

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU  
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES  
AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE-MICROBIOLOGIE



## MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Master des sciences alimentaires.

Option : Biochimie de la Nutrition.

### THEME

*Essai de caractérisation physico-chimique et  
électrophorétique des protéines du lait de femme,  
comparaison avec le lait de chamelle et le lait de vache*

Par M<sup>lle</sup> HAMITOUCHE MELISSA

Soutenu le : 15 / 07/2018

Devant le jury composé de :

Président : M<sup>r</sup> SEBBANE H.

M.A.C.A à l'UMMTO

Promotrice : M<sup>me</sup> GHEZALI-SENOUSSI C.

M..A.C.A à l'UMMTO

Examinatrice : M<sup>me</sup> OULARABI-SENANI N.

M.A.C.A à l'UMMTO

Examinatrice : M<sup>me</sup> SEBBANE-ALMI D.

M.A.C.A à l'UMMTO

Année universitaire : 2017-2018

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU  
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES  
AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE-MICROBIOLOGIE



## MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Master des sciences alimentaires.

Option : Biochimie de la Nutrition.

### THEME

*Essai de caractérisation physico-chimique et  
électrophorétique des protéines du lait de femme,  
comparaison avec le lait de chamelle et le lait de vache*

Par M<sup>lle</sup> HAMITOUCHE MELISSA

Soutenu le : 15 / 07/2018

Devant le jury composé de :

Président : M<sup>r</sup> SEBBANE H.

M.A.C.A à l'UMMTO

Promotrice : M<sup>me</sup> GHEZALI-SENOUSSI C.

M..A.C.A à l'UMMTO


Examinatrice : M<sup>me</sup> OULARABI-SENANI N.

M.A.C.A à l'UMMTO

Examinatrice : M<sup>me</sup> SEBBANE-ALMI D.

M.A.C.A à l'UMMTO

Année universitaire : 2017-2018



*Je dédie ce travail à mes grands parents maternels  
FAZIA et LOUENES MEFIDENE puis ce que c'est tout  
d'abord à travers votre éducation que j'ai acquis  
cette volonté de réussir.*

*A ma mère pour tous les sacrifices que tu as  
faits pour nous. C'est bien grâce à toi que je  
suis arrivée ici.*

*A mes sœurs Schanou et Anoushka, pour  
lesquelles j'espère inspirer un bon exemple à  
travers mon modeste parcours.*

*A mon frère Samy, pour qui je souhaite  
d'aller au bout de ces rêves et de vivre de  
sa passion.*

MELISSA

## Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord au **DIEU** tout puissant et à mes parents.

Puis au président de jury **M<sup>R</sup> SEBBANE**,

D'avoir accepté de présider ce jury mais pas que, aussi pour le travail sincère que vous faite.  
Veuillez croire en ma reconnaissance et mon respect.

A ma promotrice **M<sup>me</sup> SENOUSSIC** et a ma copromotrice **M<sup>me</sup> SENANI - OULARABIN**,

Pour votre aide précieuse au long de ce travail. Pour la compétence et la patience dont vous faites preuve avec chacun de vos étudiants et dont j'ai pu être le témoin. Je vous en suis reconnaissante.

A **M<sup>me</sup> ALMI.D**,

D'avoir accepté de faire partie de ce jury. De vos conseils et de votre professionnalisme au cours de mon stage en laboratoire. Veuillez trouver ici l'expression de ma respectueuse considération.

A tous les enseignants du département **BMC** dont **M<sup>R</sup> YEZID** et **M<sup>me</sup> ISSELNANE** et a tous les ingénieurs du laboratoire biochimie,

D'avoir été disponibles et de m'avoir prodigué de précieux conseils et un apprentissage de qualité tout au long de mon cursus et de ce travail. Je vous prie d'agréer toute ma gratitude.

A tous ceux qui ont pu participer de prêt ou de loin a ce modeste travail chacun son nom, veuillez croire mes chers amis en ma sincère considération.

A tous ceux que je n'ai pas cité mais qui restent tout de même cher à mes yeux pour chaque sourire et chaque mot réconfortant mille fois merci.

Enfin aux mamans qui ont bien voulu me procurer du lait, que dieu bénisse vos enfants



# SOMMAIRE

	<b>Page</b>
<b>Liste des abréviations</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Introduction</b>	<b>01</b>
<b>1. Synthèse des données bibliographiques</b>	<b>02</b>
1.1. Données générales sur l'allaitement	<b>02</b>
1.1.1. L'allaitement maternel dans le monde et en Algérie	<b>02</b>
1.1.2. Définition de l'allaitement et de la lactation	<b>02</b>
1.1.3. Mécanisme d'éjection du lait chez la femme	<b>03</b>
1.2. Le lait	<b>05</b>
1.2.1. Définition	<b>05</b>
1.2.2. Caractéristiques physicochimiques du lait	<b>05</b>
1.2.3. Composition du lait	<b>05</b>
1.2.4. Caractéristiques nutritionnelles du lait	<b>06</b>
1.2.4.1. Eau	<b>07</b>
1.2.4.2. Glucides	<b>07</b>
1.2.4.3. Matière grasse et acides gras essentiels	<b>07</b>
1.2.4.4. Protéines et acides aminés essentiels	<b>08</b>
1.2.4.5. Vitamines	<b>11</b>
1.2.4.6. Minéraux	<b>13</b>
1.3. Les protéines du lait	<b>14</b>
1.3.1. Les caséines	<b>15</b>
1.3.2. Les protéines sériques	<b>17</b>

<b>2. Materiel et méthodes</b>	<b>21</b>
2.1. Meteriel	21
2.1.1. Matière première	21
2.1.2. Produits chimiques	21
2.1.3. Materiel biologique	21
2.1.4. Appareillage	21
2.2. Méthodes	22
2.2.1. Collecte du lait	22
2.2.2. Détermination des Paramètres physicochimiques du lait	22
2.2.2.1. Mesure du pH	22
2.2.2.2. Mesure de l'acidité titrable	22
2.2.2.3. Détermination de la densité	23
2.2.2.4. Détermination de l'extrait sec total	23
2.2.2.5. Détermination de la teneur en proteines	23
2.2.3. Isolement des proteines sériques	24
2.2.4. Caractérisation électrophorétique des proteines sériques et des caséines	26
2.2.4.1. Principe de l'électrophorèse	26
2.2.4.2. Eléctrophorèse en milieu non dissociant et non dénaturant (PAGE-native)	27
2.2.4.3. Eléctrophorèse en milieu dissociant en présence d'urée (PAGE-urée)	27
2.2.4.4. Eléctrophorèse en milieu dissociant et dénaturant en présence de SDS et de 2-mercaptoéthanol (PAGE-SDS)	27
2.2.5. Etude de la sensibilité à l'hydrolyse enzymatique par la chymothrypsine	29
<b>3. Résultats et discussion</b>	<b>30</b>
3.1. Résulatas des analyses physicochimiques	30
3.1.1. Le pH	30
3.1.2. Acidité Dornic	31
3.1.3. Densité	32
3.1.4. Extrait sec total	33
3.2. Teneur en proteines	33

3.2.1. Teneur en proteines totales	<b>33</b>
3.2.2. Teneur en proteines sériques et en caseines	<b>34</b>
3.3. Comportement électrophorétique des caseines et des proteines sériques dans différentes conditions	<b>34</b>
3.3.1. Caractérisation électrophorétique des caseines	<b>34</b>
3.3.2. Caractérisation électrophorétique des proteines sériques	<b>37</b>
3.4. Etude de la sensibilité des proteines sériques et des caséines à l'hydrlyse par la chymotryprine	<b>41</b>
Conclusion	<b>43</b>
<b>Références bibliographiques</b>	

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

<b>aa</b>	Acide arachidonique
<b>AGPI</b>	acide gras polyinsaturé
<b><math>\alpha</math>-La</b>	$\alpha$ - Lactalbumine
<b><math>\alpha</math>1-CN</b>	Caséine $\alpha$ 1
<b><math>\alpha</math>2- CN</b>	Caséine $\alpha$ 2
<b><math>\beta</math>-CN</b>	Caséine- $\beta$
<b><math>\beta</math>-Lg</b>	$\beta$ -Lactoglobuline
<b>BSA</b>	Albumine sérique bovine
<b>CGBF</b>	Clostric basic growth factor
<b>DHA</b>	acide docoséanoïque
<b>EST</b>	Extrait sec totale
<b>Igs</b>	Immunoglobulines
<b><math>\kappa</math>-CN</b>	Caséine kappa
<b>L</b>	Etat physique liquide
<b>MG</b>	Matiere grasse
<b>N-3</b>	acide gras serie 3
<b>N-6</b>	acide gras serie 6
<b>PAGE</b>	Electrophorèse sur gel de polyacrylamide
<b>PP3</b>	Composant-3 des protéoses-peptones
<b>PS</b>	Protéines sériques
<b>PT</b>	Protéines totale
<b>SDS</b>	Dodecyl sulfate de sodium
<b>S</b>	Etat physique solide
<b>T %</b>	% d'acrylamide et de bis acrylamide dans un volume V de tampon
<b>TCA</b>	Acide trichloracétique
<b>TEMED</b>	N, N, N, N –tetraméthyl-éthylène diamine
<b>Tris</b>	Tris-hydroxy-méthyl-amino-méthane

## LISTE DES FIGURES

N°	Titres	Pages
<b>01</b>	mécanisme d'éjection du lait chez la femme.	04
<b>02</b>	Représentation SCHMIDT (1980) d'une micelle de caséine et d'une sous micelle de caséine adapté de Tetra Park Processing Système, 1995.	16
<b>03</b>	Séquence primaire de $\alpha$ -lactalbumine du lait humain (Homo sapiens), bovin (Bos taurus) et camelin (Camelus dromedarius).(NCBI)	19
<b>04</b>	Courbe étalon du dosage de protéines par la méthode de LOWRY <i>et al.</i> (1951)	24
<b>05</b>	Etapas de séparation des fractions protéiques	25
<b>06</b>	Processus de polymérisation du gel d'acrylamide en présence du persulfate d'ammonium et du TEMED.	26
<b>07</b>	structure du dodecylsulfate de sodium (SDS)	28
<b>08</b>	Courbe de calibration du gel de séparation en PAGE-SDS	28
<b>09</b>	Profil électrophorétique des caséines camelines, bovines et humaines PAGE -urée	35
<b>10</b>	Eléctrophorègramme en PAGE-SDS des caséines humaines, bovines et camelines.	36
<b>11</b>	Profil électrophorétique des protéines sériques en PAGE native	37
<b>12</b>	Profil électrophorétique des protéines sériques du lait des différentes espèces en PAGE SDS	39
<b>13</b>	Profil électrophorétique en PAGE-SDS des hydrolysats libérés après l'action de la chymotrypsine	41

## LISTE DES TABLEAUX

<b>N°</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>I</b>	Caractéristiques physico-chimiques du lait de femme, lait de chamelle et lait de vache.	5
<b>II</b>	Synthèse de la composition globale du lait de différents mammifères en g.100 g <sup>-1</sup> de lait	6
<b>III</b>	Composition en acides gras saturés, mono saturés et polyinsaturé des laits de femme, chamelle, et vache exprimé en %	9
<b>IV</b>	Teneur en vitamines (µg/100ml) dans le lait de différentes espèces mentionnée dans la littérature	13
<b>V</b>	Teneur en éléments inorganiques (mg/100g) dans le lait de différentes espèces.	15
<b>VI</b>	Résultats des analyses physico-chimiques du lait de femme, de chamelle et de vache.	31
<b>VII</b>	Teneur des différentes fractions protéiques dans les échantillons de lait étudiés.	34
<b>VIII</b>	Comparaison des masses moléculaires des caséines bovines, camelines et humaines mesurées (kDa) avec celles rapportées par la bibliographie.	38
<b>IX</b>	Comparaison des masses moléculaires des séroprotéines bovines, camelines et humaines mesurées (kDa) avec celles rapportées par la bibliographie	40

## **Résumé**

Notre étude consiste à caractériser et à comparer le lait de femme au lait de chamelle connue pour ses nombreuses vertus par rapport au lait de vache représentant le lait de référence.

L'objectif de ce travail est de démontrer la possibilité de l'utilisation du lait de chamelle comme substitut au lait maternelle et donc à l'allaitement en générale, dont la pratique ne cesse de régresser.

Cette étude comporte une analyse physico-chimique de trois échantillons de lait ; le lait de femme, le lait de chamelle, et le lait de vache; ainsi qu'une analyse qualitative, portée sur les protéines sériques et les caséines des trois espèces, par des techniques électrophorétique dans différentes conditions. Et enfin, une hydrolyse enzymatique a été effectuée afin de comparer la digestion des différents laits par les enzymes protéolytiques.

Cette étude a montré des similarités d'un point de vue qualitatif entre le lait de femme et le lait de chamelle mais aussi une singularité au niveau quantitatif de chacun des trois laits étudiés.

**Mots clés :** allaitement / digestion / lait / substitut.

## **Abstract**

This study consists in characterising and comparing the breast's milk to camel's milk known for its virtues, also to cow's milk as a reference one.

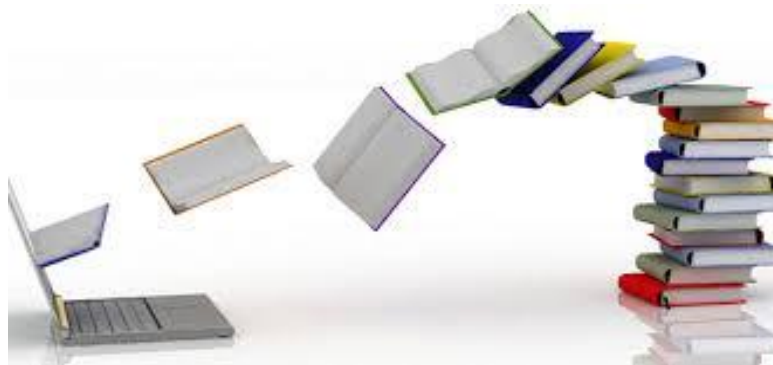
The aim of this work is to determine that the camel's milk can constitute an interesting substitute for the breast feeding which is on a perpetuate regression.

This study includes a physic-chemical analysis of three samples of human's milk, camel, and cow's milk from three different invidious; a quantitative analysis carried on serum proteins and casein of the different species, by appropriate electrophoresis techniques. And finally, an enzymatic hydrolysis have been realised in order to compare digestion of the different milk's samples by the photolytic enzymes.

This study showed qualitatively similarities between women's milk and camel's milk but also, a quantitative uniqueness of each of the three milks studied.

**Key words:** breast feeding / digestion / milk / substitute.

## **Synthèse des données bibliographiques**



## INTRODUCTION

La place du lait en nutrition humaine n'est pas le fruit du hasard. Dans le cadre d'une alimentation équilibrée, celui-ci peut être une source importante d'énergie alimentaire, de vitamines, de minéraux, de protéines, ainsi que de lipides. L'homme a d'ailleurs toujours été nourri dès sa naissance au lait maternel. Ensuite un lait animal vient prendre place dans son alimentation.

Le lait de chamelle est l'une des plus précieuses ressources du Sahara. Il représente un aliment complet pour la population nomade, il ressemble un peu à celui de la vache, mais il a une similitude parfaite à celui de la femme (**LASNAMI, 1986**).

De ce fait nous nous sommes proposé de réaliser ce travail qui vise à caractériser le lait maternel et à le comparer au lait de chamelle et au lait de vache qui est un lait de référence du fait qu'il soit d'une part produit et consommé en grande quantité (90 % mondialement et 70 % en pays tropicaux) (**FAO, 1990**) et d'autre part au grand nombre de travaux qui lui sont consacrés.

-La présente étude s'articule autour de trois (03) volets :

- Détermination de quelques propriétés physico-chimiques du lait de femme, du lait de vache, et du lait de chamelle ;
- Caractérisation électrophorétique de la composante protéique de ces laits ;
- étude de la sensibilité des protéines sériques et des caséines à l'hydrolyse par la chymotrypsine.

## **1. Synthèse des données bibliographiques**

### **1. Données générales sur l'allaitement**

#### **1.1.1. L'allaitement maternel dans le monde et en Algérie**

L'allaitement maternel a constitué depuis toujours le mode alimentaire naturel et, jusqu'à récemment, quasi exclusif des nouveau-nés et nourrissons. Avec le XXe siècle, l'alimentation artificielle, basée essentiellement mais non exclusivement sur l'emploi du lait de vache, a pris un réel essor dans les pays industrialisés où ce changement de comportement a répondu à un besoin social (**VIS et HENNART, 1978**). Pourtant l'OMS affirme que si l'allaitement au sein devenait une pratique quasiment universelle, on sauverait près de 820 000 vies d'enfants chaque année. Aujourd'hui, seulement 40% des nourrissons de moins de six mois sont allaités exclusivement au sein.

Selon une enquête réalisée en 2009 par l'Institut national de la santé publique (INSP) et citée dans le journal numérique de LIBERTE en 2014, l'allaitement, en Algérie, est aussi en déclin avec uniquement 12% des mamans algériennes qui procèdent à cette pratique et ceci exclusivement pendant les six premiers mois.

L'association des pédiatres privés d'Alger a effectué à son tour en septembre 2013, une enquête sur le même objet, qui a porté le taux à 29%. Même avec une remontée, l'allaitement maternel demeure faible en Algérie, comparativement avec la moyenne mondiale qui avoisine les 40%. Dans le détail, il ressort que 60% des Algériennes allaitent jusqu'à un mois, 47% jusqu'à trois mois, 10% jusqu'à 9 mois et moins de 5% pendant toute une année (**Anonyme, 2014**).

#### **1.1.2. Définition de l'allaitement et de la lactation**

**PIERRE-ISAAC DROUHET (1814)** lors de son travail sur la lactation et les divers modes d'allaitement souligne l'existence d'un amalgame lorsqu'on parle de lactation et d'allaitement. «Il ne faut surtout pas confondre entre les deux pratiques. La première peut être considérée comme le principe dont la seconde est la conséquence nécessaire. En effet la lactation peut avoir lieu sans être rigoureusement suivie de l'allaitement, mais ce dernier ne peut s'exercer sans avoir été précédé de lactation». La lactation selon lui n'est donc autre chose que des phénomènes qui président à la sécrétion ou la formation du lait

### **1.1.3.Mécanisme d'éjection du lait chez la femme**

Le lait est fabriqué continuellement, dans la mamelle chez les animaux mammifères et dans le sein chez la femme, par les cellules de l'épithélium mammaire. Il est sécrété dans les alvéoles, où il est stocké jusqu'à ce qu'il soit expulsé dans les canaux galactophores et vers le mamelon au cours de l'éjection.

Le contrôle de la synthèse, de la sécrétion et de l'éjection du lait est complexe et multifactoriel. Il implique deux niveaux de régulation, le premier est central, endocrine, l'autre est local, autocrine (Figure 01). Le contrôle endocrine s'exerce essentiellement par l'intermédiaire de la prolactine pour la sécrétion, et de l'ocytocine pour l'éjection.

La prolactine est sécrétée par l'antéhypophyse et stimule la synthèse de lait. La succion de l'enfant entraîne une stimulation des récepteurs sensitifs de l'aréole, qui envoient une information au niveau de l'hypothalamus avec déclenchement des pics de prolactine qui se surimposent au taux sérique de base très élevé à l'accouchement.

L'ocytocine est une hormone psychosomatique sécrétée par l'hypophyse postérieure et permet l'éjection du lait. En effet, le lait a tendance à adhérer aux membranes plasmiques et il y a des forces de tension superficielle qui s'opposent à son écoulement dans les plus petits canaux galactophores. L'ocytocine déclenche le réflexe d'éjection, en agissant sur les récepteurs des cellules myoépithéliales dont elle provoque la contraction: le lait est propulsé des alvéoles vers les canaux et les sinus lactifères d'où il peut être extrait (**CIBAUD-LE TURDU, 2011**).

