du lactosérum.

Le sérum de sa nature liquide contient environ 790 à 960 g d'eau pour un extrait sec dégraissé de 60 à 70 g de matière sèche (CARIC M., 1994).

Ce procédé présente plusieurs avantages, économique, quantitatif ou qualitatif. Il permet d'augmenter la matière sèche du produit, réduire le volume du lactosérum de façon à baisser le coût de son transport et enfin augmenter la durée de sa conservation (GORDON et al., 1972)

En outre l'application de cette technique permet d'obtenir sous un volume très réduit, un produit nutritif important pouvant être utilisé dans la fabrication de nombreux aliments riches surtout en matière protéique.

De ce fait deux techniques de concentration sont utilisées. Une technique classique, ancienne basée sur l'évaporation de l'eau sous vide et une autre nouvelle qui épargne les protéines de la dénaturation et consiste en une opération d'osmose inverse.

1-1 L'évaporation sous vide

C'est un procédé fondé sur la concentration par évaporation d'eau sous haute température. Pratiquement les appareils à «flot tombant» et à «multiples effets» sont les mieux adaptés aux produits laitiers (TRAULE C., 1983).

De ce fait l'évaporation sous vide partielle est utilisée pour minimiser les altérations des constituants du sérum.

Le choix de la température est déterminant pour limiter la dénaturation des constituants à récupérer. De ce fait la gamme des température d'ébullition est relativement basse au premiers temps (72°C et 79°C).

Le multiple effet du procédé, permet de réduire la consommation d'énergie. Donc il faut 1 kg de vapeur pour évaporer 1 kg de d'eau. Ce type d'appareil permet de réduire au moins de 200g la quantité de vapeur nécessaire pour évaporer ce même 1kg d'eau (TRAULE C., 1983).

1-2- L'osmose inverse

C'est un procédé de récupération des protéines à partir du lactosérum. L'efficacité de ce système repose sur les propriétés des membranes plastiques semi-perméables utilisées. Il permet d'éliminer de 60 à 80% d'eau du lactosérum comme l'indique le tableau n°07 (HIDDINK J. et al, 1980)

Tableau 07: Les résultats de concentration par osmose inverse.

| Fraction | Sérum | Concentré de M.S % | Perméat |
|---------------|-------|--------------------|---------|
| Matière sèche | 6.53 | 31.40 | 0.06 |
| Cendres | 0.61 | 2.88 | 0.017 |
| Lactose | 4.39 | 20.98 | 0.037 |
| Azote | 0.13 | 0.064 | 0.003 |

Mc DENOUGH F.E. (1974)

L'avantage de cette méthode réside dans la restriction de la dénaturation des protéines. Il présente l'inconvénient de laisser passer des quantités importantes des autres constituants ayant un poids moléculaire moins important (les immunoglobulines).

Toutefois et selon des études économiques réalisées (en France), ce procédé demeure très compétitif à celui de l'évaporation sous vide (MANN E.J., 1993).

Cette pré-concentration par osmose inverse permet non seulement de réduire les coûts de transport mais aussi les coûts relatifs au procédé de traitement en aval, tel l'évaporation.

2- Le séchage

Ce moyen de traitement comprend deux phases principales; une concentration sous vide ou par osmose inverse, puis le séchage proprement dit qui se pratique surtout en tours d'atomisation (SPRAY) et parfois en séchoir (HATMAKER).

La composition des produits obtenus est différente et ce selon la nature du sérum traité. Ce type de séchage n'est pas assez conforme pour les différents lactosérums. Il est plus rentable dans le cas du lactosérum doux. Par contre on le trouve très difficile pour sécher des sérums acides.

Les sérums acides s'agglomèrent et occasionnent des bourrages des installations donnant au réglage un film très collant et nettement plus thermostatique que le lactosérum doux. Ainsi le produit se présente sous la forme d'une bande fragile, une fois ventilée en quelques minutes devient dure et cassant.

La poudre est obtenue le plus souvent par le procédé «SPRAY» et occasionnellement par le procédé «HATMAKER». L'inconvénient de ce dernier procédé est de rendre la poudre insoluble ; mais il présente l'avantage de donner à cette poudre une bonne qualité bactériologique en raison des hautes températures.

3- La termocoagulation

C'est la méthode la plus ancienne, simple et moins coûteuse qui fait précipiter les protéines du sérum par chauffage.

Les inconvénients liés à cette méthode se traduisent par la dénaturation des protéines suite au chauffage. Dans les conditions usuelles la dénaturation ne modifie pas leur valeur nutritive, par contre elle réduit fortement la solubilité et ces protéines donnant une texture «sableuse» préjudiciable aux propriétés fonctionnelles limitant leurs emplois.

Ces inconvénients se traduisent par une protéolyse limitée permettant d'accroître fortement la solubilité des fractions protéique d'une part. d'autre part le contrôle du pH s'avère déterminant dans le traitement. Il faut noter dans ce contexte que le meilleur rendement s'obtient à des pH de 5.0 à 5.5. La précipitation à des pH nettement plus acides ou plus basiques donne des protéines plus solubles et facilement dispersibles (HERMIER, J. et CERF, O. 1987).

4- L'ultrafiltration

C'est le procédé le plus employé. On estime qu'environ 7% de la production mondiale de lactosérum sont ultrafiltrés (GLOVER F.A., 1985).

A travers ce procédé il demeure possible d'obtenir un rétentat contenant jusqu'à 80% de protéines dans l'extrait sec, en traitant le lactosérum à une température de 50°C.

Dans cette méthode le traitement du sérum peut être accompli en deux phases. Le perméat d'ultrafiltration appauvri en protéines obtenu, sera forcé sur une membrane à plus faible porosité que la précédente et sous une pression beaucoup plus élevée (40 à 60 bars), pour réaliser une osmose inverse.

Il est difficile de séparer complètement à ce niveau l'eau, les sels et le lactose, mais il est facile d'obtenir un concentré de lactose de 85 à 90% dans l'extrait sec. L'eau libérée de ces opérations serait moins polluante à faible D.B.O et contenant des sels et des composés non protéiques (GLOVER F.A., 1985).

Les coûts élevés de cette méthode constitue un handicap majeur devant sa généralisation. L'approche de la pureté en rediluant le rétentat obtenu et en prolongeant l'ultrafiltration, minimise grandement l'impact de cet obstacle.

5- Le procédé de carboxyméthyl-cellulose (C.M.C)

Le C.M.C est un agent de floculation. Son emploi permet de précipiter presque la totalité des caséines et une partie des protéines du lactosérum.

On note pour ce procédé de récupération, que deux tiers de protéines sont fixées sur un tiers de C.M.C dans le précipité obtenu de la centrifugation. Il est à mentionner que l'efficacité de la précipitation dépend de plusieurs facteurs notamment le pH, la température et la concentration du contenu (HUMBERT G. et ALAIS C. 1981)

Le C.M.C n'est pas l'unique agent de précipitation utilisé dans ce procédé. Par contre Il existe d'autres agents de précipitation des protéines du lactosérum (Tab.08).

Tableau 08: Comparaison entre les différents agents de précipitation des protéines du lactosérum.

| Procédé | % de récupération protéique | Protéines | cendres | Cendres après traitements Désalifiant (*) |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------|---------|---|
| Carboxyméthylcellulose | 68.9 | 60.7 | 1.7 | - |
| Chlorure ferrique | 88.7 | 79.1 | 18.3 | 1.4 |
| Ferripolyphosphate | 91.7 | 69.0 | 28.4 | 4.7 |
| Acide polyacrylique | 63.3 | 82.0 | 12.9 | - |
| Bentonite (sillicate d'alluminium) | 92 | 77 | 15 | 3.5 |
| Lignosulfate | 85 | 65.5 | 15.5 | 2.5 |
| Lauryl sulfate de sodium | 75 | 60 | 2.6 | 1.8 |
| Hexamétaphosphate de sodium | 75.5 | 84.0 | 12.8 | 1.1 |

MATHUR et SHAHANI (1979)

III-INTERETS ET DIFFERENTES UTILISATIONS DU LACTOSERUM

1-Intérêt fonctionnel

En plus de sa qualité nutritionnelle, certaines recherches ont prouvé l'importance de l'intérêt de certaines propriétés fonctionnelles des protéines du lactosérum dans différentes disciplines industrielles. Ces études ont pris en charge également l'influence de la nature des procédés de récupération sur ces propriétés (HERMIER, J. ET CERF, O. 1987).

Les propriétés concernées se rapportent distinctement à la solubilité, la capacité de rétention d'eau, le pouvoir gélifiant, le pouvoir émulsifiant et le pouvoir moussant.

1-1-La solubilité

Presque toutes les fractions protéiques du lactosérum sont soluble dans un intervalle très large de pH. Ce qui rend l'utilisation de ces protéines très répandue dans de très nombreux produits qui se différencient en leur pH (basique surtout) caractéristique qui évite de provoquer une décantation (FANG H.H, 1991).

1-2-Capacité de rétention d'eau

Les protéines du lactosérum sont essentiellement contenues dans environ 90% d'eau du volume de lactosérum. Une large gamme de protéines du lactosérum manifestent un pouvoir de rétention d'eau assez élevé. Ainsi environ cinq grammes d'eau peuvent être structurés par liaison et retenus par un gramme de protéines (MOUBOIS et al, 1989). En fait cette propriété lui confère d'être utilisé comme additif pour améliorer la qualité et assurer les propriétés fonctionnelles des denrées alimentaires.

1-3-Pouvoir gélifiant

Les protéines du lactosérum présentent une propriété gélifiante excellente. Le chauffage d'une solution de protéines de lactosérum suffisamment concentrée conduit à une floculation ou à une coagulation selon la qualité du concentrat et le pH. En milieu neutre ou légèrement alcalin, la gélification est assurée par un chauffage de rétentat de 75 à 110°C (PINEL, 1981).

La gélification des protéines dépend essentiellement de leurs origines (sérum doux ou acide), ainsi que de la méthode de leur obtention. Ainsi les protéines obtenues par échangeur d'ions ont un pouvoir gélifiant supérieur à celui des protéines récupérées par ultrafiltration (PINEL, 1981).

1-4-Pouvoir émulsifiant

Les concentrés protéiques du sérum présentent une certaine affinité pour les interfaces «graisse-eau», leur stabilité thermique, les rend particulièrement propres à l'émulsification de la graisse et des huiles. Ces propriétés leur permet d'être utilisées principalement dans les domaines pharmaceutiques (MAUBOIS et al, 1989).

1-5-Pouvoir moussant

Les produits de lactosérum pur donnent une mousse instable au cours de fouettage. L'amélioration de cette stabilité est assurée par un chauffage modéré de 55 °C en milieu acide, suivi de neutralisation (PAQUET, 1981).

IV- Intérêt nutritionnel et thérapeutique du lactosérum

Le lactosérum est considéré comme un produit précieux de point de vue qualité et quantité produite au niveau des différentes unités de transformation.

Le développement de l'industrie actuelle a beaucoup investi dans le domaine de recyclage et de la valorisation des produits qui ont une richesse nutritionnelle appréciable qui pourrait répondre aux besoins sans cesse croissants (APRIA , 1977).

Selon MEREIO (1971), le lactosérum joue un rôle primordial dans l'ossification.

Les propriétés thérapeutiques du lactosérum ont été exploitées. Il a été prescrit dans le traitement de certaines maladies au moyen âge, il constituait également un remède, à la dyspepsie, l'urémie, l'arthrite, les maladies du foie et la tuberculose.

1-Les différentes utilisations du lactosérum

1-1-Le lactosérum dans l'alimentation humaine

En alimentation humaine, les sérums concentrés en poudre ont des applications diverses dans les produits à base de céréale où ils agissent à la fois comme renforceurs des farines et améliorateurs de goût et de couleur. Moins coûteux que la poudre de lait, ils tendent à la remplacer au moins en partie. Des mélanges de poudre ou de concentrés de sérum et de protéines de soja aromatisés, colorés et texturés permettent la préparation de produits stables non gras rappelant la viande (BOUDIER et LUQUET 1980).

La qualité nutritionnelle du lactosérum tient à la fois à sa valeur de sa richesse en lactose, en protéines, en sels et certaines vitamines. Sa richesse en lactose favorise le brunissement enzymatique ou maillardisation appréciée en boulangerie et biscuiterie. Le rôle des protéines se justifie par leur richesse en acides aminés essentiels.

1-4-Utilisation du lactosérum dans la fabrication du fromage

La thermosensibilité des protéines du lactosérum est mise à profit dans les fabrications fromagères vu leur récupération élevée. Ainsi les protéines récupérées lors d'un procédé de fabrication de fromage sont ré-incorporées dans le processus de fabrication suivant. Cette technique mise en évidence par la société Genvrain et alfa-laval a été développée sous l'appellation de procédé centry-whey. La récupération des protéines atteignant 92 à 93%, permet l'augmentation des rendements de 10 à 14% (ANDRE ECK, 1987).

Ces protéines insolubilisées sont adsorbées à la périphérie des micelles de phosphocasinates de calcium où elles jouent le rôle de colloïde protecteur.

Au cours de l'emprésurage, la coagulation des phosphocasinates entraîne la rétention de ces protéines dans le coagulum ; il en résulte donc une augmentation du rendement fromagère, due à une augmentation de matière sèche restant dans le caillé (PIEN, 1974).

1-5-Utilisation du lactosérum dans la Fabrication du yaourt

JELÉN et HERBAL (1974), mentionnent que la fabrication de yaourt peut aboutir à partir de poudre de lait écrémé et de lactosérum acide avec addition du lait. Le même ajoute que ces proportions seront à l'échelle de 60% de lactosérum, 29% de lait entier homogénéisé et de 11% de poudre de lait écrémé.

TODORIC et al. (1973) ont montré que la concentration maximale du lactosérum pouvant remplacer le lait écrémé est de 0.3% à 0.4%. Cependant HARTHMAN (1975) prouve qu'un taux total de lactosérum dans les yaourts supérieur au seuil indiqué précédemment provoque des défauts d'arôme et donne une saveur parasite prononcée.

1-6-L'utilisation du lactosérum en Pâtisserie et biscuiterie

Le lactosérum est utilisé sous forme d'améliorant. Les gâteaux obtenus à partir de pâtes additionnées de lactosérum sont améliorés par rapport aux gâteaux ne le contenant pas (PAILLON, 1974).

Des expérimentations pratiquées ont prouvé que ces pâtes améliorées de lactosérum; leur volume, leur arôme, leur brunissement et leur qualité de conservation sont améliorées (ASH et COLMEY, 1975). Des gâteaux contenant 10% de lactosérum doux et 2.5% de lait écrémé et moins de matière grasse auraient un meilleur volume, même arôme, plus moelleux que des gâteaux contenant 12.5% de lait écrémé (Tab. 09) (BEST, 1967).

Tableau 09: Taux d'utilisation du lactosérum dans les biscuits

| Type de biscuits | Quantité de lactosérum (kg)/100kg de farine |
|--------------------------------------|---|
| Biscuits Secs (crackers) | 1 à 2 |
| Feuilletage (shester cookies) | 2 à 3 |
| Biscuits Ronds (rotary cookies) | 2 à 3 |
| Biscuits (bar-press cookies) | 3 à 6 |
| Biscuits Découpés (wire-cut cookies) | 3 à 7 |

PAILLON, (1974)

L'aptitude au fouettage des protéines du lactosérum est semblable à celle des protéines du blanc d'œuf. Ainsi les concentrés de protéines peuvent remplacer environ 50% de blanc d'œuf dans la fabrication des meringues industrielles (CASSEGRAIN, 1976).

1-7-Utilisation du lactosérum dans la Confiserie

Le lactosérum est considéré comme le produit laitier le moins coûteux utilisé dans la fabrication de confiserie (WEBB, 1996).

Sa teneur élevée en eau pose un handicap devant son utilisation, mais le lactosérum concentré sucré apparaît très rentable en son utilisation avec des proportions de 32 à 84%.

Aux U.S.A le lactosérum sucré est apprécié pour ses caractéristiques organoléptiques ses facilités de mélange et son pouvoir émulsionnant lui permet d'être incorporé de 14 à 40% par rapport à la matière sèche suivant le type de bonbon (CASSEGRAIN, 1976).

Les qualités de renforcement du goût, de fixation d'arôme et de coloration permet au lactosérum d'être utilisé dans diverses formulations de chocolats de tablettes ou de couvertures dans les enrobages des bonbons (KUBE et GOLLER, 1975).

Aussi l'insolubilisation du lactosérum lui permet d'être utilisé pour donner à certains caramels une structure cristalline ou granuleuse (WEBB, 1968).

1-8-Utilisation du lactosérum en Boulangerie

En boulangerie le lactosérum est utilisé comme améliorant de goût, d'arôme, de texture et de couleur. Il est également utilisé en tant qu'agent de conservation à longue durée (HUGNIN, 1980).

L'addition de 20 à 30% de lactosérum à la farine du pain peut améliorer sa valeur nutritive en matière protéique et autres (SILAGADZE et al., 1980).

Des expériences citées par LYAZOVA (1983) témoignent que la résistance et la consistance de la pâte du pain sont améliorées par addition du lactosérum.

1-9-Utilisation du lactosérum dans la Production des boissons

L'intérêt de l'utilisation de lactosérum dans la fabrication des boissons est purement économique.

De nombreuses boissons aromatisées ont été développées expérimentalement à partir du lactosérum.

L'arôme du lactosérum en particulier acide a été le plus compatible avec l'arôme des agrumes (NELSON et BROWN, 1971).

VADJI et PEREIRA (1973), ont varié l'utilisation du lactosérum concentré en poudre avec du chocolat, les fraises et le citron à des proportions respectives de 85%, 86% et 90%.

KLIMENKO et KMMEVA (1971) décrivent la préparation des boissons avec du lactosérum, des purées de fruits (abricot, pomme...) et du sucre à des proportions différentes selon la nature de chaque fruit. Ils ajoutent qu'il est parfois nécessaire d'enrichir les préparations avec un agent stabilisant comme la pectine.

1-2-Le lactosérum dans l'alimentation infantile

Le lactosérum offre un intérêt nutritionnel complémentaire dans l'alimentation infantile. Ce rôle s'apprécie à travers les différents processus correctionnels (Tab. n°10) qui puissent se réaliser au niveau des organismes infantiles. Il offre ainsi des propriétés diététiques appréciables dans l'alimentation du nourrisson.

Tableau 10: Objectifs et avantages du lactosérum dans l'alimentation infantile.

| Grace au lactosérum | Protéines | Lactose | Lactosérum déminéralisé |
|----------------------------------|--|--|--|
| Objectif | <ul style="list-style-type: none"> - diminution du taux de caséine - augmentation du taux de protéines solubles (l'alpha-lactalbumine, la bêta-lactoglobuline) - équilibre caséine / protéines solubles | <ul style="list-style-type: none"> - augmentation de la quantité de lactose | <ul style="list-style-type: none"> - diminution de la quantité de sels minéraux ; - diminution de la quantité de sodium ; - taux de calcium – phosphore maintenu. |
| Effets digestifs et métaboliques | <ul style="list-style-type: none"> - amélioration de la coagulation gastrique ; - diminution de la quantité totale de protéines ; - amélioration du spectre d'acides aminés ; - évite les surcharges et le surcroît de travail d'élimination ; | <ul style="list-style-type: none"> - l'intestin du nourrisson possède la lactase à la naissance (lactose = sucre du lait maternel) ; - le lactose dans le colon favorise le développement d'une flore de fermentation acidophile ; - goût fade du lactose (faible pouvoir sucrant) est avantage | <ul style="list-style-type: none"> - évite la surcharge en sodium du rein ; - bonne répartition hydrique ; - évite les risques de déséquilibre anion/cation au niveau sérique ; - Effets pratique sur la courbe du poids |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | pour le sevrage et l'alimentation mixte | |
|--|--|--|--|

ROCHETTE D.L., (1975)

1-3-Le lactosérum dans l'alimentation animale

Le lactosérum est utilisé comme un complément alimentaire riche en élément minéraux additionné à la ration des bovins et des animaux d'engraissement. en France plusieurs expériences ont prouvé l'efficacité d'ajout du lactosérum sur la croissance (Tab. 11) des animaux destinés à l'abattage.

Tableau 11: L'influence de la qualité du lactosérum sur la croissance et l'efficacité alimentaire.

| Aliment | Témoin | Contenant de la poudre de lactosérum | | | | |
|---|--------|--------------------------------------|-------|---------------|------------------|-------------------|
| | | Doux | Acide | Doux acidifié | Acide neutralisé | Doux déminéralisé |
| Teneur en M.A (%) | | | | | | |
| - 0 – 28 j | 26.7 | 19.9 | 20.0 | 20.2 | 19.9 | 21.5 |
| - 28 – 70 j | 26.7 | 16.4 | 16.1 | 15.9 | 17.0 | 18.8 |
| Gain de poids vif (g/j) | | | | | | |
| - 0 – 28 j | 1040 | 917 | 896 | 883 | 909 | 861 |
| - 0 – 70 j | 1194 | 1040 | 1024 | 1061 | 1036 | 971 |
| Qualité d'aliment consommé/kg de gain de poids vif (kg) | | | | | | |
| - 0 – 28 j | 1.07 | 1.20 | 1.19 | 1.21 | 1.20 | 1.20 |
| - 0 – 70 j | 1.35 | 1.49 | 1.50 | 1.46 | 1.50 | 1.51 |

ROBERT et ODORICO, (1971)

Taux de lactosérum : témoin 0% - autres aliments : 30% pendant la première période, 45% pendant la seconde période.

1-Introduction

La pollution de l'eau est un fait. Les agents qui en sont responsables sont divers, les individus, les industriels et les agriculteurs.

L'agriculture utilise des engrais et des pesticides afin d'améliorer la productivité. Dans le sol, l'azote se trouve sous forme d'ions nitrates, indispensables à la vie des plantes. Les nitrates sont très solubles dans l'eau, en particulier les eaux de pluie qui les drainent vers les nappes phréatiques, ce qui entraîne une course à la fertilisation des sols par les agriculteurs (RODOLPHE P., 1991).

Les déjections animales représentent une autre source importante de pollution. Les lisiers animaux en excès contaminent le milieu naturel par leur richesse en matières organiques, en azote, en phosphore, ou en microbes pathogènes. L'azote transformé en nitrate pollue massivement les cours d'eau, les bords de mers et les rivières (MINIST. ENV. FR., 1997).

Dans le monde industriel et malgré les tentatives répétées de réduction de la pollution, il demeure encore le secteur le plus polluant.

Il y a différentes catégories de polluants produits par l'industrie dont on souligne principalement les matières minérales insolubles, les matières organiques dont fait le lactosérum. Ces matières favorisent l'apparition de micro-organismes qui consomment de l'oxygène.

Une autre catégorie de polluants issue du même secteur et plus agressive à l'environnement, se rapportent aux métaux ou métalloïdes (mercure, plomb, chrome, zinc, cuivre, nickel, arsenic, cadmium), aux huiles minérales et aux hydrocarbures.

Selon, (MINIST. ENV. FR., 1997) Les Agences de l'eau perçoivent des redevances pour traiter la pollution, 85% des redevances proviennent de la contribution domestique, les agriculteurs passent à travers les mailles du filet. La politique actuelle du combat contre la pollution est surtout curative, et le traitement à la source reste timide.

