

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
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**



## **Mémoire de fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme de fin d'études en Master des Sciences Biologiques**

**Filière : Science Biologique**

**Option : Biochimie Appliquée**

### ***Thème***

**Etude comparative des propriétés techno-fonctionnelles des caséines camelines et bovines natives, traitées thermiquement et hydrolysées.**

**Réalisé par : M<sup>elle</sup> BOURNANE Nacira**

**M<sup>elle</sup> KHELOUFI Amel**

**Membres de jury :**

<b>Présidente : Mme SENANI-OULARBI N.</b>	<b>MCB</b>	<b>UMMTO</b>
<b>Promotrice : Mme ALMI-SEBBANE D.</b>	<b>MCA</b>	<b>UMMTO</b>
<b>Examinatrice : Mme SENOUSI-GHEZALI C.</b>	<b>MAA</b>	<b>UMMTO</b>

**2022/2023**

## **Remerciements**

Au terme de ce travail, on tient à exprimer notre reconnaissance et nos sincères remerciements pour tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce manuscrit.

En premier lieu, nous exprimons nos remerciements et gratitude à notre promotrice Mme **ALMI-SEBBANE Dalila**, Maitre de Conférence Classe A à l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, qui nous a confié ce sujet et nous a guidé dans sa réalisation. Elle nous a donné la chance de bénéficier de ses connaissances scientifiques et ses conseils. On lui adresse également nos remerciements distingués de nous avoir consacré son temps précieux, pour ses critiques constructives, son enthousiasme et ses qualités personnelles et professionnelles.

Nous tenons à remercier Mme **SENANI-OULARBI Nassima**, Maitre de Conférence Classe B à l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, pour avoir accepté de présider notre mémoire et Mme **SENOUSSI-GHEZALI Chahra**, Maître Assistante Classe A à l'UMMTO pour avoir accepté d'examiner notre travail.

On tient également à remercier Mme **AMAR-KHOUDJA Nadia** l'ingénieur de labo pour sa gentillesse.

Nos remerciements les plus sincères et les plus chaleureux vont à nos familles, et bien-sûr tous les amis qui nous ont encouragés.

**Grand merci à tous**

## **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, de reconnaissance et de remerciement à :

Mon cher père qui a été toujours un exemple pour moi, et qui a veillé à ma réussite en déployant tous les efforts nécessaires.

Ma chère mère qui m'a appris à être femme et qui m'a beaucoup aidé dans mes études, pour les sacrifices qu'elle a fait, pour mon éducation et la confiance et l'amour qu'elle m'a toujours accordé.

Mes adorables sœurs.

Mes copines, A toute la promotion de biochimie appliquée en souvenir des plus beaux instants qu'on a passé ensemble.

A tous ceux qui m'ont soutenu et aidé pour la réalisation de ce travail et tous ceux qui me sont chers.

**NACIRA**

## **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, de reconnaissance et de remerciement à :

A mes chers parents pour leurs soutiens, leurs patiences, leurs encouragements durant mon parcours scolaire et d'étude.

A mes sœurs et mes frères ainsi à toute ma famille.

A Hessen, repose en paix

A tous mes amis,

A toute la promotion de biochimie appliquée en souvenir des plus beaux instants qu'on a passé ensemble.

A tous ceux qui m'ont soutenu et aidé pour la réalisation de ce travail.

**AMEL**

## Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableau

Résumé

Introduction générale..... 1

### Partie .1. Synthèse bibliographique

1.1	Aperçu sur le lait de chamelle.....	3
1.2	Propriétés physico-chimiques .....	3
1.3	Composition du lait de chamelle .....	4
1.3.1	Eau.....	4
1.3.2	Lactose .....	4
1.3.3	Matière grasse.....	5
1.3.4	Matières sèches totales .....	5
1.3.5	Vitamines.....	5
1.3.6	Les minéraux .....	6
1.4	Protéines du lait de chamelle .....	7
1.4.1	Protéines de lactosérum .....	7
1.4.2	Les caséines .....	9
1.4.2.1	Micelles de caséine .....	11
1.4.2.1.1	Composition et caractéristiques générales .....	11
1.4.2.1.2	Caractéristiques de la surface des micelles de caséines.....	13
1.4.2.1.3	Caractéristique de la structure micellaire interne .....	13
1.5	Propriétés thérapeutiques.....	15
1.6	Généralités sur les propriétés de surface .....	17
1.6.1	Les mousses.....	17
1.6.1.1	Définition.....	17
1.6.1.2	Constituants d'une mousse .....	18
1.6.1.3	Classification des mousses.....	19
1.6.1.4	Stabilité des mousses .....	19
1.6.1.5	Instabilité des mousses.....	19
1.6.2	Les émulsions .....	21
1.6.2.1	Définition.....	21
1.6.2.2	Constituants d'une émulsion .....	21
1.6.2.3	Les étapes de la formation des émulsions .....	22

1.6.2.4	Classification des émulsions .....	23
1.6.2.5	L'instabilité des émulsions .....	25

## **Partie.2. Matériel et méthodes**

2.	Matériels et méthodes.....	29
2.1	Matériels.....	29
2.1.1	Echantillonnage .....	29
2.1.2	Matériel biologique.....	29
2.1.3	Produits chimiques .....	29
2.1.4	Appareillage .....	29
2.2	Méthodes .....	30
2.2.1	Mesure du pH .....	30
2.2.2	Isolement des caséines .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.2.3	Détermination de la teneur en protéines.....	31
2.2.4	Traitement thermique.....	32
2.2.5	Hydrolyse enzymatique des caséines .....	32
2.2.6	Méthodes électrophorétiques .....	33
2.2.6.1	Principe.....	33
2.2.6.2	PAGE-SDS .....	33
2.2.6.3	PAGE-Urée.....	34
2.2.7	Evaluation des propriétés techno-fonctionnelles des caséines .....	34
2.2.7.1	Pouvoir moussant .....	34
2.2.7.2	Pouvoir émulsifiant.....	35

## **Partie .3. Résultats –Discussion**

3.	Résultats et discussion.....	36
3.1	Mesure du pH.....	36
3.2	Dosage des protéines .....	36
3.3	Caractérisation des caséines (PAGE urée).....	38
3.4	Contrôle de l'hydrolyse enzymatique par PAGE SDS.....	39
3.5	Propriétés techno-fonctionnelles.....	41
3.5.1	Pouvoir moussant .....	41
3.5.1.1	Stabilité de la mousse .....	44
3.5.2	Propriété émulsifiante .....	47
	<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>51</b>
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>53</b>
	<b>Annexes</b>	

## Liste des abréviations

**$\alpha$ -Lg** :  $\alpha$ -Lactalbumine

**$\alpha$ S-CN** : Caséine  $\alpha_s$

**$\beta$ -Lg** :  $\beta$ -Lactoglobuline

**$\beta$ -CN** : Caséine  $\beta$

**BSA** : Albumine sérique bovine

**CM** : Capacité moussante

**CN** : Caséines

**CN B** : caséines bovines

**CN C** : caséines camelines

**EAI** : indice d'activité émulsifiante

**FAO**: Food and Agriculture Organization of the United Nations (organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

**Ile** : isoleucine

**$\kappa$ -CN** : kappa caséine

**SM**: Stabilité de la mousse

**PAGE** : polyacrylamide gel electrophoresis (électrophorèse en gel du polyacrylamide)

**PGRPs** : peptidoglycan recognition proteins (protéines de reconnaissance du peptidoglycane)

**SDS** : sodium dodecyl sulfate (dodécyl sulfate de sodium)

**TEMED** : N, N, N', N'-tetraméthyl-éthylènediamine

**Tris** : Tris-hydroxy-methyl-amino-méthan

## Liste des figures

N°	Titre	Page
<b>1</b>	Une micelle de caséine sous microscopie électronique à balayage à émission de champ.	<b>13</b>
<b>2</b>	Modèle sub-micellaire de Schmidt.	<b>14</b>
<b>3</b>	Modèle d'association des caséines en une structure micellaire selon Holt.	<b>14</b>
<b>4</b>	Modèle d'association des caséines en une structure micellaire selon Horne.	<b>15</b>
<b>5</b>	Schéma de la structure de la mousse à différentes échelles de longueur, commençant à gauche au niveau macroscopique et diminuant progressivement jusqu'à nanomètre.	<b>17</b>
<b>6</b>	Structure d'une mousse liquide.	<b>18</b>
<b>7</b>	Schéma des trois principaux mécanismes de déstabilisation de la mousse. (a) drainage du liquide par la gravité, (b) coalescence de deux bulles, (c) grossissement des bulles.	<b>20</b>
<b>8</b>	Schéma d'une émulsion.	<b>22</b>
<b>9</b>	Schéma de protéines globulaires migrant vers l'interface eau/huile (A), suivi d'une réorientation (B) et de la formation d'un film viscoélastique (C).	<b>23</b>
<b>10</b>	Schéma de mécanisme de stabilité de l'émulsion par répulsion électrostatique (A) et stabilisation stérique (B).	<b>23</b>
<b>11</b>	Les deux types d'émulsions simples.	<b>24</b>
<b>12</b>	Les deux types d'émulsions multiples.	<b>24</b>
<b>13</b>	Schéma des mécanismes d'instabilité dans le système d'émulsion.	<b>27</b>
<b>14</b>	Etapas suivies lors de l'isolement des caséines issues du lait bovin, camelin.	<b>30</b>
<b>15</b>	Schéma de la réaction de la méthode de Lowry	<b>31</b>
<b>16</b>	Courbe étalon du dosage de protéines par la méthode de Lowry.	<b>32</b>
<b>17</b>	Electrophoregramme en PAGE-urée des caséines camelines et bovines.	<b>38</b>
<b>18</b>	Electrophorégramme en PAGE SDS des caséines camelines et bovines.	<b>40</b>
<b>19</b>	La capacité moussante des caséines de lait camelin et bovin.	<b>41</b>
<b>20</b>	La stabilité de la mousse des caséines de lait de chamelle et bovin.	<b>45</b>
<b>21</b>	L'indice d'activité émulsifiante des émulsions huile/eau stabilisée par les caséines de lait de camelin et bovin.	<b>47</b>

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
<b>I</b>	Composition du lait de différentes espèces (%) (Al Haj et al., 2010).	<b>4</b>
<b>II</b>	Concentrations moyennes des vitamines dans le lait de chamelle, de vache et de femme (mg/kg) (Boussouar et al., 2017).	<b>6</b>
<b>III</b>	Concentration de Zinc, de cuivre, de manganèse, de sélénium, de Fer et de calcium dans le lait de camelle, vache, humain (Bocquet et al., 2002 ; Al Awadi, 2021).	<b>7</b>
<b>IV</b>	Composition des protéines de lactosérum dans le lait de chamelle, vache et humain (Hailu et al., 2016).	<b>8</b>
<b>V</b>	Composition des caséines dans le lait de chamelle, bovin and humain (Hailu et al., 2016).	<b>10</b>
<b>VI</b>	Caractéristiques physicochimiques des caséines du lait de chamelle (Kappeler et al., 1998 ; Mohamed et al., 2022).	<b>11</b>
<b>VII</b>	Diamètres des micelles de caséines (nm) cameline, bovine, caprine, ovine (Bronaz et al., 2009).	<b>12</b>
<b>VIII</b>	Différentes études entreprises sur les effets thérapeutiques du lait de chamelle.	<b>16</b>
<b>IX</b>	Classes d'émulsions (Bourrel, 1988 ; Chitour, 2004 ; Solans et al., 2005 ; Callender et al., 2017).	<b>25</b>
<b>X</b>	Les valeurs du pH du lait camelin et bovin.	<b>36</b>
<b>XI</b>	Teneur en protéines de lait camelin et bovin.	<b>37</b>

# *Introduction*

## **Introduction générale**

Le lait est un liquide d'une couleur blanchâtre produit par les cellules sécrétrices des glandes mammaires des mammifères femelles. Le lait de chaque espèce est particulièrement adapté aux besoins du nourrisson, sa composition et ses caractéristiques physico-chimique varient selon les espèces, les races et le stade de lactation.