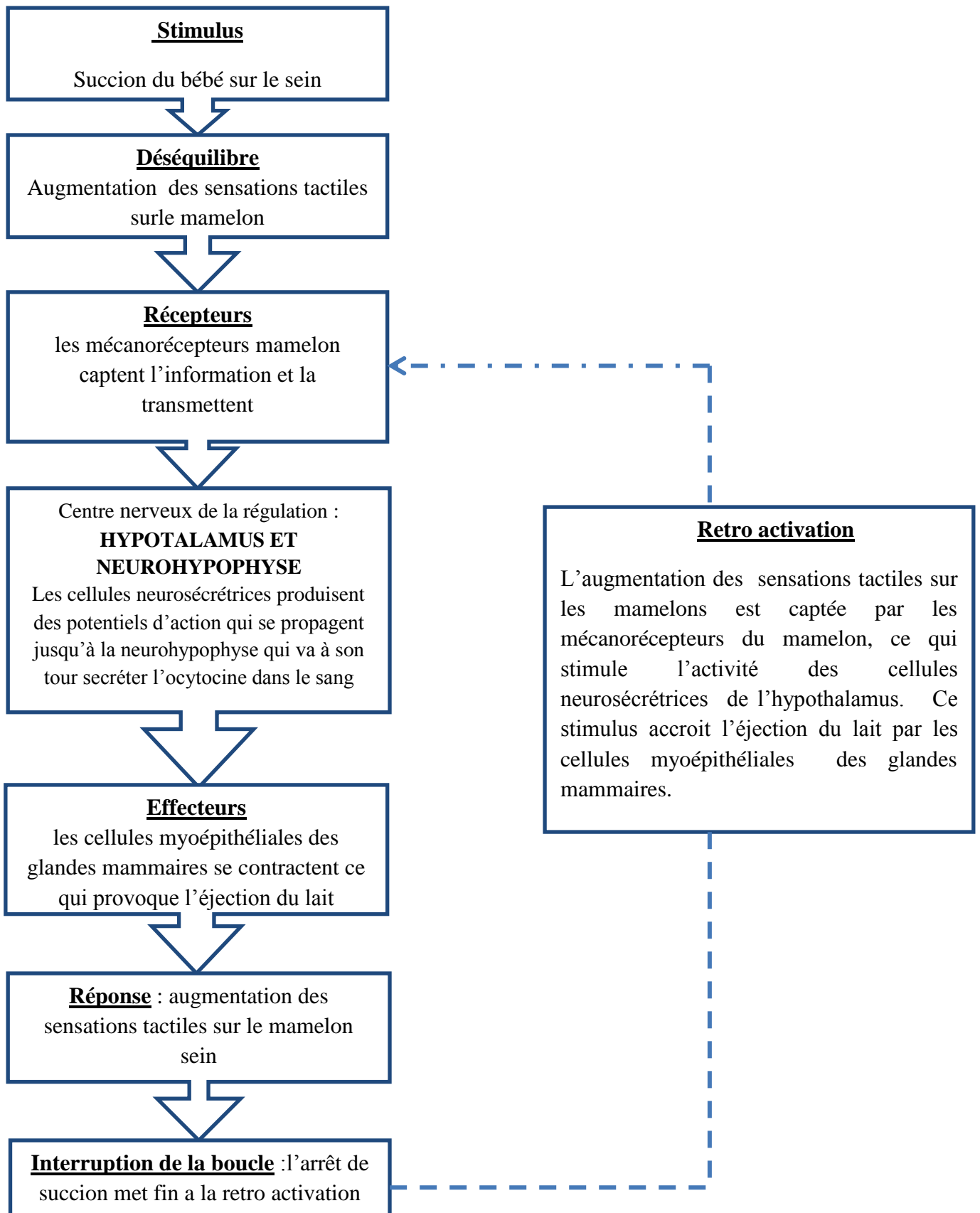


Figure 01 : mécanisme d'éjection du lait chez la femme (TORTORA et DERRICKSON, 2016).

## 1.2. Le lait

### 1.2.1. Définition

Selon la définition adoptée lors du premier congrès international de répression des fraudes tenu à Genève en 1908 (Grande Encyclopédie Larousse) : le lait de consommation humaine est considéré comme étant le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée, il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum.

### 1.2.2. Caractéristiques physico-chimiques du lait

Les caractéristiques physico-chimiques du lait englobe le pH, l'acidité titrable et la densité (tableau I).

**Tableau I: Caractéristiques physico-chimiques du lait de femme (LENTNER, 1981), lait de chamelle et lait de vache (KAMOUN, 1995).**

Caractéristiques	Lait de femme	Lait de chamelle	Lait de vache
pH a 20° c	7,01	6,51	6,65
Acidité titrable°D	-	15,6	16
Densité a 20°	1,031	1,028	1,032

Le pH du lait de femme est relativement plus haut que celui du lait de chamelle et le lait de vache. Quant aux valeurs de la densité rapportées, nous remarquons qu'en moyenne la densité de chamelle est plus basse que celle des autres laits étudiées. Toutefois, ces valeurs dépendent de certains facteurs, tels que le rang et le stade de lactation, la race, le type d'élevage, la saison de lactation. Cependant, l'alimentation reste le facteur le plus déterminant (MEHAIA *et al.*, 1995 ; WANGOH *et al.*, 1998).

### 1.2.3. Composition du lait

Le lait est constitué de quatre phases qui sont en suspension les unes avec les autres (FREDOT, 2006) :

- Une phase grasse ou lipidique sous forme d'une émulsion de matière grasse constituée de globules gras et de vitamines liposolubles (A et D) ;
- Une phase colloïdale constituée de caséines en suspension sous forme de micelles ;

- **Une phase aqueuse** appelé lactosérum qui contient des constituants soluble du lait (protéines solubles, lactose, vitamine B, sels minéraux, azote non protéique) ;

- **Une phase gazeuse** composée d'O<sub>2</sub>, N et de CO<sub>2</sub> qui représente environ 5% du volume du lait.

Ces composants varient selon plusieurs facteurs. Ceux-là peuvent être des facteurs intrinsèques liés à l'animal tels que les facteurs génétiques (race, individu) et physiologiques (âge, numéro de lactation, stade de lactation, niveau de production) ainsi que l'état sanitaire de l'animal (maladie). Comme ils varient à cause de facteurs extrinsèques, qui sont des facteurs dépendant l'un de l'autre liés au milieu dont l'alimentation et le climat (BIANCHI *et al.*, 1999).

Néanmoins le tableau II montre que la composition chimique du lait est essentiellement la même chez tous les mammifères. Par contre si l'on compare la composition quantitative du lait de femme au lait de vache et de chamelle, on s'aperçoit que ces deux derniers sont plus riches en protéines et en sels minéraux que le lait maternel, tandis que le lait de femme est plus riche en lactose.

**Tableau II : Synthèse de la composition globale du lait de différents mammifères en g.100 g<sup>-1</sup> de lait (JHONSEN *et al.*, 1972 ; ALAIS, 1984 ; LUQUET, 1985 ; BELITZ *et GROSCHÉ*, 1987, in Les produits laitiers (2e ed.))**

<b>Lait</b>	<b>EST</b>	<b>Protéines</b>	<b>MG</b>	<b>Lactose</b>	<b>Cendres</b>
<b>Femme</b>	12,6	1,6 – 1,2	3,75	6 – 7	0,21
<b>Vache</b>	13,0	3,2	3,9	4,9 ( 4 - 6 )	0,9
<b>Brebis</b>	18,4	5,5	7,19	4,7	0,9
<b>Chevre</b>	-	2,8	3,38	4,4 – 4,7	0,5 – 0,8
<b>Jument</b>	-	2,0	-	-	0,4
<b>Chamelle</b>	12,4	3,0	5,38	3,3	0,7

EST: extrait sec total ; MG: matière grasse

#### **1.2.4. Caractéristiques nutritionnelles du lait**

Chaque lait issu d'une espèce laitière apporte ce qu'il faut pour un niveau adéquat de croissance et de développement uniquement au petit de cette espèce. Le lait humain est par conséquent, meilleur pour le nourrisson que ne l'est le lait de vache ou tout autre produit

laitier. De plus il contient de nombreux facteurs de défense immunitaire et protecteurs de l'allergie. (FAO, 2001).

#### **1.2.4.1.Eau**

Tous les laits sont majoritairement constitués d'eau: le lait maternel et le lait de vache contiennent respectivement 87,5% (CAMUS et RIGOURD, 2017) et 87,7% d'eau. En revanche, l'eau atteint une teneur de 86% dans le lait de chamelle à régime riche en eau et 91% dans le lait de chamelle à régime déficient. En effet chez ce dernier la teneur en eau varie selon son apport dans l'alimentation. Cette dilution constitue un mécanisme d'adaptation naturelle afin d'assurer les besoins du chamelon (YAGIL et ETZION, 1980).

#### **1.2.4.2.Glucides**

Globalement le lait maternel mature contient 75g/l de glucide dont 63g de lactose et 12g d'oligosaccharides (BEAUFRERE *et al.*, 2000). Il reste également le sucre majoritaire chez la vache et la chamelle. Cependant l'originalité du lait maternel tient des oligosaccharides qui le constituent et qui sont quasiment absent dans le lait de vache. Ce sont cinq sucre élémentaires (glucose, galactose, N-acetylglucosamine, fucose, acide sialique) de structure ramifiées et non digestible au niveau de l'intestin grêle mise à part l'acide sialique. Ces oligosaccharides jouent un rôle dans la mise en place de l'écosystème bactérien colique, dans la protection vis-à-vis des infections digestives mais aussi extra digestives (KUNZ *et al.*, 2000).

#### **1.2.4.3.Matière grasse et acides gras essentiels**

La matière grasse du lait est considérée comme une source d'énergie, solvant pour les vitamines liposolubles et comme source d'acides gras essentiels.

Le lait de femme contient des acides gras polyinsaturés AGPI, acides gras essentiels, en particulier acide arachidonique (Aa : 0,46g / 100g d'AG) dans la série linoléique (n-6) et acide docosahexanoïque (DHA : 0,25g/100g d'acide gras) dans la série  $\alpha$ -linoléique (n-3). Cette teneur dépend des apports alimentaires de la femme allaitante (HEIRB, 2000). L'Aa et le DHA ont un rôle démontré dans les processus de maturation cérébrale et rétinien. De même le lait de chamelle est caractérisée par une teneur élevée en acides gras insaturés (de l'ordre de 43%), en particulier les acides gras essentiels (HADDADIN *et al.*, 2008 ; AL HAJ et AIKANHAL, 2010). La matière grasse du lait bovin est, cependant, caractérisée par sa

teneur élevée en acides gras saturés à courtes chaînes (C4) (69,9% versus 66,1% et 67,7%) (**GORBAN et IZZELDIN, 2001 ; KONUSPAYEVA *et al.*, 2008; AL HAJ et AL KANHAL, 2010**).

#### **1.2.4.4. Protéines et acides aminés essentiels**

Il est clair que, quelle que soit l'espèce animale, le lait est une source riche en protéines et en acides aminés essentiels. Cependant la teneur en ces éléments n'est pas égale ainsi est de même pour leur digestibilité. En effet les concentrations élevées en  $\beta$ -CN sont considérées comme étant la raison de la bonne digestibilité du lait (en l'occurrence du lait camelin) et comme étant le responsable de la diminution des allergies infantiles (**EL AGAMY *et al.*, 2009**).

En ce qui concerne les acides aminés, les écarts de teneur entre le lait de différents mammifères (Annexe I) semblent en grande partie être liés à des différences dans la teneur totale en protéines (**GUO *et al.*, 2007**). De plus, la composition du lait est évolutive étant donné que le poids corporel, la composition corporelle, le taux de croissance et le volume de lait ingérés changent avec l'âge, les besoins en acides aminés et en protéines varient également selon les différentes étapes de la lactation.

Contrairement à la composition totale en acides aminés, qui est en substance similaire dans le lait de vache et le lait maternel, la composition en acides aminés libres diffère entre les différents types de lait (**UNIACKE-LOWE, 2011**). La teneur en acides aminés libres du lait de vache et du lait maternel est respectivement de 578 et 3020  $\mu\text{mol/l}$  (**UNIACKE-LOWE *et al.*, 2010**). Les acides aminés libres sont absorbés plus facilement par rapport aux acides aminés liés aux protéines. Dans le lait maternel, l'acide glutamique, la glutamine et la taurine représentent environ 50 % des acides aminés libres. La glutamine et l'acide glutamique sont une source d'acide  $\alpha$ -cétoglutarique pour le cycle de l'acide citrique et agissent également comme neurotransmetteurs dans le cerveau (**AGOSTINI *et al.*, 2000**). La teneur en glutamine libre et en acide glutamique libre est respectivement d'environ 285 et 1184  $\mu\text{mol/l}$  dans le lait maternel et 12 et 117  $\mu\text{mol/l}$  dans le lait de vache (**UNIACKE-LOWE *et al.*, 2010**).

**Tableau III : Composition en acides gras saturés, mono insaturés et polyinsaturés des laits de femme, chamelle, et de vache exprimée en (%) selon différents auteurs.**

Catégories	Non commun	Formule abrégée	%des acides gras totaux				Lait de vache	Etat physique à 20°C
			Lait matern el	Lait de chamelle				
			JENSE N , 1989	SAWAYA et al,1984	ABU-LEHI A, 1989	FARA H et al, 1989		
Acides gras saturés	Butyrique	C <sub>4</sub> =0	--	<0,1	--	0,6	3-4	L
	Caproïque	C <sub>6</sub> =0	--	0,2	--	0,4	2-5	L
	Caprylique	C <sub>8</sub> =0	--	0,2	0,1	0,2	1-1,5	S/L
	Caprique	C <sub>10</sub> =0	1,4	0,2	0,1	0,9	2,0	S
	Laurique	C <sub>12</sub> =0	6,2	0,9	0,7	0,8	3,0	S
	Myristique	C <sub>14</sub> =0	7,8	11,4	10,1	12,5	11,0	S
	Palmitique	C <sub>16</sub> =0	22,1	26,7	26,6	31,5	25-30	S
	Stéarique	C <sub>18</sub> =0	6,7	11,1	12,2	12,5	12,0	S
	Archidique	C <sub>20</sub> =0	--	0,6	0,6	1,03	0,2	S
	Béhénique	C <sub>22</sub> =0	--	0,2	0,08	--	--	--
	Lignocérique	C <sub>24</sub> =0	--	0,1	--	--	--	--
Acides gras monoinsaturés	Laurooléique	C <sub>12</sub> =1	--	0,1	--	--	--	--
	Myristoléique	C <sub>14</sub> =1	0,3	1,6	1,9	1,1	--	--
	Palmitoléique	C <sub>16</sub> =1	3,1	11	10,4	9,4	2,0	L
	Oléique	C <sub>18</sub> =1	35,5	25,5	26,3	19,1	23	L/S
graspolyins saturés	Linoléique	C <sub>18</sub> =2	8,9	3,6	2,9	3,4	2,0	L
	Linoléinique	C <sub>18</sub> =3	1,0	3,5	1,4	1,4	0,5	L
	Archidonique	C <sub>20</sub> =4	0,7	0,4	--	--	0,3	L

La taurine au sens strict du terme n'est pas un acide aminé (en raison de l'absence d'un groupe carboxyle), mais est néanmoins classée comme un acide aminé. La taurine, qui peut être synthétisée dans le corps à partir de la cystéine et de la méthionine, joue un rôle de stabilisateur de membrane, de modulateur de croissance, et lors de la formation de sels biliaires qui facilitent l'absorption et la digestion des graisses. Il s'agit d'un composant « conditionnellement essentiel » pour, entre autres, les nourrissons et les jeunes enfants qui ne peuvent produire de la taurine eux-mêmes. Le lait maternel contient beaucoup plus de taurine (300 µmol/l) que le lait de vache (10 µmol/l) (**UNIACKE-LOWE *et al.*, 2010; PARK *et al.*, 2007**). Le lait de vache, d'autre part, contient plus de carnitine, un dipeptide de lysine et de méthionine qui joue un rôle dans le transport des acides gras, que le lait maternel (160-200 vs. 30-80 nmol/l) (**PARK, 2009**).

➤ **Propriété antimicrobienne du lait**

Les fonctions physiologiques possibles de la lactoferrine ont été examinées par **IYER ET LONNERDAL (1993)**. Il a été suggéré que la lactoferrine possède une activité bactériostatique, améliorer l'absorption du fer et stimuler la prolifération des muqueuses. La lactoferrine retient le fer des organismes envahisseurs par son affinité pour le fer.

Le peptide antimicrobien de la lactoferrine bovine s'est révélé plus actif que celui de la lactoferrine humaine (**BELLAMY *et al.*, 1992**). D'autres études sont nécessaires pour déterminer si la digestion de la lactoferrine humaine ou bovine *in vivo* génère de puissants peptides bactéricides en quantités suffisantes pour avoir une importance biologique pour les nouveau-nés. Toujours chez l'espèce humaine, l'hypothèse que la lactoferrine agit *in vivo* comme un facteur de croissance de l'intestin reste à être confirmée (**NICHOLS *et al.*, 1987, IYER et LONNERDAL, 1993**).

La lactoperoxydase est aussi une autre protéine présente naturellement dans le colostrum, dans le lait et dans différentes sécrétions humaines et animales (**CONNER *et al.*, 2002**) et qui contribue à la défense immunitaire et possède des activités anti tumorales (**KULA, 2016**).

Son activité bactéricide sur les bactéries à gram négatif est dû à la production de l'hydrothiocyanate (**RIBADEAU-DUMAS et GRAPPPIN, 1989 ; RIBADEAU-DUMAS, 1991**).

#### 1.2.4.5. Vitamines

La teneur en vitamine totale du lait en général est très variable et dépend du statut en vitamines de l'animal mère (AFSCA, 2011).

Les teneurs en vitamines (tableau II) sont en moyenne moins élevées dans le lait maternel que dans les autres types de lait, ce dernier contient peu de vitamine K ; la teneur en vitamine D est faible (20 UI ou 0,50 µg/litre) de même chez toutes les espèces animales considérées à l'exception du lait de chamelle (LAOUEDJ, 2014). Ce taux insuffisant nécessite des suppléments chez les nouveau-nés allaités exclusivement (TACKOEN, 2012).

La vitamine E du lait humain est constituée pour plus de 75% de l'isomère  $\alpha$ -tocophérol et s'y trouve à des taux de l'ordre de 2,5 mg/L (équivalent  $\alpha$ -tocophérol). Ces quantités suffisent à jouer pleinement le rôle d'antioxydant (FAO, 1995).

Le lait de chamelle se singularise par sa richesse relative en vitamines B3 (niacine) et en vitamine C (FARAH, 1992). Les teneurs signalées sont en moyenne 3 fois plus élevées que le lait de vache (FARAH *et al.*, 1992). Mais également plus élevées que celles présentes dans le lait maternel, qui ne dépassent pas 178 µg/100ml (UNIACKE-LOWE, 2011). Cette caractéristique permet au lait de cette espèce, par son apport important en cette vitamine, de répondre aux besoins nutritionnels, aussi bien du jeune chamelon que des populations locales, qui vivent dans un environnement où l'apport en ce type de vitamine est particulièrement limité (CHETHOUNA, 2011).

Quant au taux de vitamine A, il est beaucoup plus faible que celui du lait maternel, il en est de même de la teneur en vitamine B12 (SALAMON *et al.*, 2009).

Dans le lait de vache ce sont surtout les teneurs en riboflavine (B2) et en cobalamine (B12) qui sont pertinentes sur le plan nutritionnel pour les adultes (MITTAINE, 1962; CSAPO *et al.*, 1995 ; DOREAU et MARTIN-ROSSET, 2002).

**Tableau IV: Teneur en vitamines (µg/100ml) dans le lait de différentes espèces mentionnée dans la littérature**

<b>Vitamines</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>Acide pantothénique</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B9</b>	<b>B12</b>	<b>C</b>	<b>A/ β-carotène</b>	<b>D3</b>	<b>E</b>	<b>K</b>	<b>Références</b>
<b>Homme</b>	14- 17	20- 60	147- 178	184- 270	11- 14	0,4- 0,6	5,2- 16	0,03- 0,05	3500- 10000	30- 200	0,04- 0,1	300- 800	0,2- 1,5	<b>a, b, f, g, i</b>
<b>Vache</b>	28- 90	116- 202	50- 120	260- 490	30- 70	2-4	1-18	0,27- 0,7	300- 2300	17- 50	0,3	20- 184	1,1- 3,2	<b>A, b, c, d, e, f, h, i</b>
<b>Chameau</b>	10- 60	42- 168	400- 770	88- 368	50- 55	/	0,4	0,2	2400- 18400	5-97	0,3- 1,6	21- 150	/	<b>C, d, f, i, j</b>

**a** :UNIACKE-LOWE (2011); **b** : SALAMON *etal*(2009) ; **c** : FARAH *etal* (1992) ; **d** : MEDHAMMAR *etal*( 2012) ; **e**: MITTAINE,(1962) ; **f** : BARLOWSKA *etal*(2011) ; **g** : SALIMEI et FANTUZ (2012); **h** : CSAPO´*etal*(1995) ; **i** : EL-AGAMY, (2009) ; **j** :ALHADRAMI, (2002)

#### 1.2.4.6. Minéraux

Le lait humain contient beaucoup moins de minéraux que le lait camelin, ce qui, associé à une teneur également relativement faible en azote, permet de limiter la charge osmotique rénale à des valeurs beaucoup plus faibles pour le lait maternel (TACKOEN, 2012).