2- Les différents polluants de l'eau du secteur agro-alimentaire

Le secteur agro-alimentaire comprend des industries très variées. Les industries retenues pour leurs rejets d'eaux usées significatifs se retrouvent principalement dans les secteurs de la transformation des viandes (abattoirs, salaisons, établissements

d'équarrissage), de la transformation du lait (laiteries, fromageries, crémeries, beurreries), de la transformation des fruits et légumes (conserveries, préparation de jus, production de frites et de croustilles) et de la transformation des poissons et crustacés (ASSOC. FR. 1999).

3-Caractéristiques des eaux usées

Les débits et les charges polluantes du secteur agro-alimentaire, bien que nettement plus faibles que dans le secteur des pâtes et papiers, sont néanmoins importants (Tab.n°12). Leurs eaux usées contiennent de fortes concentrations de composés organiques dissous et en suspension. Les salaisons et les fromageries rejettent fréquemment des eaux usées ayant un pH fort variable (acide et basique), ces fluctuations étant dues aux opérations de lavage (MINIST. ENV. FR. 1997).

De nombreuses industries de ce secteur rejettent des eaux contenant des quantités importantes de graisses, de phosphore, d'azote et de chlorure de sodium.

Tableau 12: Caractéristiques moyennes des eaux usées du secteur agro-alimentaire (par tonne de production)

| Types d'activités | Caractéristiques moyennes | | | | | | |
|--|----------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | Débit m ³ /t | DBO ₅ kg/t | DCO kg/t | M.S kg/t | N kg/t | G kg/t | P kg/t |
| Transformation de la pomme de terre ⁽⁸⁾ | 18,0 | 23,0 | Nd | 20,0 | Nd | nd | nd |
| Production du lait de consommation ⁽⁶⁾ | 2,4 | 1,9 | 3,5 | 0,8 | 0,07 | 0,5 | 0,05 |
| Production de fromage ⁽⁶⁾ | 2,0 | 2,7 | 5,8 | 0,9 | 0,15 | 0,5 | 0,14 |
| Abattage de porcs ⁽⁷⁾ | 1,7 | 3,1 | 5,0 | 1,3 | 0,40 | 0,5 | 0,04 |
| Abattage de bovins ⁽⁷⁾ | 3,7 | 7,5 | 13,8 | 2,7 | 0,90 | 1,1 | 0,12 |
| Abattage de volailles ⁽⁷⁾ | 9,6 | 15,2 | 22,7 | 15,1 | 0,80 | 14,3 | 0,19 |

MINIS. ENV. FR., (1997)

4-Les différentes classes de pollution

L'eau peut dissoudre de nombreuses chimiques minérales ou organiques. De plus, elle met en suspension les matières insolubles et les déchets solides. A l'opposé, comme les gaz, l'oxygène est peu soluble dans l'eau.

En eau douce, la solubilité de l'air dans l'eau est de 14.4 mg/l à 0° C, elle diminue rapidement avec une élévation de la température ; à 30°C elle n'est plus que de 7.53mg/l (RODOLPHE P. 1990).

Les charges polluantes minérales et surtout organiques déversées atteignent aujourd'hui une valeur telle que les micro-organismes présents dans le milieu aquatique ne peuvent plus réaliser, comme par le passé, une auto-épuration valable.

Lorsque cette capacité d'auto-épuration est dépassée, il arrive fréquemment que le taux en oxygène dissous du récepteur devient nul, ce qui provoque le développement d'autres micro-organismes capables de vivre en anaérobiose (absence d'oxygène) avec pour conséquence la formation de gaz putrides malodorants.

4-1- La pollution ménagère

C'est-à-dire des eaux de cuisine, de toilette et de lessive contenant des graisses, savons, détergents et déchets divers ; les eaux-vannes provenant des lieux d'aisances, contenant les matières fécales et les urines ; les eaux d'origines diverses telles les eaux de pluie et de drainage ;

4-2- La pollution agricole

Selon STEPHANE P.J., (1999), cette pollution provient de l'élevage dont les fumiers et lisiers sont riches en matières organiques azotées mais dont certains composés, les nitrates par exemple, peuvent être entraînés, en raison de leur grande solubilité, par les eaux de lessivage et de percolation ; les eaux atmosphériques ou de ruissellement provenant de lavage de l'atmosphère (pluies acides) et du lessivage des sols de voirie et de toute surface imperméable (routes, chemins de fer, parkings, surfaces bâties. Ces effluents entraînent une pollution du milieu aquatique qu'on peut classer en plusieurs type de l'écosystème parvient à maîtriser avec plus au moins d'efficacité.

4-3- La pollution organique

C'est la plus répandue. Elle peut être absorbée par le milieu récepteur tant que la limite d'auto-épuration n'est pas atteinte. Au delà de cette limite, la respiration de divers organismes aquatiques prend le pas sur la production d'oxygène.

La pollution micro biologique se développe conjointement à la pollution organique, par une prolifération de germes d'origines humain ou animale dont certains sont éminemment pathogènes.

4-4- La pollution par les hydrocarbures

Qui sont des substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables, leur densité inférieure à l'eau les fait surnager et leur vitesse de propagation dans le sol, est de 5 à 7 fois supérieure à celle de l'eau. Ils constituent un redoutable danger pour les nappes aquifères. En surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère (STEPHANE P.J., 1999).

4-5- La pollution thermique

Cette pollution se produit par l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation, la prolifération des germes. Il s'ensuit qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution.

4-6- La pollution minérale

Due essentiellement aux rejets industriels modifié la composition minérale de l'eau. Si certains éléments sont naturellement présents et sont indispensables au développement de la vie, un déséquilibre de ces mêmes éléments provoque le dérèglement de la croissance végétale ou des troubles physiologiques chez les animaux. D'autres comme les métaux lourds hautement toxiques sont la fâcheuse propriété de s'accumuler dans certains tissus vivants et constituent une pollution pour les espèces situées en fin de chaîne alimentaire.

4-8- La pollution mixte

Ce genre de pollution provient des différents secteurs utilisant des éléments chimiques, métaux et radio-actifs. un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérigènes et mutagènes de ses rayonnements.

La pollution chimique se résulte de l'utilisation de l'utilisation excessive des produits chimiques par la mise en suspension dans l'eau de ses fines particules. Le lessivage des sols lors de pluies abondantes et des travaux réalisés par l'homme qui rendent le sol imperméable par les boues constituées provoquant un colmatage des fonds des ruisseaux et des rivières ce qui diminue ainsi les échanges possibles entre l'eau et la terre.

Le tableau 13 récapitule les différents polluants, leurs natures et sources.

Tableau 13: Tableau récapitulatif des différentes sources de pollution.

| Polluant | Nature | Source |
|--|---|----------------------------------|
| Physique | | |
| Thermique | Rejets d'eau chaude | Centrales électriques |
| Radioactive | Radio-isotopes | Installation nucléaire |
| Chimique | | |
| Fertilisants | Nitrates, phosphates | Agriculture |
| Métaux et métalloïdes solides | Mercure, cadmium, plomb, aluminium, arsenic | Industrie, Agriculture |
| Produits pesticides | Insecticides, herbicides, fongicides | Agriculture |
| Détersifs | Agents tensioactifs | Effluents domestiques |
| Hydrocarbures | Pétrole brut et ses dérivés | Industrie pétrolière, transports |
| Composés organo-chlorés | Insecticides, solvants chlorés | Industries |
| Autres composés organiques de synthèse | Très nombreuses molécules | Industries |

| | | |
|-------------------------------------|--|--|
| Matières organiques fermentescibles | Glucides, lipides, protides | Effluents domestiques, agricoles, d'industrie agro-alimentaire, du bois (papeteries) |
| Pollution microbiologique | Bactéries, virus entériques, champignons | |

RODOLPHE P.J., (1990)

5-Le lactosérum en Algérie

En effet, le lactosérum sous produit de transformation de fromagerie est défini comme étant un lait privé de sa caséine. Sa valorisation reste désormais l'une des préoccupations des industries laitières. Cette action se justifie pour des raisons de rentabilité, de son intérêt alimentaire et de lutte contre la pollution. D'autant que l'Algérie est l'un des pays en voie de développement qui souffre d'une pénurie des produits alimentaires de protéines d'origine animale.

En Algérie et malgré la quantité importante produite de nos unités industrielles (Tab.n°14), le lactosérum n'a pas encore trouvé sa voie pour être utilisé à des fins de besoin. Il est toujours reconduit vers les égouts afin d'être cheminé secrètement dans les excavateurs ou dans les oueds.

La production nationale du lactosérum semble très importante vis à vis des différentes unités de production fromagères dispersées sur le territoire national. Rien que cette quantité importante du lactosérum résultante de l'industrie laitière ne trouve pas un chemin de réception pour sa valorisation.

De point de vue économique le problème se pose dans l'implantation déséquilibrée des unités de production du fait de son éloignement l'une de l'autre ce qui favorise le manque flagrant des unités de valorisation du lactosérum dans notre pays. Il convient d'insister sur le fait que le nom de sous-produit donné au lactosérum ignore la réelle richesse de ce dernier en nutriments essentiels, ainsi que ses possibilités de transformation devenant ainsi un agent polluant.

Tableau n°14 : La quantité du lactosérum produite quotidiennement en Algérie.

| Offices | Lactosérum doux (l/j) | Lactosérum acide (l/j) | Total |
|----------------|-----------------------|------------------------|---------|
| Est | 44.400 | 3.200 | 47.600 |
| Centre | 76.000 | 47.200 | 123.200 |
| Ouest | 160.000 | 152.000 | 312.000 |
| Total par type | 280.400 | 202.400 | 482.800 |

OROLAIT, (1999)

5-1-Le lactosérum agent polluant

Le lactosérum par sa nature n'est pas un élément polluant. Mais son évacuation en air et son contact avec les eaux usées et des rivières, il présente des effets polluants dans le milieu.

Les bactéries et les autres micro-organismes fréquentant l'eau attaquent certains constituants du lactosérum, surtout le lactose ce qui demande une certaine quantité d'oxygène. L'oxygène pris à l'eau présente un facteur limitant pour la vie des poissons et des plantes aquatiques fréquentant les eaux des oueds et des rivières. Cette situation entraîne la mort de ces êtres vivants par asphyxie.

La gravité de la pollution est due à la dégradation des matières organiques des lactosérums, qui a une relation étroite avec la demande biologique d'oxygène.

Cette charge de pollution est mesurée par la D.B.O₅ qui est estimée pour un litre de lactosérum de 30000 à 40000 mg et peut même atteindre 60000 mg d'oxygène. Il s'ajoute à cela une demande chimique d'oxygène (D.C.O) évaluée entre 70000 à 90000 mg d'oxygène (F.A.O 1997).

Toutefois il en ressort une distinction des manières et degrés de pollution des eaux à travers les types de sérums concernés. Ainsi on subdivise ces agissements en deux.

5-1-1-La pollution des eaux par le lactosérum acide

En Algérie, environ 41.92% de la production nationale du lactosérum se présente sous sa forme acide (Tab.18), qui sera versée dans les égouts.

Ce chiffre semble très important face aux moyens de dépollution dont dispose notre pays actuellement. Ce type de lactosérum, caractérisé par un pH bas et une nature spécifique de ses constituants aide à la prolifération des micro-organismes

fréquentant les milieux acides. Les nitrates qui en sont issues sont soupçonnées provoquer des cancers et d'autres effets mal connus sur le corps humain.

Autrefois, le lactosérum était utilisé dans les élevages porcins voisins et le reste était rejeté dans la nature. La pollution était très importante car pour obtenir 1 kg de fromage à pâte pressée, il fallait 10 kg de lait et l'on produisait de 10 à 12 kg de lactosérum selon la quantité d'eau utilisée (F.AO./O.M.S., 2002)

Pour valoriser le lactosérum doux, il faut d'abord empêcher son acidification par un refroidissement immédiat et une pasteurisation, si nécessaire.

5-1-2-LA POLLUTION DES EAUX PAR LE LACTOSERUM DOUX

Très importante sa charge en matières azotées, le lactosérum doux se considère comme agent plus polluant que le lactosérum acide. Sa concentration en protéines et son pH, élevés causent des dégâts considérables dans la nature. Cela revient principalement à ses D.B.O et D.C.O élevés en comparaison à d'autres agents polluants (ASSOC.FR.1998).

La quantité d'azote des protéines assimilées dans l'eau constitue un facteur favorisant la prolifération des différentes bactéries et micro-organismes ainsi que l'apparition d'un couvert des algues sur la surface des lacs pleins des eaux usées (ASSOC.FR.1998).

En outre les différents éléments minéraux (fer, magnésium, zinc...) agissent également sur le milieu parce qu'ils sont considérés comme agents polluants. l'azote résultant de la décomposition des constituants du lactosérum se transforme en nitrates et nitrites par les différentes bactéries et les micro-organismes à un pH de 6.1 à 6.7 et une température ambiante de 25 à 35°C. La régénération de ces éléments pollue massivement le milieu et provoque la diminution de l'oxygène accentuée par l'apparition inespérée d'une couche d'algues.

1- Généralité sur les argiles

Les argiles sont des constituants de sol qui représentent un matériel naturel composé de minéraux argileux cristallisés très fins.

Ils sont composés de feuillets qu'on appelle, les phyllosilicates à leur tour composé de particules de petites tailles dont le diamètre est inférieur à $2\mu\text{m}$. La particule élémentaire ou tactoïde des argiles phylliteuses est formée par plusieurs feuillets dont le nombre est lié au type d'argile (HAOUZI, 1997).

Ces argiles sont caractérisées par leur pouvoir et capacité d'adsorption élevés. Leur structure lamellaire explique leur phénomène de plasticité. En contact avec l'eau les feuillets glissent les uns sur les autres. Tous les argiles ont un pouvoir de gonflement en contact avec l'eau en augmentant ainsi de 2 à 3 fois leur volume initial. Cette situation intensifie leur pouvoir d'adsorption et d'échange avec le milieu externe (HAOUZI, 1997).

2- Structure et classification des argiles

2-1- La structure

La structure de base des phyllosilicates (Fig.02) est définie par deux unités, le tétraèdre de silice et l'octaèdre d'alumine. Quatre atomes d'oxygènes entourent en liaison un atome de silicium, donne naissance à un tétraèdre qui s'enchaîne à son tour avec d'autres tétraèdres pour former une couche tétraédrique. Trois sommets triangulaires tétraédriques liés entre eux (Fig. 03) forment un réseau hexagonal feuilletal.

De même la structure de la couche octaédrique est formée par un enchaînement des unités appelées octaèdres, disposées au sommet de chaque édifice. Six atomes d'oxygène ou groupement hydroxyle se lient à l'alumine formant un octaèdre. Ces derniers sont liées entre eux par mise en commun des arêtes (Fig. 04). Les sites correspondants sont généralement occupés par les ions Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} et Fe^{3+} .

Le feuillet élémentaire est engendré par l'association entre couches d'octaèdres et tétraèdres. Cette association peut avoir lieu entre une couche octaédrique et deux couches tétraédriques. Les argiles sont subdivisés en argiles à deux couches et autres à trois couches (1-1 et 2-1). Il existe aussi d'autres argiles qui sont formés de deux couches tétraèdres et deux couches octaèdres (CAILLERIE S., 1982)

2-2- La classification des argiles

Les structures et la composition chimique sont deux principaux facteurs faisant la variété des espèces minérales.

Selon l'occupation des sites octaédriques on distingue deux grands groupes cristallographiques. L'un est appelé dioctaédrique marqué par la présence d'un site vacant sur trois, dont les deux autres sont occupés par des ions trivalents. Un groupe trioctaédrique, dont les trois sites sont occupés par trois ions bivalents (VIVIER E., 1997)

Dans les cas des argiles les substitutions ioniques confèrent aux feuillets une charge négative. Ces substitutions peuvent se produire en situation octaédrique du Al^{3+} par Mg^{2+} comme c'est le cas de la montmorillonite ou du Mg^{2+} par Li^+ qui est le cas de l'héctorite. En position tétraédrique ces substitutions concernent du Si^{4+} par Al^{3+} et c'est le cas dans la beidellite ou les vermiculites.

La localisation de la charge et sa valeur permettent de classer les phyllosilicates. Ainsi les argiles sont classées en deux principaux groupes (CUISSSET, 1980).

2-2-1- Les argiles minéralogiques

Se sont des argiles formées de couches tétraédriques appelées aussi silicates d'alumines hydratées et lamellaires. Ce type d'argile comprend à son tour les kaolinites, les smectites, les micas et les argiles fibreuses.

Les caolinites se caractérisent par une distance interfeuillets de 7 Å, les smectites sont formées de deux couches tétraédriques liées avec une couche octaédrique caractérisée par une distance interfeuillets de 10 Å. Les micas sont constituées d'une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques et les argiles fibreuses comprennent essentiellement l'aluminium et le magnésium (HAOUZI, 1997).

2-2-2- Les argiles granulométriques

Ces argiles sont de forme granuleuse. Caractérisées par une forte capacité d'échange avec le milieu externe et fixation malgré sa surface inerte qui se compte faible par rapport aux autres types des argiles. Elles sont constituées de feuillets, où entre chaque paire se trouve incorporée une couche d'oxygène de forme octaèdre étalée d'une façon lamellaire posée sous forme hexagonale.

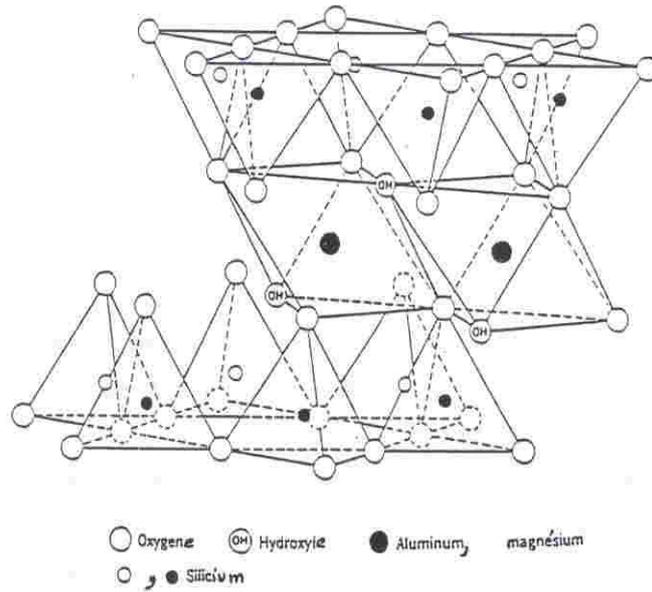


Figure 02 : Représentation schématique des motifs tétraédriques et octaédriques dans les phyllosilicates

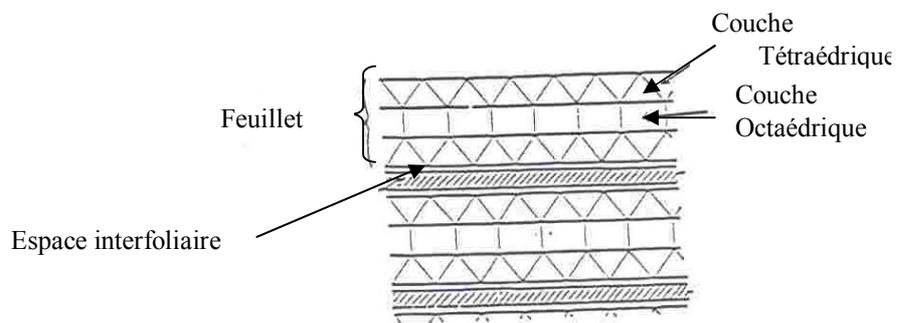


Figure 04 : Représentation des couches tétraédriques de la montmorillonite.

(a) Tétraèdre de silice. (b) Enchaînement de tétraèdre.

(c,d) Double chaîne de tétraèdres de silice (en perspective et en projection)

2-2-3- Les argiles montmorillonitiques

2-2-3-1-La bentonite

La bentonite tient son nom de son lieu d'origine, Fort Benton, aux Etats-Unis. La bentonite est une argile de type montmorillonite qui appartient à la famille des argiles non toxique. Elle est formée par le vieillissement de cendres volcaniques. Toute argile d'origine volcanique constituée de montmorillonite porte le nom de bentonite. Le terme peut englober des matériaux de compositions différentes. Ainsi, il existe des bentonites riches en sodium, d'autres en calcium, potassium ou magnésium.

Elle agit particulièrement sur les protéines. Ses charges négatives attirent les charges positives des protéines, formant ainsi de grosses particules neutralisées qui finissent par flocculer, c'est-à-dire précipiter au fond de la tourie en processus de clarification des vins.

2-2-3-1-1- la forme naturelle

Naturellement la bentonite est une roche tendre et friable avoisinant la consistance du kaolin. Elle est onctueuse au touché et sa teinte est blanche, grise ou légèrement jaunâtre. Son grain est extrêmement fin.

2-2-3-1-2-Caractéristiques de la bentonite

La bentonite est sous forme de poudre d'un aspect blanchâtre. Elle présente une granulométrie de dimensions à majorité (80%) inférieures à 75µm. La bentonite expose une densité de 2.3 et un pH inclus dans l'intervalle de 8.5 à 9.5 (MOHELLEBI., 1983).

La bentonite contient des proportions d'eau de 10à12% , elle est constituée essentiellement de la montmorillonite et présente un pouvoir déprotéinisant important.

2-2-3-2-Structure de la montmorillonite

Les particules de la montmorillonite résultent de l'empilement de feuillets élémentaires.

Ces derniers sont constitués par un enchaînement dans le plan horizontal de «maille unité». Celle-ci comporte sept couches atomiques superposées. La couche médiane d'aluminium est dans le plan du système du cristal. Ce dernier est constitué par une couche médiane d'octaèdre entourée par deux couches externes tétraèdres, liée

à quatre atomes d'oxygène et deux groupements hydroxyles reliés à l'atome d'aluminium centrale par des liaisons de coordinence. (MILLOT G., 1979)

Un déficit de charge positif se produit au sein du cristal remplacées par des cations H^+ , Na^+ et Ca^{++} qui se placent dans l'intervalle entre les feuillets, lorsqu'un petit nombre d'atome d'aluminium dans la couche octaèdre est remplacé par des atomes magnésium.(65)

2-2-3-4- Cations échangeables

Naturellement les montmorillonites sont de nature calcique. HOFMANN et ENDEL cités par MOHELLEBI (1983) ont démontré qu'entre les feuillets des argiles, existent des cassures où les charges non composées peuvent apparaître. Ces dernières vont être compensées par des ions échangeables de l'extérieur.

Les cations échangeables de la montmorillonite peuvent être remplacées par d'autres cations et ce par lavage des solutions de ceux-ci. Comme elles peuvent être remplacées par de l'hydrogène pour donner la montmorillonite-hydrogène. Cette quantité de cation échangeable (Tab.19) s'exprime en meq/100g d'argile calciné à une température de 1000°C (VIVIER., 1997)

2-2-3-5- Les applications

L'intérêt porté à la bentonite consiste dans les propriétés suivantes :

- une capacité de gonflement dans certains liquides et en particulier l'eau, qui lui permettant de fixer dix à quinze fois son volume d'eau.
- une capacité de fixation des cations comparables à celles de tous les échangeurs d'ions naturels.