La consommation humaine de cet aliment touche la majorité de la population mondiale, du fait de la lactation humaine premièrement, et s'ensuit après, une consommation sous forme d'autres produits dérivés industriellement.

Le lait bovin constitue depuis des temps très lointains, la principale ressource laitière la plus consommée dans le monde. Cependant, il rencontre ces dernières décennies différents problèmes et rejets, d'un point de vue sanitaire (allergies, intolérance au lactose bovin), épidémiologique (syndrome de la vache folle), économique (cherté de l'exploitation des fermes bovines et de leur entretien). Ce qui a orienté différentes recherches vers des alternatives au lait de vache.

Présentant une composition comparable à celle du lait bovin, le lait de chamelle se présente comme une très bonne alternative et solution vis-à-vis des différents problèmes rencontrés par cette filière, en raison de sa richesse en composés bioactifs et présence de plusieurs avantages thérapeutiques, nutritionnelles et médicinales.

L'un des principaux éléments du lait, est la partie protéique du type caséine qui, se diffère de son analogue bovin. Le lait de dromadaire contient à peu près 1,63 à 2,76 % des caséines, ce qui représente environ 52 à 87 % des protéines totales (Medjour, 2014). Les caséines sont hétérogènes, elles se distinguent les unes des autres par leurs tailles, leurs compositions en acides aminés, le niveau de phosphorylation et le nombre de glycosylation de la  $\kappa$  caséine (Park et al., 2007). Elles présentent l'avantage d'offrir une excellente valeur nutritionnelle ainsi que des atouts technologiques indéniables, en raison de leurs nombreuses fonctionnalités : bonnes propriétés de reconstitution et de solubilité à la neutralité ; aptitude à texturer les aliments, propriétés gélifiantes ou interfaciales (émulsifiantes et moussantes).

La présente étude a pour but de comparer les propriétés techno-fonctionnelles des caséines du lait camelin et de lait bovin. Nous avons donc retenu le plan suivant :

- Isolement des caséines de lait de chamelle et de lait de vache ;
- Caractérisation de ces deux fractions par électrophorèse dans des conditions dénaturantes (PAGE Urée) ;
- Etude des propriétés techno-fonctionnelles des caséines camelines et bovines (pouvoir moussant et capacité émulsifiante) ;
- Etude de l'effet de l'hydrolyse enzymatique (la papaïne) et traitement thermique (95°C/30min) sur les propriétés techno-fonctionnelles.

*Partie .1. Synthèse  
bibliographique*

### **1.1 Aperçu sur le lait de chamelle**

Le lait de chamelle est un produit fortement identitaire pour les populations des zones arides. Il joue un rôle crucial dans l'alimentation des nomades et les populations du sud algérien. Mais à part sa valeur nutritive, il comporte des composés biologiquement actifs tels que les caséines, sources d'acides aminés indispensables et les protéines lactosériques, importantes pour les diverses fonctions physiologiques et biochimiques qu'elles assurent. Ce lait a une composition physicochimique relativement proche de celle du lait bovin. Il se distingue des autres laits par la présence d'un système protecteur très puissant, lié à des taux relativement élevés en lysozyme, en lactoperoxydase, en lactoferrine et en bactériocines produites par les bactéries lactiques.

Il est connu en Asie et en Afrique depuis 5000 ans pour ses bienfaits pour la santé humaine d'ailleurs il est appelé également "Or blanc du désert" (Kula, 2016). Par conséquent, il n'est pas seulement consommé comme aliment, mais aussi comme remède (Kaskous, 2015), il est apprécié pour ses propriétés anti-infectieuses, anticancéreuses, antidiabétiques et plus généralement comme reconstituant chez les malades convalescents (Konuspayeva et al., 2004).

### **1.2 Propriétés physico-chimiques**

Le lait de chamelle est un liquide d'une couleur blanchâtre, cette couleur est due à la diffusion de la lumière par les micelles de caséines (Horne, 2020) et par sa composition faible en carotène (Brezovecki et al., 2015).

Sa valeur de pH est comprise entre 6,2 à 6,5 (Dugassa et al., 2021) qui est inférieure à celui du lait de vache (6,5-6,7) (El-Hatmi et al., 2015), à cause de la teneur très élevée en vitamine C et qui contribue à la conservation à long terme du lait de chamelle (Khaskheli et al., 2005 ; Karman et al., 2022). La densité moyenne du lait est de  $1,028 \pm 0,002$  g/cm<sup>3</sup> (Boussouar, 2017), et sa viscosité à 20°C est de 1,72 mPa.s qui est inférieure à celle du lait de vache dans les mêmes conditions qui est 2,04 mPa.s (Learoussy et al., 2019).

Le point de congélation du lait de chamelle est significativement plus élevé (-0,518°C) que celui du lait de vache (-0,53°C) (Abd El-Aziz et al., 2022).

### 1.3 Composition du lait de chamelle

Le lait de chamelle est considéré comme un aliment complet et équilibré. Il comporte des nutriments de base importants (protéines, matière grasse, lactose et vitamines), mais sa composition varie, qualitativement et quantitativement selon les espèces (tableau I). La localisation géographique, le type d'alimentation, les pratiques vétérinaires et la disponibilité en l'eau sont les principales raisons de cette variabilité (Yagil et al., 1980 ; Konuspayeva et al., 2009).

**Tableau I :** Composition du lait de différentes espèces (%) (Al Haj et Al kanhal, 2010 ; Sboui et al., 2015).

Lait	Eau	Protéines	MG	Cendres	Lactoses	Matières sèches
Chamelle	86-88	3,0-3,9	2,9-5,4	0,6-0,9	3,3-5,8	11,89
Vache	85-87	3,2-3,8	3,7-4,4	0,7-0,8	4,8-4,9	11,2
Brebis	79-82	5,6-6,7	6,9-8,6	0,9-1,0	4,3-4,8	-
Chèvre	87-88	2,9-3,7	4,0-4,5	0,8-0,9	3,6-4,2	-
Humain	88-89	1,1-1,3	3,3-4,7	0,2-0,3	6,8-7,0	-

(-) non déterminé, MG : Matières grasses.

#### 1.3.1 Eau

L'eau est le composant majeur du lait. Sa teneur dans le lait camelin varie selon son apport par l'alimentation et selon la saison. Pendant l'été et la période de sécheresse, elle atteint une valeur maximale.

La teneur en eau dans le lait de chamelle est 86 % lorsque l'eau est librement accessible. En cas de restriction, elle peut augmenter jusqu'à 91 % (El-Agamy, 2006). Ceci est une réponse physiologique, permettant à la chamelle de s'adapter dans les périodes de sécheresse et de fournir une quantité suffisante en eau aux chamelons et chameliers.

#### 1.3.2 Lactose

Le lactose est considéré comme la fraction majeure de carbohydrates dans le lait, sa teneur reste pratiquement inchangée au cours d'une saison et dans des conditions hydratées ou déshydratées (Devendra et al., 2016), elle se situe entre 3,3 et 5,8 % (tableau I) légèrement supérieure à celle du lait de vache (4,8-4,9%).

C'est le principal glucide du lait de chamelle, il contient un petit nombre d'oligosaccharides différents qui protègent les nourrissons contre les agents pathogènes, et aident au développement du système nerveux (Swelum et al., 2021).

### **1.3.3 Matière grasse**

La matière grasse du lait est une source d'énergie, elle agit comme un solvant pour les vitamines liposolubles et fournit des acides gras essentiels. La majeure partie de la matière grasse de lait existe sous forme de petits globules sphériques de taille variable, la surface de ces globules est recouverte d'une couche appelée membrane de globule gras, qui agit comme un émulsifiant pour la graisse en suspension dans le lait (Dugassa et al., 2021). La membrane protège la graisse et empêche les globules de fusionner en grains de beurre et peuvent être brisés par action mécanique.

Le diamètre des globules gras du lait de chamelle varie entre 1,2 et 4,2 microns (Brezovecki et al., 2015), elle est plus petite que celles des globules gras du lait de vache, de buffle et de chèvre (Swelum et al., 2021).

La teneur en matière grasse dans le lait de chamelle varie entre 2,9 et 5,4% (Tableau I) selon l'alimentation, le stade de lactation, la race et la saison. Elle se caractérise par une proportion plus élevée d'acides gras insaturés (35-55%) responsables de la texture cireuse de la graisse et d'acides gras à longue chaîne (92-99%) par rapport aux autres espèces (Izadine, 2019). Elle contient moins d'acides gras à chaîne courte (Dugassa et al., 2021).

### **1.3.4 Matière sèche totale**

Dans le lait de chamelle, la matière sèche totale est comparable à celle de lait de vache (Tableau I). Elle est inversement proportionnelle à la teneur en eau. Selon Yagil et al. (1980), elle varie suivant la disponibilité de l'eau. Si l'eau est disponible elle peut être supérieure à 14%. Durant la saison de sécheresse, elle peut diminuer à moins de 9%.

### **1.3.5 Vitamines**

Le lait de chamelle est une source précieuse de vitamines à la fois liposolubles (A, D, E et K) et hydrosolubles (B et C). Il se caractérise par sa richesse relative en vitamines B3 (niacine) et en vitamine C (acide ascorbique) (Tableau II), qui peut agir comme un antioxydant contre les radicaux libres, ce qui peut diminuer le stress oxydatif chez les animaux.

Le niveau de vitamine C dans le lait de chamelle est 3 à 5 fois plus élevé que dans le lait de vache, ce qui en fait un élément important de l'alimentation dans les zones arides où les aliments verts sont rares (Zhao et al., 2015 ; Kamal et al., 2017), il est aussi carencé en vitamines B1, B2 et A, en acide pantothénique et en acide folique.

Le lait de chamelle et le lait de vache ont presque la même teneur en vitamines B6 et B12 (Devendra et al., 2016).

**Tableau II** : Les concentrations moyennes des vitamines dans le lait de chamelle, de vache et de femme (mg/kg) (Boussouar et al., 2017).

<b>Vitamines</b>	<b>Chamelle</b>	<b>Vache</b>	<b>Femme</b>
<b>A</b>	0,21	0,28	0,55
<b>B1 (thiamine)</b>	0,41	0,59	0,15
<b>B2 (riboflavine)</b>	1,1	1,6	0,38
<b>B3 (niacine)</b>	0,78	0,7	1,7
<b>B5 (acide pantothénique)</b>	2,3	3,8	2,7
<b>B6 (pyridoxine)</b>	0,54	0,5	0,14
<b>B7 (biotine)</b>	Non déterminé	0,04	0,01
<b>B9 (acide folique)</b>	0,0046	0,055	0,042
<b>B12</b>	0,0053	0,009	0,0005
<b>C</b>	140	13	40
<b>D</b>	0,003	0,009	0,014
<b>E</b>	0,18	0,6	8

### **1.3.6 Les minéraux**

Le lait des mammifères contient tous les composants essentiels pour soutenir la croissance et le développement du nouveau-né allaité. Les minéraux sont parmi ses composants, y compris le fer, phosphate et le calcium, leur teneur totale dans le lait de chamelle exprimé en cendre varie de 0,6 à 0,9 % (Tableau I).