Le lait de ruminants, contient des teneurs élevées en Ca (Le taux de calcium du lait de chamelle est comparable à celui du lait de vache), alors que ces teneurs sont beaucoup plus faibles dans le lait maternel (BARLOWSKA *et al.*, 2011). Sachant que les concentrations en calcium, phosphore et magnésium sont étroitement régulées et indépendantes du statut maternel. Il y a 4 fois moins de calcium et 7 fois moins de phosphore dans le lait maternel que dans le lait camelin. Ces apports sont cependant suffisants. En effet, d'une part l'absorption du calcium du lait maternel est très élevée (60 % versus 25 % du calcium du lait de vache), et d'autre part le rapport calcium/phosphore y est meilleur (TACKOEN, 2012).

Le rapport calcium-phosphore du lait de chamelle serait plus favorable pour l'absorption de Ca que celui du lait de vache (EL-AGAMY, 2009; SALIMEI *et al.*, 2004; ANDERSON, 1991).

Le fer (Fe), dont la concentration dans le lait est faible par nature est présent dans le lait en combinaison avec diverses protéines telles que la lactoferrine, la transferrine et la ferrilactine. Dans le lait de chamelle, le fer (Fe), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu) sont principalement liés à la fraction caséine (10 %), à la phase aqueuse (1/3 dont 20 à 30 % lié à la lactoferrine) et aux graisses (1/3), tandis que, dans le lait maternel, ils sont liés à des protéines solubles ce qui permet d'avoir une meilleure absorption (BARLOWSKA *et al.*, 2011). Cependant, les quantités absorbées sont moindres que les besoins pour la croissance et, dès lors, les nouveau-nés sont dépendants de leurs réserves jusqu'à ce que le régime alimentaire s'enrichisse en fer (TACKOEN, 2012). Le zinc, dans le lait maternel, présente également un coefficient d'absorption élevé.

D'après AL-AWADI et STRIKUMAR(2001), le lait de chamelle est plus concentré en manganèse et en fer. Donc les concentrations de fer dans le lait maternel sont très faibles mais ce dernier a une biodisponibilité excellente. Le lait de femme est plus concentré en cuivre. Les concentrations en sélénium à leur tour sont comparables pour les deux laits.

Les concentrations en chlore, sodium et potassium sont très faibles quand la lactation est établie (TACKOEN, 2012).

Le tableau V récapitule la quantité de minéraux trouvée dans le lait des trois espèces traitées.

**Tableau V: Teneur en éléments inorganiques (mg/100g) dans le lait de différentes espèces.**

Minéraux	Ca	P	K	Mg	Na	Citrate	Cl	Fe	Zn	Cu	Réf
<b>Homme</b>	28-34	14-43	53-62	3-4	10-18	-	60-63	0,04-0,2	0,2-0,4	0,02-0,06	<b>a,e,f,h</b>
<b>Vache</b>	112-123	59-119	106-163	7-12	58	160-176,8	100-119	0,03-0,1	0,3-0,55	0,01-0,08	<b>a,c,d,e,o,i</b>
<b>Chamelle</b>	105-157	58-104	124-179	8-16	36-73	128-185	132-0,07-	0,37	0,19-0,6	0,01-0,19	<b>b,c,e,g,h,i</b>

**a** :PARK *etal.*(2007) ; **b** : ALHADRAMI (2002) ; **c** : MEDHAMMAR *etal.*(2012) ; **d** : MITTAINE (1962) ; **e** : BARLOWSKA *etal.*(2011) ; **f** : SALIMEI et FANTUZ(2012); **g** : ATTIA *etal.*(2001); **h** : SHAMSIA (2009) ; **i** : EL-AGAMY(2009).

### 1.3. Les protéines du lait

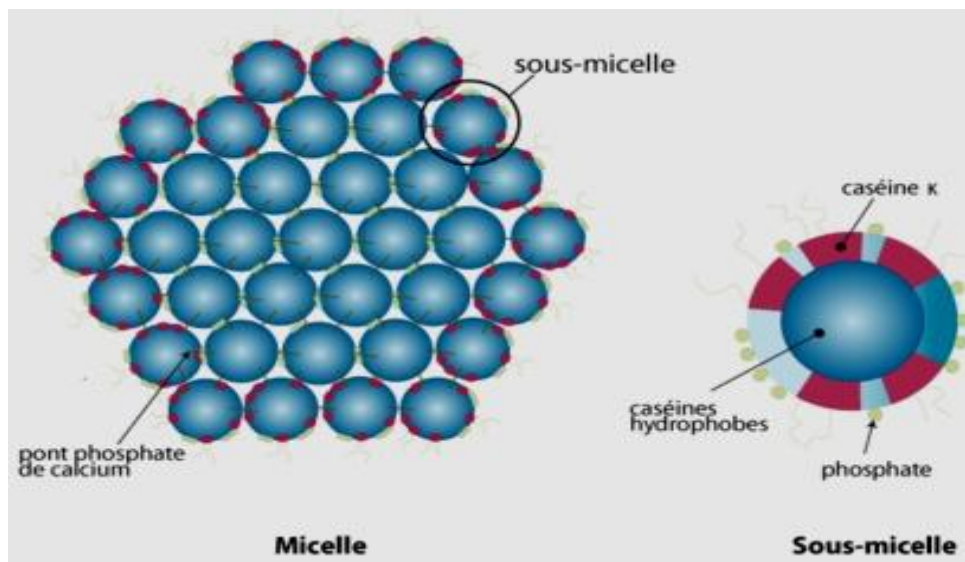
La teneur en protéines du lait de ruminants est supérieure à celle des non-ruminants. Une distinction est faite entre le « lait à caséines », c'est-à-dire le lait de ruminants et relativement riche en caséines (par ex. lait de bovins, lait de chèvre, lait de brebis), et le « lait à albumines », c'est-à-dire le lait de non-ruminants (animaux monogastriques) proportionnellement plus riches en protéines de lactosérum.

Dans ce chapitre la non citation du lait humain dans certaines comparaisons est due à un manque d'information biobibliographique et ne s'agit dans aucun cas d'un oubli.

#### 1.3.1. Les caséines

La caséine est un polypeptide complexe, résultat de la polycondensation de différents aminoacides, dont les principaux sont leucine, la proline, l'acide glutamique et la sérine. Elles précipitent à partir du lait cru par acidification à pH 4,6 à 20 °C pour le lait bovin (FARRELL *et al.*, 2004) et à pH 4,3 pour le lait camelin (WANGOH *et al.*, 1998).

Les caséines du lait s'organise en micelles (figure) et elles représentent entre 72 et 76 % des protéines totales du lait camelin et 80 % du lait bovin, et seulement 40 % du lait humain (FOX, 2001).



**Figure 02: représentation d'une micelle de caséine et d'une sous micelle de caséine (SHMIDT, 1980)**

Les micelles de caséine du lait humain sont insolubles dans l'eau. Ces dernières sont composées principalement de trois sous-unités de caséines,  $\alpha_S$ -CN,  $\beta$ -CN, et  $\kappa$ -CN. Soulignant que le lait maternel comporte relativement plus de  $\beta$ -caséine que d' $\alpha_S$ -CN. Les caséines du lait de chamelle sont constituées à leur tour de deux fois moins de  $\kappa$ -caséine que le lait bovin (KAPPELER *et al.*, 1998).

Il existe pour chacune de ces fraction des variantes génétiques (OTTER, 2003) qui sont classes selon leurs tailles, leur compositions en acides amines, le niveau de phosphorylation et le nombre de glycosylation de la  $\kappa$ -CN (PARK *et al.*, 2007).

---

➤ **Caséine  $\alpha$ S1**

C'est la protéine la plus abondante du lait. Elle est de 36 % dans le lait bovin et contient 199 acides aminés pour une masse moléculaire de 23 600 Da.

Dans le lait de chamelle, elle représente 22 % des caséines totales et contient 215 acides aminés pour une masse moléculaire de 25,773 kDa et un point isoélectrique de 4,4 (**KAPPELER *et al.*, 1998**). Elle est de 36 % dans le lait bovin et contient 199 acides aminés pour une masse moléculaire de 23 600 Da.

➤ **Caséine  $\alpha$ S2**

L' $\alpha$ S2 cameline est composée de 178 acides aminés pour une MM de 21 266 Da. Son point isoélectrique est de 4,58. Cette caséine présente des délétions au niveau de sa structure primaire au niveau d'une région de l'hélice  $\alpha$  entre Glu49 et Asn89. Cette délétion entraîne la perte des sérines phosphorylées successives (Ser56, Ser57, et Ser58) qui sont impliquées dans la structure primaire de la caséine  $\alpha$ S2 bovine qui elle a 207 aa et dont la MM est de 25 250 Da. Ce qui n'est pas sans conséquences dans l'assemblage de la micelle, dans sa stabilité et dans ses propriétés nutritionnelles (**FERRANTI *et al.*, 1995**).

➤ **Caséine  $\beta$**

La caséine  $\beta$  est considéré comme étant la plus hydrophobe (**BALTHAZAR *et al.*, 2017**) du fait de sa richesse en résidus phosphorylés de sa partie C-terminal, néanmoins sa partie N-terminal est hydrophile. Son hydrolyse par la plasmine génère des fragments insoluble a pH 4,6 :  $\gamma$ 1,  $\gamma$ 2, et  $\gamma$ 3.

La  $\beta$ -CN humaine est le constituant majeur de la famille des caseines chez l'espèce humaine et y est hautement phosphorylé (**GREENBERG *et al.*, 1984**). Pendant la digestion, les phosphopeptides sont formés et il s'avère qu'ils jouent un rôle dans le maintien des ions divalent tels que les ions de calcium (**SATO *et al.*, 1986**) de zinc (**HENSEN *et al.*, 1996**) sous une forme soluble, facilitant ainsi leur absorption.

La  $\beta$ -CN cameline est composée de 217 acides aminés pour une MM de 24 651 Da. Son pHi se situe à 4,76. Dans cette protéine, les sites de phosphorylation y sont présents en 4 positions (Ser 15, 17, 18, et 19) (**KAPPELER *et al.*, 1998**). Celle de l'espèce bovine est de 24000 Da et est constituée de 209 acides aminés et sa structure primaire a été déterminée par **RIBADEAU-DUMAS *et al.*(1972)**.

➤ **Caséine  $\kappa$**

**KAPPELER *et al.* (1998)** considèrent que la caséine  $\kappa$  représente le constituant déterminant de la croissance des submicelles déterminant ainsi la taille de la micelle.

La répartition des résidus chargés et hydrophobes de la chaîne peptidique de cette protéine est comparable à celle de la  $\beta$ -CN (**PAYENS, 1982**). Néanmoins, elle se caractérise par la présence d'une portion glycomacropéptide du côté C-terminal à caractère très hydrophile. C'est grâce à ces groupements hydrophiles que la  $\kappa$ -CN est considérée comme étant un facteur stabilisant des micelles (**WALSTRA, 1990**). Le reste de la chaîne est quant à elle très hydrophobe d'où son caractère amphiphile.

La caséine  $\kappa$  humaine est connue être fortement glycosylée. L'homologue humain ressemble à  $\kappa$ -caséine bovine de nature multimérique (**BRIGNON *et al.*, 1985**).

La  $\kappa$  cameline est composée d'une séquence de 162 acides aminés contre 169 dans le lait bovin. Sa masse moléculaire est de 18 254 Da dans le lait de chamelle contre celle du lait bovin qui est de 19 000 Da et son point isoélectrique se situe à pH 4,11. Les sites de phosphorylation y sont présents en 2 positions (Ser 141 Ser 159).

### **1.3.2. Les protéines sériques**

La distribution qualitative et quantitative des protéines solubles diffère d'une espèce animale à une autre. Celle retrouvée dans le lait humain se singularise par l'absence en son sein de la protéine sérique majeure du lait bovin à savoir la  $\beta$ -lactoglobuline, qui est aussi absente dans le lait de chamelle. D'autres protéines seraient spécifiques seulement au lait camelin et sont absentes dans les autres laits. C'est le cas de la protéine acide ou wheyacidicprotein (WAP), du peptidoglycan recognition protein (PGRP) et de la protéine basique ou whey basic protein (WBP) (**BEG *et al.*, 1986**; **KAPPELER *et al.*, 2003**; **OCHIRKHUYAG *et al.*, 1998** cité par **BOUDJNAH, 2012**).

➤  **$\alpha$ -lactalbumine**

L' $\alpha$ -lactalbumine ( $\alpha$ -la) est la protéine soluble majeure du lait de l'homme (BRIGNON *et al.*, 1985) et des camélidés (BEG *et al.*, 1985; CANTISANI *et al.*, 1990). Alors que chez les ruminants domestiques (bovins, ovins, caprins), c'est la  $\beta$ -lactoglobuline qui constitue la principale protéine du lactosérum du lait.

L' $\alpha$ -la cameline comme l' $\alpha$ -la bovine a une longueur de 123 acides aminés mais avec 39 différence de position et un PM de 14,4 kDa et un point isoélectrique de 5,1 (BEG *et al.*, 1985).

10	20	30	40	50	
MRFFVPLFLV	GILFPAILAK	QFTKCELSQL	LKDIDGYGGI	ALPELICTMF	
60	70	80	90	100	
HTSGYDTQAI	VENNESTEYG	LFQISNKLWC	KSSQVPQSRN	ICDISCDKFL	
110	120	130	140		
DDDITDDIMC	AKKILDIKGI	DYWLAHKALC	TEKLEQWLCE	KL	humain
10	20	30	40	50	
EQLTKCEVER	ELKDLKGYGG	VSLPEWVCTA	FHTSGYDTQA	IVQNNNSTEY	
60	70	80	90	100	
GLFQINNKIW	CKDDQNPSS	NICNISCDF	LDDDLTDDIM	CVKKILDKVG	
110	120				
INYWLAHKAL	CSEKLDQWLC	EKL			bovin
10	20	30	40	50	
KQFTCKKLS	ELKDMNGHG	ITLAEWICII	FHMSGYDTET	VVSNNGNREY	
60	70	80	90	100	
GLFQINNKIW	CRDNENLQSR	NICDISCDF	LDDDLTDDKM	CAKKILDKEG	
110	120				
IDYWLAHKPL	CSEKLEQWQC	EKWcamelin			

Figure 03 : séquence primaire de  $\alpha$ -lactalbumine du lait humain (*Homo sapiens*), bovin (*Bos taurus*) et camelin (*Camelus dromedarius*). (NCBI)

➤ **La  $\beta$ -Lactoglobuline**

La  $\beta$ -Lactoglobuline est la protéine sérique la plus dominante dans le lait de différentes espèces, sauf pour le lait camelin et humain (AL ADJAMI *et al.*, 2009). Elle est naturellement présente sous forme d'un dimère de 36 kDa. Chaque sous-unité correspond à une chaîne peptidique de 162 résidus d'acides aminés.

➤ **Lactoferrine**

La lactoferrine (Lf) cameline a 689 résidus d'acides aminés avec un PM de 75,3 kDa et un point isoélectrique à pH 8,63 (**KAPPELER *et al.*, 1999**) elle représente la première protéine de la superfamille de la transferrine qui s'est révélée présenter simultanément les deux fonctions caractéristiques du piégeage du fer et de la libération du fer. Elle partage 74,9 % d'identité de séquence d'acides aminés avec Lf bovine.

➤ **Sérum Albumine**

La Sérum Albumine (BSA) est la protéine majeure du sérum sanguin, synthétisée dans le foie. Elle passe du plasma vers la glande mammaire pendant la production du lait (**CARTER et HO, 1994**). Sa concentration dans le lait est de (0,1 à 0,4 g/l). (**ELAGAMY, 1996**). La Sérum Albumine (BSA) cameline et bovine sont respectivement de 69,6 et 66 kDa.

La BSA bovine présente 76% d'homologie dans sa séquence en acides aminés avec celle du lait humain (**CAYOT et LORIENT, 1998**)

➤ **Les immunoglobulines**

Ces protéines, se présentant sous forme d'un « Y » et jouant un rôle d'anticorps, constituent environ 13 % des protéines du lactosérum (**DEBRY, 2001; LEBEUF *et al.*, 2002; WAL, 2001**). Elles sont transférées du sang au lait au niveau des cellules des glandes mammaires (**CAYOT *et al.*, 1998**).

Le lactosérum bovin contient trois classes majeures d'Ig: IgG, IgM et IgA, la principale étant l'IgG1 (**FARRELL *et al.*, 2004**). La concentration en IgG dans le lait camelin est de 1,64 mg/ml; 0,67 dans le lait bovin et 0,86 mg/ml (**EL-AGAMY *et al.*, 2009**).

Sur le plan fonctionnel, les immunoglobulines du lait humain ont été utilisées avec succès comme traitement de certaines pathologies chez le nouveau-né. Lors d'une étude entamée par **MAHE *et al.*, 1991**, les immunoglobulines présentes dans le lait humain et dans le rétentat obtenu par ultrafiltration sont dosées par une technique ELISA avant et après chromatographie en gel filtration. Les proportions des immunoglobulines retrouvées dans le rétentat après ultrafiltration sont respectivement de 100 %, 70 % et 60 % des IgA, IgG et IgM totales du lait de départ. Le dosage ELISA montre que les IgA ( $0,274 \pm 0,04$  g / kg) sont les

immunoglobulines majoritaires dans le lait humain. Les chromatographies en gel filtration révèlent que les IgA du lait et du rétentat sont sous forme dimérique (IgA sécrétoires).

## Matériels & Méthodes



## 2. Matériel et méthodes

La partie expérimentale de cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique de Biochimie de l'université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou durant la période s'étalant du mois de Mars au mois de Mai 2018.

### 2.1. Matériel

#### 2.1.1. Matière première

Les différents échantillons de lait étudiés proviennent d'animaux sains et ne contiennent pas de colostrum. Ils sont collectés durant la période s'étalant du mois de février au mois de mars 2018. Les régions de collecte sont comme suit :

- Les échantillons de lait de chamelle proviennent de trois régions du sud du pays : Oued El Souf, Hassi Messaoud, et Ouargla ;
- Les échantillons du lait maternel sont issus de trois femmes différentes de la région de Tizi Ouzou ;
- Les échantillons du lait de vache proviennent de la région de Tizi-Ouzou, communes : Mekla, Oued Aissi, Larbaa Nath Irathen.

#### 2.1.2. Produits chimiques

- **Produits d'électrophorèse** : acrylamide, N, N-méthylène-bis-acrylamide, dodécyl sulfate de sodium (SDS), TEMED, trishydroxyméthylaminométhane (Tris), urée, glycine, 2-mercaptoéthanol, persulfate d'ammonium, bleu de bromophénol, bleu de coomassie.
- **Solvants** : acide chlorhydrique, acide acétique, acide sulfurique, hydroxyde de sodium, acide trichloracétique, glycérol, méthanol.
- **Autres produits et réactifs** : phénolphtaléine, réactif de folin-Ciocalteu.

#### 2.1.3. Matériel biologique

- Lait
- Albumine sérique bovine (BSA) ;
- Chymotrypsine (activité 57,74 U/mg) ;
- protéines marqueurs de taille : BSA (67 KDa), Ovalbumine (45 KDa),  $\beta$ -Lg (18 KDa),  $\alpha$ -La (14 KDa).

#### **2.1.4. Appareillage**

- Unité d'électrophorèse en mini-cuves (HOEFFER SE 260) composée de : couleur de gel, cuves d'électrophorèse, générateur de courant (max 250V, 100mA), plaques en verre et en hydroxyde d'alumine (10×12cm), espaceurs de 1mm d'épaisseur.