Tableau n°15: Les capacités approximatives d'échange de cations en meq/100g de produit.

| Types d'argiles | Quantité (meq/g) |
|----------------------------------|------------------|
| Permutite synthétique | 400 - 500 |
| Permutite potassique | 250 |
| Micas macrocristallins | 0 |
| Micas en particules très fines | 6 - 10 |
| Argiles micacées : illites | 10 - 35 |
| Varmiculite | 120 - 180 |
| Mixtes – micas – montmorillonite | 20 - 50 |
| Montmorillonite | 65 - 120 |
| Kaolin | 0 - 5 |
| Talc, pyrophyllite | 0 |

MOHELLEBI (1983)

3- Le processus d'adsorption de la bentonite

Les phénomènes d'adsorption sont reconnus comme étant des formes de rétention ou de fixation des différents contaminants contenus dans une eau polluée. Cette adsorption est influencée par plusieurs facteurs (extrinsèques et intrinsèques). Parmi ces facteurs on compte; ceux qui sont liés à la nature de la bentonite, ceux qui conditionnent le milieu et les facteurs liés la matière contaminante. Selon CABRAL A. (1997), la diversification des conditions du milieu de fixation distingue plusieurs formes d'adsorption telles que :

3-1-Adsorption physique :

- cations échangeables et molécules organiques chargée positivement.
- ions retenus par forces électrostatiques, ioniques, coulombiques.
- attraction type van der Waals entre hydrocarbures non polaires et la surface .

3-2- Adsorption spécifique :

- adsorption de type physique dans la couche de Stern.
- autres forces que celles électrostatiques agissent (électromagnétiques, comme les van der Waals).
- adsorption de basse affinité.

3-3- Adsorption chimique :

- adsorption dans la partie intérieure de la couche de Stern.
- ion partiellement hydraté est lié a la surface par des liaisons fortes (covalentes, ioniques).
- ion peut se loger dans une cavité de la surface (siloxane surface : dans ce cas l'ion est déshydraté.
- altération du potentiel zeta (p.d.i.).
- adsorption de (très) haute affinité.

4-Facteurs influençant l'adsorption

Le degré d'adsorption d'un composé dépend des caractéristiques du composé, du milieu adsorbant et de celles fluide interstitiel.

4-1-L'élément adsorbé

Les principales caractéristiques d'un composé influençant son adsorption sont la solubilité et le caractère ionique ou polaire. la solubilité dans l'eau Pour les composés organiques, est le paramètre le plus important.

L'étude du caractère ionique ou polaire de l'élément adsorbé fait distinguer trois classes différentes. La nature de l'adsorption d'un composé dépend de la classe de laquelle il appartient (BEDIENT et al., 1994).

- 1- Les molécules ioniques ou chargées,
- 2- Les molécules non chargées mais polaires
- 3- Les molécules non chargées et non polaires.

4-2-L'élément adsorbant

Pour le milieu adsorbant (le sol), les principaux facteurs influençant l'adsorption sont la surface spécifique, la minéralogie, la charge et sa nature, la densité de la charge, la présence de zone hydrophobe et la quantité de matière organique contenue dans les argiles.

Ces différentes propriétés de l'argile déterminent le nombre de sites d'adsorption disponibles pour les la matière destiné à l'étude. Ces argiles possèdent des surfaces spécifiques élevées, sont habituellement chargés négativement et peuvent être associés à une certaine quantité de matière organique. Cette matière organique favorise l'adsorption des trois classes de contaminants mentionnées précédemment alors que la charge négative favorise l'adsorption de cations (Bedient et al., 1994).

Cette adsorption peut être influencée par d'autres paramètres dont ils influencent la solubilité de l'élément adsorbé (contaminant). Il s'agit du pH, de la température, du carbone organique dissout et de la salinité (Bedient et al., 1994; Yong et al., 1992).

1- Matériel

1-1-Préparation des matériaux utilisés

L'ensemble de l'expérimentation a été conduit sur les deux types de lactosérum : le lactosérum acide et le lactosérum doux et sur ceux de la bentonite de M'ZILA : brute et pure

1-1-1- Les lactosérums

Les lactosérums utilisés dans notre expérimentation ont été préparés à partir de la poudre de lait de 0% de matière grasse que nous avons pu l'obtenir auprès de l'unité de l'OROLAIT de tiaret.

La figure 05 nous indique le mode de préparation des deux types de lactosérum.

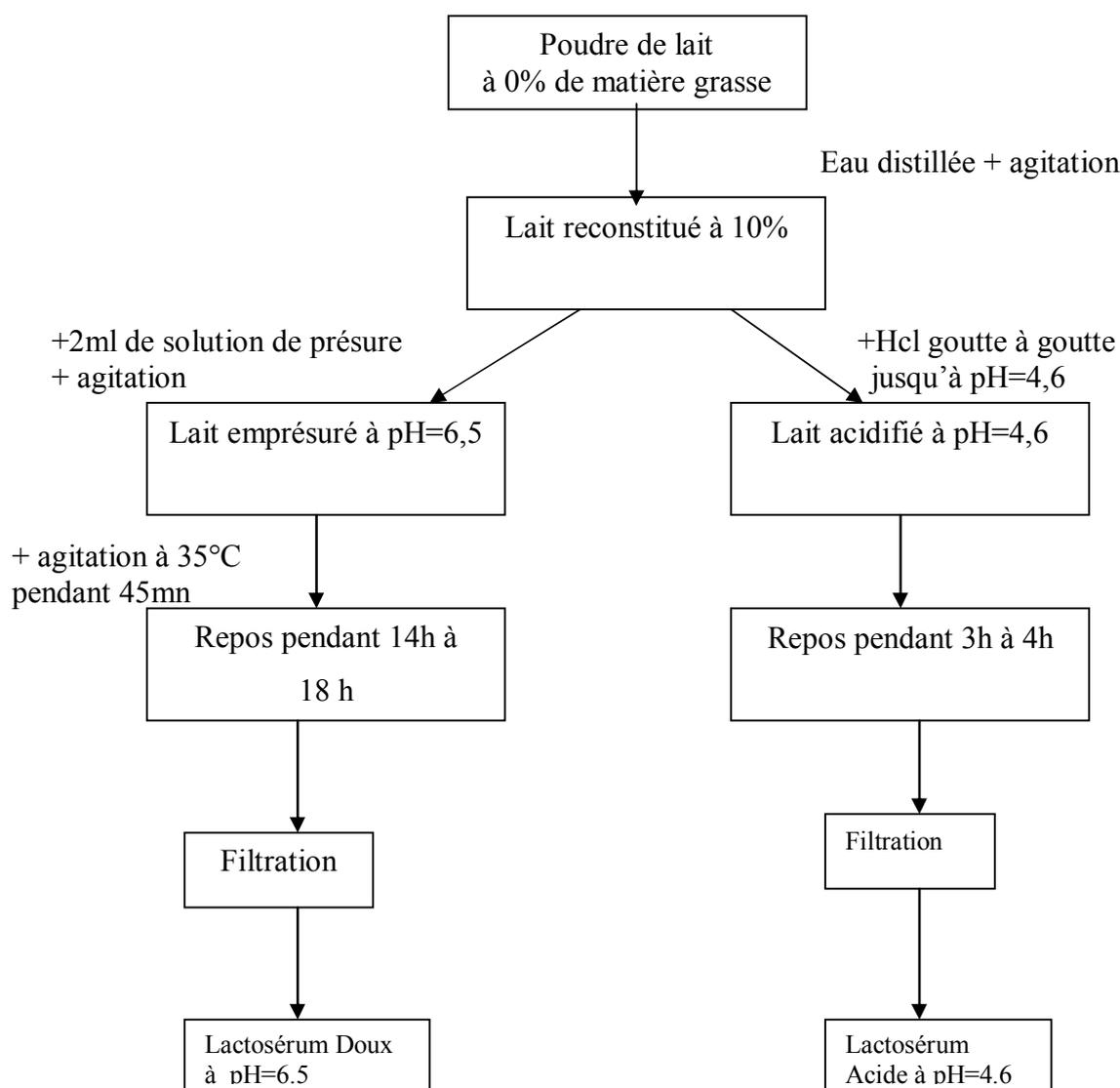


Figure 05 : Voie de préparation des deux types du lactosérum (doux et acide)

1-1-2- Préparation de la bentonite (pure) de M'zila

La bentonite brute utilisée est récupérée de la S.A.F.A.O de Tiaret provenant de M'ZILA, qui se situe à environ 35Km du nord-est de mostaganem. Les différentes caractéristiques de cette bentonite s'illustre dans le tableau 16.

Tableau 16 : caractéristiques de la bentonite de M'zila.

| | |
|-------------------------------------|--|
| Composition chimique | La bentonite se présente sous forme d'un silicate alumino-calcique, son indice caractéristique est : $S_iO_2/Al_2O_3=4.64$ |
| Granulométrie | La fraction argileuse inférieure à $2\mu m$ est présente à plus de 61%. |
| Surface spécifique | La bentonite naturelle présente une surface spécifique de $31.03m^2/g$ |
| Capacité d'échange cationique (CEC) | La CEC totale de la bentonite naturelle est de $144.10mEq/100g$. |

MOHELLIBI (1983).

Afin de comparer les capacités de rétention de la bentonite brute et pure et de pouvoir déterminer celle qui est la plus efficace pour fixer les protéines du lactosérum, nous avons préparé une bentonite pure en utilisant le protocole suivi par SASSI M. (2001) comme l'indique la figure 06 :

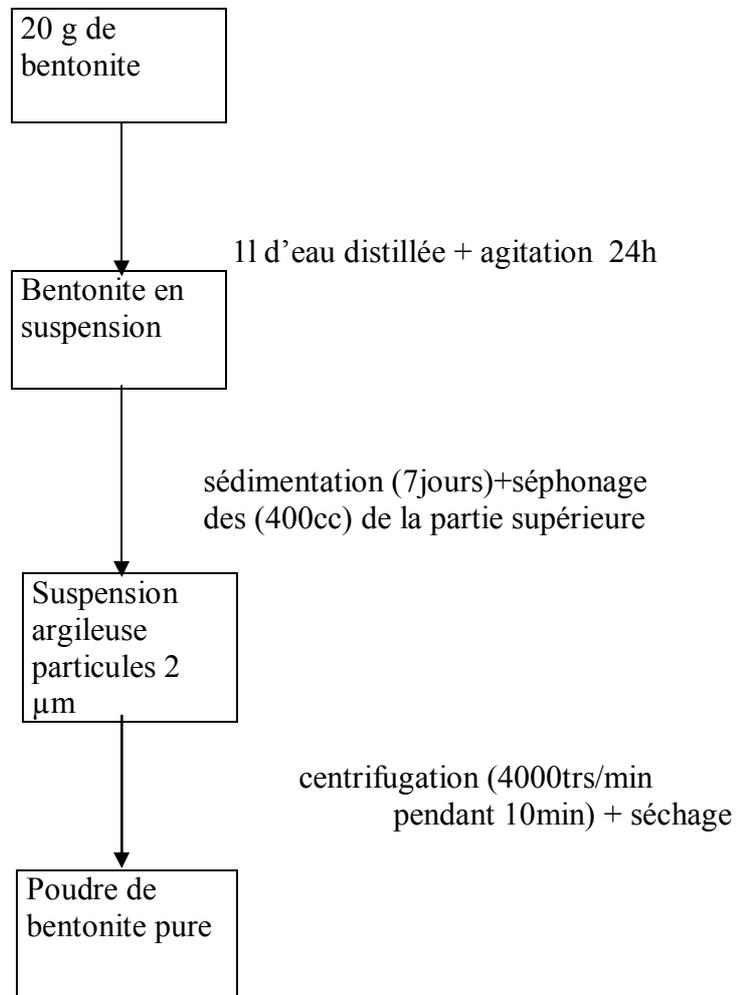


Figure 06 :Voie de purification de la bentonite de M'ZILA.

1-2- Appareillage et produits chimiques utilisés

1-2-1- Appareillage

- Bechers (1l, 100ml)
- Antonoir
- Pycnomètre
- Papier filtres
- Pipettes et micropipette de 50µl.
- Agitateur magnétique thermique : IKA MAG RH.
- pH mètre : C G 822 SGH.
- Centrifugeuse :
- Balance analytique : SARTORIUS, MODEL, BP110S.
- Etuve : MEMERT, 430.
- Bain marie
- Conductimètre : WTW 8120 WEILHEIM.
- Réfractomètre : RL 2, Wr 4711.
- Spectrophotomètre UV visible: UV-1202, SHIMAZU
- Balance : OWA LABOR, type 34002

1-2-2- Produits chimiques

- Bleu de coomassie G 250
- Ethanol
- Acide phosphrique 85%
- Eau distillée
- Hcl (l'acide chlorohydrique)
- B.S.A (bovin sérum albumin)
- Présure 1% de l'OROLAIT
- Réacif de bradford
- Solution tampon de pH=5 et pH=8.
- Poudre du lait écrémée ; MG(0%)

2- Méthodes

2-1- Protocole expérimental

Le protocole expérimental suivi durant notre expérimentation est indiqué dans la figure 07.

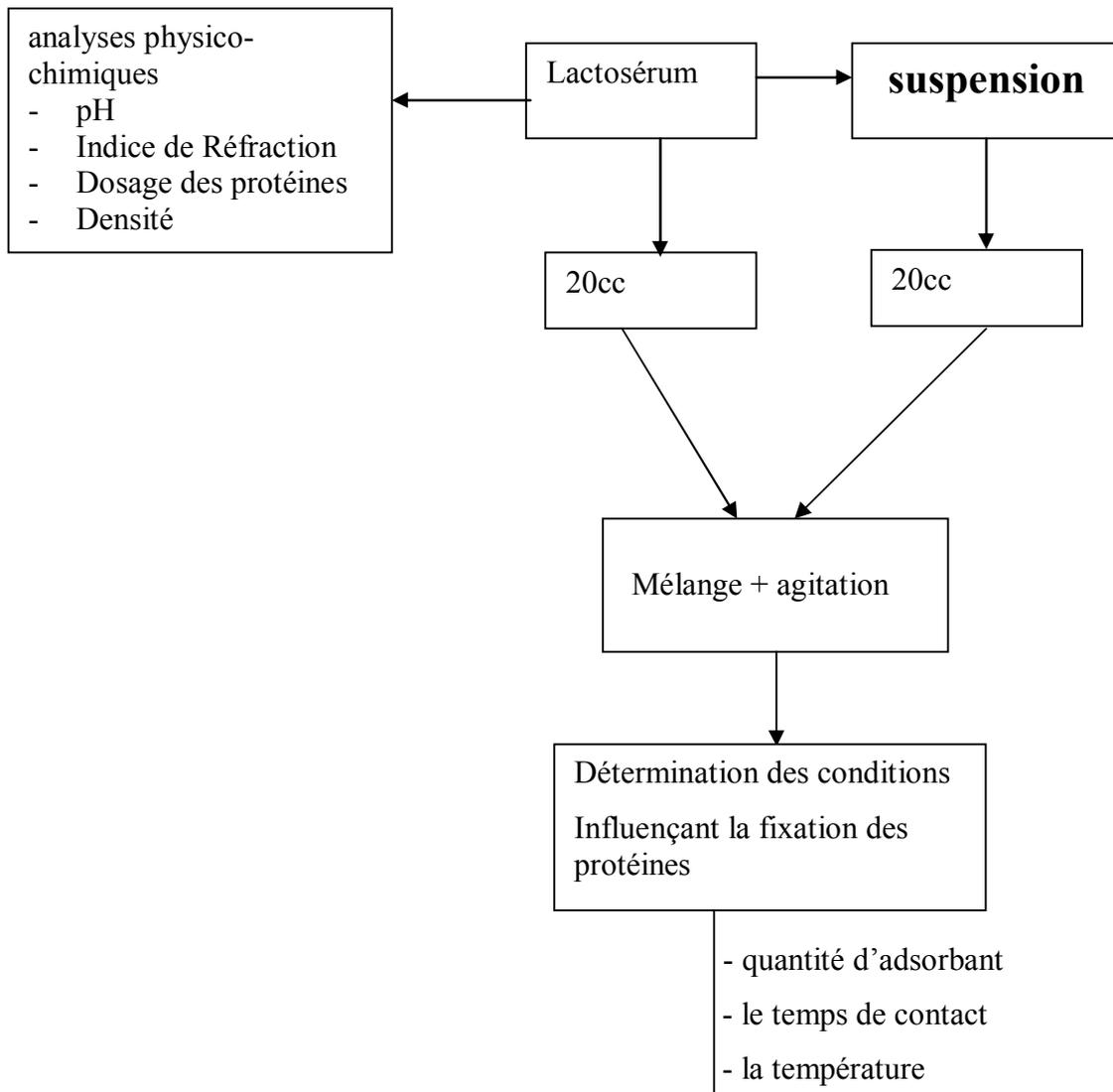


Figure 07 : Schéma démonstratif du protocole expérimental

2-1-1- Détermination de la quantité d'adsorbant

A partir d'une gamme de 1 à 20g de suspension de bentonite et dans les memes conditions de température d'environ 25°C, du pH du lactosérum concerné (doux ou acide) et de temps de contact de 10 min, nous avons voulu connaître la quantité de bentonite brute ou pure nécessaire pour fixer le maximum de protéines du lactosérum. Les protéines non fixées sont dosées selon la méthode de Bradford (annexe n°), la figure 08 nous montre le protocole suivi.

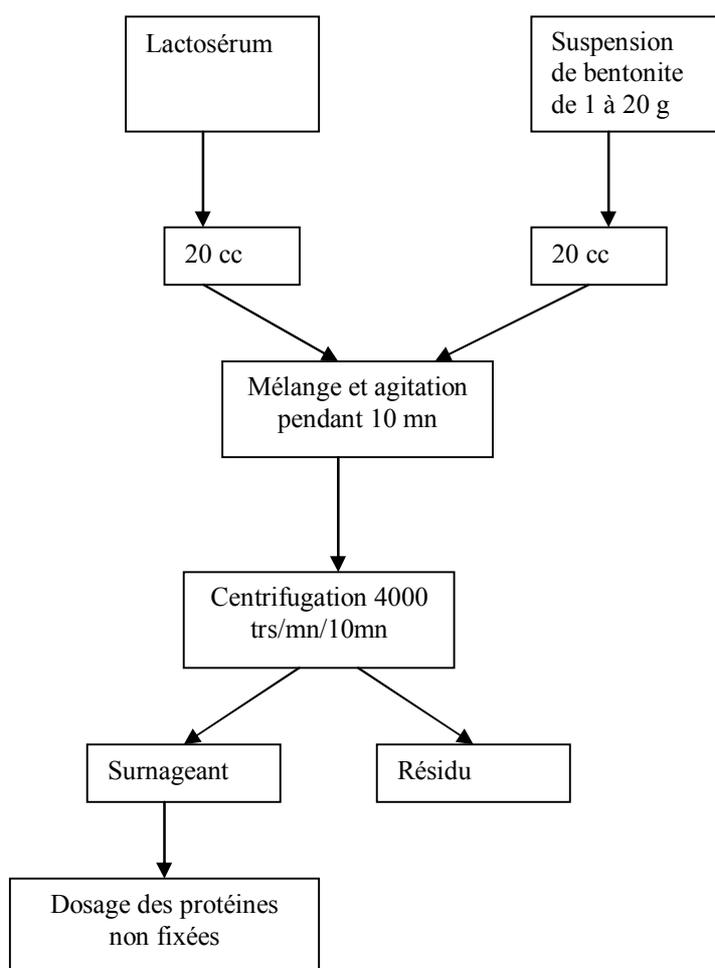


Figure 08 : Voie de détermination de la quantité de bentonite nécessaire.

2-1-2- Détermination du temps de contact

Une fois la quantité de bentonite nécessaire à la fixation des protéines est connue et toujours dans les mêmes conditions de la température et de pH nous avons voulu connaître quel sera le temps de contact nécessaire pour la fixation d'un maximum de protéines en le variant entre 2 à 20 min. dans la figure 08 sont présentées les différentes étapes suivies.

2-1-3- Détermination de la température

La température est l'un des facteurs influençant la fixation des protéines. A cet effet l'étude entreprise consiste en l'estimation de la variation de la fixation quantitative des protéines en fonction de la température. Ainsi la quantité maximale des protéines fixées est déterminée à un taux de bentonite et un temps de contact connus mais selon une gamme de température étalée entre 5 et 40°C.

Le procédé suivi se résume dans la figure 09

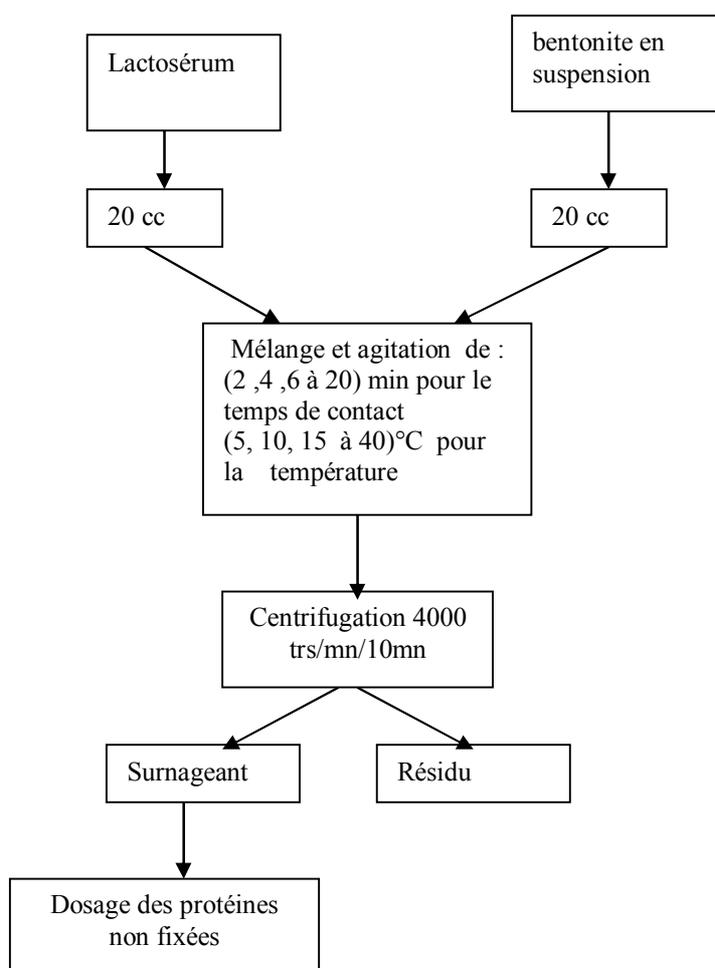


Figure 09 : Schéma de détermination du temps de contact et de la température

2-2- Méthode de dosage des protéines du lactosérum (doux et acide)

Le dosage des protéines des deux types du lactosérum (doux et acide) a été effectué selon la méthode de BRAD-FORD (voir annexe).