Le lait de chamelle possède des concentrations plus élevées de fer et de manganèse par rapport au lait de vache et le lait maternel (Tableau III). Ces minéraux sont essentiels à la croissance, au développement osseux et à une fonction cellulaire efficace (Lucy et al., 2009).

**Tableau III** : Concentration en Zinc, cuivre, manganèse, sélénium, fer et en calcium dans le lait de camelle, vache et humain (Bocquet et al., 2002 ; Al Awadi, 2001).

Minéraux Source Du lait	Zinc (mg/l)	Cuivre (mg/l)	Manganèse (mg/l)	Sélénium (mg/l)	Fer (mg/l)	Calcium (mg /100ml)
<b>Chamelle</b>	4,9	0,36	0,0796	0,0139	3,16	116
<b>Vache</b>	6,2	0,27	0,0126	0,0126	0,29	107-133
<b>Humain</b>	2,9	0,6	0,0143	0,0143	0,26	33

#### 1.4 Protéines du lait de chamelle

En plus de leur apport nutritionnel (source d'acides aminés essentiels), les protéines du lait revêtent une grande importance tant en termes de quantité que de la qualité, les caséines et les protéines de lactosérum constituent le système protéique du lait.

Les protéines du lait sont un groupe hétérogène de composés qui présentent des différences dans la composition chimique et les propriétés fonctionnelles (Kula et al, 2016).

La teneur en protéines du lait de chamelle varie de 3.0 % à 3.9 % (Tableau I). Comme les laits d'autres espèces, ces protéines se répartissent en deux fractions : protéines du lactosérum et caséines. La teneur en protéines dans le lait varie selon les races des chameaux et les conditions saisonnières (Al Haj et Al kanhal, 2010).

##### 1.4.1 Protéines de lactosérum

Le lactosérum du lait de chamelle est de couleur blanche comparé au lactosérum verdâtre du lait bovin qui est dû à la dispersion de petites particules de caséines et de globules gras, ainsi que à la faible concentration en riboflavine dans le lactosérum du lait de chamelle (Mohamed et al., 1990 ; Brezovecki et al., 2015).

Les protéines de lactosérum représentent la fraction du lait qui reste soluble en opposition aux caséines qui sont coagulables au pH isoélectrique (4,6 pour le lait bovin et 4,3 pour le lait camelin) (Wangoh et al., 1998). C'est la fraction du lait de chamelle qui couvre 20 à 25% des protéines, sa teneur est comprise entre 0,63 et 0,8% (Abbas et al., 2013).

Les protéines sériques sont considérées comme une source riche de lactoferrine, immunoglobuline, lysozyme,  $\alpha$ -lactalbumine, et de sérum albumine (Ereifej et al., 2010), et possèdent également des protéases indigènes telles que la chymotrypsine A et la cathepsine D (Mati et al., 2016).

Contrairement aux caséines, les protéines de lactosérum possèdent des niveaux élevés de structures secondaires, tertiaires et dans la plupart des cas, quaternaires (Singh, 2011). Les proportions protéiques des différents types de laits sont données dans le tableau ci-dessous.

**Tableau IV** : Composition des protéines de lactosérum dans le lait de chamelle, lait bovin et lait humain (Hailu et al., 2016).

Protéines	Chamelle (g/l)	Bovin (g/l)	Humain (g/l)
<b><math>\beta</math>-Lactoglobuline</b>	Trace	3,1 (53,6%)	Trace
<b><math>\alpha</math>-Lactalbumine</b>	2,3 (27%)	1,1 (20,1%)	3,2 (42%)
<b>Sérum albumine</b>	2,2 (26%)	0,35 (6,2%)	0,57 (7,5%)
<b>Immunoglobulines (IgA, Ig , IgM)</b>	1,5 (18%)	0,20 (3,5%)	1,4 (18%)
<b>GlyCAM-1</b>	0,95 (11%)	0,30 (5,3%)	Non détectable
<b>Protéines acides de lactosérum</b>	0,16 (1,8%)	Trace	Trace
<b>Protéine de reconnaissance des peptidoglycanes</b>	0,11 (1,3%)	Mammite uniquement	Non détectable
<b>Lacto(trans)ferrine</b>	0,095 (1,1%)	0,10 (1-8%)	2,3 (30%)
<b>Lactoperoxydase</b>	Non détectable	0,03 (0,5%)	0,004 (0,1%)
<b>Lysozyme C</b>	0,00015	0,00007	0,13 (1,7%)
<b>Protéines de lactosérum totales</b>	<b>8,5</b>	<b>5,7</b>	<b>7,6</b>

Le lait de chamelle comme le lait maternel, est carencé en  $\beta$ -lactoglobuline ( $\beta$ -Lg) qui est la principale protéine de lactosérum du lait de vache, brebis et chèvre, également l'une des protéines les plus cruciales des allergies du lait (Behrouz et al., 2022), et qui représente plus de 50% du total des protéines de lactosérum bovin (Tableau IV).

La  $\alpha$ -lactalbumine ( $\alpha$ -Lg) est la protéine majoritaire des protéines sériques représentant 27% des protéines sériques camelines (pas de groupement SH 'thiol' libres mais présente 4 ponts S-S) suivit par l'albumine sérique (26%) (un seul groupement thiol libre et 17 ponts S-S) (Merin et al., 2001 ; El-Hatmi et al., 2007), puis les immunoglobulines (18%) et les autres protéines (GlyCAM-1, protéines acides du lactosérum, lactoferrines...).

La  $\alpha$ -lactalbumine cameline est plus nutritive que son homologue bovin. En effet, elle possède une forte concentration en acides aminés essentiels notamment des résidus Trp, Cys et Lys. L' $\alpha$ -Lg cameline et bovine contiennent respectivement 21,6 % et 19,6 % de ces résidus d'acides aminés (Farrell et al., 2004). La masse moléculaire de l' $\alpha$ -Lg dans le lait de chamelle est de 14,6 kDa avec 123 résidus, similaire au lait de vache, et humain (Beg et al., 1986).

Le lait de chamelle contient d'autres protéines protectrices, parmi lesquelles on peut citer les protéines de reconnaissance du peptidoglycane (PGRPs) qui possèdent une activité antimicrobienne et qui ont la capacité de contrôler les métastases du cancer (Mal et Pathak, 2010), ainsi que les immunoglobulines qui se distinguent par l'organisation de leurs chaînes lourdes qui diffèrent complètement de ce qui est connu chez les autres vertébrés (Konuspayeva et al., 2004).

De plus le lactosérum de lait de chamelle a une teneur plus élevée en agents antimicrobiens, comme la lactoferrine, le lysozyme, l'immunoglobuline et la lactoperoxydase que le lactosérum de lait de vache (Ahamad et al., 2017).

Il a été constaté que la stabilité thermique du lait camelin est en relation avec sa composition protéique. Le lait camelin montre une faible stabilité lors d'un traitement thermique à 140°C, ceci est en relation avec l'absence de la  $\beta$ -Lg et sa faible teneur en  $\kappa$ -caséine (Farah et al., 1992 ; Al-Saleh, 1996).

#### **1.4.2 Les caséines**

Les caséines (CN) sont une famille de phosphoprotéine. Elles sont présentes dans le lait de tous les mammifères et font partie du groupe de protéines séquestrant le phosphate de calcium, qui comprend les protéines de la matrice osseuse, les protéines salivaires et la dentine (Lucy et al., 2020).

La caséine démontre une grande stabilité à des températures supérieures à 100°C et des pressions allant jusqu'à 100 mPa (Sadik et al., 2021). Elle est composée de trois composants principaux :  $\alpha$ 1-caséine,  $\alpha$ 2-caséine et  $\beta$ -caséine ( $\beta$ -CN), et une quatrième fraction mineure  $\kappa$ -caséine (Swelum et al., 2021). La  $\beta$ -CN est la principale fraction (65%) du lait de chamelle suivie de la caséine  $\alpha$ s-1 (22%), contre 39% et 38% respectivement dans le lait de vache (Tableau V).

**Tableau V** : Composition des caséines dans le lait de chamelle, bovin et humain (Hailu et al., 2016).

Protéines	Chamelle (g/l)	Bovine (g/l)	Humaine (g/l)
$\alpha$ 1 -caséine	5,3 (22%)	9,5 (38%)	0,43 (12%)
$\alpha$ 2-caséine	2,3 (9,6%)	2,5 (10%)	Trace
$\beta$ -caséine	15,6 (65%)	9,8 (39%)	2,4 (65%)
$\kappa$ -caséine	0,8 (3,3%)	3,3 (13%)	0,87 (2,4%)
<b>Caséine totale</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>3,7</b>

Le lait de chamelle est similaire au lait humain car il contient une forte concentration du  $\beta$ -CN, ce qui pourrait être la raison de sa meilleure digestibilité et de la diminution de la fréquence des allergies chez les nourrissons (Brezovecki et al., 2015).

La  $\alpha$ 1-CN et la  $\alpha$ 2-CN sont les plus sensibles au calcium suivi de la  $\beta$ -CN tandis que la  $\kappa$ -CN est insensible au calcium (Singh et al., 2011).

La  $\kappa$ -CN doit être localisé de manière à pouvoir stabiliser les caséines sensibles au calcium, permettre une hydrolyse rapide et spécifique par chymosine et des protéases similaires et permettre la formation de complexes avec des protéines de lactosérum lorsqu'elles sont chauffées dans le lait (Horne, 2005).

Les molécules de CN ont une teneur élevée en résidus proline qui leurs confèrent des conformations ouvertes et flexibles. En raison de leurs grandes flexibilités, les molécules de caséines possèdent d'excellentes propriétés tensioactives et stabilisantes (Hailu et al., 2016). Le tableau VI montre quelques caractéristiques des différents types des caséines.

**Tableau VI** : Caractéristiques physicochimiques et structurales des caséines du lait de chamelle (Kappeler et al., 1998 ; Dalgleish et al., 2012 ; Mohamed et al., 2022).

	$\alpha$ 1-CN		$\alpha$ 2-CN	$\beta$ -CN	$\kappa$ -CN
	Isoforme A	Isoforme B			
<b>PM (kDa)</b>	24,668	24,755	21,993	24,900	22,294-22,987
<b>Nombre de résidus d'acides aminés</b>	207	215	178	217	162
<b>Modifications post traductionnelles</b>	6 Ser-P		9 Ser-P	4 Ser-P	2 Ser-P
<b>pHi</b>	4,40		4,58	4,66	4,11
<b>Résidus de cystéines (mole<sup>-1</sup>)</b>	0		2	0	2
<b>Chaîne disulphide (mole<sup>-1</sup>)</b>	0		1	0	1
<b>Identité (%) avec les caséines bovines</b>	44,6		58,3	67,2	58,4
<b>Similarité (%) avec les caséines bovines</b>	59,7		69,2	84,5	66,3
<b>Disposition dans la micelle</b>	Toute la structure		Toute la structure	intérieur	surface

### 1.4.2.1 Micelles de caséine

#### 1.4.2.1.1 Composition et caractéristiques générales

Dans le lait, les caséines sont principalement présentées sous forme de particules colloïdales appelées micelles de caséine, qui représentent entre 72 et 76 % des protéines totales du lait camelin et 80 % du lait bovin, et seulement 40 % du lait humain (Fox, 2001). Elles ont des structures supramoléculaires encadrées par l'association de quatre caséines fondamentales, grâce à des interactions protéine-protéine (liaison hydrophobe, hydrogène et électrostatique), ainsi que par la présence du calcium et du phosphate (6 à 8% en poids), de magnésium et de citrate communément appelés phosphate de calcium micellaire (Singh, 2011).