- Agitateur magnétique ;
- Centrifugeuse (SIGMA)
- Dessiccateur infrarouge (DENVER)
- pH mètre (HANNA)
- Lyophilisateur (TELSTAR)
- Spectrophotomètre UV-Visible (SHIMADZU) ;
- Balance analytique et balance de précision ;

A cette liste s'ajoute l'équipement courant de laboratoire à savoir les différents types de verreries, thermomètre, micropipette, spatules et coupelles.

## **2.2. Méthodes**

### **2.2.1. Collecte du lait**

Après collecte, les échantillons de lait sont acheminés au laboratoire dans une glacière à +4°C. Des mesures de pH ont été effectués ainsi que certains paramètres physico-chimiques (densité, EST, acidité), le reste du lait a été fractionné et congelé pour une utilisation ultérieure.

### **2.2.2. Détermination des paramètres physico-chimiques du lait**

Les paramètres physico-chimiques mesurés sont : le pH, l'acidité titrable, la densité, la teneur en matière sèche totale ou extrait sec total (EST), la teneur en protéines totales et la teneur en protéines sériques. Toutes les mesures ont été effectuées en 3 essais.

#### **2.2.2.1. Mesure du pH**

Le pH indique la teneur d'une solution en ions  $H_3O^+$ , il est mesuré directement avec un pH mètre en plongeant l'électrode dans un bécher contenant la solution à analyser sous agitation et à 20°C. La valeur du pH est lue sur l'écran du pH mètre après stabilisation.

Le cadre de lecture du pH est préalablement étalonné à l'aide de solutions de pH connus.

### 2.2.2.2. Mesure de l'acidité titrable

La mesure de l'acidité titrable est réalisée selon la méthode normalisée AFNOR (1980) (Annexe II) Cette méthode est basée sur le titrage de l'acidité du lait par l'hydroxyde de sodium (0,1 N) en présence de phénolphthaléine comme indicateur coloré.

L'acidité du lait est exprimée en degré Dornic qui est équivalent à la quantité d'acide lactique présente dans le lait, car  $1^{\circ}\text{D} = 0,1\text{g/l}$  d'acide lactique.

### 2.2.2.3. Détermination de la densité

La densité d'une substance correspond au rapport entre la masse de cette substance, en l'occurrence le lait, et la masse volumique qu'elle occupe à 4 °C. Elle nous renseigne sur le taux de matière solide du lait.

### 2.2.2.4. Détermination de l'extrait sec total

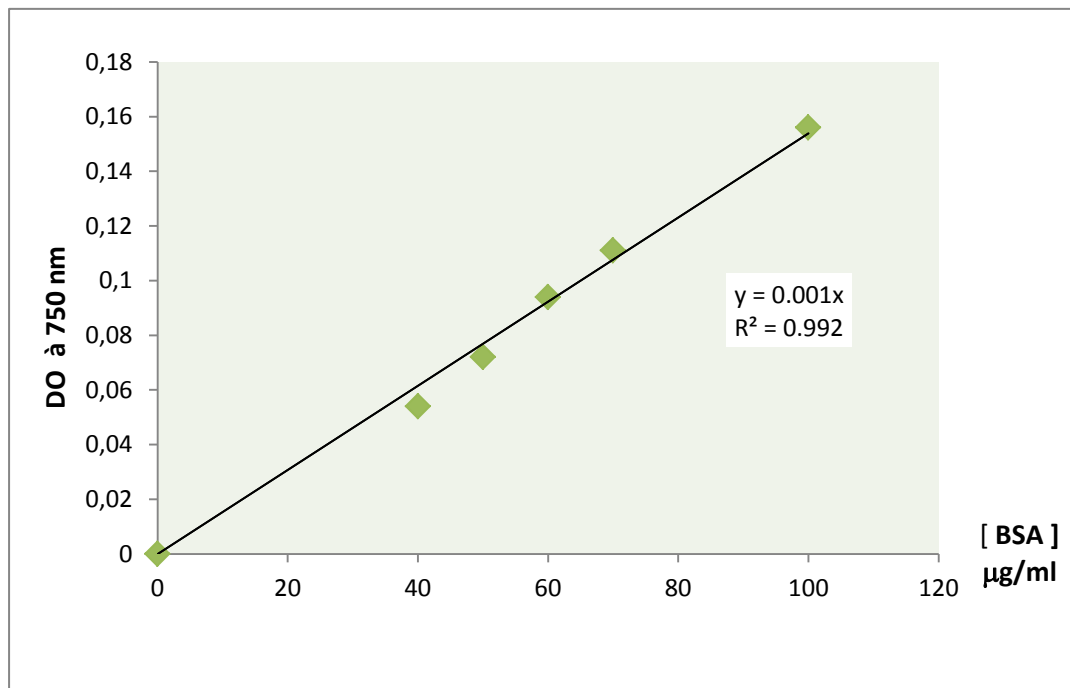
L'extrait sec total est déterminé à l'aide d'un dessiccateur infrarouge. 3g de lait sont étalés dans des coupelles, puis chauffés à 110°C pendant 10 minutes. Le pourcentage de l'EST est lu directement sur le cadre de lecture du dessiccateur.

### 2.2.2.5. Détermination de la teneur en protéines

La teneur en protéines totales est déterminée par la méthode décrite par **LOWRY *et al.* (1951)**(Annexe III). Le principe de cette méthode repose sur la réduction du réactif Follin-Ciocalteu par la tyrosine, le tryptophane, et la cystéine des protéines, il en résulte un complexe de couleur bleue qui absorbe à 750 nm.

Les DO obtenues à cette longueur d'onde permettent de déterminer les concentrations des échantillons analysés en se référant à une courbe d'étalonnage  $\text{DO} = f(\text{C})$  (figure 04) établie grâce à une gamme étalon de solutions protéiques de concentrations connues en albumine sérique bovine (BSA) (**GUILLOU *et al.*, 1986**) .

La concentration des protéines sériques est estimée dans le surnageant de l'isoélectroprécipitation des caséines après abaissement du pH du lait (figure 05), alors que la teneur en caséines est obtenue par différence entre les protéines totales et les protéines du lactosérum.



**figure 04: Courbe étalon du dosage de protéines par la méthode de LOWRY *et al.*(1951)**

### 2.2.3. Isolement des protéines sériques

La séparation des protéines sériques des caséines est décrite dans les étapes citées ci-dessous et dans la figure (05).

#### ▪ Ecrémage

L'écémage du lait est la première étape du protocole d'isolement des protéines, cette étape consiste en l'élimination de la matière grasse du lait par centrifugation à 3500 x g pendant 20 minutes et à 4°C.

A la fin de la centrifugation, la crème qui se trouve en surface est éliminée du lait à l'aide d'une spatule, le lait écrémé est ensuite filtré par une gaze.

#### ▪ Séparation des protéines sériques et des caséines par précipitation isoelectrique

L'isolement des deux fractions protéiques se fait par précipitation des caséines des différents laits à leurs propres pH isoélectriques : 4,6 pour le lait bovin ; 4,3 pour le lait de chamelle. Concernant le lait de femme, le pH a été abaissé jusqu'à 4,1 pour pouvoir extraire une infime quantité de précipité. Cette opération est effectuée par l'addition d'une solution d'acide chlorhydrique (HCl) 4N, suivie d'une centrifugation à 3500 x g pendant 15 minutes à 20°C.

Les culots qui correspondent aux caséines sont solubilisés dans de l'eau distillée, les surnageant récupérés correspondent au lactosérum.

#### ▪ Dialyse

Les deux fractions isolées sont dialysées contre de l'eau distillée pendant 24 h à 4 °C, sous agitation douce. Les membranes utilisées sont semi-perméables avec des seuils d'exclusion de 8000 Da.

#### ▪ Congélation et lyophilisation

Après dialyse, les différentes fractions protéiques sont étalées en fines couches sur des coupelles, congelées à -20°C et lyophilisées pendant 6 à 7 heures. Les poudres obtenues sont fractionnées dans des tubes hermétiques puis conservées au réfrigérateur à +4°C.

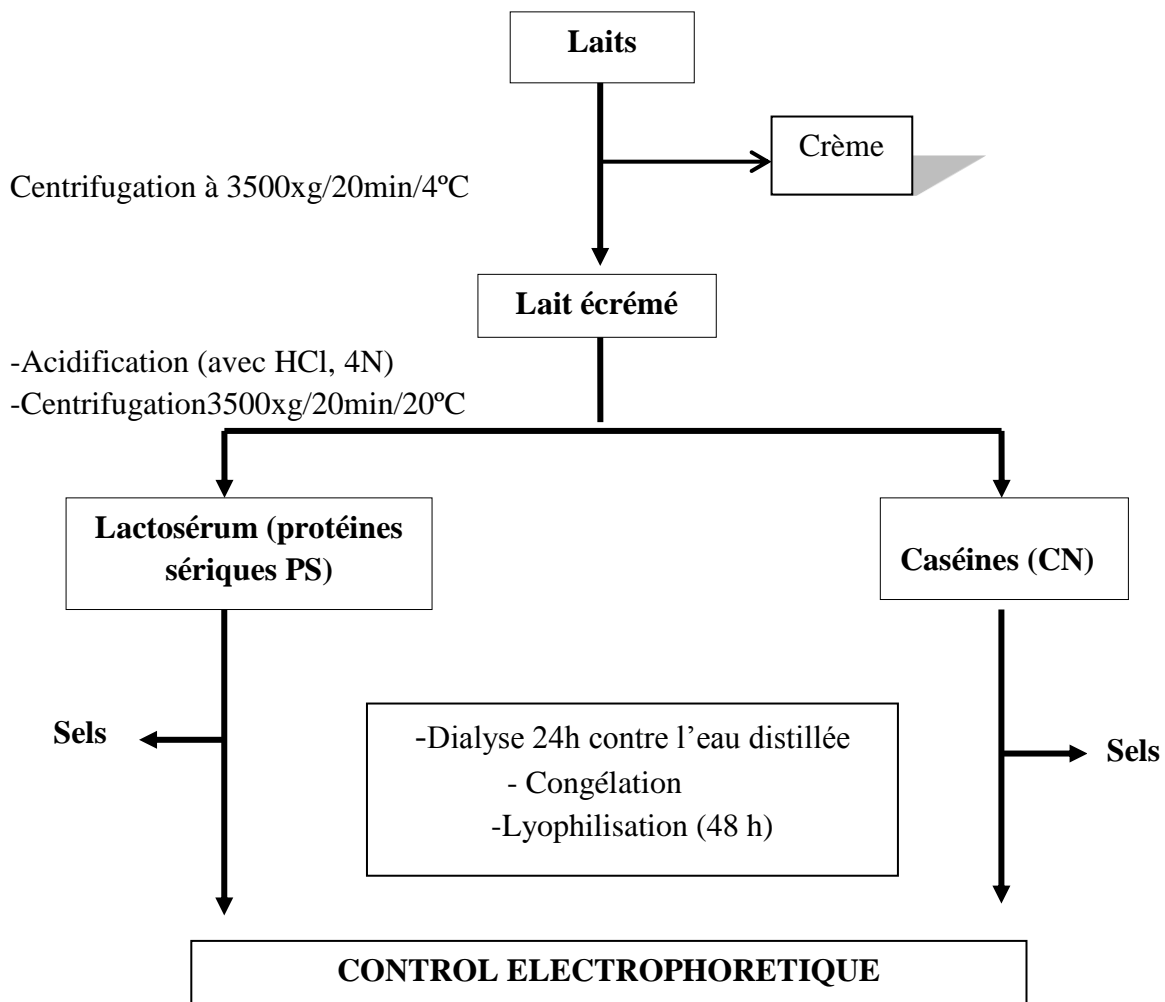


Figure 05: Etapes de séparation des fractions protéiques

## 2.2.4. Caractérisation électrophorétique des protéines sériques et des caséines.

### 2.2.4.1. Principe de l'électrophorèse

L'électrophorèse est une méthode d'analyse qui permet de séparer, sous l'influence d'un champ électrique des composés ionisés. Ces composés peuvent être des ions minéraux ou organiques, des molécules polarisables comme les acides aminés, les protéines (**CLAVERIE et PANET, 2008**).

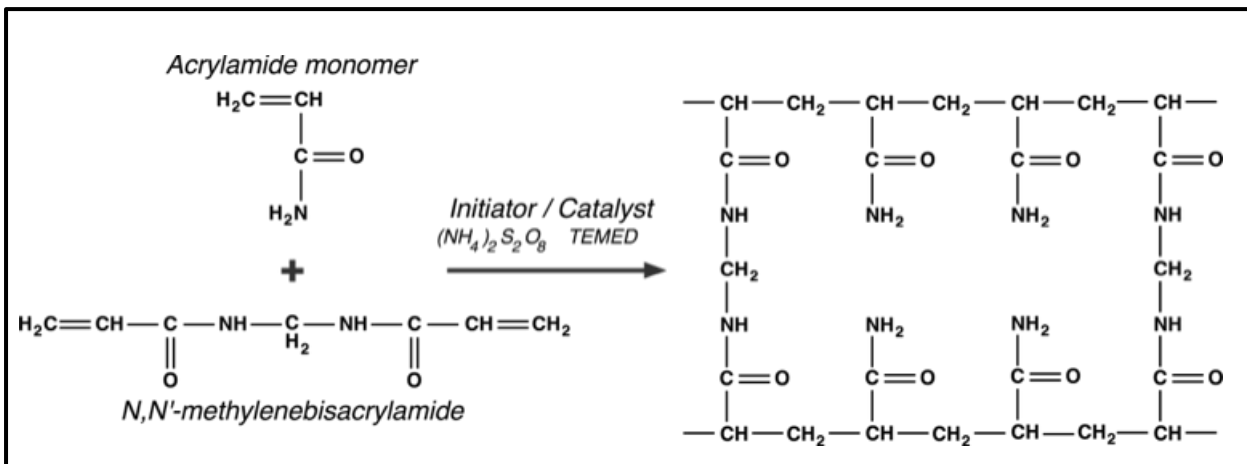
#### - Electrophorèse sur gel de polyacrylamide (PAGE)

Les gels de polyacrylamide sont constitués d'acrylamide (unité de base) ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$ ) et de bisacrylamide (agent pontant) (N, N méthylène-bis acrylamide), qui en présence de TEMED et du persulfate d'ammonium se polymérise (figure 06). Les caractéristiques du gel sont en fonction de la concentration, du degré de réticulation et du pontage de ses constituants. Ils sont déterminés par les indices T et C ; La porosité des gels est ajustée en faisant varier les concentrations relatives de a et b, la taille effective des pores d'un gel est d'autant plus petite que sa concentration en acrylamide est élevée.

$$\mathbf{T} = (\mathbf{a+b} / \mathbf{v}) \times \mathbf{100} (\%)$$

$$\mathbf{C} = (\mathbf{b/a+b}) \times \mathbf{100} (\%)$$

a : acrylamide (g) ; b : N, N-méthylène -bisacrylamide (g) ; v : volume du tampon (ml).



**Figure 06: Processus de polymérisation du gel d'acrylamide en présence du persulfate d'ammonium et**

#### 2.2.4.2. Electrophorèse en milieu non dissociant et non dénaturant (PAGE-native)

L'électrophorèse sur gel de polyacrylamide dans les conditions non dénaturantes et non dissociantes (PAGE-native) permet de garder les protéines à l'état natif, la migration des molécules se fait en fonction de leur poids moléculaire et de leur charge (**WITTIG *et al.*, 2007**). La PAGE-native une technique résolutive et bien adaptée à la séparation des protéines sériques.

Le protocole utilisé est celui de **HILLIER (1976)**, modifié et adapté au système de mini-cuves (annexe IV). La porosité du gel est de  $T = 12\%$  et  $C = 2,7\%$ . Le tampon du gel est composé du Tris 0,75 M ; pH 8,9. Le tampon d'électrode est constitué du Tris 5 mM, glycine 77 mM ; pH 8,3.

Les échantillons sont dissous à raison de 1mg/ml dans une solution contenant le tampon du gel (1/10 V/V), de l'eau distillée (7/10 V/V) et du glycérol 50% (2/10 V/V) et le bleu de bromophénol.

#### 2.2.4.3. Électrophorèse en milieu dissociant en présence d'urée (PAGE-urée)

L'urée à forte molarité élimine les liaisons faibles, plus particulièrement les liaisons hydrogènes et hydrophobes (**DAMERVAL *et al.*, 1993**). La PAGE-urée est une technique qui permet généralement de dissocier les protéines en leurs sous-unités et de les mettre en évidence. (Annexe V)

Un gel de concentration ( $T = 4\%$  et  $C = 2,7\%$ ) dans un tampon (urée 9M, tris 0,5M, pH 6,8) et un gel de séparation ( $T = 13\%$  et  $C = 2,7\%$ ) en tampon (urée 9M, tris 2M, pH 8,8) ont été préparés ; les échantillons ont été solubilisés à raison de 1mg/ml dans un tampon de même composition que celui du gel de concentration. Le tampon d'électrode est composé du tris 50 mM et de glycine 0,384M.

#### 2.2.4.4. Électrophorèse en milieu dissociant et dénaturant en présence du SDS et du 2- mercaptoéthanol (PAGE-SDS)

C'est une méthode d'analyse séparant les protéines de leur géométrie : masse moléculaire et forme (**AUDIGIE *et al.*, 1995**). La longue queue hydrophobe du dodécylsulfate (SDS) (figure 07) interagit très fortement avec les chaînes polypeptidiques et leur procure une charge négative. Le nombre des molécules de SDS liées à un polypeptide est proportionnel à la longueur de la chaîne (au nombre des résidus). Le SDS est aussi un détergent qui rompt

toutes les interactions et détruit les structures tertiaires et quaternaires des protéines. Les ponts disulfures sont clivés en utilisant le  $\beta$ -mercaptoéthanol.

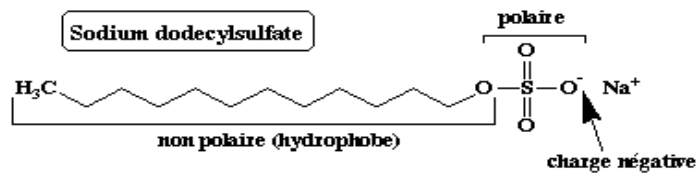


Figure 07: structure du dodecylsulfate de sodium (SDS)

Un système de tampons discontinu a été utilisé selon LAEMMLI et FAVRE (1973), ce système comprend un gel de concentration T= 4,8% et C = 2,7% en tampon Tris 0,49 M ; pH 6,8 et un gel de séparation T = 17% et un C = 2,7% en tampon Tris 1,5 M ; pH 8,8.

Le tampon d'électrode est composé du Tris 49mM, glycine 384 mM et du SDS 1% (P/V), pH 8,3 (Annexe VI).

La détermination du poids moléculaire des protéines d'intérêt est effectuée en faisant migrer en parallèle des protéines étalons de poids moléculaires connus, une courbe étalon  $\text{Log PM} = f(\text{distance parcourue})$  a été tracée (figure 08).

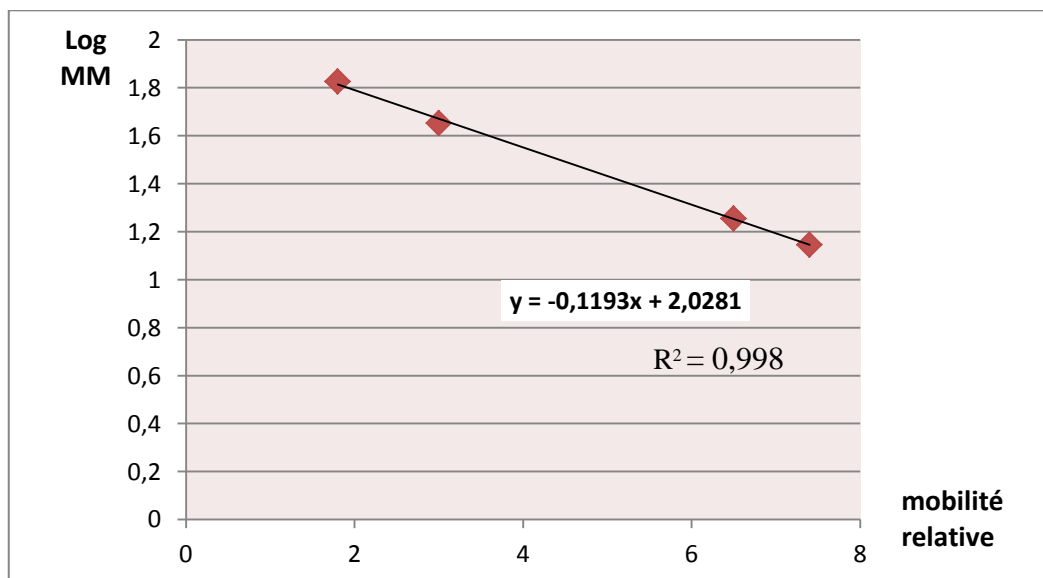


Figure 08: Courbe de calibration du gel de séparation en PAGE-SDS gel de séparation (T=17% ; C=2,7% ; pH=8,8) ; gel de concentration (T=4% ; C=2,7% ; pH= 6,8) avec un standard protéique composé de BSA (67 kDa), Ovalbumine (45 kDa),  $\beta$ - Lg (18 kDa) et  $\alpha$ -La (14 kDa).