2-3- Préparation des dilutions (concentrations initiales) du lactosérum (doux et acide)

Après avoir déterminé les concentrations en protéines des deux lactosérums (doux et acide) on procède à la dilution de ces lactosérums avec de la solution tampon pH=5 et pH=8 pour obtenir les différentes concentrations initiales. Ces concentrations initiales obtenues sont au nombre de douze (12) comprises entre 0.83 à 3.43g/l pour le lactosérum doux et de 0.45 à 2.49g/l pour celui acide voir (Annexe). La figure 10 nous indique la voie suivie pour cette opération.

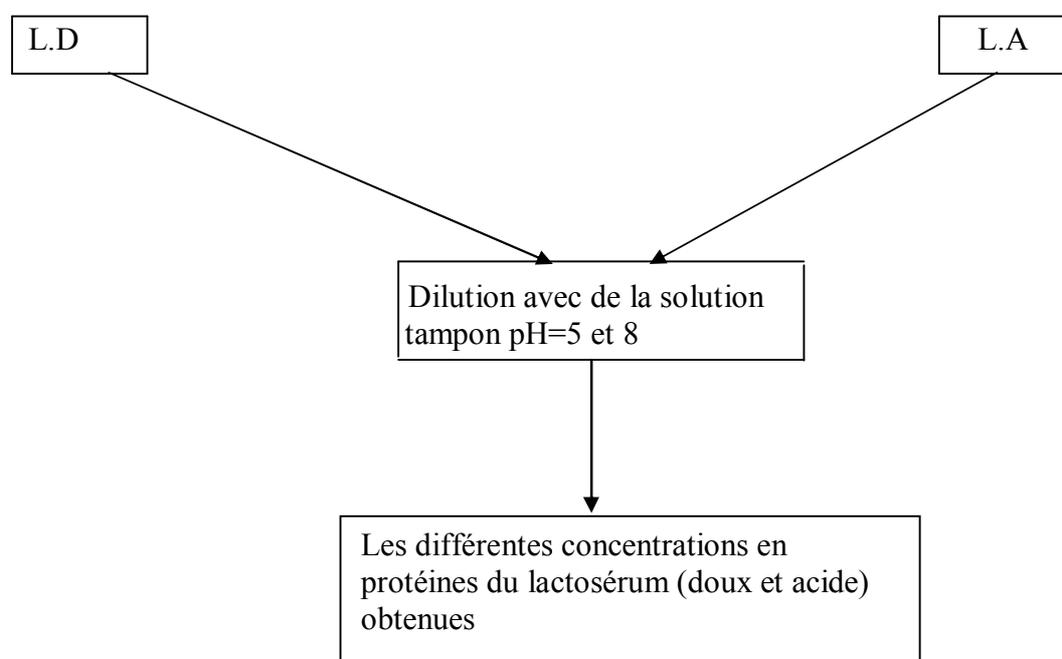


Figure 10 : Schéma de la préparation des différentes concentrations initiales en protéines des lactosérums doux et acide

1-Etude des caractéristiques de certaines caractéristiques physico-chimiques des lactosérum doux et acide

Les paramètres physico-chimiques des deux types de lactosérum doux et acide mesurés sont indiqués dans le tableau 16.

Tableau 16 : Quelques caractéristiques physico-chimiques des lactosérum doux et acide.

| Paramètres physico-chimiques | L.D | L.A |
|------------------------------|-------|--------|
| PH | 6.65 | 4.64 |
| Indice de réfraction | 1.343 | 1.3381 |
| Densité | 1.026 | 1.014 |
| Protéines solubles (g/l) | 10.26 | 5.83 |

Le pH c'est le paramètre le plus sensible, il varie selon la nature du lactosérum préparé. La variation des valeurs du pH volontairement nous désigne la nature du lactosérum voulu et ce conformément aux valeurs standards utilisées habituellement. De ce fait le pH du lactosérum doux est souvent supérieur au pH du lactosérum acide avec 6.65 contre 4.64 respectivement.

Le pH influe d'une façon directe la nature des protéines du lactosérum. Les protéines sont des composées à caractère amphotère, ce qui leur permet de changer leur nature (anionique ou cationique) en fonction du milieu (alcalin ou acide) LUISOT., (1992). Selon LORIENT et al. (1985), en milieu acide et inférieur au point isoélectrique les protéines du lactosérum change de caractère et deviennent sous forme cationiques; par contre dans le milieu alcalin $pH > 6$ une partie très importante de ces protéines sont sous forme anioniques, rien qu'une frange de 7 à 10% qui sont essentiellement des immoglobunes reste sous la forme cationique.

Selon les résultats obtenus lors des dosage; on remarque que la quantité des protéines contenue dans le lactosérum doux 10.83g/l est plus élevée que celle du lactosérum acide 5.83g/l. Ces concentrations en protéines se rapprochent de celles obtenus par plusieurs auteurs tel que LORIENT et (LENDEN 1991).

Il est à mentionner que Les quantités de protéines dosées sont influencées par plusieurs facteurs notamment les méthodes de séparation du lactosérum, la température, le pH, la méthode de dosage et l'effet de centrifugation.

Tandis que pour les deux autres paramètres; l'indice de réfraction et la densité sont dans les normes. On remarque que les valeurs obtenues se rapprochent dans les deux cas de

lactosérum. Le premier paramètre varie en fonction de la température et la composition chimique du lactosérum (ADRIAN et al.,1981).

Ainsi que la densité dépend prépondamment du taux de la matière sèche (constituants chimiques du lactosérum), la matière grasse ainsi que la température (Boudier et luquet 1980).

2-Détermination des paramètres influençant la fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute et pure)

2-1-La quantité de bentonite

D'après les résultats dégagés de la figure 10, il se démontre clairement que la quantité de protéines fixées dépend grandement de la quantité de bentonite utilisée. Ainsi cette quantité de protéines croît avec la teneur de bentonite employée jusqu'à atteindre un seuil maximal de 10g pour la bentonite brute et de 5g pour la pure. Ces constatations se confirment par les tendances révélées à travers les courbes de dépendances des deux variables.

Ces seuils permettent des adsorptions respectives de 4.28g/l et 4.50g/l de protéines correspondant aux taux 83.42 et 87.75%.

A travers ces résultats il en ressort que les valeurs de 10g en bentonite brute et de 5g en celle pure représentent les quantités permettant la plus haute fixation de protéines du lactosérum doux.

L'utilisation excessive des deux types de bentonite ne serait d'un rapport sur ce processus de fixation. Il est à signaler que l'augmentation de la capacité de fixation constatée entre les deux types de bentonite est liée aux caractéristiques physico-chimiques propres à chaque bentonite.

La différence entre les deux quantités de bentonite utilisées enregistrée s'expliquerait par une l'augmentation de nombre de sites libres de fixation existant sur la surface de chacune.

La purification de la bentonite aboutit à une intensification de son ionisation par l'élimination des ions à ce niveau et ne faisant partie de la structure moléculaire fondamentale de la bentonite.

2-2-Le temps de contact

D'après les résultats obtenus selon la figure 11, il en ressort que le temps de contact représente un facteur déterminant dans le processus de fixation des protéines. Il se dégage que les variations constatées dans le taux de fixation.

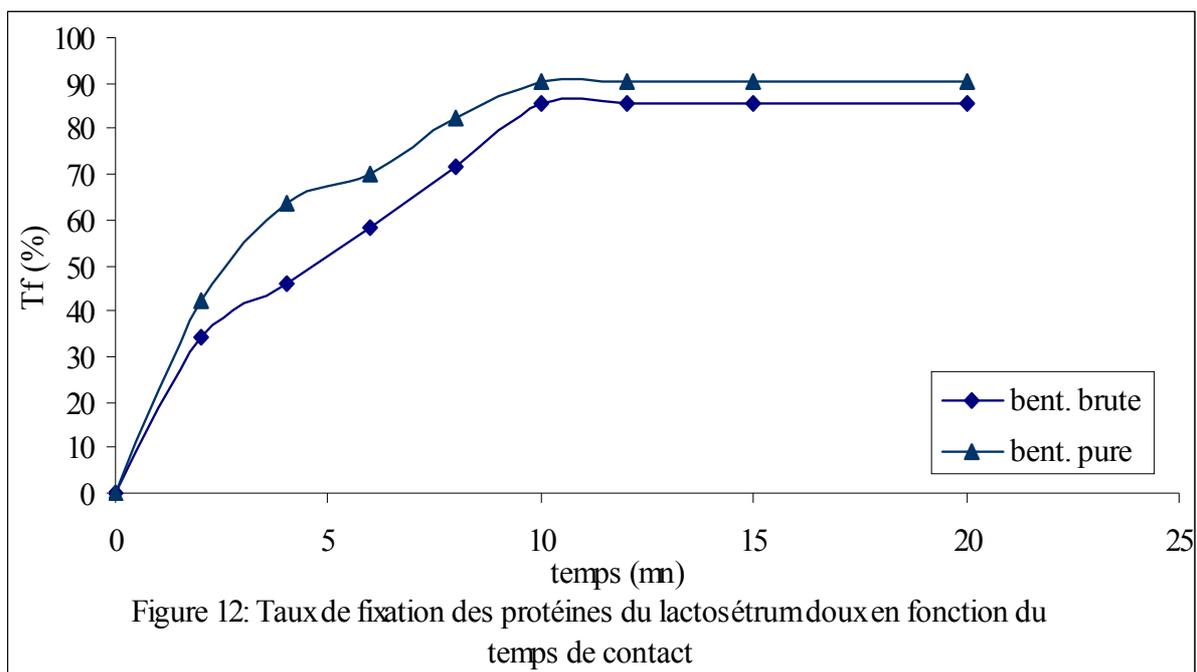
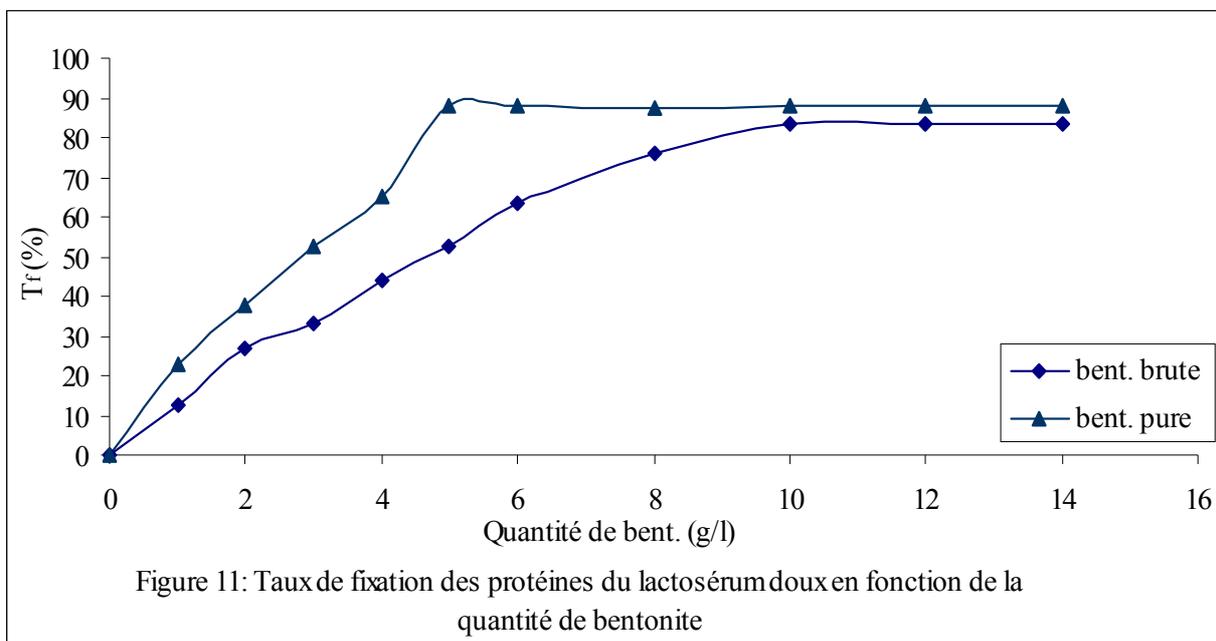
Il se démontre que l'accroissement du temps de contact provoque une augmentation proportionnelle des quantités de protéines retenues par la bentonite jusqu'à atteindre un temps de 10mn. A ce niveau la quantité de protéines retenue estimée la plus élevée avec

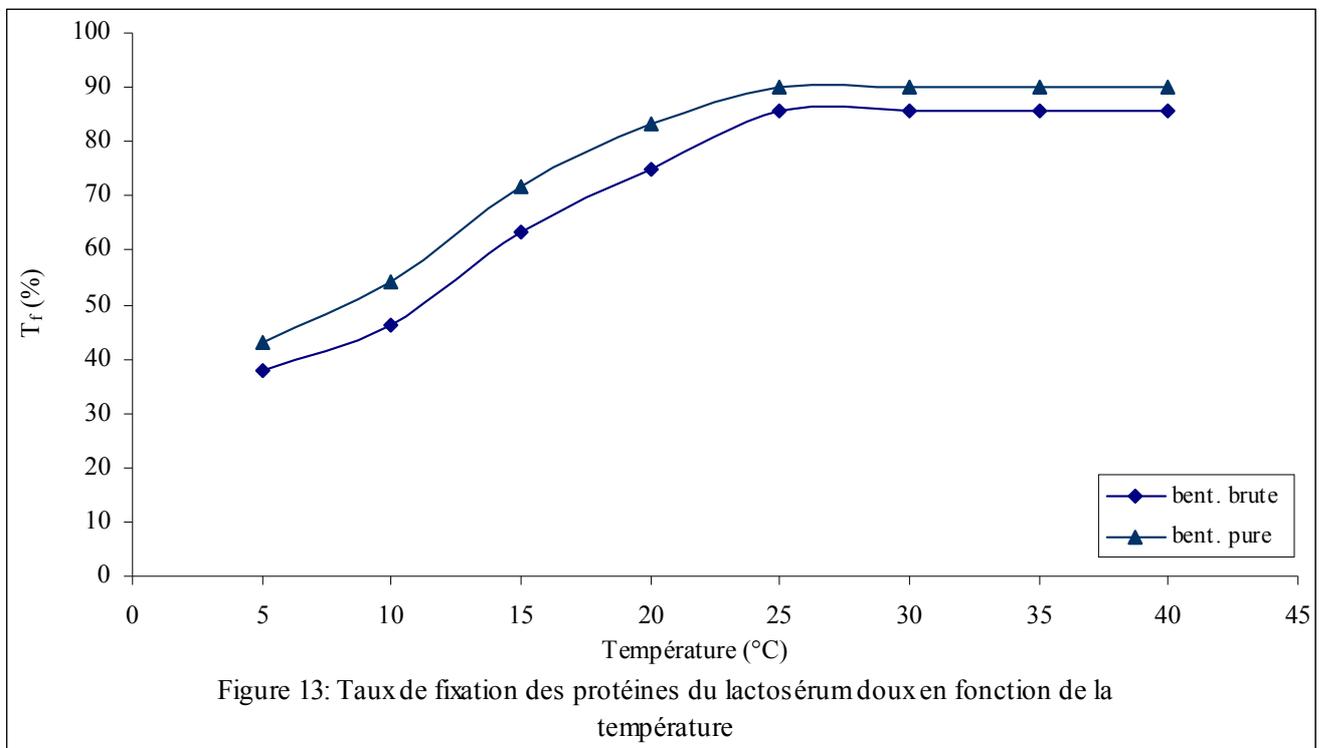
4.39g/l pour la bentonite brute et 4.65g/l pour la pure correspondant à des taux respectifs de 85.62 et 90.58% de la concentration de protéines initiale employée.

Quoique la fixation est un processus spontané, mais nous constatons que le temps mis en contact influe de manière significative sur cette adsorption. Cette influence s'expliquerait par le temps nécessaire exigé pour la mobilité moléculaire des protéines pour atteindre l'ensemble des sites libres d'adsorption à l'échelle des différents feuillets de la bentonite.

2-3- La température

Les courbes représentées dans les figures 12 montre que cette fixation est influencée par la température. La variation des températures utilisées nous a montrer que les quantités de protéines fixées augmentent avec la température jusqu'à un degré de 25°C ou la fixation est maximale avec 4.40g/l pour la bentonite brute et 4.63g/l pour la bentonite pure correspondant à des taux 85.72 et 90.17 % respectivement.





3-Etude de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute et pure)

3-1- L'influence du pH

Pour étudier l'influence du pH sur l'adsorption des protéines par la bentonite (brute ou pure) ; deux milieux ont été choisis l'un est acide avec un pH=5 et l'autre est alcalin avec un pH=8.

En représentant dans les figures 13 et 14 la quantité fixée de protéines en fonction de la concentration initiale; nous avons remarquer que pour chaque bentonite et pour les deux pH nous obtenons pratiquement la même courbe et nous avons constater aussi que la saturation de la bentonite commence à partir de la concentration initiale égale à 3,39g/l.

Les concentrations fixées en protéines sur les bentonites brute et pure en fonction du pH sont représentées dans le tableau 18.

Tableau 18: Quantités fixées en protéines à saturation.

| Bentonite | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|--------------------|-----------------|------|----------------|------|
| pH | Ph=5 | pH=8 | pH=5 | pH=8 |
| Quantité fixée (g) | 2.42 | 2.61 | 2.57 | 2.74 |

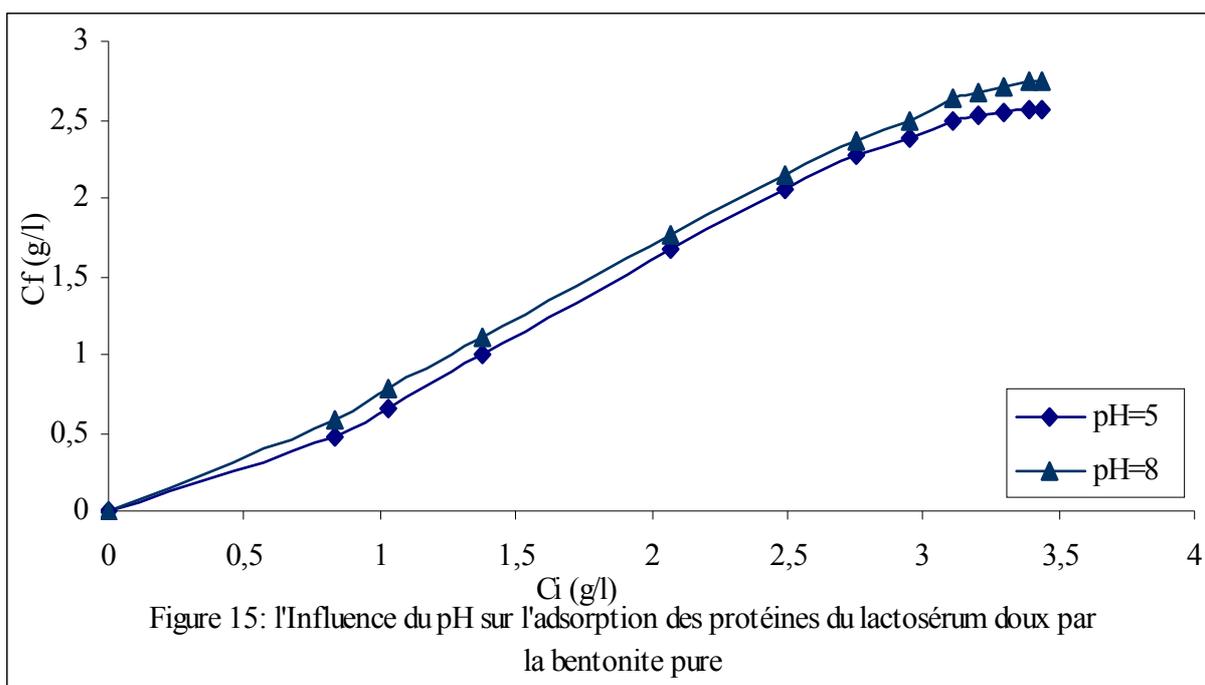
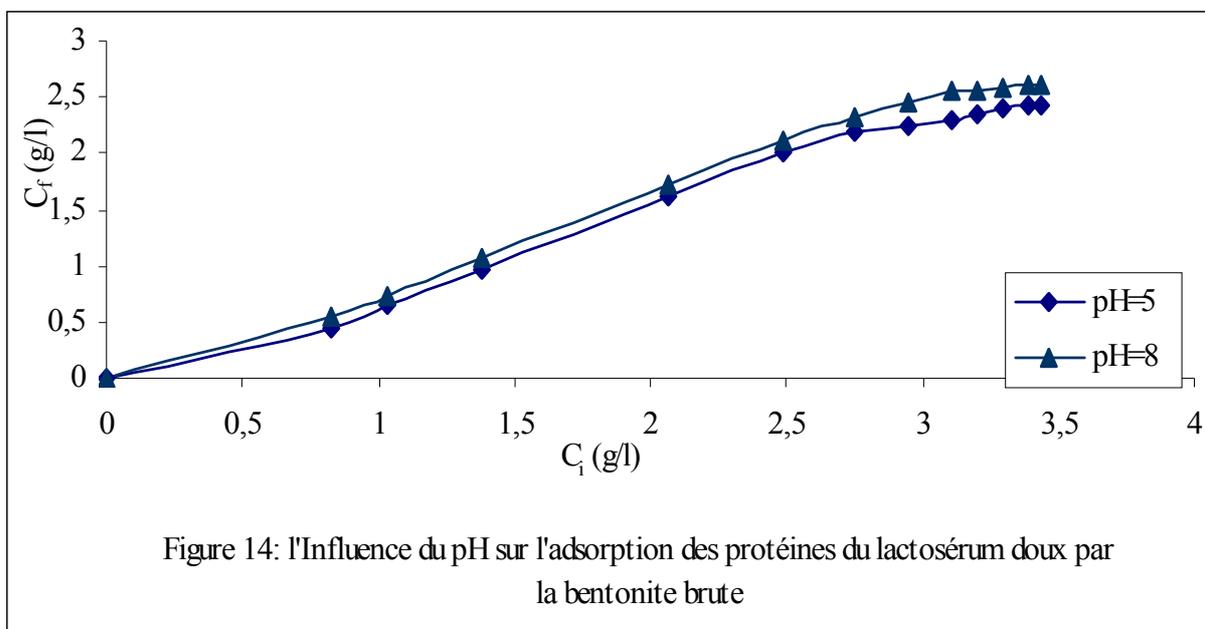
Dans un milieu donné (acide ou alcalin), ce tableau montre qu'il n'y a pas pratiquement aucune différence entre les quantités fixées soit en utilisant la bentonite brute ou pure. Cette différence ne dépasse pas les 7% d'augmentation.

La représentation des taux de fixation des protéines en fonction de leurs concentrations initiales dans les figures 15 et 16 nous indiquent qu'il existe un maximum de fixation lorsque la concentration initiale en protéines est de 2,49g/l et ce quelque soit la bentonite et le pH utilisé. le tableau 19, indique les taux de fixation des protéines à 2.49g/l.