La structure des micelles de caséines du lait de chamelle ressemble à celle des micelles des autres ruminants, qui sont sphérique. Cependant, la différence réside au niveau du diamètre (Swelum et al., 2021) (Tableau VII).

**Tableau VII** : Diamètres des micelles de caséines (nm) cameline, bovine, caprine, ovine (Bronaz et al., 2009).

Type de lait	Diamètres des micelles de caséines (nm)		
	Minimum	Maximum	Moyenne
Vache	90	210	150
Chamelle	280	550	380
Chèvre	230	270	260
Brebis	170	220	180

Les micelles de caséines de lait de chamelle ont un diamètre de 280 à 550nm qui est supérieure à celle du lait de vache (90-210nm), en raison de leur richesse en  $\beta$ -CN et de leur faible teneur en  $\kappa$ -CN (Glantz et al., 2010).

Les minéraux qui participent à la formation des micelles de caséines sont le phosphore (P), magnésium (Mg), le citrate et le calcium. Dans le cas de lait de chamelle, le Mg et P ont participé tous à la formation de caséines. Tandis que dans le cas du lait de vache 2/5 pour Mg et 1/3 pour le phosphore sont impliquées, il en résulte plus de quantités de Mg et de P dans les micelles de caséines de lait de chamelle ce qui provoque l'augmentation de la salinité et la diminution du pH, ainsi qu'une coagulation accrue qui cause une mauvaise stabilité du lait caillé (Lucey et al., 2009 ; Khaliq et al., 2019).

Au pH du lait, la solubilité de phosphate de calcium est faible, même il précipite dans la glande mammaire ce qui provoque la formation de calculs étopiques qui bloqueraient la conduite de la glande, entraînant la mort de l'organe et peut être de l'animal (Fox et al., 2008). Les rôles des micelles de caséines sont le maintien de l'excès de phosphate de calcium dans l'état colloïdale stable et transporte en toutes sécurités à travers la glande mammaire le phosphate de calcium minéral, qui sont essentiels pour le développement des os et les dents du nourrisson et elles convertissent le lait en un fluide à faible viscosité (Fox et al., 2008 ; Lucey et al., 2009 ; Horne et al., 2020).

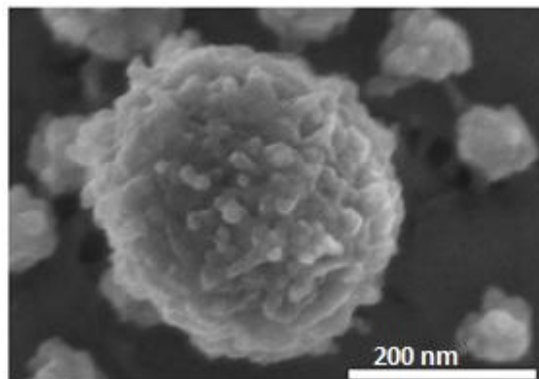
Les micelles de la caséine font partie des protéines qui sont reconnues comme véhicule naturel pour les composants bioactifs, en raison de leurs structures poreuses avec des cavités et leurs propriétés structurelles et physicochimiques uniques, telle que la liaison avec des ions, des capacités d'auto assemblage, d'émulsification et de liaison à l'eau. Par conséquent, elles ont été utilisées dans les systèmes d'administration de médicaments traditionnels et nouveaux (Sadik et al., 2021).

#### **1.4.2.1.2 Caractéristiques de la surface des micelles de caséines**

La surface de la micelle de caséine est hétérogène (Ouanezar et al., 2012), n'est pas lisse et contient des espaces entre les sous structures (figure 01). Elle est recouverte d'une couche poilue de  $\kappa$ -CN qui se trouve au niveau des terminaisons des tubulaires qui s'étendent à partir de la surface micellaire, et qui a un diamètre entre 10 à 20 nm (Dalglish et al., 2004).

La  $\kappa$ -CN crée une couche hydrophile estimée à 5-10 nm d'épaisseur (Dalglish et al., 2012) qui assure une stabilisation des micelles de caséine et empêche leur agrégation par des phénomènes de répulsion électrostatique et stérique (Walstra et al., 1999).

La surface micellaire semble également contenir des pores, ce qui suggère que l'intérieur de la micelle peut être facilement accessible depuis son extérieur (Dalglish et al., 2004).



**Figure 01 :** Image d'une micelle de caséine sous microscopie électronique à balayage à émission de champ (Dalglish et al., 2004).

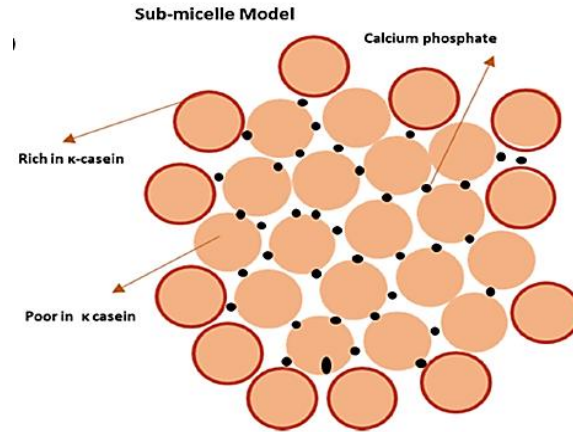
#### **1.4.2.1.3 Caractéristique de la structure micellaire interne**

Divers modèles ont été proposés pour décrire la nanostructure de la micelle de caséine par les chercheurs, parmi ces modèles :

##### **a. Le modèle sous-micellaire de Schmidt**

Ce modèle représente la micelle de caséine comme l'association de petits agrégats appelés sous-micelles, de forme sphérique, reliées entre elles via le phosphate de calcium colloïdale (Sadik et al., 2021).

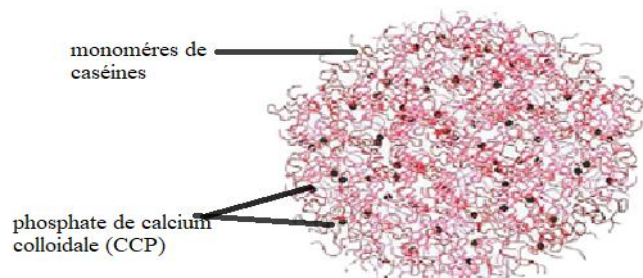
Dans ce modèle, les CN s'agrègent d'abord via une interaction hydrophobe en sous unités de 15 à 20 molécules chacune, celles riches en  $\kappa$ -CN se rassemblent à la surface de la micelle, les sous micelles pauvres ou totalement déficientes en  $\kappa$ -CN sont situées à l'intérieur de la micelle (Horne, 2005) (figure 02).



**Figure 02** : Modèle sub-micellaire de Schimdt (Sadik et al., 2021).

**b. Le modèle de nanoclusters de Holt**

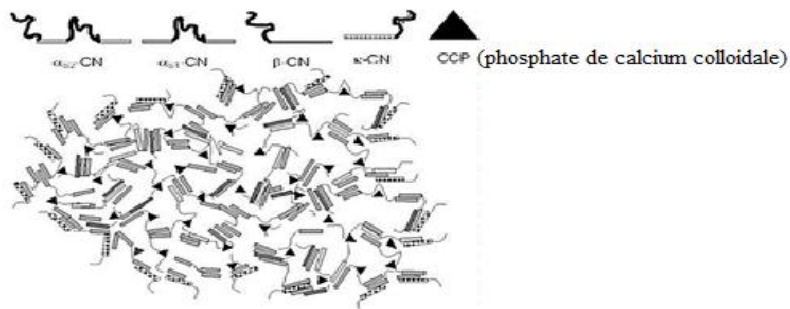
Ce model repose uniquement sur les interactions entre les caséines et le phosphate de calcium pour maintenir les micelles ensemble. Le phosphate de calcium se présente sous forme de nanolusters et les sites d'interaction sur les caséines sont les clusters phosphorylés des caséines sensibles au calcium (Horne, 2005) (figure 03).



**Figure 03** : Modèle d'association des caséines en une structure micellaire selon Holt (De-kruif, 2021).

### c. Modèle à double liaison Horne

Dans ce modèle à double liaison, l'assemblage et la croissance micellaire ont lieu par des processus de polymérisation impliquant, comme son nom l'indique, deux formes distinctes de liaison, à savoir la réticulation à travers les régions hydrophobes des CN et le pontage à travers les nanoclusters de phosphate de calcium (Horne, 2020) (figure 04).



**Figure 04** : Modèle d'association des caséines en une structure micellaire selon Horne (Lucey et al., 2009).

De nouvelles techniques de la microscopie électronique ont permis d'apporter plus d'informations sur la structure interne des micelles de caséine native. La reconstruction tomographique par la microscopie électronique à transmission cryogénique (Cryo-TEM) utilisée par Trejo et al. (2011) a montré la présence de cavités et de canaux remplis d'eau à l'intérieur de la micelle et des pores dans toute la structure de la micelle de caséine, ainsi que l'absence de toute sous-structure protéique sphérique.

Parmi tous les modèles proposés par les chercheurs pour découvrir la structure interne de la micelle de caséine, le modèle de Schmidt reste le modèle le plus utilisé actuellement et le plus correct selon les chercheurs.

## 1.5 Propriétés thérapeutiques

Au cours de la dernière décennie, l'utilisation du lait de chamelle pour ses qualités thérapeutiques a connu une augmentation sensationnelle et un enthousiasme croissant.

Plusieurs études ont montré que le lait de chamelle possède de nombreuses caractéristiques nutritionnelles et thérapeutiques bénéfiques, des propriétés antibactériennes, anticancérigènes, antioxydantes, antihypertensives et antidiabétiques en raison de la présence de substances bioactives, telles que les vitamines, la lactoferrine et des immunoglobulines (Al haj et Al Kanhal, 2010 ; Lajnaf, 2020 ; Hammam, 2019 ; Swelum et al., 2021).

Traditionnellement le lait de chamelle est apprécié pour ses propriétés anti-infectieuses, anti-cancéreuses, antidiabétiques (Tableau VIII), il est utilisé dans la prévention et le traitement de plusieurs maladies (cirrhoses du foie, maladies parasitaires, diarrhées virales, tuberculose...). Ces propriétés peuvent être reliées à sa composition.