### 2.2.5. Etude de la sensibilité à l'hydrolyse enzymatique par la chymotrypsine

La sensibilité des protéines sériques et des caséines des trois espèces laitières étudiées à l'hydrolyse enzymatique a été évaluée en étudiant l'action de la chymotrypsine.

La chymotrypsine est une endopeptidase d'origine pancréatique, elle est active à un pH optimale de 7,7 et à une température allant de 37°C et 40°C (**KRISTINSSON ET RASCO, 2000 ; FRISTCHE, 2003**).

La réaction enzymatique a été réalisée selon le protocole de **SALAMI *et al* (2008)** modifié. Les solutions enzymatiques et les solutions de protéines sériques et de caséines camelines, humaines et bovines ont été préparées à raison de 1% dans le tampon phosphate 0,06M ; pH 8,1.

La solution enzymatique a été additionnée à la solution protéique de façon à avoir un rapport enzyme/substrat (E/S) de 1%. Le milieu réactionnel a été incubé à 37°C et agité d'une façon continue et un prélèvement à T0 a été effectué. Après 3 heures d'incubation, la réaction a été arrêtée par chauffage à 100°C pendant 10 minutes, des prélèvements de 100 µl d'hydrolysats ont été effectués, additionnés de 100 µl du tampon d'échantillon pour un contrôle électrophorétique par PAGE-SDS.

## **Résultats et discussions**



### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Résultats des analyses physicochimiques

Nous avons pris trois échantillons de laits d'individus différents de chacune des trois espèces laitières. Tous les paramètres ont été réalisés en 3 essais.

Les résultats des analyses physicochimiques des trois laits ainsi que la moyenne  $\pm$  l'écart-type des essais réalisés sont représentés dans le tableau (VI).

**Tableau VI : Résultats des analyses physico-chimiques du lait de femme, de chamelle et de vache.**

Echantillon Paramètre	Lait de femme			Lait de chamelle			Lait de vache		
	LF1	LF2	LF3	LC1	LC2	LC3	LV1	LV2	LV3
pH	6,67 $\pm$	7,57 $\pm$	7,35 $\pm$	6,72 $\pm$	6,45 $\pm$	6,55 $\pm$	6,24 $\pm$	6,75 $\pm$	6,63 $\pm$
	0,02	0,03	0,01	0,06	0,03	0,1	0,62	0,09	0,04
Acidité (° D)	10,5 $\pm$	8,33 $\pm$	9,3 $\pm$	30,9 $\pm$	18,6 $\pm$	30,3 $\pm$	21,3 $\pm$	17,7 $\pm$	22,5 $\pm$
	1,03	0,57	0,51	0,51	1,03	1,37	0,51	0,51	0,00
Densité	1,03 $\pm$	1,02 $\pm$	1,07 $\pm$	1,02 $\pm$	1,02 $\pm$	1,02 $\pm$	1,01 $\pm$	0,99 $\pm$	1,02 $\pm$
	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,01	0,001	0,04	0,025
EST (%)	15,26	13,00 $\pm$	16,28 $\pm$	39,17 $\pm$	23,86 $\pm$	21,39	10,33 $\pm$	15,35 $\pm$	29,71 $\pm$
	$\pm$ 0,07	0,25	0,17	0,91	0,26	$\pm$ 0,66	0,34	0,19	1,68

EST : Extrait sec total ; (°D) : degrés Dornic

##### 3.1.1. pH

Les valeurs moyennes du pH du lait humain, camelin et bovin étudiés sont respectivement :  $7,19 \pm 0,02$  ;  $6,55 \pm 0,06$  ; et  $6,54 \pm 0,25$ . Le lait de femme est légèrement basique par rapport au lait de vache et au lait de chamelle.

La valeur du pH du lait de femme est comparable aux valeurs rapportées par la littérature (7,1) (**LAWRENCE, 2011**). Ce pH légèrement basique pourrait s'expliquer par la teneur faible en caséines, par la nature d'alimentation ou par l'état physiologique de la femme.

Le pH du lait camelin se rapproche de la valeur enregistrée par **KAPPELER (1998)** qui est entre 6,5 et 6,75. **EL-HADI SULIEMAN et al (2006)** ; **SOUID (2011)** par contre, ont enregistrés une valeur inférieure qui est de 6,0.

Le pH bas du lait camelin est dû à la fois à sa composition et sa forte concentration en acides gras volatiles (YAGIL, 1985), ainsi qu'à sa richesse en acides organiques divers (acide citrique, acide orotique et acide butyrique) (HADDADINET *et al.*, 2007) et à sa teneur relativement élevée en vitamine C (SALEY, 1993).

Le pH du lait bovin se situe dans l'intervalle de valeurs allant de 6,6 à 6,8 comme a été avancé par plusieurs auteurs (AMIOT *et al.*, 2002 ; FILLON, 2006 ; VIERLING, 2008). En effet le lait de vache est caractérisé par une faible acidité naturelle dû aux groupements phosphoriques de la caséine.

D'après GORBAN et IZZELDIN (1997), La variation du pH et le goût du lait peuvent être affectées par l'alimentation, la disponibilité d'eau, le stade de lactation et de l'état sanitaire des mamelles (MATHIEU, 1998). Selon CAROLE (2002), le pH dépendrait également de la présence de caséines et d'anions phosphoriques.

### 3.1.2. Acidité dornic

L'acidité moyenne du lait est respectivement de  $9,37 \pm 0,70$  ;  $26,6 \pm 0,97$  ;  $20,5 \pm 0,34$  pour le lait de femme, le lait de chamelle et le lait de vache.

L'acidité moyenne mesurée pour les échantillons de lait femme étudié est légèrement supérieure aux valeurs recommandées pour les nouveaux nés qui est de  $8^{\circ}$  D ( IASKARA DE VALE PEREIRA *et al.*, 2016). Ceci pourrait s'expliquer par la lipolyse du lait, en particulier pour le lait LF1 qui a été collecté en mois de février et a été conservé à  $-16^{\circ}$  C en attendant son analyse.

Pour le lait de chamelle, une valeur moyenne d'acidité de  $26,6^{\circ}$  D  $\pm 0,97$  a été enregistrée dans la présente étude. Cette valeur est relativement supérieure à celle rapportée par la bibliographie, des taux d'acidité de  $18,2^{\circ}$  D et de  $21,3^{\circ}$  D ont été rapportés par SIBOUKEUR (2007) et MAHBOUB *et al.*, (2010), respectivement. Cette valeur élevée pourrait s'expliquer par la nature de l'alimentation du dromadaire ou par la génération d'acide lactique suite à une croissance microbienne dans le lait.

Concernant l'acidité mesurée pour les échantillons du lait de vache, une valeur moyenne de  $20,5 \pm 0,34$  a été enregistrée. Cette valeur est relativement supérieure à celle d'un lait de vache frais qui est de  $15$  à  $16^{\circ}$  D (TAPERNOUX, 1928), elle augmente d'une unité à chaque fois que la teneur en acide lactique augmente de 1 décigramme. Seul le LV2 ( $17,7 \pm 0,51$ ) rentre dans les normes qui admettent que l'acidité du lait de vache peut aller jusqu'à  $18^{\circ}$ D.

---

Généralement l'acidité dornic est plus sensible à la teneur totale en solutés (protéines, phosphates, citrates, dioxyde de carbone et acides organiques), celle-ci est inversement proportionnelle au pH. Il est suggéré que l'acidité est également directement influencée par la teneur en lipides de l'aliment, le lait présentant des concentrations élevées en graisses augmente les chances de développer une forte acidité (**IASKARA DE VALE PEREIRA et al., 2006**).

### 3.1.3. Densité

En moyenne les valeurs de la densité du lait des trois espèces étudiées sont de 1,04 dans le lait de femme, 1,02 dans le lait de dromadaire et 1,006 dans le lait de vache. La densité du lait humain est légèrement plus élevée que celle des autres laits étudiés.

Les échantillons du lait maternel F1 et F2 présentent des valeurs qui coïncident avec celles trouvées par **BROKA et al (2016)** ( $1018 \text{ kg/m}^3$  soit 1,018 g/l). Cependant, la densité est plus élevée pour LF3. Ceci pourrait être justifié par le fait que l'étude menée par **BROKA et al (2016)** a été réalisée sur un échantillon de 11 à 28 jours d'allaitement, alors que le LF3 provient d'une femme qui a dépassé les trois mois post accouchement.

La densité du lait camelin est égale dans les trois échantillons analysés, elle est de 1,02. Cette valeur est similaire à celle trouvée par **CHETHOUNA (2011)** qui est de 1,022. Par contre, elle est inférieure à celle citée par **SBOUI et al (2009)** ( $1,027 \pm 0,003$ ). Les valeurs de densité similaires enregistrées dans les échantillons étudiés, pourraient s'expliquer par la saison de leur collecte qui est la même pour les trois.

La densité retrouvée dans le lait de vache est supérieure à celle du lait de chamelle analysé ce qui rejoint les conclusions de divers auteurs à propos de la faible teneur en matière sèche du lait de chamelle par rapport au lait de vache **ALAIS (1984)**. Cependant les valeurs enregistrées dans les échantillons analysés sont largement inférieures à celles citées dans la bibliographie. Ces dernière sont de 1,025 g/l à 1,034 g/l dans le lait bovin nord algérien (**BOUSBIA et al., 2012**).

### 3.1.4. Extrait sec total

La teneur totale en matières solides du lait trouvée dans le lait maternel est en moyenne de 14,84 %. Il a été démontré que les femmes qui pratiquaient des massages mammaires ont un lait qui s'enrichit significativement de 12,3 à 13,6 g / 100 ml en EST (FODA *et al.*, 2004).

Dans le lait de chamelle analysé des valeurs moyennes de 28,14% soit 281,14 g/l ont été enregistrées. Ces valeurs sont largement supérieures à celles rapportées par la bibliographie : 136 g/l (FAO, 1995), 119-150 g/l (MITTAINE, 1962). La richesse du lait camelin analysé en EST serait dûe à la saison de sa collecte (mois de mars).

L'EST moyen du lait de vache est de 18,46%  $\pm$  0,73 soit 184,6 g/l. cette valeur est légèrement proche de celle avancée par SBOUI *et al.* (2009) soit 119,43  $\pm$  15,34 g/l.

### 3.2. Teneur en protéines

L'analyse biochimique des trois échantillons de lait pour chacune des trois espèces est effectuée en trois essais. Les résultats des teneurs en protéines des échantillons de lait analysés sont représentés dans le tableau (VII) ci-dessous.

**Tableau (VII) : Teneur des différentes fractions protéiques dans les échantillons de lait étudiés.**

Echantillon Paramètre	Lait de femme			Lait de chamelle			Lait de vache		
	LF1	LF2	LF3	LC1	LC2	LC3	LV1	LV2	LV3
PT (g/l)	10,9 $\pm$ 1,82	10,74 $\pm$ 2,00	12,02 $\pm$ 1,92	43,3 $\pm$ 0,96	40,26 $\pm$ 0,73	38,85 $\pm$ 2,08	25,82 $\pm$ 2,27	31,59 $\pm$ 1,00	34,48 $\pm$ 1,00
PS (g/l)	6,39 $\pm$ 0,12	6,25 $\pm$ 0,17	7,13 $\pm$ 0,14	7,82 $\pm$ 0,19	7,23 $\pm$ 0,51	7,13 $\pm$ 0,14	5,54 $\pm$ 0,21	6,71 $\pm$ 0,36	7,02 $\pm$ 0,55
CN (g/l)	4,51 $\pm$ 1,94	4,49 $\pm$ 2,09	4,89 $\pm$ 1,97	35,48 $\pm$ 1,09	33,13 $\pm$ 0,77	31,72 $\pm$ 1,95	20,28 $\pm$ 2,47	24,88 $\pm$ 1,01	27,46 $\pm$ 0,56

PT : protéines totales ; PS : protéines sériques ; CN : caséines.

#### 3.2.1. Teneur en protéines totales

Les résultats de dosage des protéines ont montré que la teneur protéique totale moyenne dans le lait camelin qui est de 40,80 g/l est plus élevée que le lait bovin étant de 30,63 g / l et de 11,22 g/l pour l'Homme. Le taux des protéines relevé dans la présente étude sur le lait maternel rentre dans la fourchette variant entre 10 g/l et 17.5 g/l citée par la bibliographie (HARTMANN, 2000 ; ALVES DE OLIVEIRA, 2007).

---

Les valeurs trouvées dans le lait camelin se situent dans la fourchette des travaux cités par **MITTAINE (1962)** qui est de 24 g/l à 42 g/l. D'autres auteurs ont rapportés des valeurs plus basses : 29,1 g/l (**MEHAIA *et al*, 1995**) pour la race Majaheem et 21,5 g/l (**GNAN *et al*, 1994**). Cette variation pourrait s'expliquer par le fait que de nombreux facteurs influencent la teneur du lait en protéines notamment le régime hydrique et le stade de lactation (**YAGIL *et ETZION*, 1980**)

La teneur en protéines totales moyenne mesurée pour les échantillons de lait de vache est de 30,63 g/l, elle est relativement proche de celle rapportée par **SBOUI *et al*. (2009)** qui est de  $30,5 \pm 4,95$  g/l.

### **3.2.2. Teneur en protéines sériques et en caséines**

Nous avons convertis nos résultats dans cette discussion en % afin de comparer la concordance des proportions des ratios PS/CN retrouvées dans la bibliographie. Les laits étudiés présentent en moyenne un rapport de PS/CN de 58,7/41,28 % pour le lait de femme ; 18,12/81,95 % pour le lait de chamelle et 21,01/78,97 % pour le lait bovin.

Le lait de vache est plus riche en caséines que les autres laits, ce qui expliquerait sa haute valeur technologique.

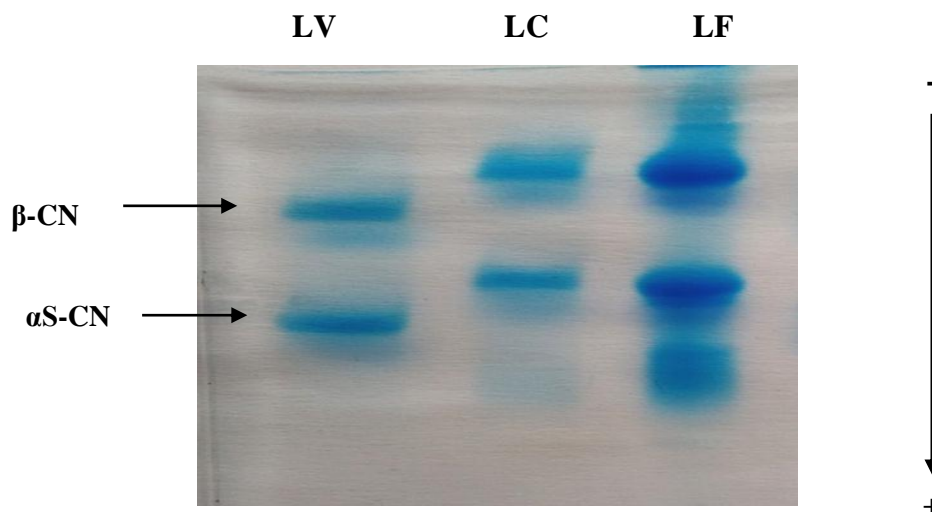
les proportions trouvées dans la présente étude sont proches de celles citées par la bibliographie avec un taux en caséines de 40% dans le lait humain (**LUHOVY *et al*., 2007**) ; de 72 à 79% dans le lait de chamelle (**RAMET, 1985 ; FOX, 2001**) et de 70 à 80 % pour le lait de vache (**HOFFMAN *et al*., 2004**).

## **3.3. Comportement électrophorétique des caséines et des protéines sériques dans différentes conditions**

### **3.3.1. Caractérisation électrophorétique des caséines**

#### **➤ En PAGE-urée**

L'électrophorèse en PAGE- urée a pour but la séparation des caséines par dénaturation des structures tridimensionnelles natives suite à la rupture des liaisons hydrogène et des ponts S-S par l'urée et le 2-mercaptoéthanol. Le profil électrophorétique en figure (09) représente le comportement des caséines humaines, camelines et bovines en présence d'urée.



**Figure 09: Profil électrophorétique des caséines camelines, bovines et humaines PAGE-urée (T=13%). LV : lait de vache ; LC : lait de chamelle ; LF: lait de femme**

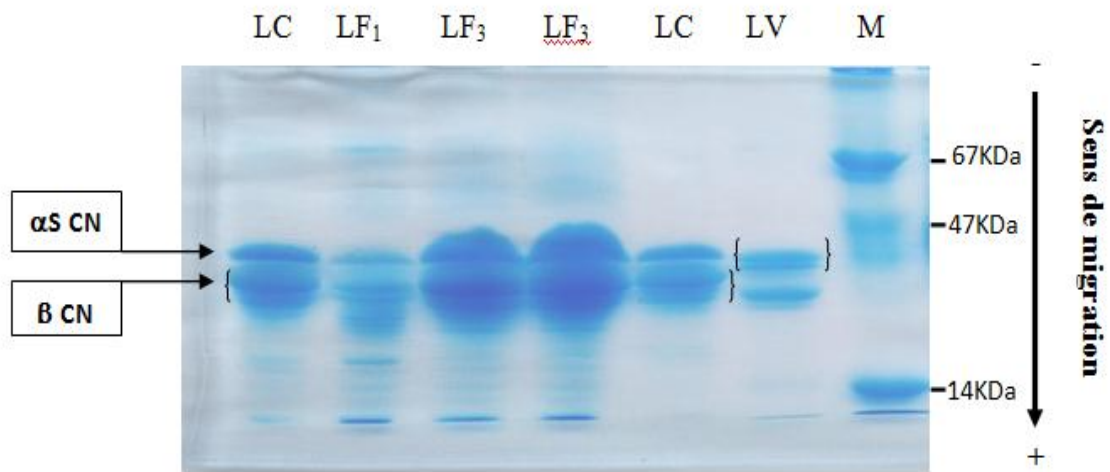
L'analyse des profils électrophorétiques en PAGE-urée montre que les caséines des différentes espèces étudiées présentent des mobilités propres.

Les caséines du lait de chamelle présentent des mobilités faibles comparativement aux caséines bovines, ces résultats sont comparables à ceux obtenus par **SI AHMED ZENNIA *et al.* (2013)**. La  $\beta$ -caséine et particulièrement la  $\beta$ -caséine cameline présente la mobilité électrophorétique la plus faible par rapport à la  $\alpha$ S-caséine (**LARSSON-RAZNIKIOWIEZ *et MOHAMED*, 1986 ; OCHIRKHUYAG *et al.*, 1997**), ceci pourrait être dû à son faible degré de phosphorylation (**MOHAMED *et LARSSON-RAZNIKIEWCZ*, 1991**).

En analysant les profils obtenus, nous constatons un comportement similaire des caséines camelines et humaines ce qui pourrait être expliqué par un degré d'homologie important entre ces deux entités protéiques.

#### ➤ En PAGE- SDS

L'électrophorèse en PAGE-SDS a été réalisée afin de caractériser et d'identifier les caséines sur la base de leurs masses moléculaires. Le profil de migration des caséines humaines, bovines et camelines en présence du SDS est illustré en figure (10).