Tableau 19: Taux de fixation des protéines par la bentonite (brute ou pure), pour des pH.

| bentonite | bentonite brute | | bentonite pure | |
|--------------------|-----------------|-------|----------------|-------|
| pH | pH=5 | pH=8 | pH=5 | pH=8 |
| Taux de fixation % | 80,72 | 84,74 | 82,19 | 85,82 |

Les chiffres indiqués dans ce tableau nous montrent bien que dans les mêmes conditions l'utilisation de la bentonite pure dans un milieu alcalin fixe légèrement mieux les protéines avec un taux de 85.82%.



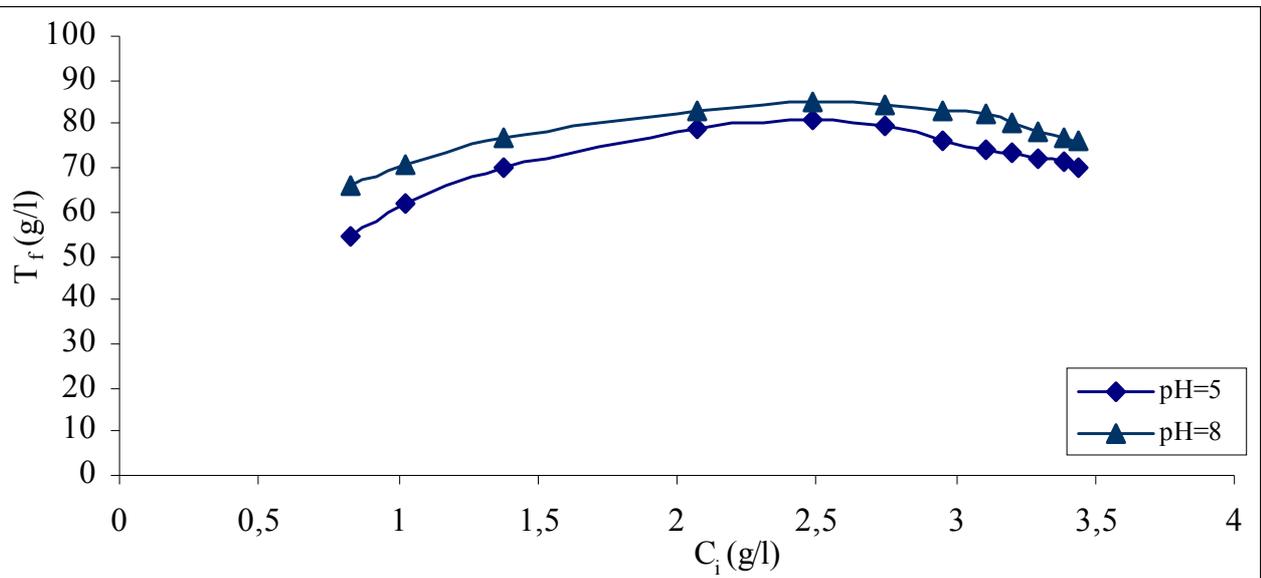
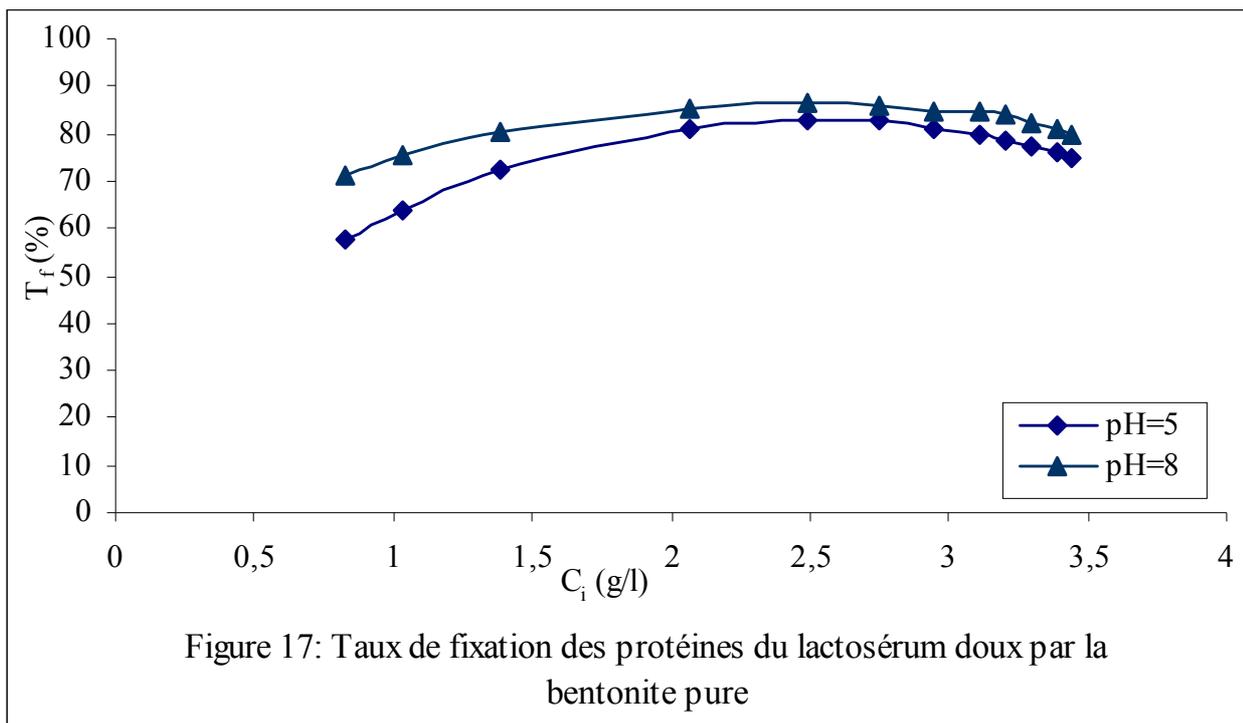


Figure 16: Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite brute



CONCLUSION

Ces résultats nous permettent de dire que l'influence du pH sur la fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite (brute ou pure) est faible et que dans tous les cas de figures l'adsorption dans un milieu alcalin est meilleure et que le bon rendement est obtenu lorsque la concentration initiale en protéines est aux environs de 2.49g/l.

3-2-Détermination de la capacité de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite (pure et brute)

Pour mieux comparer entre les fixations des protéines par les bentonites brute et pure, nous avons représenté dans les figures n°17 et 18, les quantités en protéines fixées par 100g de bentonite en fonction de leurs concentrations à l'équilibre.

L'allure des courbes retenus est de type S, nous avons remarqué qu'en dessous de la concentration initiale de 0.83g/l la quantité de protéines fixée est faible, celle-ci augmente rapidement à partir de 0.83g/l pour atteindre son maximum à 2.49g/l, au-delà de la quelle commence la saturation des sites de fixation de la bentonite jusqu'à atteindre une saturation totale à partir d'une concentration initiale de 3.39g/l.

Il est probable que la fixation des protéines ne se fait que sur les sites externes de la bentonite. La pénétration des protéines vers les sites internes de la bentonite est peu probable vu la taille et la géométrie des protéines par rapport aux écartements entre les feuillets de la bentonite qui peuvent constituer des sites de fixation internes.

Nous pouvons aussi dire que cette fixation a lieu en trois phases différentes : concentrations inférieures à 0.83g/l : faible probabilité de rencontre entre les protéines et les sites de fixation de la bentonite.

Concentrations comprises entre 0.83 et 2.49g/l : la probabilité de rencontre entre les protéines et les sites de fixations de la bentonite atteint son maximum à la concentration initiale de 2.49g/l.

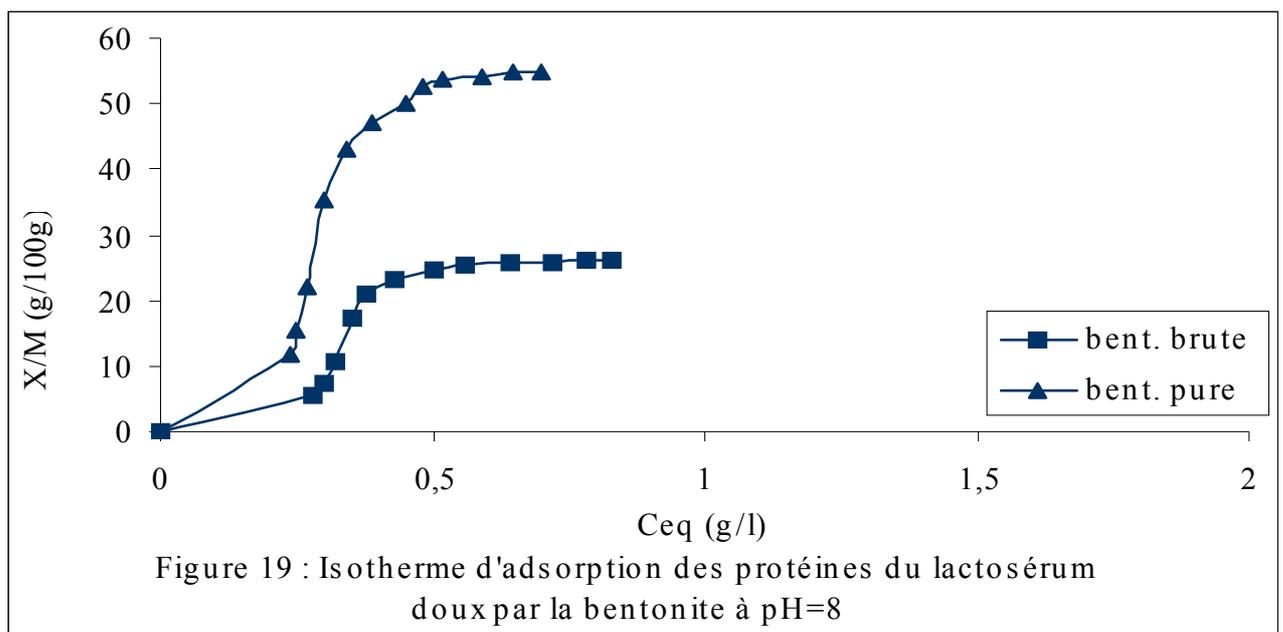
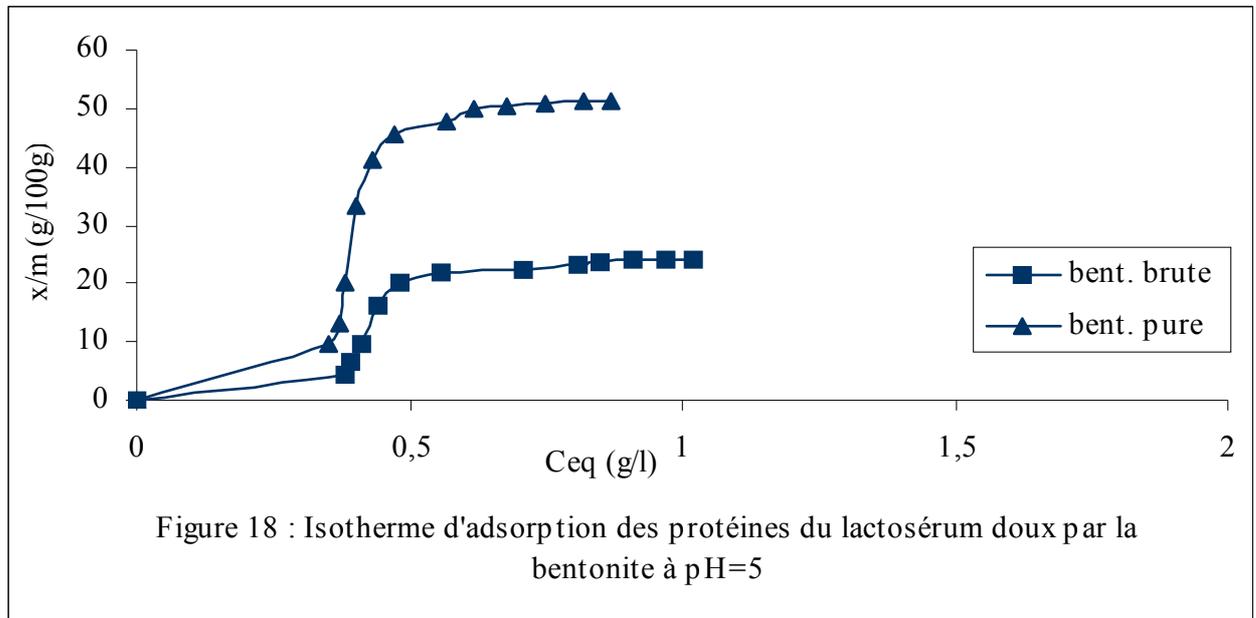
Concentrations initiales supérieures à 2.49g/l : au-dessus de cette concentration la saturation de fixation des protéines par la bentonite commence pour être totale au-delà de la concentration de 3.39g/l.

Dans le tableau 20 nous avons représenté les capacités de fixation des protéines par la bentonite au point de 3.39g/l

Tableau 20: Quantités de protéines fixées par 100g de bentonite en fonction de leurs concentrations à l'équilibre.

| Bentonite | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|-------------------------|-----------------|------|----------------|------|
| | pH=5 | pH=8 | pH=5 | pH=8 |
| Quantité fixée (g/100g) | 24.2 | 26.1 | 51.4 | 54.8 |

Ce tableau montre que les quantité en protéines fixées en employant la bentonite pure est plus de deux fois meilleure que celles adsorbées dans le cas de la bentonite brute.



3-3-Etude des isothermes d'adsorption des protéines du lactosérum doux

Cette étude va nous permettre de connaître à quel modèle obéi la fixation des protéines du lactosérum doux par les deux types de bentonite (brute et pure). De ce fait on a tracé les courbes représentées dans les figures 20 et 21 à partir de $\ln(x/m)$ en fonction de $\ln(C_{eq})$ d'une part et de $1/(x/m)$ en fonction de $1/C_{eq}$ d'autre part (Fig.22 et 23). Il en ressort de ces derniers qu'aux faibles concentrations initiales en protéines cette adsorption suit le modèle de FREUNDLICH qui se représente par l'équation suivante :

$x/m = kC_{eq}^{k_1}$ ou la sa transformation sous la forme linéaire nous donne;

$$\ln(x/m) = k_1 \ln(C_{eq}) + k_2$$

C_{eq} : la concentration de protéines à l'équilibre.

k_1 et k_2 : constantes de la température.

x/m : la concentration en fixée par 100g de bentonite.

Ces équations avec les coefficients de corrélation correspondant se résument dans le tableau 21

Tableau 21: Représentation des équations et leurs coefficients de corrélation selon le modèle de FREUNDLICH à faibles concentrations.

| | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|------------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|
| pH | pH=5 | pH=8 | pH=5 | pH=8 |
| L'équation (X/M) | 7.447x+10.118 | 6.254x+7.725 | 3.6993x+7.8725 | 4.7159x+7.6981 |
| R ² | 0.9204 | 0.9357 | 0.9566 | 0.9858 |

Par contre dans le cas des fortes concentrations initiales l'adsorption des protéines suit l'isotherme de LANGMUIR ce modèle se représente par l'équation suivante :

$x/m = abC_{eq}/(1+aC_{eq})$ de la transformation de l'équation à la forme linéaire il se résulte ;

$$1/(x/m) = 1/ab * 1/C_{eq} + 1/b$$

x/m : la concentration des protéines fixée par 100g de bentonite.

C_{eq} : la concentration des protéines à l'équilibre.

a et b : constantes dont :

a : est le coefficient d'adsorption ;

b : c'est la valeur maximale d'adsorption.

Les différentes équations et leurs coefficients de corrélation obtenus théoriquement sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau 21 : Représentation des équations et leurs coefficients de corrélation selon le modèle de LANGMUIR à fortes concentrations.

| pH | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | pH=5 | pH=8 | pH=5 | pH=8 |
| L'équation (x/m) | 0.0066x+0.034 | 0.0054x+0.0304 | 0.0027x+0.016 | 0.0025x+0.0143 |
| R ² | 0.8755 | 0.9935 | 0.9383 | 0.9042 |

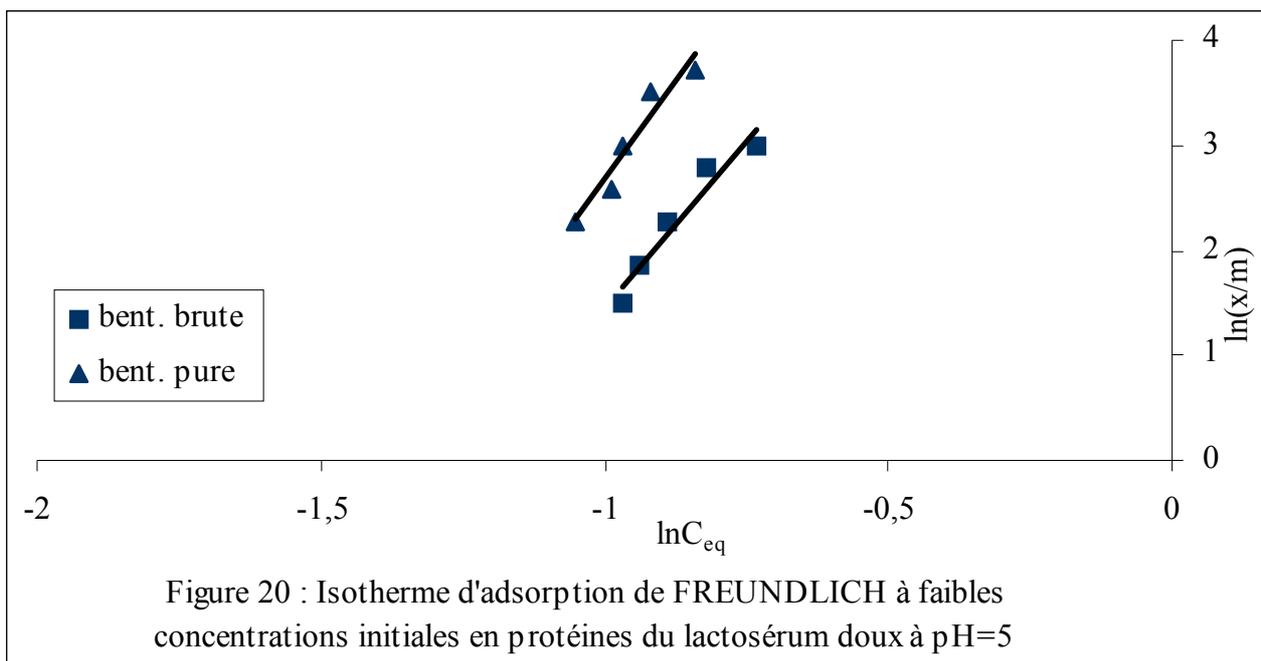
Selon ces deux tableaux on remarque qu'il y a un bon coefficient de corrélation quelque soit le type de bentonite et le pH utilisé.

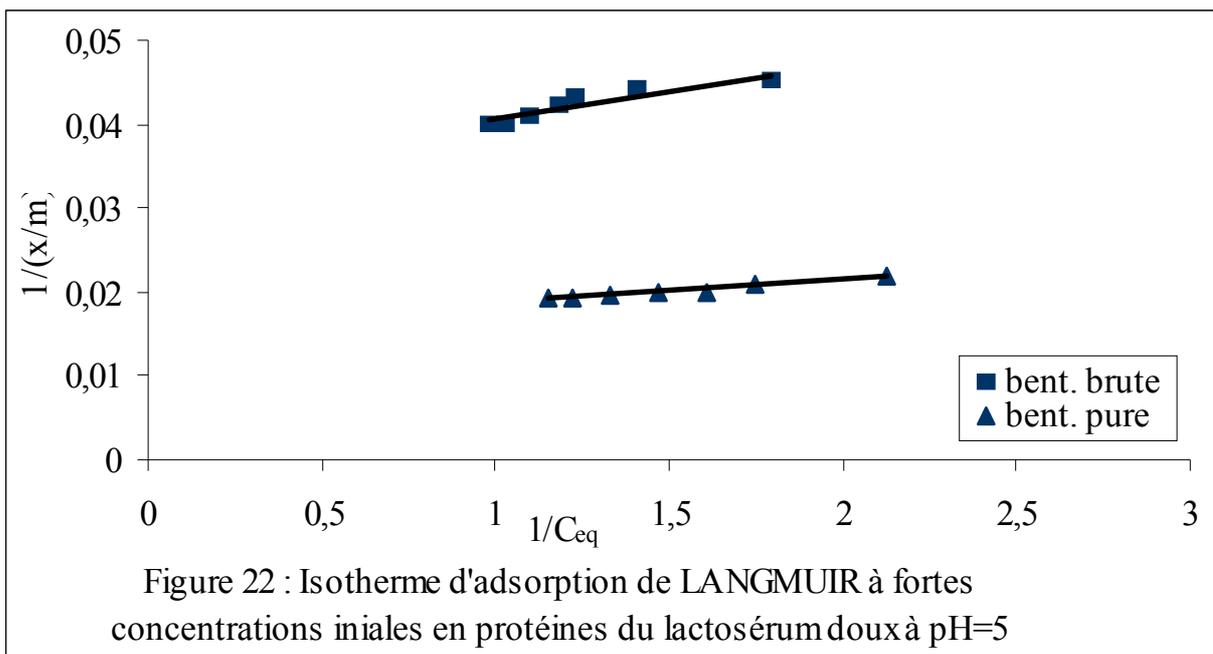
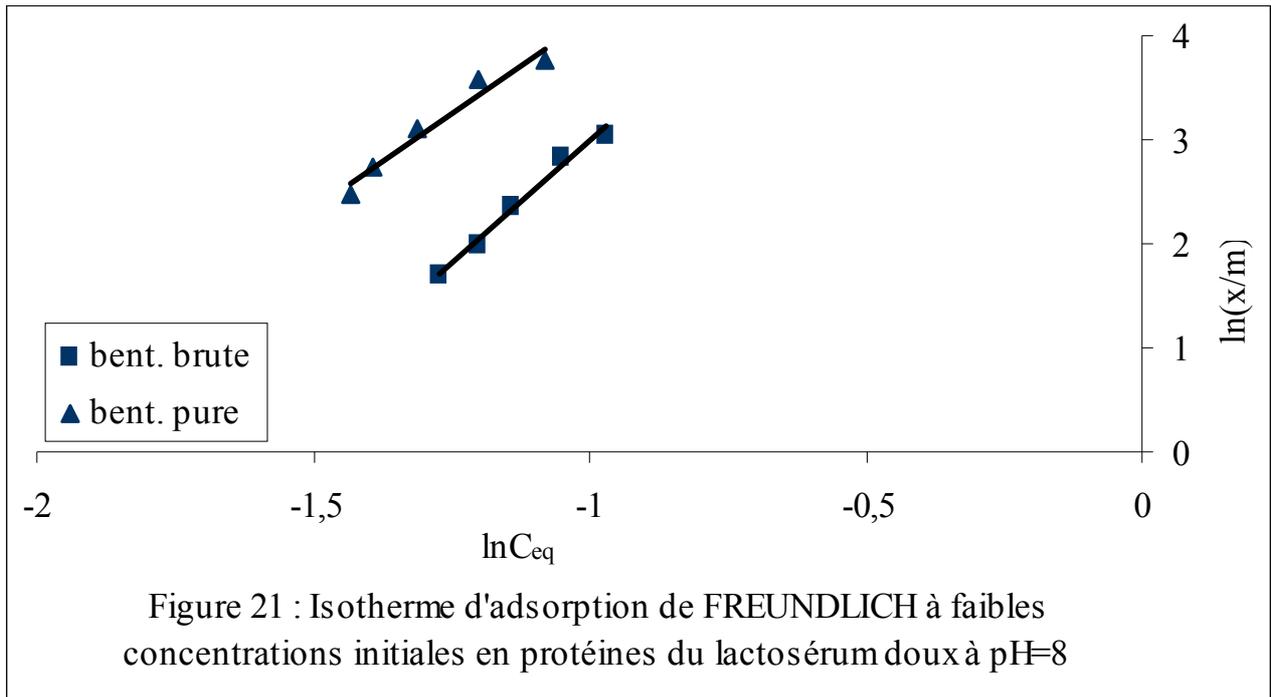
Ainsi qu'à partir de ces relations figurant dans le tableaux 21 on a pu calculer les quantités fixées en protéines théoriquement en g/100g de bentonite dont les valeurs obtenues sont dans le tableau 22