**Tableau VIII** : Différentes études entreprises sur les effets thérapeutiques du lait de chamelle.

Aspect étudié	Effets observé et interprétations	Références
<b>Diabète</b>	Hypoglycémie (teneurs élevées d'insuline dans le lait).	Wernery (2006), Sboui et al. (2009)
<b>Complications du diabète</b>	Diminution du stress oxydatif et prévention des néphropathologies (teneurs élevées en antioxydants).	Kilari et al. (2021) ; Mudgil et al. (2023)
<b>Allergies au lait</b>	Effet hypoallergique (absence de la $\beta$ -Lg et présence d'une caséine $\alpha$ S différente de la caséine bovine)	Shabo et al. (2005)
<b>Tumeurs</b>	Effet anti-tumoral (contrôle des processus tumoraux par stimulation de la défense immunitaire)	Magjeed et al. (2005) ; Konuspayeva et al. (2004)
<b>Toxicité aux métaux lourds</b>	Effet protecteur contre la toxicité à l'aluminium et au cadmium	Al hashem et al. (2009a,b)
<b>Hypercholestérolémies</b>	Hypocholestérolémie (présence des peptides bioactifs et d'acide orotique)	Kaskous (2016)
<b>Hépatite C</b>	Inhibe l'entrée du virus VHC dans les cellules de foie (Lactoferrine et IgG).	Kaskous (2016) ; kula (2016)
<b>Infections</b>	Effet anti-infectieux (activité antibactérienne et anti-virale)	Mal et al. (2006) ; Mona et al. (2010)

## 1.6 Généralités sur les propriétés de surface

Comme les systèmes alimentaires sont des matrices complexes de divers composants qui ne sont pas toujours bien mélangés les uns aux autres, les interfaces huile-eau et/ou air-eau sont courantes et pourraient être stabilisées à l'aide d'agents émulsifiants ou stabilisants de surface appropriés (Hu et al., 2016).

Les protéines du lait sont couramment utilisées comme molécules tensioactives en raison de leurs importances nutritionnelles et de leurs larges éventails de fonctionnalités dans les aliments et produits pharmaceutiques dont l'épaississant, gélifiants, moussants et émulsifiants.

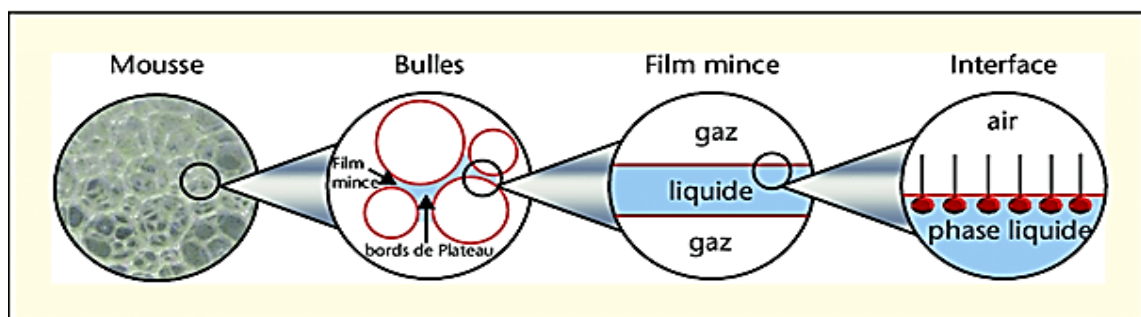
### 1.6.1 Les mousses

Les mousses du lait présentent une importance de tout premier ordre dans l'industrie du lait et de ses dérivés. Elles se trouvent facilement dans des produits laitiers commercialisés, comme le cappuccino, la crème fouettée et le lait frappé, mais elles peuvent également être indésirables, comme dans la reconstitution des poudres lactières (Huppertz, 2010). Les mousses peuvent être classées comme sèches ou humides selon la quantité de liquide dans le film mince (Gerais, 2020).

#### 1.6.1.1 Définition

La mousse de lait peut être définie comme un système à deux phases composées de cellules d'air séparées par une fine phase lamellaire liquide.

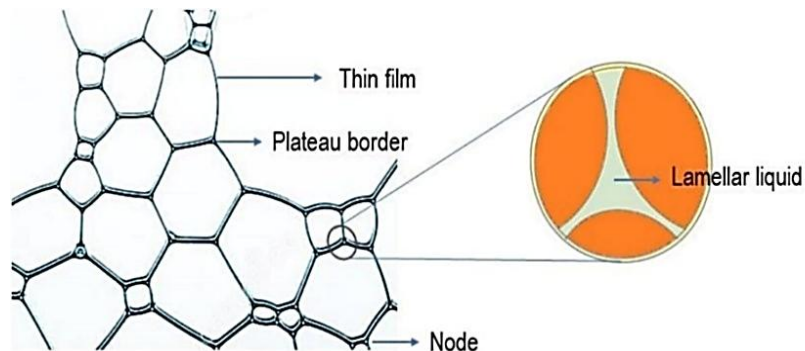
Dickinson (2003) a défini les mousses de lait comme des systèmes colloïdaux où les bulles d'air créées sont stabilisées par une matrice composée d'agents tensioactifs du lait qui sont principalement des protéines (figure 05).



**Figure 05 :** Représentation schématique de la structure de la mousse à différentes échelles de longueur, commençant à gauche au niveau macroscopique et diminuant progressivement jusqu'à nanomètre (Fameau et al., 2014).

## ***Partie 01 : synthèse bibliographique Généralités sur les propriétés de surface***

Le film mince entre deux bulles contenant la fraction liquide, appelé lamellaire liquide, se connecte aux autres films formant les bordures du plateau (Fameau et al., 2014). Par la suite, des nœuds sont formés par la rencontre de bordures du plateau aux sommets des bulles (figure 06), ce qui suppose une forme polyédrique due au contact avec d'autres bulles (Cantat et al., 2013).



**Figure 06** : Structure d'une mousse liquide (Gerais, 2020).

### **1.6.1.2 Constituants d'une mousse**

Les mousses sont constituées par trois phases (Cheftel et Lorient, 1982 ; Gonzalez et al., 2004). Ces phases sont : une phase dispersante ou continue formée de liquide, dans laquelle une deuxième phase est dispersée formée par les bulles de gaz. Généralement, les mousses sont caractérisées par l'importance de cette dernière phase, qui peut atteindre plus de 90% du volume de la mousse. Ces deux phases sont séparées par une phase interfaciale qui est un espace entre les bulles de gaz caractérisée par la présence des agents de surface ceux-ci abaissent la tension interfaciale et forme une barrière entre les bulles de gaz.

Les protéines sont parmi les principales agents de surfaces utilisés dans la création de mousse en raison de leurs capacités à :

- S'adsorber au niveau de l'interface air/eau, conduisant à une diminution de la tension superficielle ;
- Se propager à l'interface après orientation des groupes hydrophiles et hydrophobes dans les phases aqueuses et non aqueuses ;
- Former un film stabilisant autour des bulles qui est capable de piéger et de retenir l'air.

## ***Partie 01 : synthèse bibliographique Généralités sur les propriétés de surface***

Ce film protéique doit retenir l'humidité et doit être résistant aux contraintes mécaniques pendant la formation de la mousse et le stockage (Zayas, 1995 ; Borcharding et al., 2008).

### **1.6.1.3 Classification des mousses**

Les mousses sont classées selon leur stabilité en deux classes :

- Les mousses éphémères : sont des mousses instables dont la durée de vie est de quelques secondes.
- Les mousses permanentes : sont des mousses métastables dont la durée de vie est de quelques jours (Gonzalez et al., 2004).

### **1.6.1.4 Stabilité des mousses**

La stabilité de la mousse (FS) est définie comme la mi-temps de mousse ou le temps de drainage de la moitié du liquide initialement emprisonné dans la mousse (Lajnaf, 2017). Selon Chitour (2004), les mousses qui offrent une très grande surface interfaciale sont très facilement déstabilisées.

Bouquelet (2008) a montré que la stabilisation est d'autant plus grande que le film protéique à l'interface Gaz/Liquide est plus épais, cohésif, élastique, continu et imperméable au gaz. Le même auteur suggère qu'afin d'obtenir une bonne capacité moussante (mousse légère et expansée) il faut que la protéine soit soluble dans la phase liquide et au même temps capable de migrer rapidement dans la phase continue et peut se déplisser très rapidement de façon à s'adsorber facilement au niveau de l'interface Gaz/Liquide. Il est donc très difficile de trouver une protéine qui puisse à la fois donner une mousse abondante et stable.

### **1.6.1.5 Instabilité des mousses**

On distingue trois mécanismes qui affectent la stabilité de la mousse et raccourcissent la durée de vie de la mousse qui sont : le drainage, la coalescence et la dismutation.

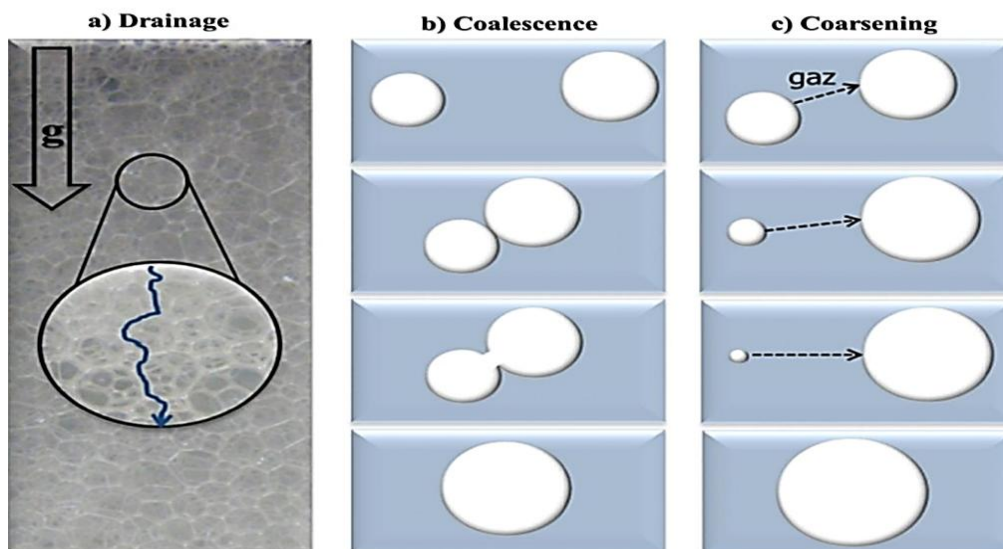
**a. Le drainage (séparation gravitationnelle ou synérèse) :** Peut être considéré comme une remonte des bulles à travers la masse de mousse, tandis que le liquide s'écoule à travers les lamelles et à travers les bordures du plateau entre les bulles sous l'effet de la gravité (Marinova et al., 2009) (Figure 07a)

Il diminue la fraction liquide et conduit à des mousses plus sèches (Fameau et al., 2014).

## *Partie 01 : synthèse bibliographique Généralités sur les propriétés de surface*

- b. La coalescence** : est le phénomène de vieillissement des mousses le moins connu. Il s'agit, à l'échelle d'un film unique entre deux bulles, de l'éclatement de ce film pour donner la fusion des deux bulles (Figure 07) (Rio, 2013), il est également responsable de l'effondrement de la mousse, car les bulles coalescence au sommet du mousses entraînant la disparition de la mousse (Fameau et al., 2014).
- c. La dismutation** : est le processus de grossissement des bulles dû à la diffusion de gaz à travers les films de mousses, des bulles les plus petites aux plus grosses (figure 07c). Ce processus ne conduit pas à une diminution directe du volume de mousse mais l'affecte indirectement puisque les bulles plus grosses entrent en contact à travers des films plus grands et ces films sont plus faciles à rompre (Marinova et al., 2009).