**Figure 10: Électrophorègramme en PAGE-SDS des caséines humaines, bovines et camelines. Gel de séparation (T=17% et C=2,7% ; pH=8,8) ; gel de concentration (T =4,8% et C=2,7% ; pH = 6,8) ; M : marqueur de taille : BSA (67 KDa) ; Ovalbumine (45 KDa) ;  $\beta$ -Lg (18 KDa) et  $\alpha$ -La (14 KDa)**

**LV : lait de vache (15 $\mu$ l) ; LC : lait de chamelle (15 $\mu$ l) ; LF : lait de femme (25 $\mu$ l)**

L'analyse du profil électrophorétique révèle la présence de deux bandes bien focalisées et intenses, elles correspondent à l' $\alpha$ S- CN et à la  $\beta$ - CN. Alors que Les autres bandes moins intenses correspondraentt à des hydrolysats de ces protéines.

l' $\alpha$ -S CN et la  $\beta$ -CN camelines migrent au même niveau que leurs homologues humaines, leurs mobilités électrophorétiques sont plus faibles que celles des caséines bovines.

Les masses moléculaires des différentes caséines sont estimées par le moyen d'une courbe étalon de calibration du gel tracée en utilisant des protéines standards. En se référant aux données bibliographiques, les différentes caséines ont été identifiées comme illustré dans le tableau (VIII)

**Tableau VIII: Comparaison des MM des caséines bovines, camelines et humaines mesurées (kDa) avec les MM rapportées par la bibliographie.**

	Lait de vache		Lait de Chamelle		Lait de femme	
	Présente étude	Référence	Présente étude	Référence	Présente étude	Référence
$\alpha$ S-CN	33,74	32,2 <sup>a</sup>	35,64	-	36,63	-
$\beta$ -CN	28,62	24,00 <sup>b</sup>	30,24	28,6 <sup>c</sup>	30,24	33 <sup>d</sup>

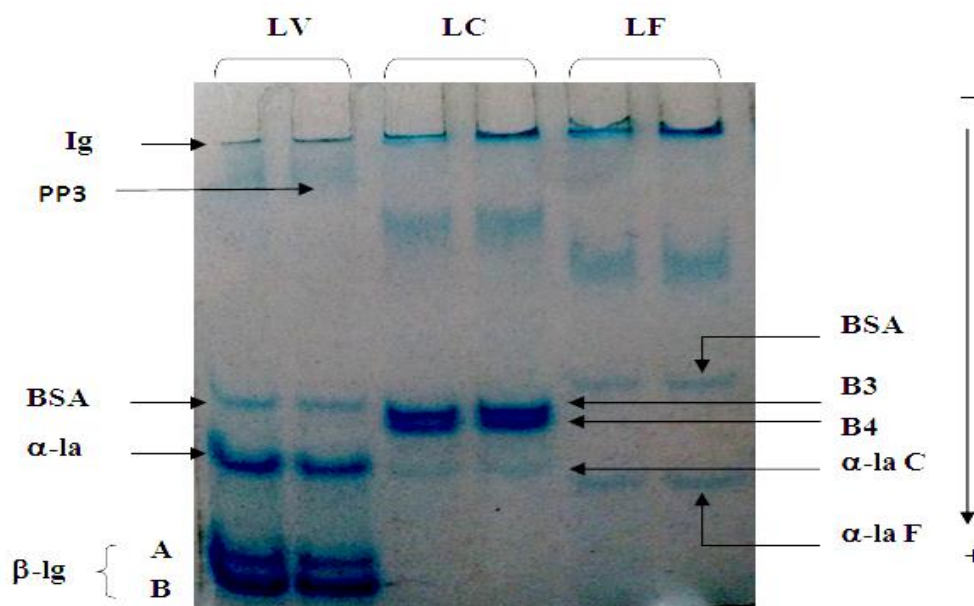
a : EL AGMAY *et al.* (1997) ; b : JOST (1988) ; c : MOHAMED (1993) ; d : BADAoui *et al.*

En ce qui concerne les caséines du lait de femme, **BADAoui *et al.*** ont relevé des masses moléculaires égales 37 000 Da pour  $\alpha$ S1- CN et 30 700 Da pour  $\alpha$ S2- CN.

### 3.3.2. Caractérisation électrophorétique des protéines sériques

#### ➤ En PAGE- native

La PAGE-native est une technique résolutive et bien adaptée à la séparation des protéines sériques. La figure (11) montre le profil électrophorétique obtenu dans les conditions non dénaturantes et non dissociantes des séroprotéines humaines, bovines et camelines.



**Figure 11: Profil électrophorétique des protéines sériques en PAGE native (T=12% ; C=2,7% ; pH = 8.9)**

LV : lait de vache ; LC : lait de chamelle ; LF : lait de femme.

$\alpha$ -la C :  $\alpha$ -lactalbumine cameline ;  $\alpha$ -la F :  $\alpha$ -lactalbumine

---

En analysant le profil électrophorétique en figure (10), nous constatons que les protéines sériques du lait bovin dans les conditions natives migrent en six bandes correspondant dans l'ordre croissant de leur mobilité électrophorétique aux immunoglobulines, le composant -3- des protéose-peptones (PP3), la sérum albumine bovine, l' $\alpha$ -lactalbumine et en fin de migration les deux variants de la  $\beta$ -lactoglobuline (A et B). Un profil similaire a été observé par (EGITO *et al.*, 2006). Toutefois, la  $\beta$ -lg bovine ne trouve pas d'équivalent dans le lactosérum des autres laits camelin et humain. L'absence de cette séroprotéine dans le lait camelin a été signalée par de nombreux auteurs (FARAH, 2004 ; SIBOUKEUR, 2008 ; SENOUSI, 2011 ; EL-HATMI *et al.*, 2015 ; SI AHMED- ZENNIA, 2015).

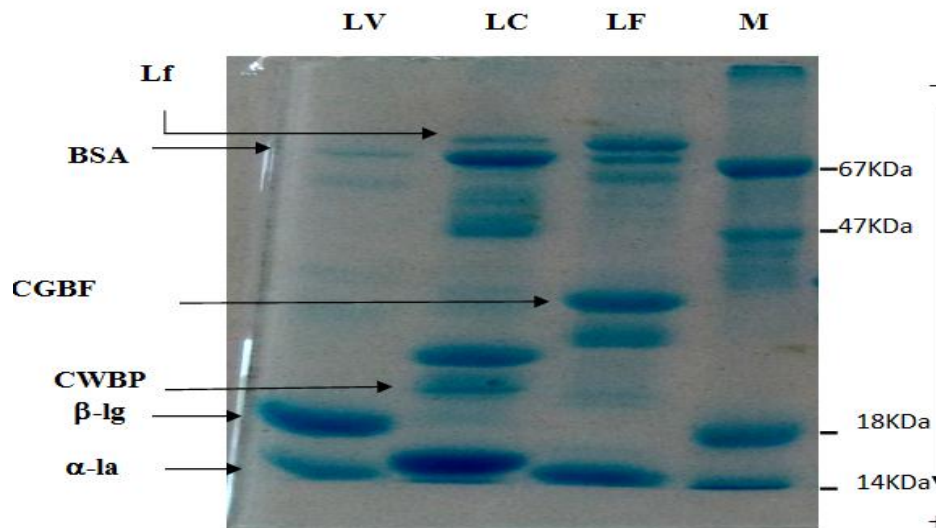
Pour les séroprotéines camelines, nous décelons cinq bandes électrophorétiques, une bande qui a un même niveau de migration que les Igs bovines qui pourrait correspondre à leurs homologues bovins, une autre bande se situe entre la BSA et l' $\alpha$ -La bovine et qui pourrait correspondre à l' $\alpha$ -La cameline. Ce résultat concorde avec ce qui a été rapporté par SIBOUKEUR (2008).

Nous signalons également la présence de bandes électrophorétiques B3 et B4 dans le lactosérum du lait de chamelle qui n'ont pas d'homologues dans les laits bovin et humain. Ces bandes pourraient s'agir de protéines spécifiques au lait de chamelle.

Les protéines sériques du lait de femme se caractérisent par un profil similaire à celui du lait de chamelle, cependant l'intensité des bandes humaines est très faible.

#### ➤ En PAGE-SDS

La migration des protéines sériques bovines, camelines et humaines en PAGE-SDS est illustrée par la figure (12).



**Figure 12 : Profil électrophorétique des protéines sériques du lait des différentes espèces en PAGE SDS. Gel de séparation (T=17% et C=2,7% ; pH=8,8) ; gel de concentration (T =4,8% et C=2,7% ; pH = 6,8).**

**LV : lait de vache ; LC : lait de chamelle ; LF : lait de femme ; M : marquer de taille.**

Les différentes protéines sériques de chaque échantillon de lactosérum ont été identifiées en se basant sur les poids moléculaires calculés. Les résultats sont représentés dans le tableau (IX).

**Tableau IX: Comparaison des MM des séroprotéines bovines, camelines et humaines mesurées (kDa) avec les MM rapportées par la bibliographie**

	Lait de vache		Lait de Chamelle		Lait de femme	
	Présente étude	Référence	Présente étude	Référence	Présente étude	Référence
<b>LF</b>	absente	-	70,71	71,6 <sup>b</sup>	70,71	-
<b>BSA</b>	68,8	66,3 <sup>a</sup>	63,37	67,9 <sup>b</sup>	66,94	-
<b>α- La</b>	14,43	14,2 <sup>a</sup>	14,83	14,5 <sup>b</sup>	14,83	-
<b>β-Lg</b>	17,78	18,3 <sup>a</sup>	absente	-	absente	-

(a) : WAL (2011) ;(b) SENOUSI (2011)

---

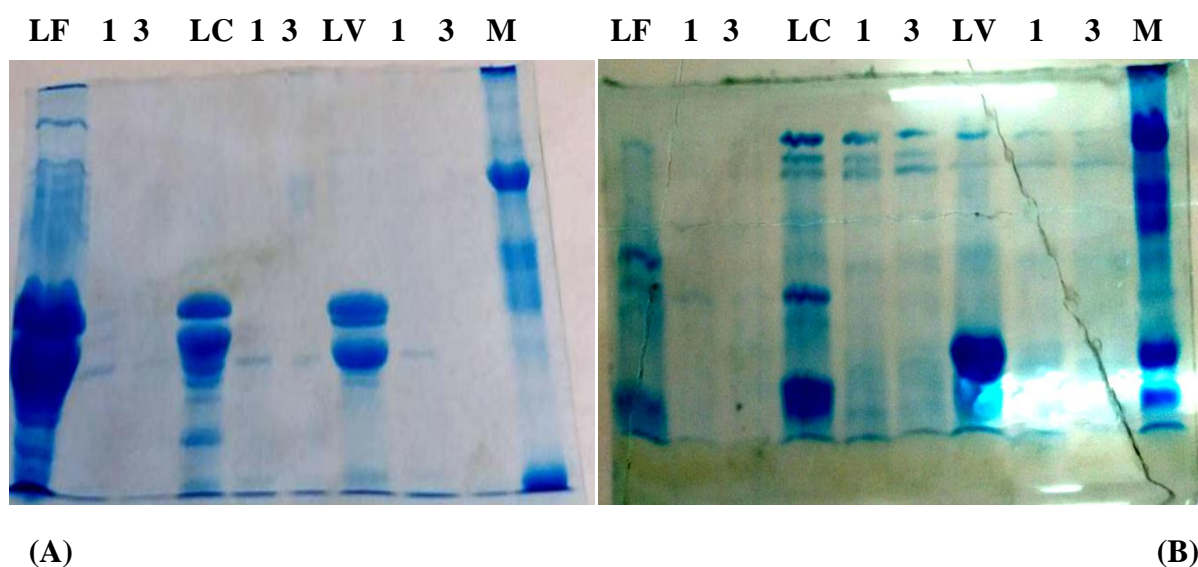
L'électrophorégramme en PAGE SDS a révélé que les protéines sériques humaines sont caractérisées par la présence de bandes d'une intensité importante, il s'agit de l' $\alpha$ -lactalbumine (14,83 kDa), le facteur de croissance colostrale (colostric basic growth factor) (CGBF) (35 kDa) (**LEVIEUX, 1999**) et de la lactoferrine (70,71 kDa), alors que dans le lait de chamelle la dominance est observée pour la sérum albumine cameline et l' $\alpha$ -lactalbumine.

Une bande intense représentant la  $\beta$ -lactoglobuline ( $\beta$ -lg) apparaît dans le lait de vache, cette protéine est absente dans le lait de femme et le lait de chamelle. Cependant, le diagramme complet du lactosérum humain caractérisé par **BISERT *et al.*** montre dans l'ordre de mobilité décroissante: un faible sommet de sérumalbumine, un clocher bien individualisé de  $\beta$ -lactoglobuline et un plateau à deux élévations correspondant à l' $\alpha$ -lactalbumine et aux globulines.

Toutefois, les profils obtenus concordent avec les résultats de **EL-AGAMY (2009)** et ceux de **KAPPLER (1998)**, exception faite pour le facteur de croissance colostrale qui n'a pas été signalé dans aucune de ces références.

### 3.4. Étude de la sensibilité des protéines sériques et des caséines à l'hydrolyse par la chymotrypsine

Le but de cette analyse n'étant pas de faire une cinétique enzymatique, nous nous contenterons de comparer les degrés d'hydrolyse des protéines afin d'en déduire leur sensibilité à l'enzyme rajoutée (chymotrypsine) au bout de 03 heures.



**Figure 13 : Profil électrophorétique en PAGE-SDS des hydrolysats libérés après l'action de la chymotrypsine sur les caséines (A) et sur les protéines sériques (B) des espèces étudiées.**

**1 et 3 : temps d'incubation de 1h et 3h ; LF : lait de femme, LC : lait de chamelle, LV : lait de vache M : marqueur de taille**

Pour les caséines, nous remarquons la disparition de la  $\alpha$ S- CN au bout d'une heure pour toutes les espèces, mais une certaine résistance de la  $\beta$ -CN qui apparait à faible intensité après une heure chez l'espèce humaine et bovine et après trois heures chez l'espèce cameline. L'espèce cameline est donc plus résistante à la chymotrypsine.

Cette observation correspond à celle obtenue par **ASSEM *et al.* (2018)** mais, elle est en désaccord avec les résultats de **SALAMI *et al.* (2008)** qui affirment que le degré d'hydrolyse des caséines camelines est plus élevé que celui des caséines bovines.

Contrairement aux protéines sériques bovines et humaines qui ont été totalement hydrolysées au bout d'une heure d'incubation, nous notons l'apparition d'une bande très fine chez l'espèce cameline après 1 heure.

Nos résultats sont en contradiction avec ceux avancés par **SALAMI *et al.*(2008)** concernant l'effet des enzymes digestives essentiellement la chymotrypsine sur les protéines du lait camelin et bovin. Il a été démontré que les caséines sont plus rapidement hydrolysées par rapport aux protéines sériques en raison de leur plus grande flexibilité et de leurs structures ouvertes. L'étendue de l'hydrolyse des caséines par la chymotrypsine chez les deux espèces est significativement plus élevée, elle est due principalement au plus grand nombre de sites de coupure potentiels présents dans les structures primaires des caséines ciblés par la chymotrypsine.

Le degré d'hydrolyse des protéines sériques camelines est plus faible que celui des séroprotéines bovines, cela peut être par la plus grande stabilité de ces protéines chez le chameau par rapport à celle du bovin.

---

## Conclusion

Plusieurs travaux portent sur l'étude du lait bovin, néanmoins le lait de chamelle reste de loin moins populaire que celui-ci, et ce malgré tous les avantages et richesse en molécules antibactérienne qu'il présente par rapport à son analogue le lait bovin. Les travaux portant sur le lait humain sont d'autant moins courants. Probablement dans une ère d'industrialisation, les chercheurs tendent beaucoup plus à étudier des laits à intérêt technologique et donc commercial.

Au cours de cette étude, les paramètres physicochimiques étudiés montrent que le lait de l'espèce humaine présente un pH basique comparé au lait camelin et au lait de référence représenté par le lait de vache et qui est plus acide que ces derniers.

Le lait humain est moins dense et moins riche en protéine totales et en caséine que le lait de chamelle et le lait de vache.

Le contrôle électrophorétique des caséines des deux espèces humaine et cameline a révélé une faible mobilité électrophorétique comparativement à leur homologue dans le lait bovin.

Le contrôle électrophorétique des protéines sériques montre l'absence de la  $\beta$ -lactoglobuline dans le lait humain et le lait camelin contrairement au lait bovin.

L'hydrolyse enzymatique à raison de 1% montre une certaine résistance des protéines sériques cameline et bovine notamment pour le sérum albumine et la lactoferrine.

Cette étude a conclu une similarité entre le lait humain et camelin malgré que ce dernier présente des teneurs plus élevées en termes de quantité pour la capacité digestives et rénales du nouveau-né; cependant, une simple dilution remédierai au problème. Une valorisation du lait de chamelle est donc envisageable en Algérie dans le domaine de l'alimentation du jeune enfant.

Des études supplémentaires peuvent être proposées notamment, l'étude des peptides bioactifs issus de l'hydrolyse de ces laits.

## Références bibliographiques



- AFNOR. (1980).**Lait et produits laitiers : méthodes d'analyses. Recueil des normes Françaises, 1<sup>ère</sup> édition, AFNOR, Paris.
- AGOSTINI, C., CARRATU, B., BONIGLIA, C., RIVA, E., SANZINI, E. (2000).** Free amino acid content in standard infant formulas: comparison with human milk. *Journal of the American College of Nutrition* 19, 434-438.
- AL HAJ O.A., AL KANHAL H.A. (2010).**Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk – review. *International Dairy Journal*. P. 1-11
- ALAIS C. (1984).** Science du lait - principes des techniques laitières. Editions Sepaic.4c éd.814p. Paris.
- AL-AWADI, F. M., SRIKUMAR, T. S. (2001).** Trace elements and their distribution in protein fractions of camel milk in composition to other commonly consumed milks. *Journal of Dairy Research*, 68(3) 463-469.
- ALHADRAMI, G.A. (2002).** Dairy Animals: Camel. In: Encyclopedia of Dairy Sciences 14, pp. 616-622
- ALVES DE OLIVEIRA L. (2007).** Composition chimique du lait, [en ligne], Cours de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, Alimentation des Animaux. [<http://www2.vet-lyon.fr/ens/nut/webBromato/cours/cmlait/compolai.html>]
- ANDERSON, R.R. (1991).** Comparison of minerals in milk of four species. *Comparative Biochemistry and Physiology* 100(4), 1045-1048.
- ANONYME , 2014 .** l'allaitement maternel exclusif en declin en Algerie, [en ligne], [<https://www.liberte-algerie.com/actualite/lallaitement-maternel-exclusif-en-declin-en-algerie-199854>]
- ASSEM F. M., ABD EL-GAWAD M. A. M., KASSEM J. M and ABD EL-SALAM M. H. (2018).**Proteolysis and antioxidant activity of peptic, tryptic and chymotryptic hydrolysates of cow, buffalo, goat and camel caseins. *International Journal of Dairy Technology*, 71, 236-242.
- ATTIA,H.,KHEROUATOU,N.,DHOUIB,A.(2001).**Dromedary milk lactic acid fermentation: microbiological and rheological characteristics. *Journal of Industrial Microbiology Biotechnology* 26, 263-270.
- BALTHAZAR, C.F., PIMENTEL, T.C., FERRÃO, L.L., ALMADA, C.N., SANTILLO, A., ALBENZIO, M., MOLLAKHALILI, N., MORTAZAVIAN, A.M., NASCIMENTO, J.S., SILVA, M.C., FREITAS, M.Q., SANT'ANA, A.S., GRANATO, D., CRUZ A.G. (2017).**Sheep Milk: Physicochemical Characteristics and Relevance for Functional Food Development. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Volume 16, Issue 2.