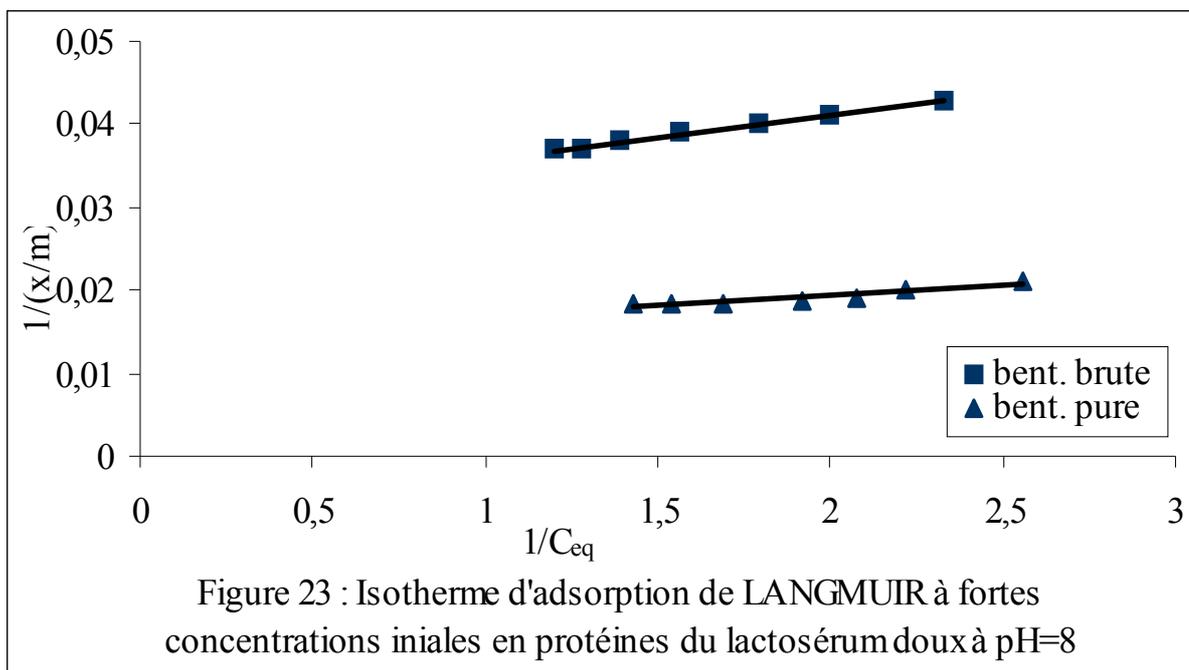
Tableau 22 : Capacité maximale de fixation des protéines en g par 100g de bentonite déterminée à une concentration initiale indéterminée selon le modèle de LANGMUIR.

| pH | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|-------|-----------------|-------|----------------|-------|
| | pH=5 | pH=8 | PH=5 | pH=8 |
| (X/M) | 29.41 | 32.89 | 62.11 | 69.93 |

On remarque que les valeurs calculées se rapprochent de celles obtenus expérimentalement.







4- Détermination des facteurs influençant la fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure)

Pour fixer les différentes conditions (quantité de bentonite, temps de contact et la température) de fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure) nous avons suivi le protocole cité précédemment (fig. 21).

4-1- La quantité de bentonite

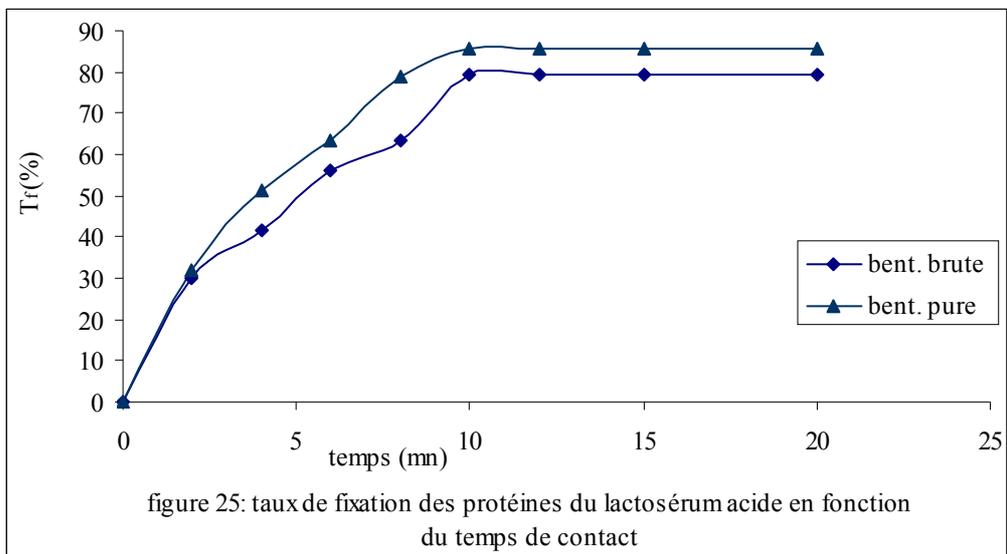
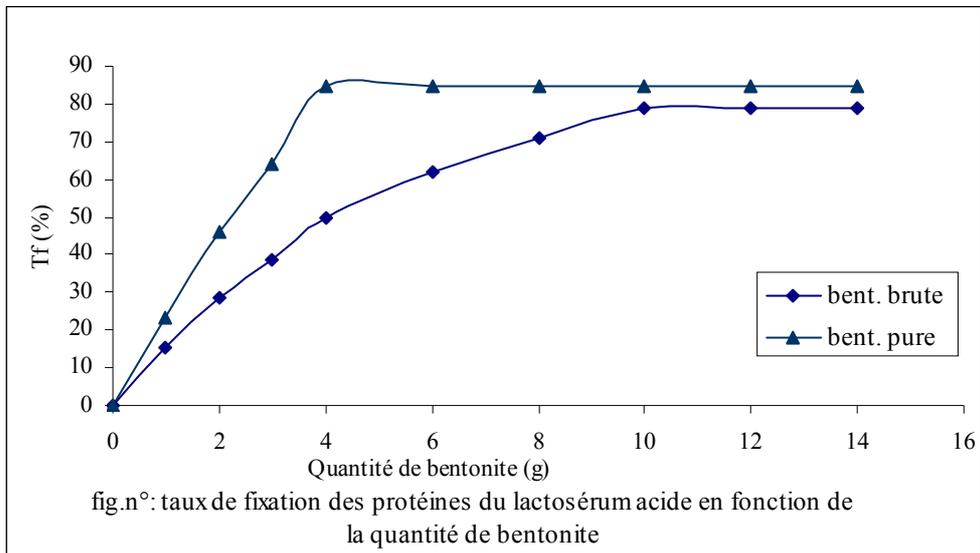
L'examen des courbes représentées dans la figure 22 montrent que la quantité de protéines fixées augmente en fonction de la quantité de bentonite ajoutée (brute ou pure) de 1g jusqu'à atteindre une valeur de 10g pour la bentonite brute et 4g pour la pure ou la fixation soit maximale avec 2.27 et 2.45g/l de protéines du lactosérum acide soient; 78.96 et 84.57% respectivement. De ce fait on conclut que la quantité minimale de bentonite assurant la fixation de la quantité maximale en protéines est maintenue à 10g pour la bentonite brute et 4g pour la bentonite pure.

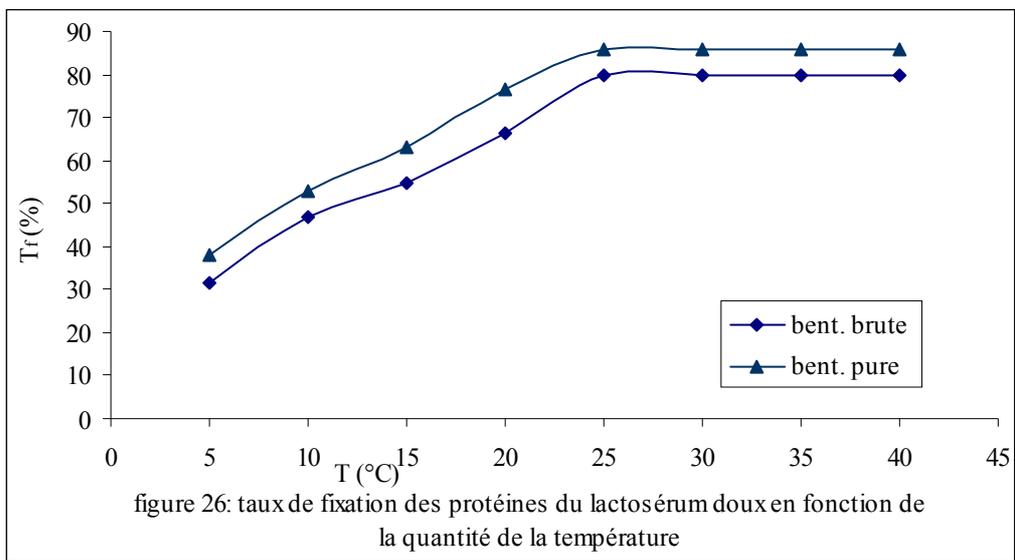
4-2- Le temps de contact

D'après les graphes de la figure 23 on constate que le temps joue un rôle primordiale dans l'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure). Cette fixation croit devient plus importante en prolongeant le temps de contact. jusqu'à avoir un taux maximal de fixation 79.28% pour la bentonite brute et 85.42% dans le cas de celle pure à un temps de 10mn. Donc on pourrait dire qu'un temps de 10 mn est suffisant pour 10g de bentonite brute et 4g de bentonite pure à fixer 2.31 et 2.49g/l de protéines respectivement.

4-3- La température

Les courbes représentées dans la figure 24 nous montrent que la fixation des protéines est influencée par la température. La variation des températures utilisées nous a montré que les quantités de protéines fixées augmentent avec la température jusqu'à un degré de 25°C où la fixation est maximale avec 2.33g/l pour la bentonite brute et 2.50g/l pour la bentonite pure correspondant à des taux 79.84 et 85.62 % respectivement. A haute température les protéines du lactosérum seront dénaturées (WIERZBICKI L.E., 1973)





4-Etude de fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite(brute et pure)

4-1- L'influence du pH

Un milieu acide pH=5 et un autre alcalin pH=8 ont été choisis pour l'étude de l'influence du pH sur le phénomène d'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure). Les résultats obtenus sont représentés dans les figures 25 et 26. Il en ressort de l'examen de ces courbes qu'ils sont pratiquement les mêmes dans les deux cas. On remarque que les quantités en protéines fixées augmentent en fonction de leurs concentrations initiales jusqu'à atteindre son maximum à la valeur 2.43g/l. Cette valeur est considérée comme le point de saturation de la bentonite.

Les concentrations fixées en protéines par les bentonites brute et pure en fonction de leurs concentrations initiales à des pH=5 et 8 au point de la saturation sont représentées dans le tableau 23.

Tableau 23: Quantités fixées en protéines à saturation.

| Bentonite | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|--------------------|-----------------|------|----------------|------|
| pH | pH=5 | pH=8 | pH=5 | pH=8 |
| Quantité fixée (g) | 1.61 | 1.67 | 1.64 | 1.75 |

On remarque d'après ce tableau que les valeurs obtenues sont pratiquement les mêmes ou il n'y a pas une différence significative quelque soit le pH et la bentonite employée (brute ou pure) et qui est estimée à environ 7%.

La relation graphique établie entre les taux de fixation des protéines en fonction de leurs concentrations initiales dans les figures 27 et 28 montre qu'il y a une augmentation des taux jusqu'à atteindre son maximum à la valeur de 1.75g/l. A ce point les taux de fixation maximale obtenus ne sont pas très différents et ce soit en employant la bentonite brute ou pure pour les deux milieux de pH=5 et pH=8 comme l'indique le tableau suivant.

Tableau 24: Taux de fixation maximal des protéines par la bentonite (brute ou pure), pour des pH.

| bentonite | bentonite brute | | bentonite pure | |
|--------------------|-----------------|-------|----------------|-------|
| pH= | pH=5 | pH=8 | pH=5 | pH=8 |
| Taux de fixation % | 77.71 | 81.14 | 79.43 | 83.43 |

CONCLUSION

Comme il a été démontré précédemment lors de l'étude sur le lactosérum doux ; la fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute ou pure) n'est pas assez influencée par le pH mais on note que l'adsorption des protéines dans le milieu alcalin est légèrement meilleure que celle de l'acide, dont le bon rendement est obtenu à la concentration initiale en protéines estimée à 1.75g/l.

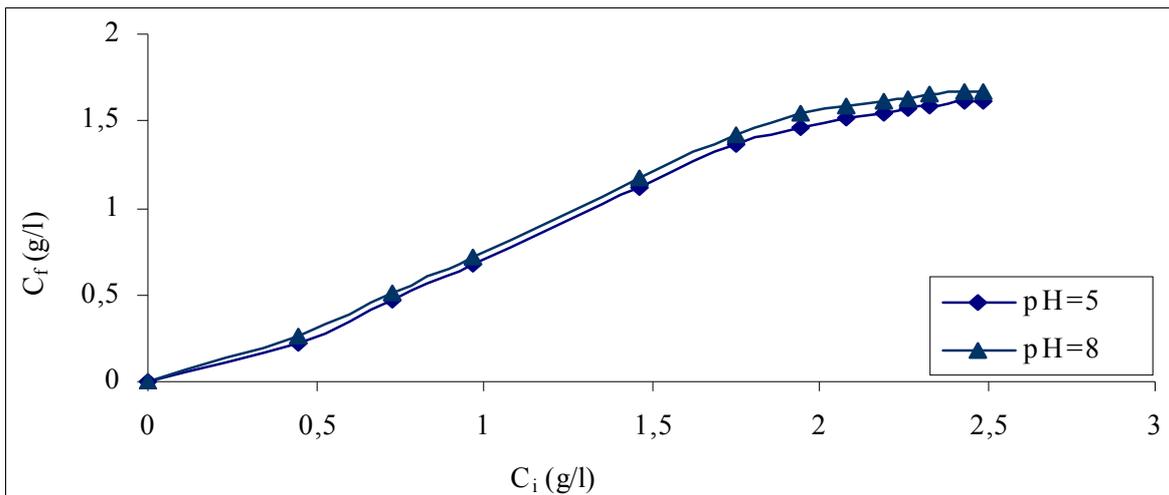


Figure 27 : Influence du pH sur la fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite brute

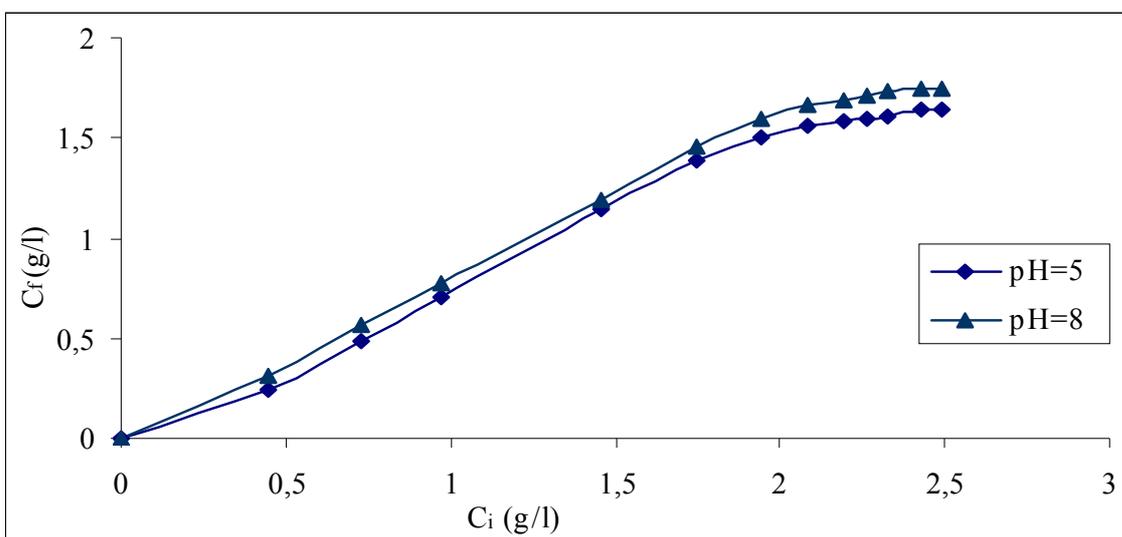
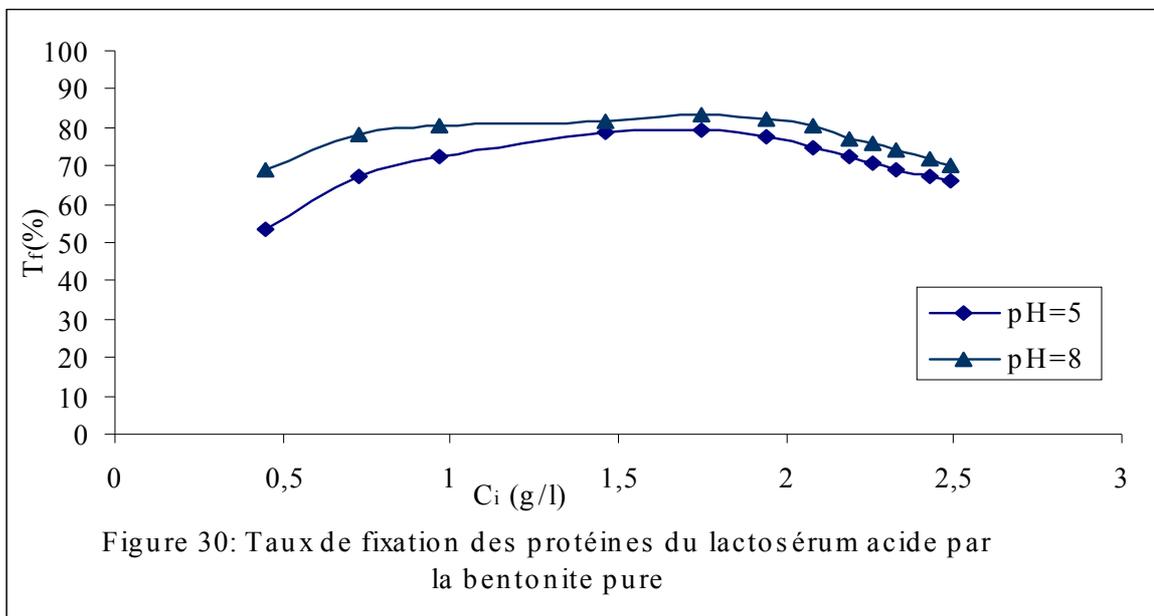
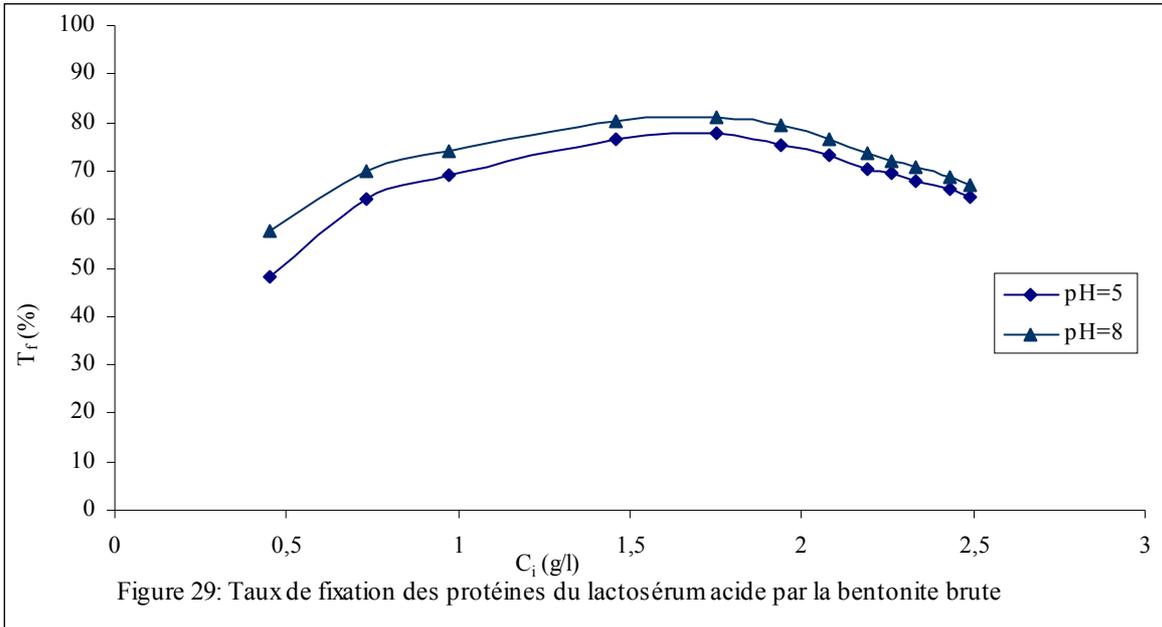


Figure 28 : Influence du pH sur la fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite pure



5-2- Détermination de la capacité de fixation des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure)

Les graphes représentés dans les figures 31 et 32 sont tracés à partir des quantités en protéines fixées par 100g de bentonite (x/m) en fonction de leurs concentrations à l'équilibre (C_{eq}). L'examen de ces graphes montre qu'ils sont d'une forme S. Cette fixation est minimale en cas de faibles concentrations initiales au-dessous de 0.45g/l. Au-delà de cette dernière on assiste à une adsorption intense jusqu'à la valeur 1.75g/l. Cette fixation se ralentit jusqu'à atteindre une saturation totale au point 2.43g/l. De ce fait nous pouvons dire que cette adsorption dépend grandement de la concentration initiale en protéines.