La coalescence et la dismutation conduisent à une augmentation de la taille moyenne des bulles avec le temps. Les trois mécanismes sont très interdépendants et peuvent s'accélérer l'un l'autre. Par exemple le drainage du fluide entre les bulles conduit à un rapprochement des surfaces des bulles et peut conduire à la rupture du mince film liquide lorsqu'une épaisseur critique est atteinte (Fameau et al., 2014).



**Figure 07** : Représentation schématique des trois principaux mécanismes de déstabilisation de la mousse. (a) drainage du liquide par la gravité, (b) coalescence de deux bulles, (c) grossissement des bulles (Fameau et al., 2014).

### **1.6.2 Les émulsions**

C'est la capacité des protéines de lait à s'adsorber à l'interface huile-eau et à stabiliser les émulsions. Elles ont été exploitées par de nombreuses industries alimentaires (crèmes de liqueurs et desserts lactés), cosmétiques (nettoyants, crèmes visages, masques sérums), ainsi que les produits pharmaceutiques (encapsulation de principe actif) (Ellouze et al., 2020).

Les émulsions à base de protéines doivent remplir deux fonctions importantes lors de la création d'émulsions :

- a. Premièrement, elles doivent s'adsorber rapidement aux surfaces de gouttelettes d'huile générées lors de l'homogénéisation, formant ainsi de petites gouttelettes d'huile recouvertes de protéines.
- b. Deuxièmement, elles doivent protéger les gouttelettes d'huile de l'agrégation pendant la production, le stockage, la distribution et l'utilisation des aliments.

Les gouttelettes d'huile adoptent une forme sphérique lorsqu'elles sont dispersées dans l'eau car cette forme minimise la surface de contact entre les phases huileuses et aqueuses (McClements et al., 2022).

#### **1.6.2.1 Définition**

Les émulsions sont définies comme une dispersion de deux ou plusieurs liquides non miscibles dans lesquels l'un des liquides est dispersé dans l'autre sous forme de petites gouttelettes (0,1 à 100  $\mu\text{m}$ ) en induisant un cisaillement mécanique au mélange à l'aide d'un homogénéisateur (Lam et al., 2013).

Les émulsions sont formées en présence d'un émulsifiant, qui comprend à la fois des composants hydrophobes et hydrophiles qui s'adsorbent aux interfaces huile/eau ou eau/huile pour former des revêtements protecteurs autour des gouttelettes pour empêcher leurs agrégations. Par exemple : phospholipides (lécithine d'œuf, de soja), protéines amphiphiles, polysaccharides amphiphiles (McClements et al., 2011).

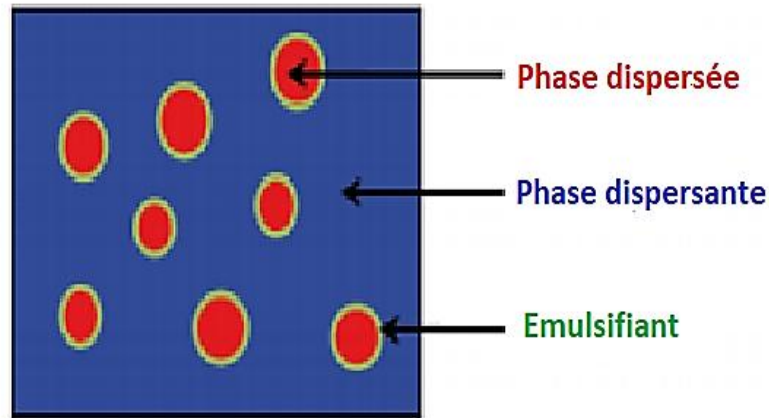
#### **1.6.2.2 Constituants d'une émulsion**

Les émulsions sont des systèmes hétérogènes formés d'au moins trois phases :

- La première est une phase dispersante appelée aussi externe ou continue, elle est formée du liquide présent en plus grande proportion dans lequel la seconde phase dispersée dite phase interne ou discontinu constituée par les particules du second liquide est dispersée sous forme de gouttelettes souvent sphériques de différentes tailles.

## ***Partie 01 : synthèse bibliographique Généralités sur les propriétés de surface***

Ces deux phases sont séparées par une troisième phase interfaciale formée d'un ou de plusieurs agents émulsifiants et stabilisants (Rahmouni, 2016).

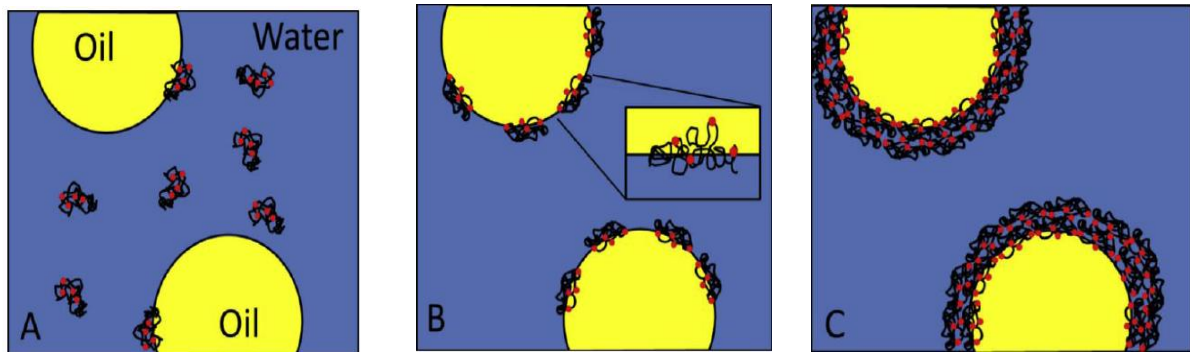


**Figure 08** : Représentation schématique d'une émulsion (Rahmouni, 2016).

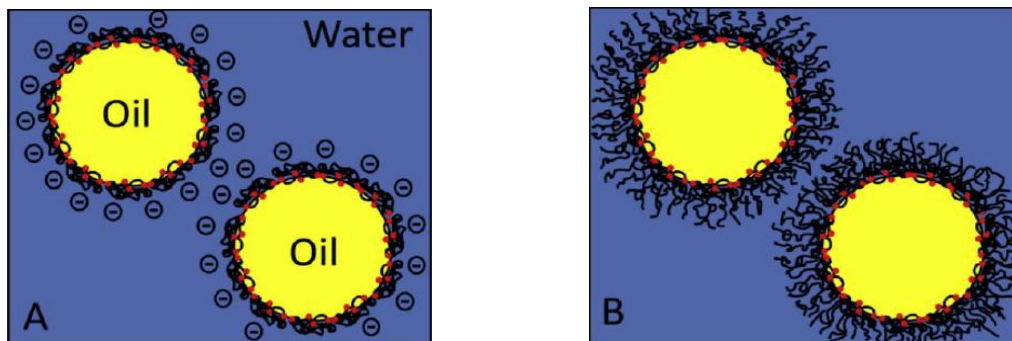
### **1.6.2.3 Les étapes de la formation des émulsions**

D'après Lam et al. (2013) les étapes de la formation des émulsions dans les protéines sont :

- Les protéines se diffusent autour de la gouttelette d'huile (figure 09A) ;
- Les protéines se réalignent ensuite pour positionner leurs acides aminés hydrophobes de surface dans la phase huileuse et les acides aminés hydrophiles dans la phase aqueuse (figure 09B) ;
- Après la réorientation, des films viscoélastiques solides peuvent être développés (figure 09C), qui résistent aux contraintes mécaniques et fournissent une stabilisation électrostatique (figure 10A) et stérique (figure 10B) ;
- Une fois le film viscoélastique formé, les gouttelettes peuvent prendre une charge négative ou positive (figure 10A) selon que le pH de l'émulsion est inférieur ou supérieur au point isoélectrique élevé entre les gouttelettes d'huile à tendance à conduire à une plus grande stabilité de l'émulsion.



**Figure 09** : Représentation schématique de protéines globulaires migrant vers l'interface eau/huile (A), suivi d'une réorientation (B) et de la formation d'un film viscoélastique (C) (Lam et al., 2013).



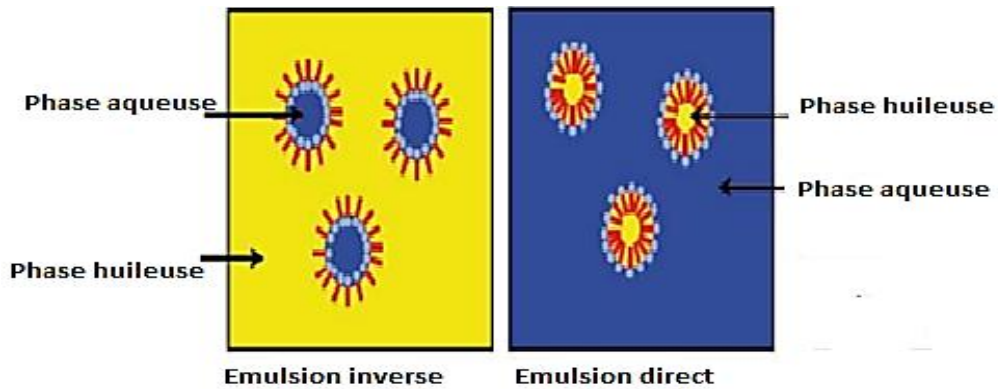
**Figure 10** : Représentent schématique de mécanisme de stabilité de l'émulsion par répulsion électrostatique (A) et stabilisation stérique (B) (Lam et al., 2013).

#### 1.6.2.4 Classification des émulsions

On peut classer les émulsions suivant deux critères :

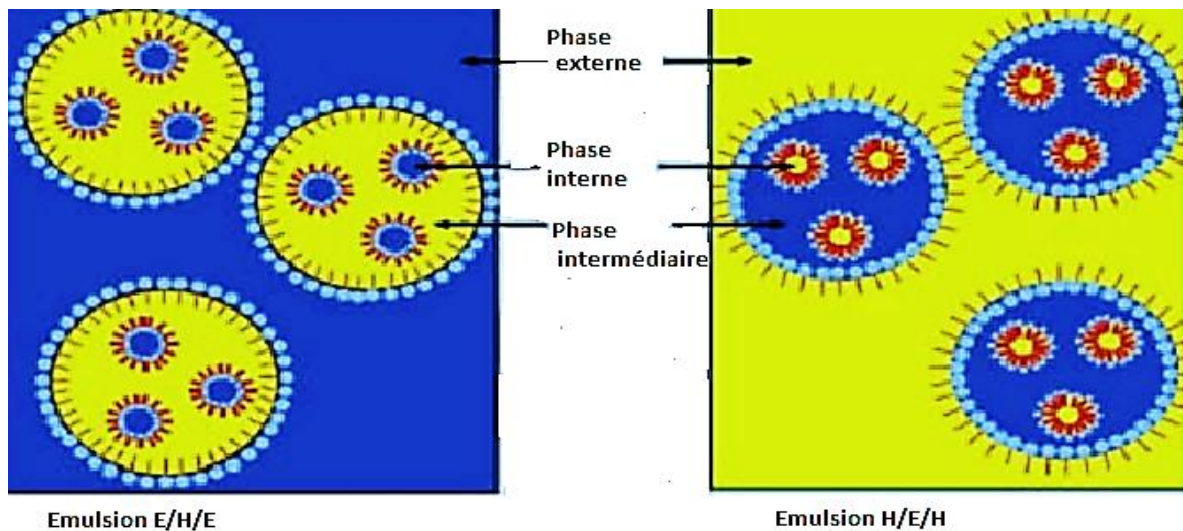
- Le premier critère est selon la nature de la phase dispersante : Il existe essentiellement deux types d'émulsions : les émulsions simples et les émulsions multiples.