- BARŁOWSKA, J., SZWAJOWSKA, M., LITWIŃCZUK, Z., KRÓL, J.** (2011). Nutritional value and technological suitability of milk from various animal species used for dairy production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 10, 291-302.
- BEAUFRERE B, Briend A, Ghisolfi J, Goulet O, Putet G, Rieu D.** (2001). Nourrissons, enfants et adolescents. In : Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Tec et Doc. Lavoisier, Paris, 255-291.
- BEG O.U, VON BAHR-LINDSTROM H., ZAIDI Z.H. and JORNVALL H.** (1985). The primary structure of  $\alpha$ -lactalbumin from camel milk. *European Journal of Biochemistry*, 147, 233-23.
- BELLAMY, W., TAKASE, M., YAMAUCHI, K., WAKABAYASHI, H., KAWASE, K., TOMITA, M.** (1992). Identification of the bactericidal domain of lactoferrin. *Biochim Biophys Acta*. 1992 May 22;1121(1-2):130-6.
- BIANCHI M , DENIS JP, DUTEUTRE G, GREIGNOU P, LECOULS P, LE MASSON P, LETENNEUR L, MEYER C, RICHARD D, ROBERGE G , THIAUCOURT F,** (1999). Elevage de la vache laitière en zone tropicale. Travail collectif de CIRAD P 77-81
- BISERTE, G., BRETON, A. et FONTAINE, G.** (1957). Les protéides du lait (fin). Le diagramme électrophorétique du lait et ses variations. p158.
- BOUSBIA, A., GOZLANE, F., BENIDIR, M. et BELKHEIR, B.** (2012). Renc. Rech. Ruminants, 19, 416 Paris, France.
- BRIGNON G., CHTOUROU A. and RIBADEAU-DUMAS, B** (1985). Does  $\beta$ lactoglobulin occur in human milk? , *Journal of Dairy Science*, 55, 249-254
- BRIGNON C., CHTOUROU A. and RIBADEAU-DUMAS, B** (1985). Preparation and amino acid sequence of human  $\kappa$ -casein. *FEBS Lett.* 188, 48-54.
- Broka L., Daugule I., Ciproviča I., Kviļūna D., Rumba-Rozenfelde I.** (2016) Comparison of breast milk composition among lactating woman in Latvia. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B, Vol. 70 (2), p. 47–50.
- CAMUS Ghislaine ;RIGOURD Virginie .,** (2017). L'allaitement maternel : Guide à l'usage des professionnels, 1<sup>ère</sup> ed., De Boeck Supérieur, Nouvain-La-Neuve p 24.
- CANTISANI A., NAPOLITANO L., GIUFFRIDA M.G. and CONTI A.** (1990). Direct identification and characterisation of llama (*Lama glama L.*) whey proteins by microsequencing after western blotting. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 21, 227-236.
- CAROLE L. VIGNOLA,** (2002) : Science et technologie du lait.
- CARTER D. C. and HO J. X.** (1994). Structure of serum albumin. *Advances in Protein chemistry*, 45, 153-203.

**CAYOT P. et LORIENT D. (1998).** Structures et Techno fonctions des Protéines du Lait. Ed. Tec et Doc., Lavoisier, Paris

**CHETHOUNA F, (2011).** Etude des caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et la qualité microbiologiques du lait camelin pasteurisé, en comparaison avec le lait camelin cru. Mémoire de magister. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, département des sciences de la nature et de la vie (option : microbiologie appliquée). Université KasdiMerbah Ouargla.

**CHETHOUNA F. (2011).** Etude des caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et la qualité microbiologique du lait camelin pasteurisé, en comparaison avec le lait camelin cru. Thèse de Magister en Sciences Biologiques Université KasdiMerbah Ouargla.

**CIBAUD-LE TURDU N, (2011).** Allaitement maternel et insuffisance de lait prise en charge en médecine générale. Diplôme : doctorat en médecine. Faculté de Médecine de GRENOBLE. Thèse soutenue publiquement a la faculté de médecine de Grenoble. Université Bordeaux Segalen école de sages-femmes.

**CLAVERIE, I., et PANET, M. (2008)-** Biochimie. 2e édition. Edition Wolters Kluwer, France. p87.

**CLAVERIE, I., et PANET, M. (2008)-** Biochimie. 2e édition. Edition Wolters Kluwer, France. p87.

**CONNER G. E., SALATHE M., and FORTEZA R. (2002).** Lactoperoxidase and hydrogen peroxide metabolism in the airway. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 66, 57-61.

**CSAPÓ, J., STEFLER, J., MARTIN, T.G., MAKRAY, S., CSAPÓ-KISS, ZS.(1995).** Composition of mares' colostrums and milk. Fat content, fattyacid composition and vitamin content. *International Dairy Journal* 5, 393-402.

**DAMERVAL, C., VIENNE, D., ZIVY, M., TARROUX, P. et VINCENS, P.(1993)-** Electrophorèse bidimensionnelle des protéines, Biofutur, 123, 3-10.

**DAMERVAL, C., VIENNE, D., ZIVY, M., TARROUX, P. et VINCENS, P. (1993)-** Electrophorèse bidimensionnelle des protéines, Biofutur, 123, 3-10.

**DEBRY J. (2001).** Lait, nutrition et santé. Tec et Doc, Paris : 21,566.

**DOREAU, M., MARTIN-ROSSET, W. (2002).** Dairyanimals: Horse.In: Encyclopedia of Dairy Sciences14 , pp. 616-622.

**DROUHET Pierre-Isaac., (1814) :** de la lactation, et des divers modes d'allaitement N°128, page 5-6 (thèse DOCTORAT), IMPRIMERIE DE DIDOT JEUNE , paris

**EGITO A.S., ROSINHA G.M.S., LAGUNA L.E., MICOL L., GIRADET J M. and GAILLARD J L. (2006).** Metodoelectroforeticorapido para detecção da adulteração do

leitecaprino com leitebovino. Arquivo Brasileiro Medicina Veterinaria e Zootecnia, 58 (5),932-939.

**ELAGAMY E. I., ABOU-SHLOUE Z.L. and Y. I. ABDEL-KADER.** (1997). A comparative study of milk proteins from different species. II. Electrophoretic patterns, molecular characterization, amino acid composition and immunological relationships. Third Alexandria conference on Food Science and Technology, Alexandria, Egypt. 1-3 March.

**EL-AGAMY E.I., NAWAR M., SHAMSIA S.M., AWAD S. and GEORGE FW.** (2009). are camel milk proteins convenient to the nutrition of cow milk allergic children? *Small Rum research*, 82, 1-6.

**EL-AGAMY, E.I.** (2009). Chapter6: Bioactive components in camelmilk. In: Bioactive components in milk and dairyproducts, Park Y.W.ed. Wiley-Blackwell, Iowa, USA, pp. 159-194.

**EL-HADI SULIEMAN A., ILAYAN A. A., EL FAKI A. E,** (2006). Chemical and microbiological quality of Garris, Sudanese fermented camel's milk product. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 321-328.

**EI-HATMI H., JRAD Z., SALHI I., AGUIBI A., NADRI A. and KHORCHANI T.** (2015). Comparison of composition and whey protein fractions of human, camel, donkey, goat and cow milk. *Mljekarstvo*, 65 (3), 159-167.

**FAO Collection** (1990) .Alimentation et nutrition n° 28 ISBN 92-5-20534-6. Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine.

**FAO collection.** (1995). Alimentation et nutrition n°28.Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine.

**FAO collection.** alimentation et nutrition., (2001) n°29 :la nutrition dans les pays en développement., Rome. Page 291.

**FAO.** (1995). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Colection FAO: Alimentation et nutrition n° 28.

**FARAH Z.** (1993). Composition and characteristics of camel milk. *Journal of Dairy Research*, 60, 603-626.

**FARAH Z., EBERHARD P., MEYER J., REHBERGER B., THOMET A. and GALMANN P.** (2004). UHT processing of camel milk. Swiss federal institute of technology, Switzerland.

**FARAH, Z., RETTENMAIER, R., ATKINS, D.** (1992). Vitamin content of camelmilk. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* 62(1), 30-33.

**FARREL J. H. M., JIMENEZ-FLORES R., BLECK G. T., BROWN E. M., BUTLER J. E., CREAMER L. K., HICKS C. L., HOLLAR C. M., NG-KWAI-HANG K. F. and**

**SWAISGOOD H. E.** (2004). Nomenclature of the Proteins of Cows' Milk—Sixth Revision. *Journal of Dairy Science*, 87, 1641-1674.

**FARRELL, JR.M.H., JIMENEZ-FLORES, R., BLECK, G.T., BROWN, E.M., BUTLER, J.E., CREAMER, L.K., HICKS, C.L., HOLLAR, C.M., NG-KWAI-HANG, and SWAISGOOD.** (2004). Nomenclature of the proteins of cows' Milk-sixth Revision. American Dairy science association. *J.Dairy Sci.* 87:1641-1674.

**FERRANTI P ; MALORNI A;NITTI G; LAEZZA P; PIZZANO R ; CHIANESE L and ADDEO F.**(1995). Primary structure of ovine  $\alpha$ 1-caseins: localization of phosphorylation sites and characterization of genetic variants A, C, and D. *J Dairy Res* ,62, 281-296.

**FODA M.I., MERVAT I., KAWASHIMA T., NAKAMURA S., KOBAYASHI M. AND OKU T.** (2004). Composition of Milk Obtained From Unmassaged Versus Massaged Breasts of Lactating Mothers. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition.* 38:484–487 © May 2004 Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.

**FOX P.F.** (2001). Milk proteins as food ingredients. *Int.J.Dairy Tec*, 54(2), 41(55). 1379-1400.

**FREDOT E.** (2012). Connaissances des aliments. Base alimentaire et nutritionnelle de la diététique, 3<sup>ème</sup> éd., TEC & DOC, Lavoisier, Paris.

**FRITSCHÉ, R.**(2003). Role for technology in dairy allergy. *Australian journal of Dairy Technology.* 2003; 58: 89-91.

**GORBAN A.M.S. and IZZELDIN O.M.**(1997). Mineral content of camel milk and colostrum. *J. Dairy Techn.*, 64, 471-474.

**GORBAN AM, IZZELDIN OM.** (2001). Fatty acids and lipids of camel milk and colostrum. *Int J Food Sci Nutr.* 2001 May;52(3):283-7.

**Grande Encyclopédie Larousse, Lait,** p 7770. Larousse Ed 1971-1976.

**GUILLOU, H., PELISSIER, J.P., et GRAPPIN, R.** (1986). Methodes de dosage des proteines du lait de vache. *Lait*, 66, 143-175.

**GUILLOU, H., PELISSIER, J.P., et GRAPPIN, R.** (1986). Methodes de dosage des proteines du lait de vache. *Lait*, 66, 143-175.

**GUO, H.Y., PANG, K., ZHANG, X.Y., ZHAO, L., CHEN, S.W., DONG, M.L., REN, F.Z.** (2007). Composition, physicochemical properties, nitrogen fraction distribution, and amino acid profile of donkey milk. *Journal of Dairy Science* 90, 1635-1643.

**HADDADIN M. S. Y., GAMMOH S. I., ROBINSON R. K.** (2007). Seasonal variations in the chemical composition of camel milk. *Jordan Journal of Dairy Research*, 75, 8-12.

**HADDADIN M.S.Y., GAMMOH S.I. et ROBINSON R.K.** (2008). Seasonal variations in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of Dairy Research* 75 (1), p. 8-12.

**HAINQUE, B., BAUDIN, B. et LEFEBVRE, P.** (2008)- Appareils et méthodes en biochimie et biologie moléculaire. Edition Flammarion, Paris. 449 p.

**Hansen M, Sandström B, Lönnerdal B.,** (1996). The effect of casein phosphopeptides on zinc and calcium absorption from high phytate diets assessed in rat pups and Caco-2 cells. *PediatrRes*;40:547–52.

**HEIRD WC.,** (2000). The role of polyunsaturated fatty acids in term and preterm infants and breastfeeding mothers. *PediatrClin North Am* 2001; 48: 173-188.

**HILLIER R. M.** (1976). The quantitative measurement of whey proteins using polyacrylamide gel electrophoresis. *Journal of Dairy Research*, 43, 259-265.

**HOFFMAN J.R., AND FALVO M.J.** (2004). « Protein - Which is best? », *Journal of Sports Science and Medicine*, no 3, 130–p. 118, 2004

**HOFFMAN Jay R, FALVO. Michael J.** (2004).« Protein - Which is best? » *Journal of Sports Science and Medicine*, no 3, 130–p. 118, 2004

**JEANTET.R., CROGUENEC.T, MAHAUT.M, SCHUCK.P, BRULE.G,** (2008). Les produits laitiers 2<sup>e</sup> éd., LAVOISIER, PARIS, p 3.

**JENSEN, R.G.** (1989). Lipids in human milk – Composition and fat soluble vitamins. In : E, Lebenthal, ed. *Textbook of gastroenterology and nutrition in infancy*. P.157-208. New York, Raven press. 2<sup>nd</sup> ed. Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. In : *Collection FAO :Alimentation et nutrition n°28*. P 16.

**JOST R.** (1988). Physicochemical Treatment of food allergens: Application to cow's milk proteins. SCHMIDT E., (ed). *Food Allergy*. NNWS, 17, Nestec Ltd, N.Y., 187-197.

**KAPPELER S,** (1998). Composition and structural analysis of camel milk proteins with emphasis on protective proteins. Thèse de doctorat, Swiss federal institute of technology, Zurich.

**KAPPELER S., ACKERMANN M., FARAH Z. and PUHAN Z.** (1999a). Sequence analysis of camel (*Camelus dromedarius*) lactoferrine. *International Dairy Journal*, 9, 481-486.

**KAPPELER S.R., FARAH Z. and PUHAN Z.** (1998). Sequence analysis of *Camelus dromedarius* milk caseins. *Journal of Dairy Research*, 65, 209-222.

**KAPPELER S.R., FARAH Z. and PUHAN Z.** (2003). 5'-flanking Regions of camel milk genes are highly similar to homologue regions of other species and can be divided into two distinct groups. *Journal of Dairy Science*, 86, 498-508.

**KONUSPAYEVA Gaukhar, LEMARIE Émilie, FAYE Bernard, LOISEAU Gérard, MONTET Didier.** (2008) Fatty acid and cholesterol composition of camel's (*Camelus bactrianus*, *Camelus dromedarius* and hybrids) milk in Kazakhstan. *Dairy Science Technology*, EDP sciences/Springer, 2008, 88 (3), pp.327-340.

- KRISTINSSON, HG., RASCO, BA.** (2000). Biochemical and functional properties of atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle proteins hydrolyzed with various alkaline proteases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2000; 48: 657-666.
- KUNZ C, Rudloff S, Baier W, Klein N, Strobel S.** Oligosaccharides in human milk : structural, functional and metabolic aspects. *Annu Rev Nutr*2000 ; 20 : 699-722.
- LAEMMLI U. K. and FAVRE H.** (1973). Maturation of the head of bacteriophage T4. I. DNA packaging events. *Journal of Molecular Biology*, 80,575-599.
- LAOUEDJ MUSTAPHA.** (2014). Est-ce que le lait de chamelle peut remplacer le lait maternel ?, Disponible sur : <https://dromadaire01dz.wordpress.com/2014/11/23/est-ce-que-le-lait-de-chamelle-peut-remplacer-le-lait-maternel/>
- LARSSON-RAZNIKIEWIEZ M. and MOHAMED M. A.** (1986). Analysis of the caseins in camel (*Camelus dromedaries*) milk. *Journal Agriculture Research*, 16, 13-18.
- LASNAMI K., (1986):** Le dromadaire en Algérie. Perspective de développement. Thèse. Magis. Agro. I.N.A. El Harrach. Algérie. 185P.
- LAWRENCE R.A., LAWRENCE R.M.** (2011). *Breastfeeding: A Guide for the Medical Profession.* éd. by mosby, an imprint of Elsevier inc. Maryland Heights, Missouri. p.126.
- LENTNER C, (1981).** Body fluids, composition of the body, nutrition. Geigy scientific tables, volume 1: Units of measurement, P.213-216.Basel, Ciba Geigy.8thed.
- LEVIEUX, D.** (1999). Le colostrum, un lait particulièrement riche en de nombreux composants : peut-on en déceler la présence dans les livraisons de lait de vache ?. *Le Lait*, INRA Editions, 1999, 79 (5), pp.465-488.
- LONNERDAL B., IYES S. (1995).** Lactoferrin: molecular structure and biological function. *AnnuRevNutr.* 1995;15:93-110.
- LOWRY O.H., ROSEBROUGH N.J., FARR A.L. and RANDALL R.J.(1951).** Protein measurement with Folin phenol reagent. *Journal of Biochemistry*, 193 , 265-275. In: *The journal of Biological Chemistry*.
- LOWRY O.H.,ROSEBROUGH N.J., FARR A.L.and RANDALL R.J.(1951).** Protein measurement with Folin phenol reagent. *Journal of Biochemistry*, 193 , 265-275. In *The journal of Biological Chemistry*.
- LUCOTTE G., 1977-** Le polymorphisme biochimique et les facteurs de son maintien. Edition Masson, Indiana.62p.
- LUHOVYY BL., AKHAVAN T., ANDERSON GH.** (2007). « Whey proteins in the regulation of food intake and satiety », *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 26, No. 6, 704S-712S.
- MAHBOUB N., TELLI A., SIBOUKEUR O., BOUDJENAH S., SLIMANI N. et MATI, A** (2010). Contribution a l'amélioration de l'aptitude fromagère du lait camelin : étude

des conditions de conservation des enzymes gastriques camelines. *Annales des Sciences et Technologies*, 2(1), 71-80.

**MAHE, S., AUBRY, S., BARROIS-LAROUZE, V., PIERRE, A.** (1991). D Tome. Concentration of human milk immunoglobulins by ultrafiltration. *Le Lait*, INRA Editions, 1991, 71 (3), pp.321-326. <hal-00929248>.

**MATHIEU J.** (1998). *Initiation à la physico-chimie du lait*. Edition Lavoisier, Technique et documentation, Paris, 220p.

**MATI A.** (1992)- Les protéose-peptones dans les laits bovin ovin et caprin : Isolement,caractérisation, origine et évolution de la fraction hydrophobe contenant le composant-3.

**MEDHAMMAR, E., WIJESINHA-BETTONI, R., STADLMAYR, B., NILSSON E., CHARRONDIERE, U. R., BURLINGAME, B.** (2012). Composition of milk from minor dairy animals and buffalobreeds:abiodiversity perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92, 445-474.

**MEHAIA M. A., HABLAS M. A., ABDEL-RAHMAN K. M., EL-MOUGY S. A.** (1995). Milk composition of Majaheim, Wadah and Hamra camels in Saudi Arabia. *Food Chemistry*, 52, 115-122.

**MITTAINE J.** (1962). Milk other than cows' Milk. In: *Milk Hygiene*. WHO/FAO, p.681-694.

**MOHAMED A.** (1993). Characterization of camel milk  $\beta$ -casein. In: RIVAL S. G., BOERIU C. G. and WICHER H. J. (2001). Casein and casein hydrolysates .2. antioxidative properties and relevance to lipoxygenase inhibition. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 295-302.

**OCHIRKHUYAG B., CHOBERT G.M., DAGLARRONDO M., CHOISSET Y. and HAERTLE T.** (1997). Characterization of caseins from Mongolian yak, Khainak and Bactarian camel milk. *Lait*, 77, 601-613.

**OCHIRKHUYAG, B., CHOBERT, J.M., DALGALARRONDO, M., CHOISSET, I.Y. and HAERTLE, T.** (1998). Characterization of whey proteins from Mongolian Yak, Khainak, and Bactarian Camel. *Journal of food Biochemistry*, 22, 105-124.

**OMAR A. AL HAJ, HAMAD A. AL KANHAL.**(2010). Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *International Dairy Journal* 20 (2010) 811e821.

**OMS.,** (2018). *Alimentation du nourrisson et du jeune enfant*.

**OTTER D.** (2003). Milk/Physical and chemical properties. *Elsevier Science*, xxx, 3957-3963.

**PARK, Y. W.** 2009. Chapter 3: Bioactive components in goat milk. In: *Bioactive components in milk and dairy products*, Park Y.W. (ed.), Wiley-Blackwell, Iowa, USA, pp. 43-81.