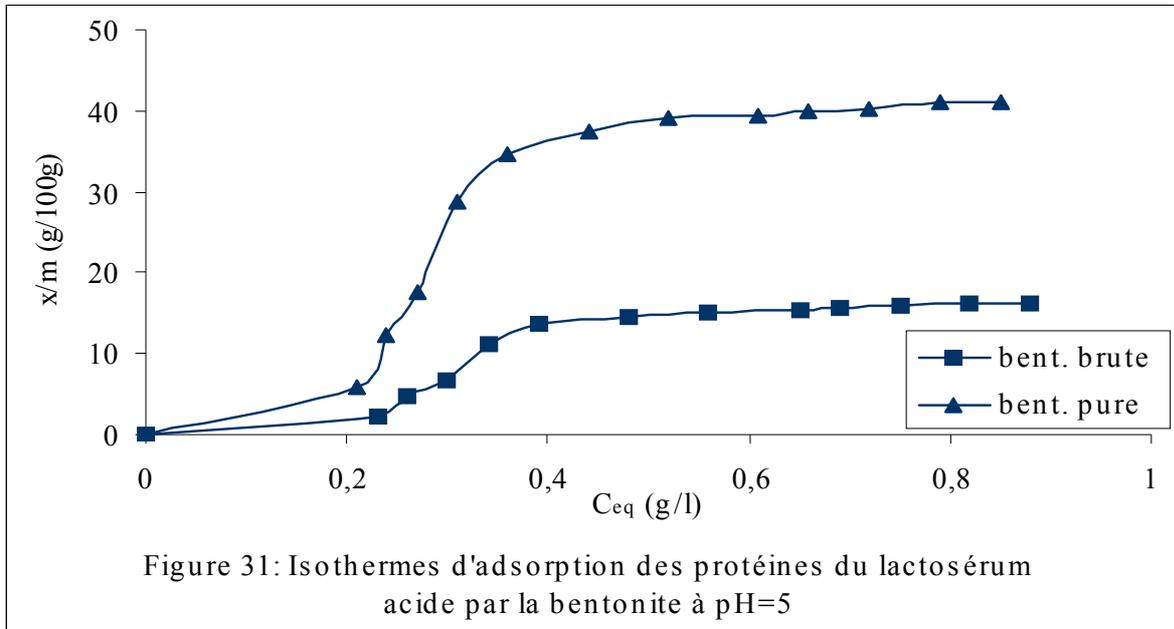
- A faibles concentrations initiales au-dessous de 0.45g/l : les protéines ne peuvent pas atteindre les sites de la surface inter-folliculaire de la bentonite.
- En cas des concentrations initiales comprises entre 0.45 et 1.75g/l : la possibilité de rencontre entre les sites de la bentonite et les protéines est très importante où les sites seront occupés par ces protéines ce qui provoque un début de saturation.
- Au point de 1.75g/l la saturation de la bentonite commence pour être totale à la valeur 2.43g/l.

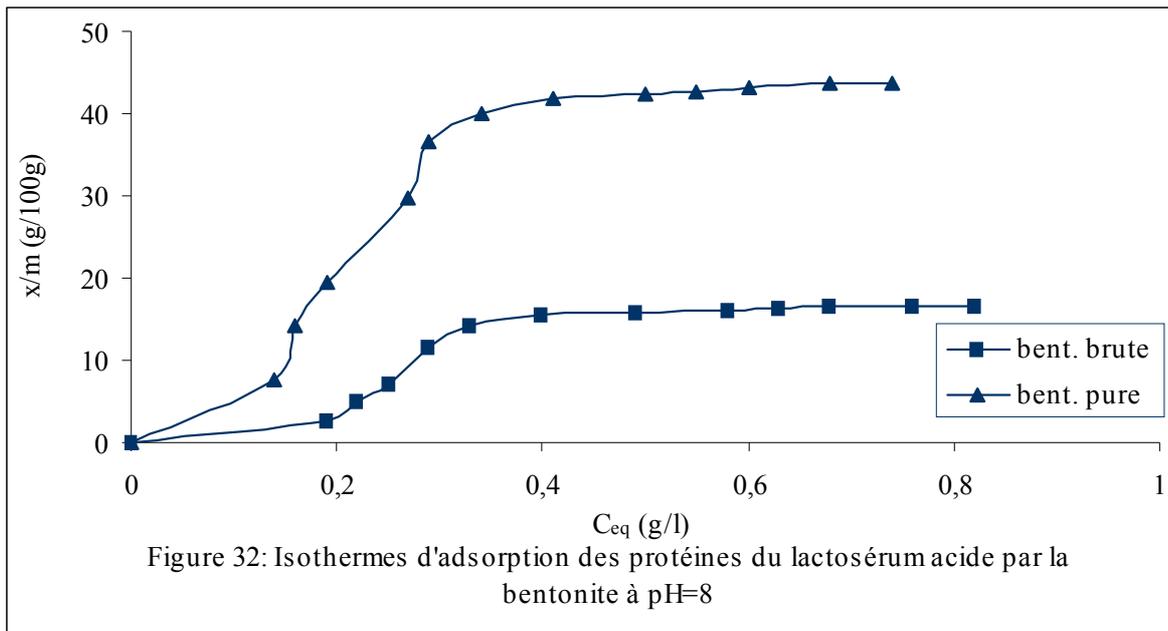
Ces quantités de protéines fixées par 100g de bentonite au point de ralentissement estimé à 1.75g/l sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau 25: Quantités de protéines fixées par 100g de bentonite en fonction de leurs concentrations à l'équilibre.

| | Bentonite brute | Bentonite pure |
|-------------|------------------------|-----------------------|
| pH=5 | 16.1 | 41 |
| pH=8 | 16.7 | 43.75 |

Ce tableau montre que les quantités en protéines fixées en employant la bentonite pure est deux fois et demi plus que celles adsorbées dans le cas de la bentonite brute.





5-3- Etude des isothermes d'adsorption d'adsorption des protéines du lactosérum acide

La présentation des résultats obtenus dans les figures 31 et 32 nous a permis de savoir à quelle loi suit cette adsorption de protéines du lactosérum acide par les deux types de bentonite (brute et pure). Selon les résultats obtenus lors de l'étude de la capacité d'adsorption il en ressort que le point 1.75g/l nous a permis de distinguer entre la fixation en cas de faibles concentrations initiales et celle à fortes concentrations initiales. De ce fait on a tracé les graphes représentés dans les figures 33 et 34 selon le modèle de FREUNDLICH à partir de $\ln(x/m)$ en fonction de $\ln C_{eq}$ en cas de faibles concentrations initiales.

Le tableau 26 illustre les différentes équations obtenues lors de l'application de ce modèle

Tableau 26: Représentation des équations et leurs coefficients de corrélation selon le modèle de FREUNDLICH à faibles concentrations.

| pH | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | pH=5 | pH=8 | PH=5 | pH=8 |
| L'équation (x/m) | $3.3734x+5.9291$ | $3.0809x+6.1918$ | $3.2375x+7.0163$ | $1.8668x+5.9246$ |
| R^2 | 0.9512 | 0.9736 | 0.9508 | 0.9399 |

Par contre dans le cas des fortes concentrations initiales l'adsorption des protéines suit le modèle de LANGMUIR dont les courbes représentées dans les figures 35 et 36 ont été tracées à partir de $1/(x/m)$ en fonction de $1/C_{eq}$.

Tableau 27: Représentation des équations et leurs coefficients de corrélation selon le modèle de LANGMUIR à fortes concentrations.

| pH | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | pH=5 | pH=8 | pH=5 | pH=8 |
| L'équation (X/M) | $0.0033x+0.0569$ | $0.0079x+0.0526$ | $0.0019x+0.0196$ | $0.0038x+0.0187$ |
| R ² | 0.9675 | 0.9923 | 0.9085 | 0.95 |

Les valeurs de la capacité maximale de fixation des protéines exprimées en g par 100g de bentonite sont regroupées dans le tableau 28.

Tableau 28: Capacité maximale de fixation des protéines en g par 100g de bentonite déterminée à une concentration initiale indéterminée selon le modèle de LANGMUIR.

| pH | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|-------|-----------------|-------|----------------|-------|
| | pH=5 | pH=8 | pH=5 | pH=8 |
| (x/m) | 17.57 | 19.01 | 51.02 | 53.48 |

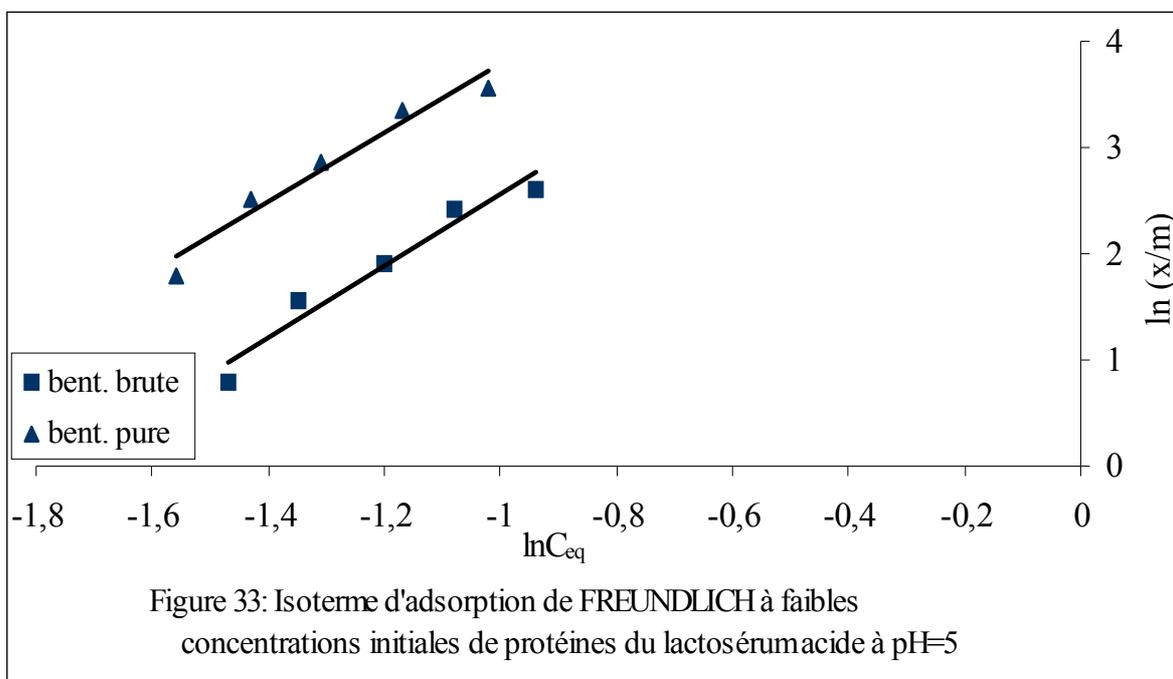
D'après ces résultats il est bien lisible qu'il n'y a pas une différence très importante entre les valeurs calculées et celles obtenus expérimentalement.

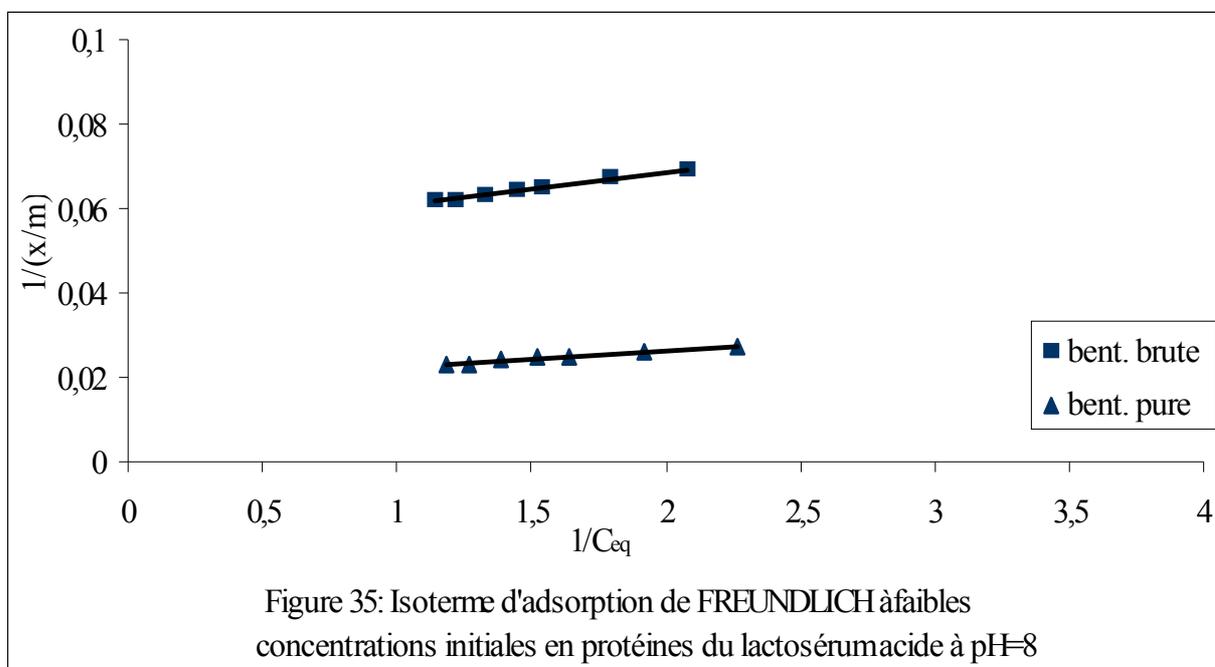
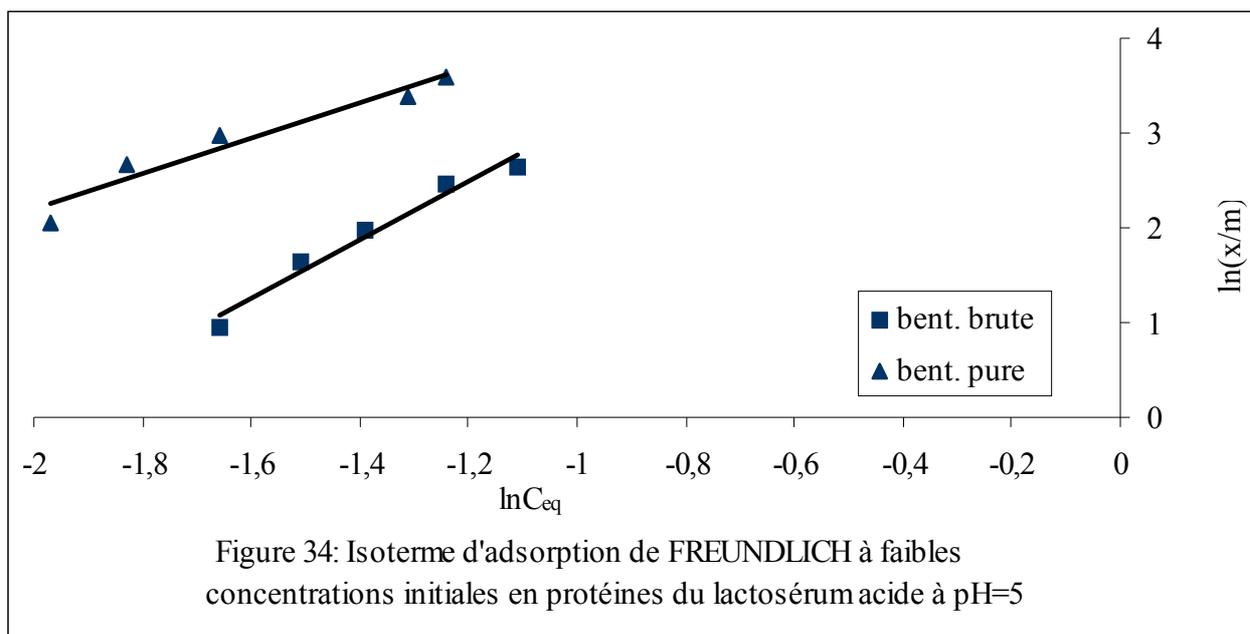
6-Comparaison entre l'adsorption des protéines des deux types de lactosérum (doux et acide) par la bentonite (brute et pure)

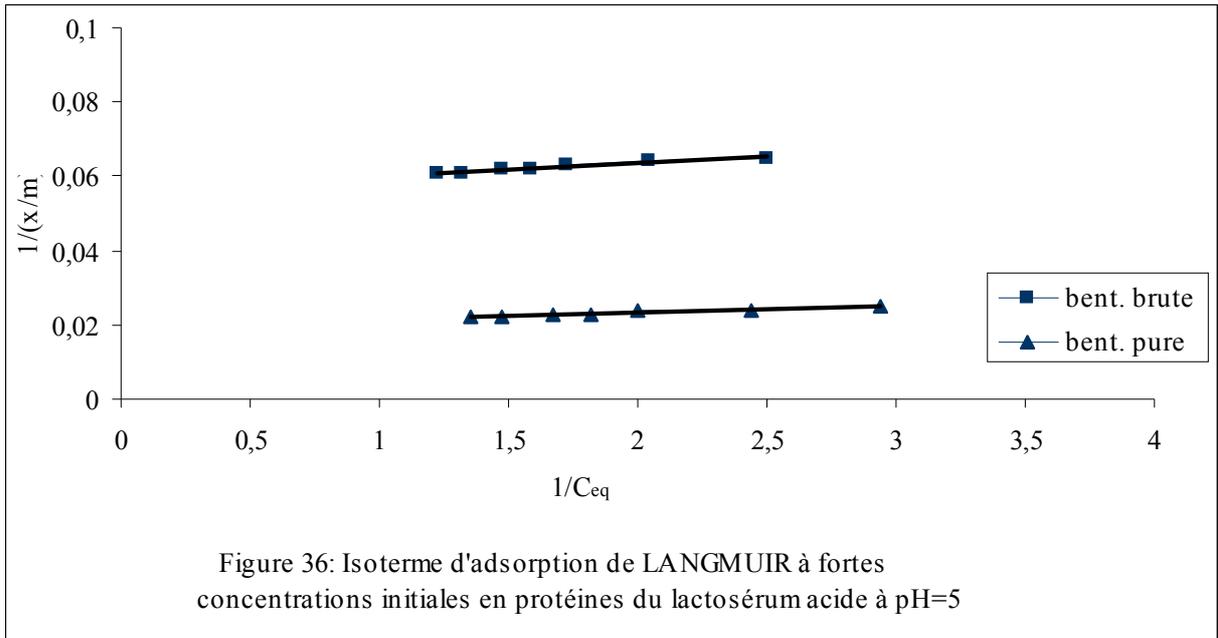
Il se dégage en comparant entre ces deux opérations d'adsorption des protéines du lactosérum avec ses deux types doux et acide par la bentonite (brute et pure) que cette opération semble mieux rentable en cas du lactosérum doux que celui acide quelque soit le pH utilisé (acide ou alcalin). Les valeurs de la capacité de fixation des protéines du lactosérum (doux et acide) par la bentonite sont regroupées dans le tableau 29.

Tableau 29: Tableau récapitulatif des capacités de fixation des protéines du lactosérum (doux et pure) par la bentonite (brute et pure) à des pH.

| | Bentonite brute | | Bentonite pure | |
|------|-----------------|-------|----------------|-------|
| | L.D | L.A | L.D | L.A |
| pH=5 | 29.41 | 17.57 | 62.11 | 51.02 |
| PH=8 | 32.89 | 19.01 | 69.93 | 53.48 |







CONCLUSION GENERALE

La pollution par les différents rejets industriels est devenue un problème relativement important ces dernières années. En effet de plus en plus de produits industriels ou agricoles sont responsables de la pollution du milieu qui conduit à la destruction de la faune et la flore aquatique en causant par la suite des problèmes sanitaires pour l'être humain.

L'industrie alimentaire rejette de nombreuses matières organiques fermentescibles qui sont responsables de la dégradation de la qualité d'eau.

Malgré, qu'il est compté parmi les rejets les plus polluants dans la nature; actuellement de par la multiplicité de ses utilisations, ses qualités nutritionnelles, ses propriétés fonctionnelles et sa richesse en protéines; le lactosérum peut être valorisé et réutilisé dans plusieurs domaines donnant naissance à une large variété d'aliments améliorés.

A cet effet notre travail consiste à traiter une eau polluée par le lactosérum en utilisant la bentonite de M'zila pour étudier sa capacité de fixation de protéines.

Dans un premier temps cette étude nous a permis de déterminer les meilleures conditions de fixation des protéines du lactosérum doux et acide en utilisant de la bentonite brute et pure, soient :

- la quantité de bentonite brute : 10g/l de lactosérum doux ou acide ;
- la quantité de bentonite pure : 5 et 4g/l de lactosérum doux et acide respectivement ;
- le temps de contact avec une agitation modérée : 10mn ;
- la température : 25°C.

Dans un deuxième temps nous avons étudié l'influence du pH et celui de la concentration initiale sur le taux de fixation des protéines par la bentonite brute et pure. Les résultats obtenus nous ont montré que la variation de la fixation dans un milieu alcalin pH=8 est dans un milieu acide pH=5 n'est pas très significative.

Par contre les résultats trouvés lors de l'étude de la fixation des protéines en fonction de la concentration initiale nous ont permis de constater qu'aux faibles concentrations :

- **inférieures à 0.83 g/l pour le lactosérum doux et inférieures à 0.45 g/l pour le lactosérum acide; la fixation reste relativement faible, 71.08% pour le lactosérum doux et 68.89% pour celui acide.**

Au delà de ces concentrations initiales en protéines la fixation devient intense jusqu'aux :

- 2.49g/l pour le lactosérum doux ;

- 1.75g/l pour le lactosérum acide.

Où la fixation est maximale à savoir 86.35 et 83.43 % pour les deux lactosérum doux et acide.

Les bentonite se saturent au delà des concentration initiales en protéines :

- 3.39g/l pour le lactosérum doux;
- 2.43g/l pour le lactosérum acide.

Avec des capacités de fixation de 69.93 et 53.48 % respectivement pour le lactosérum doux et acide. Il faut rappeler que ces résultats sont obtenus avec une bentonite pure et à pH=8.

Nous avons complété notre travail par une étude des isothermes d'adsorption et nous avons remarqué que celles-ci sont de type :

- FREUNDLICH pour les concentrations initiales en protéines inférieures à 2.49g/l pour le lactosérum doux et inférieures à 1.75g/l pour celui acide ;
- LANGMUIR pour les concentrations initiales en protéines supérieures aux valeurs citées ci-dessus dans les deux cas de lactosérum.

La comparaison entre la fixation des protéines du lactosérum par la bentonite brute et celle obtenue en employant la bentonite pure à montré que cette dernière fixe deux fois mieux que la bentonite brute dans les mêmes conditions.

En perspective il serait intéressant de faire une étude économique pour déterminer la quelle des bentonites brute ou purifiée serait économiquement intéressante à être utilisée pour la fixation des protéines du lactosérum.