**Les émulsions simples** (une phase dispersée dans une phase continue) sont donc directes (de type huile dans l'eau (H/E)), dans le cas du lait, des crèmes, des vinaigrettes, de la mayonnaise et des soupes ou inverse (eau dans l'huile (E/H)) dans le cas de margarine et de beurre (Portier, 2008 ; Lam et al., 2013) (figure 11).



**Figure 11** : Les deux types d'émulsions simples (Rahmouni, 2016).

**Les émulsions multiples** consistent en une émulsion simple dispersée à son tour dans une phase continue externe. Elles sont de type E/H/E ou H/E/H qui sont particulièrement avantageux pour les applications d'administration de médicaments/neutraceutiques (Guery, 2006 ; Lam et al., 2013) (figure 12).

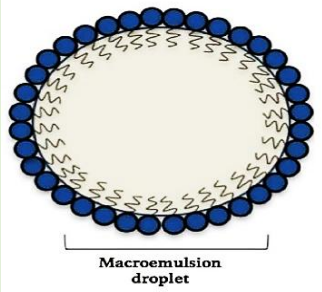
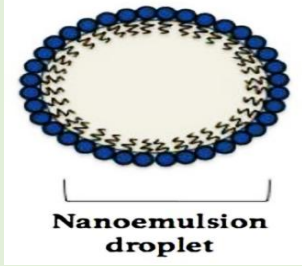
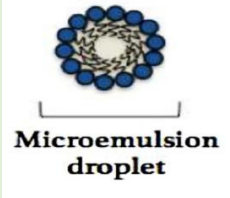


**Figure 12** : Les deux types d'émulsions multiples (Rahmouni, 2016).

- Le second critère repose sur la taille des particules de la phase discontinue (Destribats, 2010). Selon la taille des particules qui les composent, les émulsions peuvent être classées en macroémulsion, mini émulsion et microémulsion (Tableau VIII).

*Partie 01 : synthèse bibliographique Généralités sur les propriétés de surface*

**Tableau IX** : Les classes d'émulsions (Bourrel, 1988 ; Chitour, 2004 ; Solans et al., 2005 ; Callender et al., 2017).

Propriétés	Macro émulsion	Mini émulsion	Microémulsion
<b>Méthode de fabrication</b>	Agitation mécanique vigoureuse	Agitation vigoureuse par ultrason	Faible agitation
<b>Couleur</b>	Blanche laiteuse	Blanche bleuâtre ou incolore	Blanche bleuâtre ou incolore
<b>Taille des particules</b>	> 1 micromètre	< 1 micromètre	< 0,1 micromètre
<b>Polydispersité de taille Des particules</b>	des particules moyennes	Basse	Basse
<b>Stabilité thermodynamique</b>	Instable	Instable	stable
<b>Mode d'augmentation de La taille des particules avec le temps</b>	Coalescence et mûrissement d'Ostwald	Coalescence et mûrissement d'Ostwald	Ne contenant pas de particules, il n'y a ni coalescence ni mûrissement d'Ostwald
<b>Figures des types d'émulsion</b>			

**1.6.2.5 L'instabilité des émulsions**

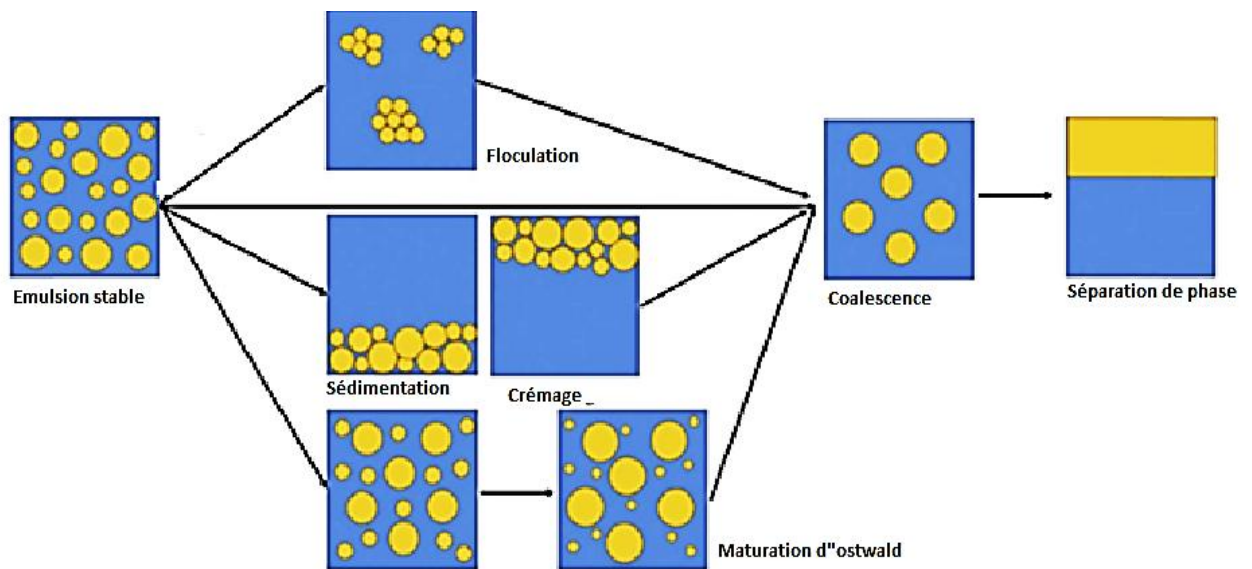
Les émulsions peuvent subir divers facteurs de stress environnementaux au cours de leur durée de vie qui peuvent favoriser leurs détériorations, notamment des changements dans les conditions de la solution (refroidissement, congélation) des changements dans les conditions environnementaux (les niveaux de lumière et l'oxygène), l'exposition à des contraintes mécaniques (McClements et al., 2022).

## ***Partie 01 : synthèse bibliographique Généralités sur les propriétés de surface***

L'instabilité des émulsions peut entraîner certains effets indésirables dans les aliments, notamment la formation d'huile et la sédimentation, qui diminuent la qualité du produit et raccourcissent la durée de conservation (Hu et al., 2016).

Les mécanismes qui conduisent à l'instabilité de l'émulsion comprennent la floculation, la coalescence, la maturation d'Ostwald, le crémage et la sédimentation (figure 13).

- a. La floculation** : La floculation est l'agrégation de gouttelettes sans perturbation de la couche protectrice stabilisatrice à l'interface. Elle peut être réversible ou irréversible, selon la force des interactions entre les gouttelettes. Elle est couramment induite par la baisse de pH vers le point isoélectrique ou par l'addition d'ions de calcium (Dickinson, 2003).
  
- b. La coalescence** : Lorsque les surfaces des gouttelettes ne sont pas entièrement recouvertes d'émulsifiant, elles entrent en contact puis fusionnent les unes avec les autres, conduisant à la formation d'une seule gouttelette plus grosse. La coalescence des gouttelettes se produira jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment d'émulsifiant présent pour couvrir toutes les surfaces des gouttelettes (McClements et al., 2022).
  
- c. Huilage** : C'est le fusionnement de grosses gouttelettes entre eux, ce qui conduit à une couche d'huile au-dessus de l'émulsion (McClements et al., 2022).
  
- d. Maturation d'Ostwald** : c'est la croissance de la taille moyenne des gouttelettes au fil du temps, l'origine de cet effet est le transfert de molécules d'huile des petites gouttelettes vers les gouttelettes plus grosse en raison de la diffusion à travers la phase aqueuse (McClements et al., 2022).
  
- e. Le crémage** : C'est le mouvement ascendant des gouttelettes dû au fait qu'elles ont une densité inférieure à celles du liquide environnant. Il est plus répandu dans les émulsions huile dans l'eau (McClements et al., 2011).
  
- f. La sédimentation** : C'est le mouvement descendant des gouttelettes dû au fait qu'elles ont une densité plus élevée que le liquide environnant. Elle est plus répandue dans les émulsions eau dans l'huile (McClements et al., 2011).



**Figure 13** : Représentation schématique des mécanismes d'instabilité dans le système d'émulsion (Hu et al., 2016).

# *Partie.2. Matériel et méthodes*

Notre travail expérimental a été effectué au niveau du laboratoire de Biochimie, département de Biochimie-Microbiologie de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

## **2 Matériels et méthodes**

### **2.1 Matériels**

#### **2.1.1 Echantillonnage**

Le lait de chamelle utilisé lors de cette étude provient de troupeaux de chammelles saines (*Camelus dromaderius*) de la population Sahraoui dans la région de Djelfa du Sud Algérie.

Le lait de vache utilisé à titre comparatif provient d'un troupeau de vaches saines localisé dans la région de Tamassit à Azeffoune, Tizi Ouzou, Algérie.

Les deux laits sont collectés dans des flacons propres en avril 2023. Les bouteilles de laits sont acheminées vers le laboratoire dans une glacière. Après la mesure de pH, les laits ont été fractionnés et congelé.

#### **2.1.2 Matériel biologique**

- Albumine sérique bovine
- La papaine (EC 3.4.22.2) : présente dans le latex qui est situé entre l'écorce et la pulpe de la papaye, le fruit du papayer.

#### **2.1.3 Produits chimiques**

Acrylamide, N, N-méthylène-bis-acrylamide, urée, N, N, N', N'-tétraméthyléthylène diamine (TEMED,) tris- hydroxy- méthyl-aminomethane, glycine, 2-Mercaptoéthanol, persulfate d'ammonium, bleu de bromophénol, bleu de Coomassie, acide chlorhydrique, acide acétique, glycérol, éthanol, Folin-Ciocalteu,...Etc.

#### **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, 100 mA), plaques en verre et en hydroxyde d'alumine (10×12 cm), espaceurs de 1mm d'épaisseur.
- Balance de précision (0,01mg) (OHAUS, USA) et balance analytique (0,01g) ;
- Centrifugeuse réfrigérée (SIGMA) ; centrifugeuse non réfrigérée ;
- pH mètre (Hanna instruments, France) ;
- Spectrophotomètre UV-visible (Jenway, Royaume-Uni) ;
- Bain marie (Memmert).

## 2.2 Méthode

### 2.2.1 Mesure du pH

La mesure a été effectuée à température ambiante. La valeur du pH a été lue sur le pH mètre après l'immersion de l'électrode dans un volume de l'échantillon à analyser.