- PARK, Y. W., JUÁREZ, M., RAMOS, M., HAENLEIN, G. F. W.** (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research* 68, 88-113
- PAYENS, T.A.** (1982). Les propriétés physico-chimiques des caséines alpha s1, bêta et kappa. *Le Lait*, INRA Editions, 1982, 62 (617\_618\_619\_620), pp.306-320. <hal-00928932>.
- REGINALD H. G. et CHARLES M.G.**, 2000- Biochimie. 1er édition. Edition Boeck, Paris.
- RIBADEAU-DUMAS, B., BRIGNON, G., GROSCLAUDE, F., MERCIER, J-C.** (1972). Structure primaire de la caséine  $\beta$  bovine. *European Journal of Biochemistry Volume 25, Issue 3*.
- SALAMI M., YOUSEFI R., EHSANI M. R., DALGALARRONDO M., CHOBERT J. M., HAERTLE T., RAZAVI S. H., SABOURY A. A., NIASARI-NASLAJI A. and MOOSAVI-MOVAHEDI A. A.** (2008). Kinetic characterization of hydrolysis of camel and bovine milk proteins by pancreatic enzymes. *International Dairy Journal*, 18, 1097–1102.
- SALAMON, R., CSAPO, J., SALAMON, SZ., CSAPO-KISS, ZS.** (2009). Composition of mare's colostrum and milk. I. Fat content, fatty acid composition and vitamin contents. *ActaUniversitatisSapientiae, Alimentaria 2* (1), 119-131.
- SALEM S. A., EL-AGAMY E. I., SALAMA F. A. and ABO-SOLIMAN M. H.** (2009). Isolation, molecular and biochemical characterization of goat milk casein and its fractions. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 11, 29-35.
- SALEY M.** (1993). *La Production Laitière du Dromadaire*. CIRAD, Ed Maison-Alfort, Paris.
- SALIMEI, E., FANTUZ, F.** (2012). Equidmilk for human consumption. *International Dairy Journal 24*, 130- 142.
- SALIMEI, E., FANTUZ, F., COPPOLA, R., CHIOFALO, B., POLIDORI, P., VARISCO, G.** (2004). Composition and characteristics of ass's milk. *Animal Research* 53, 67-78.
- Sato R, Noguchi T, Naito H.** (1986). Casein phosphopeptide (CPP) enhances calcium absorption from the ligated segment of rat small intestine. *J NutrSciVitaminol (Tokyo)*32:67–76. 21.
- SAWAYA W. N, KHALIL, J. K, AL-SHALHAT.A, AL-MOHAMMAD.H.**(1984). Chemical Composition and Nutritional Quality of Camel Milk. *Journal of Food Science Volume 49, Issue 3*.
- SBOUI, A., KHORCHAN, T., DJEGHAM, M. et BELHADJ, O.** (2009). Comparaison de la composition physicochimique du lait camelin et bovin du Sud tunisien; variation du pH et de l'acidité à différentes températures. *Afrique SCIENCE 05(2)* (2009) 293 – 304. p298.
- SCHMIDT.** (1980). In :Science et technologie du lait, transformation du lait. Presses internationales polytechnique. p15.

**SENOUSSI C.** (2011). Les protéines sériques du lait camelin collecté dans trois régions du sud algérien : essais de séparation et caractérisation de la fraction protéose peptone. Thèse Magister. Université Mouloud Mammeri Tizi -Ouzou, Algérie.

**SHAMSIA, S.M.** (2009). Nutritional and therapeutic properties of camel and human milks. *International Journal of Genetics and Molecular Biology* 1(2), 52-58.

**SI AHMED ZENNIA S., ALMI D., SENOUSSI C., BOUDJENAH S. and MATI A.** (2013). Separation and characterization of major milk proteins from Algerian Dromedary (*Camelus dromedarius*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25, 283-290.

**SI AHMED ZENNIA, S.** (2015). Isolement et séparation des protéines sériques du lait de chamelle : mise en évidence du phénomène de désamidation de l' $\alpha$ -Lactalbumine ; conséquences sur la stabilité structurale. Thèse, En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat Sciences en Biologie ; option : Biochimie Appliquée et Biotechnologies. Université MOULOUD MAMMERI de tiziouzou, algérie faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques département de biochimie – microbiologie.

**SIBOUKEUR O.** (2007). Etude du lait camelin collecté localement : caractéristiques physico- chimiques et microbiologiques ; aptitudes à la coagulation. Thèse Doctorat. Institut national agronomique El-Harrach-Alger, Algérie.

**SIBOUKEUR O.** (2008). Etude du lait camelin collecté localement : caractéristiques physico- chimiques et microbiologiques ; aptitudes à la coagulation. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri Tizi -Ouzou, Algérie.

**SOUID W,** (2011). Effet des bactériocines (type NISINE) produites par une souche lactique isolée à partir du fromage camelin, sur une souche psychotrope. Mémoire de Magister. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, département des Sciences de la Nature et de la Vie (option : Microbiologie appliquée). Université KasdiMerbah-Ouargla.

**TACKOEN M.** (2012). Le lait maternel : composition nutritionnelle et propriétés fonctionnelles Breastmilk : its nutritional composition and functional Properties. Centre Néonatal, C.H.U. Saint-Pierre, Rev Med Brux.

**TAPERNOUX.M.A.** (1928). LES RELATIONS ENTRE L'ACIDITÉ ACTUELLE ET L'ACIDITÉ POTENTIELLE DU LAIT. *Le Lait*, INRA Editions, 1928, 8 (78), pp.686-698. <hal-00894924>.p06.

**TORTORA GJ et DERRICKSON,** (2016). page 685. Manuel d'anatomie et de physiologie humaines. 2ème édition. édition du renouveau pédagogique 2016.

**TRIVIN F. et LE BRICON T.,** 2003-Nouvelles techniques d'électrophorèse : Applications aux protéines et à l'ADN. Immuno-analyse et biologie spécialisée, vol, 18, 11-22.

**UNIACKE-LOWE, T., HUPPERTZ, T., & FOX, P.F.** (2010). Equine milk proteins: Chemistry, structure and nutritional significance. *International Dairy Journal* 20, 609-629.

- UNIACKE-LOWE, T.,**( 2011). Studies on equine milk and comparative studies on equine and bovine milk systems. PhD Thesis, Chapters 1 & 2, UniversityCollege Cork.
- VIERLING E.** (2008). Aliments et boissons. Filières et produits. Sciences des aliments, 3eme ed., Doin éditeurs, Centre régional de la documentation pédagogique d`Aquitaine. 277p.
- VIS, H.L.et Hennart P.H., (1978)** .Decline in breast-feeding: about some of its causes .ActaPediatri.Belg. 31:195-206
- Wal J.M.** (2001). Structure and function of milk allergens. - PubMed – NCBI
- Wal J.M. (2011).** Allergénicité des protéines laitières. Innovations Agronomiques , 13, 25-43.
- WALSTRA, P.** (1990). On the Stability of Casein Micelles. American Dairy Science Association. Published by Elsevier Inc. in :*journal of dairy science*. August 1990Volume 73, Issue 8, Pages 1965–1979.
- WANGO J., FARAH Z., PUHAN Z, (1998).** Composition of milk from three camel (Camelusdromedarius) breeds in Kenya during lactation. *Milchwissenschaft*, 53, 136-139
- WITTIG, I., KARAS, M. et SCHAGGER, H.,**( 2007)-High resolution clear native Electrophoresis for in-gel functional assays and fluorescence studies of Membrane Protein Complexes. *Molecular and Cellular Proteomics*.6.7, 1215-1225.
- YAGIL R,** (1985). The Desert camel; comparative physiological adaptation. Ed Karger, Basal.
- YAGIL R., ETZION Z, (1980).** Effect of drought conditions on the quality of camel milk. *Journal of Dairy Research*, 47(2), 159-166.

## Annexe



## Annexe I : Teneur en acides aminés du lait de différents mammifères

Protéines tot. (g/100g de lait)	mg/100g de lait														g/100 g de protéines de lait									
	Non-ruminants					Ruminants					Non-ruminants				Ruminants									
	Homme	Cheval	Ane	Vache	Ovin	Caprin	Buffle	Chameau	Lama	Yack	Renne	Homme	Cheval	Ane	Vache	Ovin	Caprin	Buffle	Chameau	Lama	Yack	Renne		
0,9-1,9	1,4-3,2	1,4-1,8	3,0-3,9	4,5-7,0	3,0-5,2	2,7-4,7	2,4-4,2	3,4-4,3	4,2-5,9	7,5-13														
23	28	50	50	44	44	174	135,3	167,2	214	471	1,8	1,2	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,9	1,4	1,4	1,4	
60	101	56	150	233,7	240	174	135,3	167,2	214	471	4,6	4,3	3,6	4,5	4,1	6,7	4,4	4,1	4,1	4,4	4,8	4,5	4,5	
75	90	87	140	279,3	207	194	161,7	209	228	460	5,8	3,8	5,5	4,2	4,9	5,8	4,9	4,9	4,9	5,5	5,1	4,4	4,4	
131	229	135	290	513	314	368	201,3	376,2	636	971	10,1	9,7	8,6	8,7	9,0	8,8	9,3	6,1	9,9	14,2	9,3	9,3	9,3	
81	189	115	270	473,1	290	299	132	315,4	375	909	6,3	8,0	7,3	8,1	8,3	8,1	7,5	4,0	8,3	8,4	8,7	8,7	8,7	
23	35	28	60	165,3	80	93	66	117,8	143	271	1,8	1,5	1,8	1,8	2,9	2,2	2,3	2,0	3,1	3,2	2,6	2,6	2,6	
22	14	7	20	45,6	46	33	62,7	26,6	51	78	1,7	0,6	0,4	0,6	0,8	1,3	0,8	1,9	0,7	1,1	0,7	1,1	0,7	
57	111	68	160	242,25	155	183	132	174,8	233	466	4,4	4,7	4,3	4,8	4,3	4,8	4,6	4,0	4,6	5,2	4,5	4,5	4,5	
61	101	58	150	267,9	179	181	102,3	152	172	563	4,7	4,3	3,7	4,5	4,7	5,0	4,6	3,1	4,0	3,9	5,4	5,4	5,4	
78	97	102	160	324,9	240	234	135,3	209	313	606	6,0	4,1	6,5	4,8	5,7	6,7	5,9	4,1	5,5	7,0	5,8	5,8	5,8	
108	246	140	260	427,5	210	285	227,7	269,8	348	668	8,3	10,4	8,9	7,8	7,5	5,9	7,2	6,9	7,1	7,8	6,4	6,4	6,4	
66	147	98	160	296,4	181	186	141,9	155,8	202	568	5,1	6,2	6,2	4,8	5,2	5,1	4,7	4,3	4,1	4,5	5,5	5,5	5,5	
Acide																								
glutamique	231	474	358	770	1157,1	626	857	597,3	836	864	17,8	20,1	22,8	23,1	20,3	17,6	21,5	18,1	22,0	19,4	20,3	20,3	20,3	
Glycine	34	45	19	60	102,6	50	77	69,3	53,2	138	2,6	1,9	1,2	1,8	1,8	1,4	1,9	2,1	1,4	3,1	2,2	2,2	2,2	
Arginine	52	123	72	110	193,8	119	102	66	136,8	197	4,0	5,2	4,6	3,3	3,4	3,3	2,6	2,0	3,6	4,4	3,0	3,0	3,0	
Histidine	30	56	36	100	148,2	98	109	69,3	110,2	292	2,3	2,4	2,3	3,0	2,6	2,7	2,7	2,1	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	
Alanine	52	76	55	100	228	118	121	69,3	95	137	4,0	3,2	3,5	3,0	4,0	3,3	3,0	2,1	2,5	3,1	3,1	3,1	3,1	
Proline	112	197	138	320	581,4	368	481	396	387,6	128	8,6	8,4	8,8	9,6	10,2	10,3	12,1	12,0	10,2	2,9	9,3	9,3	9,3	
AA essentiels	611	995	656	1450	2545	1795	1759	1129	1748	4939	47,1	42,2	41,7	43,5	44,7	50,8	44,2	34,2	46,0	54,9	47,5	47,5	47,5	
Total	1296	2359	1572	3330	5680	3565	3977	2765	3792	4464	10408	100	100	100	100	99,65	100	100	83,8	99,8	100	100	100	

valeurs indicatives

Sources : Medhammar et al., 2012; Uniacke-Lowe, 2011; Guo et al., 2007; Haenein, 2004; Davis et al., 1994

\*: acides aminés (semi-)essentiels

**Annexe II : Détermination de l'acidité titrable**

Dans un bécher de 50 ml, introduire :

- 10 ml de lait ;
- rajouter 2 à 3 gouttes de phénophtaléine à 1% ;
- titrer avec une solution sodique (NaOH, N/9) à l'aide d'une burette jusqu'au virage de couleur au rose pâle ;
- lire le volume sur la burette (en millilitre de NaOH titré).

La valeur en acidité titrable exprimée en degré Dornic (°D), est donnée par l'expression suivante :

$$1^{\circ}\text{D} = 0,1 \text{ ml de NaOH à N/9}$$

**Annexe III : Protocole de détermination de la teneur en protéines par la méthode de LOWRY *et al.* (1951)****1- Solutions**

- Solution alcaline A

- Soude 0,1 N ..... 500 ml
- Carbonate de sodium anhydre (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).....10 g

- Solution cuivrique B

- Sulfate de cuivre hydraté CuSO<sub>4</sub>, 5H<sub>2</sub>O (0,32g / 100 ml)..... 2 ml
- Tartrate double de Sodium et de Potassium (1g / 100 ml).....2 ml

- Solution C

- Solution A.....50 ml
- Solution B.....1 ml

- Solution mère de BSA

- BSA.....10 mg
- Eau distillée .....100 ml

- Gamme étalon

A partir de la solution mère de BSA, des dilutions sont préparées suivant le tableau ci-suivant :

Concentration en BSA (mg/ml)	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
BSA (mg)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Eau distillé (ml)	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0

---

## 2- Méthode

- Prendre 1 ml de l'échantillon à doser ;
- ajouter 5 ml de solution C et mélanger ;
- laisser 10 mn à température ambiante ;
- ajouter 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu ;
- laisser 30 mn à l'obscurité ;
- lire la DO à 750 nm ;

## 3- Expression des résultats

Une courbe étalon est tracée en portant sur l'axe des abscisses, les concentrations en BSA des dilutions (gamme étalon) préalablement préparées et sur l'axe des ordonnées, les DO mesurées respectivement pour chaque dilution.

La concentration en protéines inconnue X, est déterminée à partir de cette courbe par projection sur l'axe des abscisses.

**Annexe IV : Electrophorèse en conditions non dissociantes et non dénaturantes (PAGE-native)**

### Solutions

- Solution d'acrylamide (A)

- Acrylamide.....36g
- Bisacrylamide.....1g
- Eau distillée .....100 ml

- Tampon de gel (B)

- Tris .....9,14 g
- Eau distillée.....100 ml

Ajuster à pH 8,9 avec HCl 4N

---

- Tampon d'électrode

- Tris .....	0.12 g
- Glycine .....	0,58 g
- Eau distillée.....	200 ml

Ajuster à pH 8,3 avec du Tris

- Tampon d'échantillon

- Tampon du gel (B).....	100 µl
- Eau distillée .....	700 µl
- Glycérol 50%.....	200 µl
- Bleu de bromophénol .....	une tête d'aiguille

### Electrophorèse

Préparation du gel T = 12% et 2,7%

- Solution (A).....	3,25 ml
- Solution (B).....	5 ml
- Eau distillée.....	1,68 ml

Dégazer le mélange

TEMED.....	=.10 µl
- Solution de persulfate d'ammonium 10%.....	75 µl

Couler et mettre le peigne immédiatement

Dépôt d'échantillon : 10 à 20 µl

Mise sous tension : 20 mA, 250 V

Fixation : 45 mn dans la solution de fixation

Coloration : 1 heure dans la solution de coloration

Décoloration : dans la solution de décoloration

---

**Annexe VI** : Protocole d'électrophorèse en condition dissociantes et en présence d'urée et de 2-mercaptoéthanol (PAGE-urée)

**Solutions:**

- Tampon de gel de séparation (S) :

- Tris.....	18,15g
- Eau distillée.....	100 ml

Ajuster à pH 8,8 avec du HCl 4N

- Tampon de gel de concentration (C) :

- Tris.....	6g
- Eau distillée.....	100 ml

Ajuster à pH 6,8 avec du HCl 4N

- Tampon d'électrode

- Tris.....	1,12 g
- Glycine.....	0,58 g
- Eau distillée.....	200 ml

Ajuster à pH 8,3 avec du Tris

- Tampon d'échantillon

- Solution (C).....	100 µl
- Urée.....	700 µl
- 2-mercaptoéthanol.....	200 µl
- Glycérol 50%.....	200 µl
- Bleu de bromophénol.....	une tête d'aiguille

Dissoudre 1 mg de protéines lyophilisées dans 1ml de ce tampon

**Electrophorèse**

- Préparation du gel de séparation T = 13% et 2,7%, Ph = 8,8

- 
- Acrylamide.....1,26 g
  - Bisacrylamide.....0,04 g
  - Urée.....2,4 g
  - Solution (S).....10 ml

## Dégazer le mélange

- TEMED.....30  $\mu$ l
- Solution de persulfate d'ammonium 10%.....75  $\mu$ l

Couler à environ 1,5 cm du sommet de la plaque

- Préparation du gel de concentration : T = 4% et C = 2,7%

- Acrylamide .....0,38 g
- Bisacrylamide.....0,01 g
- Urée.....0,5 g
- Solution (C).....10 ml

## Dégazer le mélange

- TEMED.....30  $\mu$ l
- Solution de persulfate d'ammonium 10%.....150  $\mu$ l

-Dépôt d'échantillon : 10  $\mu$ l

-Mise sous tension : 20 mA, 250 V

-Fixation : 45 mn dans la solution de fixation

-Coloration : 1 heure dans la solution de coloration

-Décoloration : dans la solution de décoloration

---

**Annexe V : Protocole d'électrophorèse en conditions dissociantes et dénaturantes en présence du SDS et de 2-mercaptoéthanol (PAGE-SDS)****Solutions**

## ▪ Solution d'acrylamide (A)

- Acrylamide .....	36 g
- Bisacrylamide.....	1g
- Eau distillée.....	100 ml

## ▪ Tampon de gel de séparation (S)

- Tris.....	18,15 g
- Eau distillée.....	100 ml

Ajuster à pH 8,8 avec HCl 4N

## ▪ Tampon de gel de concentration (C)

- Tris.....	6g
- Eau distillée.....	100 ml

Ajuster à pH 6,8 avec du HCl 4N

## ▪ Tampon d'électrode

- Tris .....	1,2 g
- Glycine.....	5,76 g
- SDS.....	0,2 g
- Eau distillée.....	200 µl

Ajuster à pH 8,3 avec du Tris

## ▪ Tampon d'échantillon

- Solution (C) .....	500 µl
- Eau distillée.....	250 µl

---

- SDS (10%).....250 µl

- 2-mercaptoéthanol.....50 µl

Dissoudre 1 mg de protéines lyophilisées dans 1 ml de ce tampon chauffage à 100°C pendant 5 mn puis refroidir dans un bain d'eau froide.

▪ Solution de fixation

- TCA.....12g

- Eau distillée .....100 ml

▪ Solution de coloration

- Bleu de coomassie R250.....0,5 g

- TCA.....4 g

- Méthanol.....100 ml

- Eau distillée.....100 ml

▪ Solution de décoloration

- Acide acétique .....37,5 ml

- Eau distillée.....312,5 ml

- Méthanol.....150 ml

▪ Solution de persulfate d'ammonium

- Persulfate d'ammonium.....0,1 g

- Eau distillée (qsp).....1 ml

Electrophorèse

▪ Préparation du gel de séparation T = 15% et 2,7%, Ph = 8,8

- Solution (A).....4,6 ml

- Solution (S).....2,51 ml

- Eau distillée.....2,73 ml

---

Dégazer le mélange

- SDS (10%).....100 µl
- TEMED.....13 µl
- Persulfate d'ammonium 10%.....75 µl

Couler à environ 1,5 cm du sommet de la plaque

- Préparation du gel de concentration : T = 4,8% et C = 2,7%

- Solution (A).....1,3 ml
- Solution (C).....2,5 ml
- Eau distillée.....5,8 ml

Dégazer le mélange quelques secondes

- SDS 10%.....100 µl
- TEMED.....20 µl
- Persulfate d'ammonium à 10%.....10µl

Couler immédiatement sur le gel de séparation puis introduire le peigne

- Dépôt d'échantillon : 10 µl
- Mise sous tension : 20 mA, 250 V
- Fixation : 45 mn dans la solution de fixation
- Coloration : 1 heure dans la solution de coloration
- Décoloration : dans la solution de décoloration

**Annexe VII : Préparation du tampon phosphate 60 mM**

- Phosphate monopotassique ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) .....163,308 g/l
- Phosphate dissodique ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ).....170,352 g/l