Par ailleurs, le mélange bentonite protéines peut être un produit à valoriser dans le domaine de la cosmétologie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ADLER-NISSEN J., (1986) : Enzymic Hydrolysis of Food Proteins. Elsevier Appl. Sci.
2. ALAIS, 1975 : Le lactosérum (petit-lait) ; Science du lait, 3^{ème} Edition, Paris.
3. ADRIAN J. 1973: Valeur alimentaire du lait. Paris, la maison Rustique, 229 p.
4. ANDRE ECK, 1987 : Le fromage 2eme édition. Diffusion LAVOISIER pp. 156-164
5. ANNE DEBROISE (2000). Les produits laitiers dans la nutrition. Revue science et vie,.
6. APRIA, 1973, 1978 : Actualités scientifiques et techniques en industrie agro-alimentaire, utilisation du lactosérum en alimentation humaine et animale.
7. ASSOCIATION FRANCAISE POUR L'ETUDE DES EAUX, 1997 : la pollution des rivières. Recyclage des déchets.
8. BOUDIER J-F, LUQUET F-M, 1974 : Dictionnaire laitier. Techniques et documentation, Lavoisier, Paris, 2eme édition, 220 p.
9. BOURGEOIS et LEROUX, 1986 : Techniques d'analyses et de contrôle dans les I.A.A.
10. CARIC M., 1994 : Concentrated and dried dairy products. Inc., New York NY. Chapt. n° 11.
11. CASSEGRAIN, 1976 : Utilisation industrielle du lactosérum et de ses dérivés en alimentation humaine.
12. CHEFTEL et al., 1978 : Introduction à la biochimie et à la technologie des aliment. Volume 1.
13. COMPTE, 1984 : Utilisation du lactosérum de fromageries revue des ENIL n° 92, pp.32-37.
14. FANG H.H., 1991 : Treatment of wastewater from a whey processing plant using activated sludge and anaerobic processes. J. Dairy Sc. n° 74.
15. F.A.O./O.M.S., 2002 : Qualité nutritionnelle des protéines du lactosérum.
16. F.A.O, 1998 : le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Chap. n°07. Coll. Alimentation et nutrition., n°28 ISBN 92-5-20534-6
17. FEVRIER C., 1978 : Lactosérum sec dans l'alimentation du porc. Interaction avec le taux azoté du régime selon le stade de croissance et le sexe.
18. FLOO et ENMEYER M.D., GLATZ B.A. et HAMMONDE E.G., 1985 : Continuous culture fermentation of whey permeate to produce microbial oil. J. Dairy Sci. n°68.
19. GLOVER F.A. 1985 : Ultrafiltration and reverse osmosis for the dairy industry. Technical Bull. n°5. The National Institute for research in Dairying reading, U.K.

20. GOLLER, 1975 : Nutritional evaporation of whey protein concentrates and their fraction. J. of dairy Science.
21. GORDON C.H., LYNCH G.P. et Mc DOUNOUGH F.E., 1972 : Feeding liquid whey to dairy animals.
22. HANNING et DEGOUMOIS, (1953). Influence of dried whey on cake quality. pp.176-189.
23. HANSEN P.M.T., HIDALGO J. et GOULD I.A., 1971: Journal dairy science, n°480 P.52
24. HAOUZI, 1997 : Etude par relaxation diélectrique de l'adsorption de vapeur d'eau sur une montmorillonite calcique. Thèse Doc. Univ. Montpellier II. P.148.
25. HARTHMAN G. , 1975: The use of whey in manufacture of yaghourt. Cultural dairy products journal.
26. HENRI HESLOT, 1996: L'ingénierie des protéines et ses applications.
27. HERMIER J. et CERF O., 1987 : La stabilité du lait à la chaleur. In CEPIL. Le lait matière première de l'industrie alimentaire p. 309-314. Paris, INRA.
28. HIDDINK J., DEBOER R., 1980: Reverse osmosis of dairy liquids. J. Dairy Sci. n° 63.
29. HUGUNIN A.G. 1987: Application of UF whey protein; developing new markets. In Trends in whey utilisation. Bull. n°212.
30. HUGWIN H. C. , 1980: Drying of whey. Journal of the society of dairy science.
31. HUMBERT G. et ALAIS C., 1981 : Possibilité d'application au lactosérum de nouveaux procédés de précipitation ou de fractionnement des protéines. Journal la technique laitière n° 952 P.43, mars
32. JELEN et HORBAL, 1974 : Whey wines from concentrates of reconstituted acid whey powder. Journal of dairy science.
33. KLEMENKO et KAMMEVA, 1971 : Boissons fruitées à base de lait.
34. KRAULIS P., (1991): A Program to Profuce Both Details and Schematic Plots of
35. KUBE et GOLLER, 1975: Nutritional evaporation of whey protein concentrates and their fraction. Journal of dairy science.
36. LAGUNE L. et GLORIES Y., juin 1996 : Les nouvelles données concernant le collage des vins rouges avec les gélatines oenologiques, Revue française d'oenologie,
37. LORIENT D. et LINDEN G., 1994 : Biochimie agro-industrielle. Valorisation alimentaire de la production agricole. Masson, Paris, 119 p.
38. LYAZOVA, 1983 : Fuel alcohol from whey.
39. MANN E.J., 1993: Whey utilisation. Dairy J. Sci n° 5 et 6.

40. MATHUR B. N. et SHAHANI K. M. 1979: Possibilité d'application au lactosérum de nouveaux procédés de précipitation ou de fractionnement des protéines. journal dairy science n°99 p. 62
41. MINISTERE D'envi. France 1998: Le recyclage. Traitement des eaux.
42. MILLOT G., 1979: Les argiles pour la science. Juin pp.61-73
43. MOHELLEBI 1983: contribution à l'étude de la bentonite de mostaganem et échange de cations Cu^{++} et Zn^{++} . Thèse Mag. USTHB Alger P.167.
44. MORR C.V. EYW Ha., 1993 : whey protin concentrates and isolates. In food science and nutrition, n°33.
45. MOUBOIS et al., 1989 : Les nouvelles valorisations des composantes du lait. supplément n°763.
46. NELSON et BROWN 1971: whey as components of fruit flavord drinks. Journal of dairy science 54 n° 5.
47. OLSEN J. et ALLERMANN K., 1989: Microbial biomass as a protein source. In les bases de biotechnologie. Chap. n° 10.
48. PAILLON P. 1974 : le lactosérum en biscuiterie et en pâtisserie industrielle (biscuits, biscottes, panification, pâtisserie industrielle, produits diététiques et chocolat confiserie).
49. PAQUET. D. 1981 : Nouvelles voies de valorisation des protéines lactosériques. Produits moussants succédanés du blanc d'œuf. la technique laitière.
50. PEYNAUD, Émile, 1984 : Connaissance et travail du vin, éd. Dunod.
51. PIEN, 1975 : Etude de la récupération des protéines dans le sérum de fromagerie P.18
52. PIEN, 1976 : Etude de la récupération des protéines dans le sérum de fromagerie. La technique laitière, n°884.
53. PINEL M., 1981 : Des techniques de pointe pour une meilleure valorisation des protéines de lactosérum. Technique laitier n°14.
54. RAYMOND D., 1990 : Protein Structures, J Appl Crystallogr 24: 946-950. Publ, NY, , 427 p
55. ROBERT et ODORICO, 1971 : cité par COLLET J. Mémoire de fin d'études. E.N.S.A de Rennes.
56. ROCHETTE DE LEMPDES, 1975 : Application du lactosérum dans les laits maternisés société GALLIA (B.S.N GERVAIS DANONE).
57. SANFORDT P.H., 1987 : Advences in whey processing technology concentration by evaporation. In trends in whey utilization. Bull n°212.

58. SANTORO M. et FACCIA M., 1996 : Degradation of the protein fraction in a cheese fortified with whey proteins. In J. n°50.
59. SASSI M., 2001: Contribution à la rétention des micropolluants minéraux contenus dans l'eau par la bentonite de M'zila. Thèse de magister C.U. Tiaret.
60. SCHAPIRA G., 1981 : Eléments de biochimie clinique et physiologique.
61. SILAGADZE et al., 1980 : Industrie laitière (production, collecte et transformation).
62. THIEBAUT LUC, 1996 : les fonctions environnementales de l'agriculture périurbaine. Cahier d'agriculture. Vol. n°5.
63. TRAULE C., 1983 : Les lactosérums traitements et utilisation. Revue des INIL n°81.
64. BRADFORD, 1976 : Cité par B. FATIHA, (1993) n° A₁/559, étude des caractéristiques physico-chimiques du lait. Thèse ; D.E.S en biologie Université d'Essenia. ORAN.
65. LOUISOT P., 1989 : Introduction à la biochimie médicale.
66. VADJI M. et PEREIRA R., 1973 : The feasibility of whey utilization for the production of various drinks. Modern dairy n°52.
67. VEISSEYRE R., 1975 : Technologie du lait, 3eme Edition. La maison rustique,.
68. VIVIER E., 1997 : La bioaccumulation. Bulletin 88 de Nord Nature. Environnementale.
69. VRIGNAUD Y. 1986 : Valorisation du lactosérum, une longue histoire. Revue laitière Française n°422,.
70. WEBB B. 1996 : whey a low cost dairy product for use in candy journal of dairy science.
71. WIERZBICKI L.E. et KOSIKOWSKI F.V., 1973: Food syrups from acid whey treated with beta galactosidase of aspergillus niger. J. dairy Sci. n°56.
72. YOUNG T. K. et CHIPLEY J. R., 1983: Microbial production of lysine and threonine from whey permeate.

Annexe 01 : Les différentes concentrations en protéines obtenues par dilution de la solution mère (1g/l) du B.S.A avec de l'eau distillée

| | | | | | | | | | | |
|----------------|---|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|
| N° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| S.M µl | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Eau distillée. | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |
| Ci (g/l) | 0 | 0.50 | 0.33 | 0.25 | 0.2 | 0.17 | 0.14 | 0.13 | 0.11 | 0.1 |

Annexe 02 : Les différentes concentrations en protéines du lactosérum doux obtenues par dilution avec la solution tampon du pH=5 et pH=8

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| S.t pH=5,8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Lactosérum | 2.5 | 3.34 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 |
| Ci (g/l) L.D | 3.44 | 3.39 | 3.3 | 3.2 | 3.11 | 2.95 | 2.75 | 2.49 | 2.07 | 1.38 | 1.03 | 0.83 |

Annexe 03 : Les différentes concentrations en protéines du lactosérum acide obtenues par dilution avec la solution tampon du pH=5 et pH=8

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| S.t pH=5,8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Lactosérum | 2.5 | 3.34 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 |
| Ci (g/l) L.A | 2.49 | 2.43 | 2.33 | 2.26 | 2.19 | 2.08 | 1.94 | 1.75 | 1.46 | 0.97 | 0.73 | 0.45 |

Annexe 04 : les différentes D.O obtenues en fonction de leurs concentrations en protéines du

B.S.A

| | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Cp | 0 | 1.078 | 0.721 | 0.551 | 0.451 | 0.352 | 0.301 | 0.281 | 0.242 | 0.22 |
| (g/l) | | | | | | | | | | 2 |
| D.O | 0 | 0.50 | 0.33 | 0.25 | 0.2 | 0.17 | 0.14 | 0.13 | 0.11 | 0.1 |

Annexe05 : Taux de fixation des protéines du lactosérum doux en fonction de la variation des quantités de bentonite(brute et pure)

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| bent. (g) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Tf (%) b.b. | 0 | 12.64 | 26.84 | 33.15 | 44.28 | 52.46 | 63.17 | 76.28 | 83.42 | 83.42 | 83.42 |
| Tf (%) b.p. | 0 | 22.86 | 37.52 | 52.41 | 65.08 | 87.75 | 87.75 | 87.23 | 87.75 | 87.75 | 87.75 |

Annexe06 : Taux de fixation des protéines du lactosérum doux fixée en fonction de la variation du temps de contact

| | | | | | | | | | |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t (mn) | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 20 |
| Tf (%) bent. Brute | 0 | 34.02 | 45.93 | 58.17 | 71.81 | 85.62 | 85.62 | 85.62 | 85.62 |
| Tf (%) bent. Pure | 0 | 42.16 | 63.52 | 70.26 | 82.21 | 90.58 | 90.58 | 90.58 | 90.58 |

Annexe07: Taux de fixation des protéines du lactosérum doux en fonction de la variation de la température

| | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T (°C) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| Tf (%) bent. Brute | 37.82 | 46.13 | 63.26 | 75.04 | 85.72 | 85.72 | 85.72 | 85.72 |
| Tf (%) bent. Pure | 43.15 | 54.19 | 71.58 | 83.24 | 90.17 | 90.17 | 90.17 | 90.17 |

Annexe08: La variation de la quantité de protéines du lactosérum doux fixée par la bentonite brute en fonction de leurs concentrations initiales à pH5 et 8

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ci (g/l) | 0 | 0.83 | 1.03 | 1.38 | 2.07 | 2.49 | 2.75 | 2.95 | 3.11 | 3.2 | 3.3 | 3.39 | 3.44 |
| Cf pH=5 | 0 | 0.45 | 0.64 | 0.97 | 1.63 | 2.04 | 2.19 | 2.24 | 2.3 | 2.35 | 2.39 | 2.42 | 2.42 |
| Cf pH=8 | 0 | 0.55 | 0.73 | 1.06 | 1.72 | 2.11 | 2.32 | 2.45 | 2.55 | 2.56 | 2.58 | 2.61 | 2.61 |

Annexe09 : La variation de la quantité de protéines du lactosérum doux fixée par la

bentonite pure en fonction de leur concentrations initiales à pH5 et 8

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ci (g/l) | 0 | 0.83 | 1.03 | 1.38 | 2.07 | 2.49 | 2.75 | 2.95 | 3.11 | 3.2 | 3.3 | 3.39 | 3.44 |
| Cf pH=5 | 0 | 0.48 | 0.66 | 1 | 1.67 | 2.06 | 2.28 | 2.38 | 2.49 | 2.52 | 2.55 | 2.57 | 2.57 |
| Cf pH=8 | 0 | 0.59 | 0.78 | 1.11 | 1.77 | 2.15 | 2.36 | 2.5 | 2.63 | 2.68 | 2.71 | 2.74 | 2.74 |

Annexe10 : Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite brute en fonction de leur concentrations initiales à pH5 et 8

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ci (g/l) | 0.83 | 1.03 | 1.38 | 2.07 | 2.49 | 2.75 | 2.95 | 3.11 | 3.2 | 3.3 | 3.39 | 3.44 |
| Tf Bb pH=5 | 54.22 | 62.14 | 70.29 | 78.74 | 80.72 | 79.64 | 75.93 | 73.95 | 73.44 | 72.42 | 71.39 | 70.35 |
| Tf Bb pH=8 | 66.27 | 70.87 | 76.81 | 83.09 | 84.74 | 84.36 | 83.05 | 81.99 | 80 | 78.18 | 76.99 | 75.87 |

Annexe11: Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite pure en

fonction de leur concentrations initiales à pH=5 et 8

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ci (g/l) | 0.83 | 1.03 | 1.38 | 2.07 | 2.49 | 2.75 | 2.95 | 3.11 | 3.2 | 3.3 | 3.39 | 3.44 |
| Tf Bp pH=5 | 57.83 | 64.08 | 72.46 | 80.68 | 82.73 | 82.91 | 80.68 | 80.06 | 78.75 | 77.27 | 75.81 | 74.71 |
| Tf Bp pH=8 | 71.08 | 75.73 | 80.73 | 85.51 | 86.35 | 85.82 | 84.77 | 84.57 | 83.75 | 82.12 | 80.82 | 79.65 |

Annexe12: Isothermes d'adsorption des protéines du lactosérum doux par la bentonite
(brute et pure) à Ph=5

| Ceq bent. Brute | Ceq bent.pure | x/m bent. brute | x/m bent. pure |
|-----------------|---------------|-----------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,38 | 0,35 | 4,5 | 9,6 |
| 0,39 | 0,37 | 6,4 | 13,2 |
| 0,41 | 0,38 | 9,7 | 20 |
| 0,44 | 0,4 | 16,3 | 33,4 |
| 0,48 | 0,43 | 20,1 | 41,2 |
| 0,56 | 0,47 | 21,9 | 45,6 |
| 0,71 | 0,57 | 22,4 | 47,6 |
| 0,81 | 0,62 | 23 | 49,8 |
| 0,85 | 0,68 | 23,5 | 50,4 |
| 0,91 | 0,75 | 23,9 | 51 |
| 0,97 | 0,82 | 24,2 | 51,4 |
| 1,02 | 0,87 | 24,2 | 51,4 |

Annexe 13: Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum doux par la bentonite

(brute et pure) à Ph=8

| Ceq bent. Brute | Ceq Bent. pure | x/m bent. pure | x/m bent. pure |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,28 | 0,24 | 5,5 | 11,8 |
| 0,3 | 0,25 | 7,3 | 15,6 |
| 0,32 | 0,27 | 10,6 | 22,2 |
| 0,35 | 0,3 | 17,2 | 35,4 |
| 0,38 | 0,34 | 21,1 | 43 |
| 0,43 | 0,39 | 23,2 | 47,2 |
| 0,5 | 0,45 | 24,5 | 50 |
| 0,56 | 0,48 | 25,5 | 52,6 |
| 0,64 | 0,52 | 25,6 | 53,6 |
| 0,72 | 0,59 | 25,8 | 54,2 |
| 0,78 | 0,65 | 26,1 | 54,8 |
| 0,83 | 0,7 | 26,1 | 54,8 |

***Annexe14 : Taux de fixation des protéines du lactosérum acide en
fonction de la variation
des quantités de bentonite(brute et pure)***

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Bent. (g) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Tf (%) bb | 0 | 15.26 | 28.56 | 38.54 | 49.78 | 62 | 70.8 | 78.96 | 78.96 | 78.96 |
| Tf (%) bp | 0 | 23.18 | 46.14 | 64.28 | 84.57 | 84.57 | 84.57 | 84.57 | 84.57 | 84.57 |

***Annexe15: Taux de fixation des protéines du lactosérum fixée en
fonction de la variation
du temps de contact***

| | | | | | | | | | |
|-----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t (mn) | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 20 |
| Tf (%) bb | 0 | 29.84 | 41.58 | 52.19 | 63.27 | 79.28 | 79.28 | 79.28 | 79.28 |
| Tf (%) bp | 0 | 32.16 | 51.2 | 63.48 | 78.95 | 85.42 | 85.42 | 85.42 | 85.42 |

***Annexe16: Taux de fixation des protéines du lactosérum acide en
fonction de la variation
du température***

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T (°C) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| Tf (%) bb | 31.49 | 47.08 | 54.83 | 66.39 | 79.84 | 79.84 | 79.84 | 79.84 |
| Tf (%) bp | 38.17 | 52.95 | 63.19 | 76.41 | 85.62 | 85.62 | 85.62 | 85.62 |

Annexe17: Quantité des protéines du lactosérum acide adsorbés par la bentonite brute en fonction de leurs concentrations initiales à pH=5 et 8

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ci (g/l) | 0 | 0.45 | 0.73 | 0.97 | 1.46 | 1.75 | 1.94 | 2.08 | 2.19 | 2.26 | 2.33 | 2.43 | 2.49 |
| Cf (g/l) pH=5 | 0 | 0.22 | 0.47 | 0.67 | 1.12 | 1.36 | 1.46 | 1.52 | 1.54 | 1.57 | 1.58 | 1.61 | 1.61 |
| Cf (g/l) pH=8 | 0 | 0.26 | 0.51 | 0.72 | 1.17 | 1.42 | 1.54 | 1.59 | 1.61 | 1.63 | 1.65 | 1.67 | 1.67 |

Annexe18: Quantité des protéines du lactosérum acide adsorbés par la bentonite pure en fonction de leurs concentrations initiales à pH=5 et 8.

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ci (g/l) | 0 | 0.45 | 0.73 | 0.97 | 1.46 | 1.75 | 1.94 | 2.08 | 2.19 | 2.26 | 2.33 | 2.43 | 2.49 |
| Cf (g/l) pH=5 | 0 | 0.24 | 0.49 | 0.7 | 1.15 | 1.39 | 1.5 | 1.56 | 1.58 | 1.6 | 1.61 | 1.64 | 1.64 |
| Cf (g/l) pH=8 | 0 | 0.31 | 0.57 | 0.78 | 1.19 | 1.46 | 1.6 | 1.67 | 1.69 | 1.71 | 1.73 | 1.75 | 1.75 |

Annexe19: Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite brute

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ci (g/l) | 0.45 | 0.73 | 0.97 | 1.46 | 1.75 | 1.94 | 2.08 | 2.19 | 2.26 | 2.33 | 2.43 | 2.49 |
| Tf Bb pH=5 | 48.52 | 64.38 | 69.07 | 76.71 | 77.11 | 75.26 | 73.08 | 70.32 | 69.47 | 67.81 | 66.26 | 64.66 |
| Tf Bb pH=8 | 57.78 | 69.86 | 74.23 | 80.14 | 81.14 | 79.52 | 76.44 | 73.52 | 72.12 | 70.82 | 68.72 | 67.07 |

Annexe20: Taux de fixation des protéines du lactosérum doux par la bentonite pure en fonction de leur concentrations initiales à pH=5 et 8

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ci (g/l) | 0.45 | 0.73 | 0.97 | 1.46 | 1.75 | 1.94 | 2.08 | 2.19 | 2.26 | 2.33 | 2.43 | 2.49 |
| Tf Bp pH=5 | 53.33 | 67.12 | 72.16 | 78.77 | 79.43 | 77.32 | 75 | 72.15 | 70.8 | 69.1 | 67.49 | 65.86 |
| Tf Bp pH=8 | 68.89 | 78.08 | 80.41 | 81.56 | 83.43 | 82.47 | 80.29 | 77.17 | 75.66 | 74.25 | 72.02 | 70.28 |

Annexe21: Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure) à Ph=5

| Ceq bent. Brute | Ceq bent.pure | x/m bent. brute | x/m bent. pure |
|-----------------|---------------|-----------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.23 | 0.21 | 2.2 | 6 |
| 0.26 | 0.24 | 4.7 | 12.25 |
| 0.30 | 0.27 | 6.7 | 17.5 |
| 0.34 | 0.31 | 11.2 | 28.75 |
| 0.39 | 0.36 | 13.6 | 34.75 |
| 0.48 | 0.44 | 14.6 | 37.5 |
| 0.56 | 0.52 | 15.2 | 39 |
| 0.65 | 0.61 | 15.4 | 39.5 |
| 0.69 | 0.66 | 15.7 | 40 |
| 0.75 | 0.72 | 15.8 | 40.25 |
| 0.82 | 0.79 | 16.1 | 41 |
| 0.88 | 0.85 | 16.1 | 41 |

Annexe22: Isotherme d'adsorption des protéines du lactosérum acide par la bentonite (brute et pure) à Ph=8

| Ceq bent. Brute | Ceq Bent. pure | x/m bent. pure | x/m bent. Pure |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.19 | 0.14 | 2.6 | 7.75 |
| 0.22 | 0.16 | 5.1 | 14.25 |
| 0.25 | 0.19 | 7.2 | 19.5 |
| 0.29 | 0.27 | 11.7 | 29.75 |
| 0.33 | 0.29 | 14.2 | 36.5 |
| 0.40 | 0.34 | 15.4 | 40 |
| 0.49 | 0.41 | 15.9 | 41.75 |
| 0.58 | 0.50 | 16.1 | 42.25 |
| 0.63 | 0.55 | 16.3 | 42.75 |
| 0.68 | 0.60 | 16.5 | 43.25 |
| .076 | 0.68 | 16.7 | 43.75 |
| 0.82 | 0.74 | 16.7 | 43.75 |