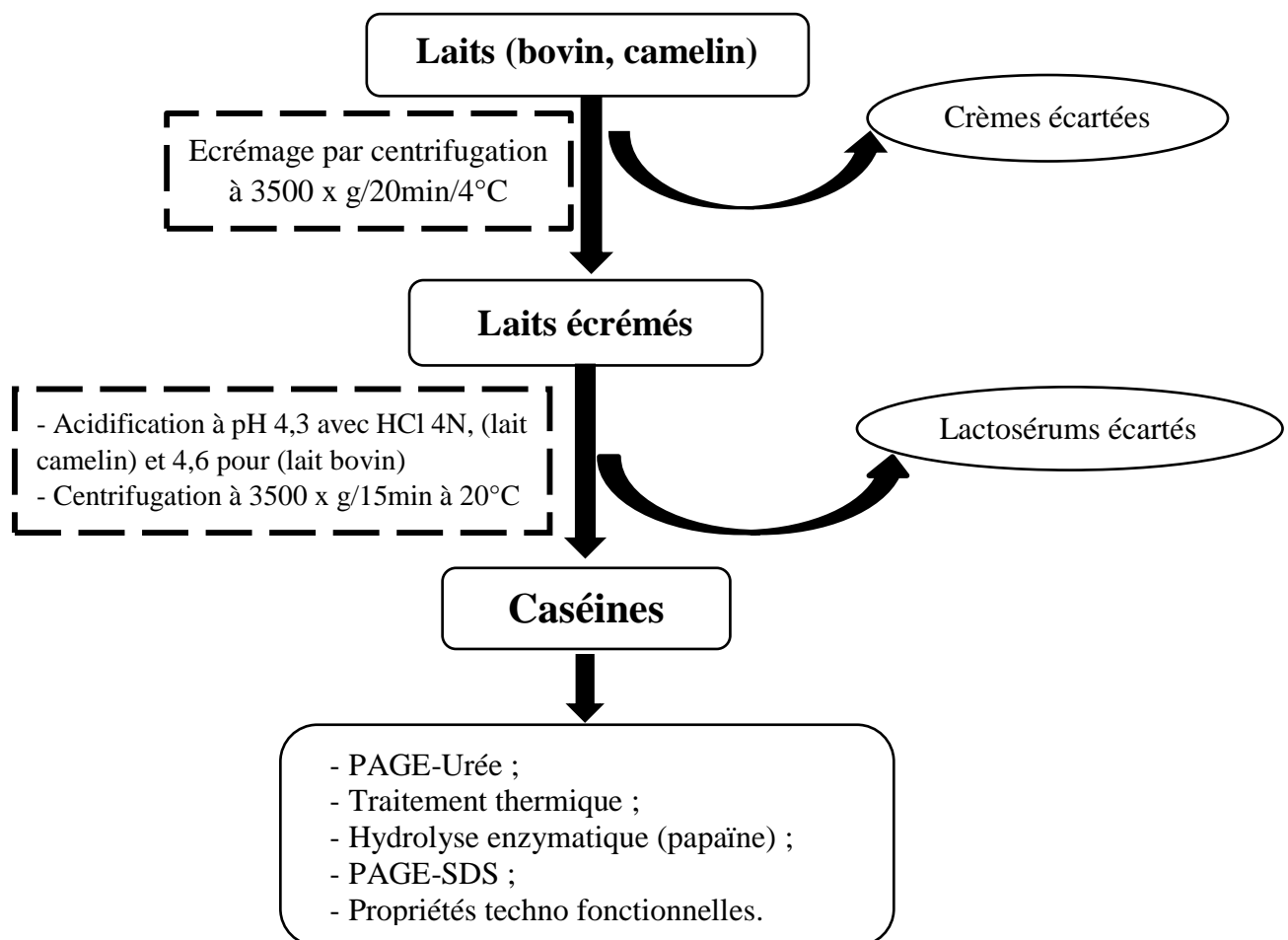
### 2.2.2 Isolement des caséines

#### a. Ecrémage

L'écémage du lait est la première étape du protocole d'isolement des protéines bovines, camelines. Les deux échantillons du lait ont été écrémés par centrifugation à 3500 x g pendant 20 minutes à 4°C. La crème est écartée, alors que le lait écrémé est filtré.

#### b. Acidification

Une fois le lait écrémé, les caséines du lait ont été récupéré par précipitation isoélectrique avec l'acide chlorhydrique (HCl, 4N) à pH 4,3 pour le lait camelin et 4,6 pour le lait bovin, suivi d'une centrifugation à 3500 x g pendant 20 min à 4°C. Le précipité qui représente la totalité des caséines est lavé 3 fois avec de l'eau distillée afin d'éliminer les protéines sériques résiduelles (figure 14).



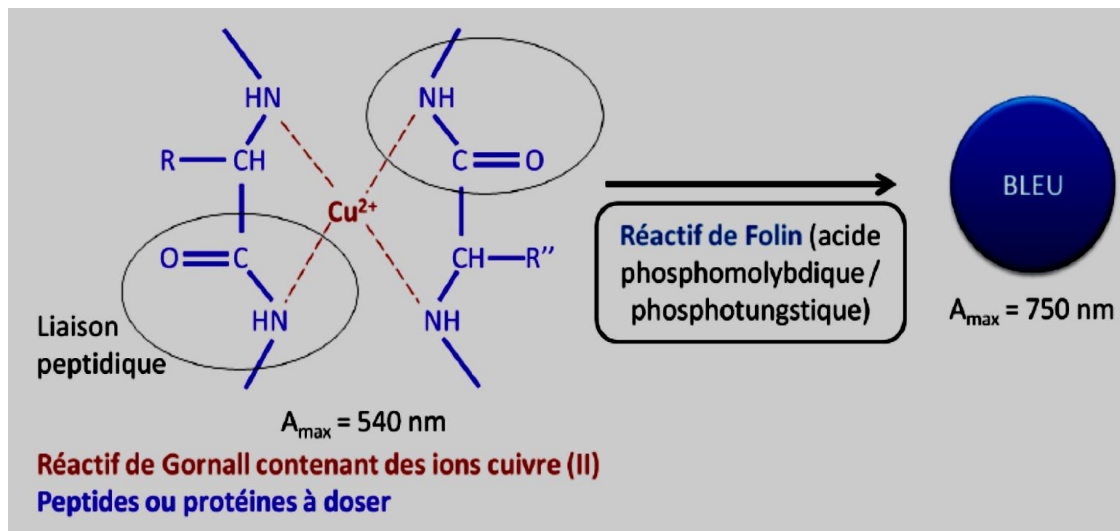
**Figure 14** : Etapes suivies lors de l'isolement des caséines issues du lait bovin et camelin.

### 2.2.3 Détermination de la teneur en protéines

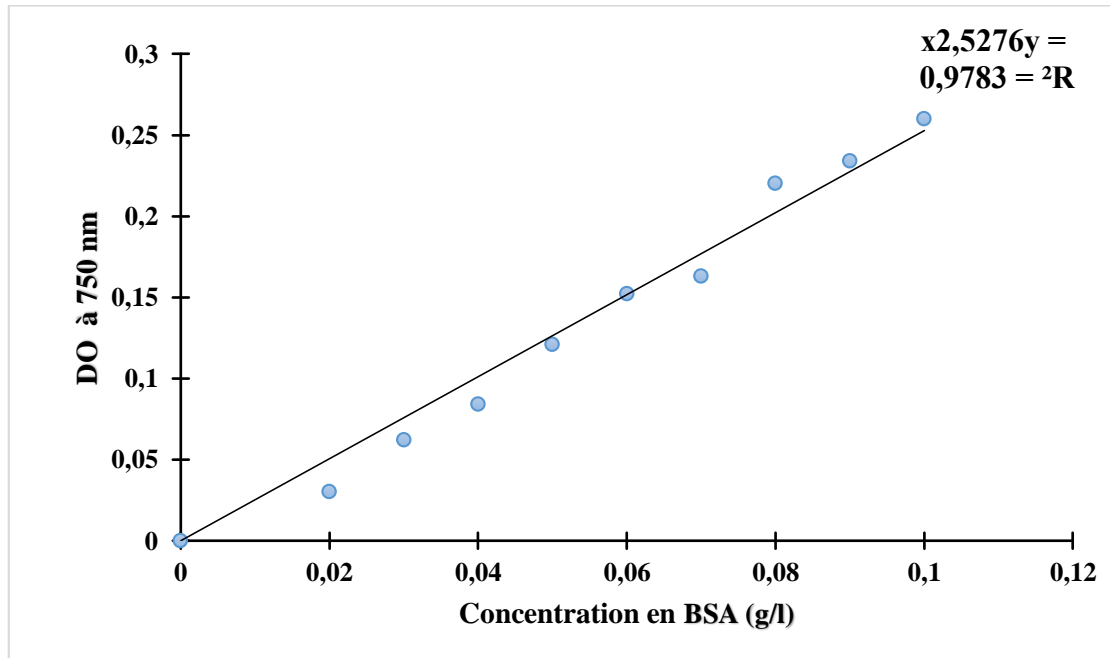
**Principe :** La teneur en protéines de lait est déterminée par la méthode colorimétrique de Lowry et al. (1951).

La méthode de Lowry consiste en une amélioration de la réaction du Biuret par l'ajout d'une étape supplémentaire. Dans un premier temps, l'échantillon contenant les protéines à doser est traité avec le réactif de Gornall, afin de créer un complexe cuivrique en milieu alcalin. Dans un deuxième temps, un second réactif de nature phospho-molybdique phospho-tungstique est utilisé et appelé réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est réduit par les complexes cuivre-protéines, ce qui entraîne l'apparition d'une coloration bleu foncé, dont l'absorbance est mesurée à 750 nm (Figure 15).

Une droite d'étalonnage est tracée en utilisant l'Albumine Sérique Bovine (BSA, 0,1 g/l) comme protéine de référence, permettant la détermination de la concentration en protéines totales de l'échantillon à doser (figure 16).



**Figure 15 :** Schéma de la réaction de la méthode de Lowry.



**Figure 16 :** Courbe étalon du dosage de protéines par la méthode de Lowry.

#### 2.2.4 Traitement thermique

Les laits des deux espèces bovines et cameline ont été chauffés à 95°C dans un bain Marie pendant 35 minutes, puis refroidis à l'aide de l'eau de robinet.

Après le chauffage, la séparation des caséines et des protéines sériques a été réalisée par acidification des laits jusqu'à pHi des caséines avec l'acide chlorhydrique (HCl, 4N) à pH 4,3 pour le lait camelin et 4,6 pour le lait bovin, suivi d'une centrifugation à 3500 x g pendant 15 min à 20°C. Le précipité qui représente la totalité des caséines est lavé 3 fois avec l'eau distillée afin d'éliminer les protéines sériques résiduelles.

#### 2.2.5 Hydrolyse enzymatique des caséines

La papaïne est une enzyme présente dans le latex qui est situé entre l'écorce et la pulpe de la papaye, le fruit du papayer. C'est une endopeptidase, elle se caractérise par la propriété de provoquer à dose très faible, la dissociation d'une quantité importante de protéines en molécules plus simples, et, finalement, en acides aminés. Elle provoque, d'autre part, la coagulation du lait. Cette enzyme (la papaïne) permet la scission des molécules protéiques au niveau des groupements prosthétiques - CO -NH en donnant naissance à des protéoses, des peptides et des acides aminés.

La papaïne est instable à un pH inférieur à 2,5 et supérieur à 12, et reste active dans un assez grand intervalle de température, son action est déjà importante à 40°C pour la caséine. La température maximum à laquelle la papaïne perd son activité est assez élevée (Huet, 1956).

L'hydrolyse enzymatique des caséines camelines et bovines a été effectuée par l'emploi de la méthode de Kumar et al., (2016) en utilisant l'enzyme protéolytique : la papaïne.

Les caséines camelines et bovines ont été préparées et reconstituées dans un tampon phosphate pH 6,2. Le rapport enzyme/substrat (E : S) a été maintenu constant (1 :100), l'hydrolyse a été réalisé en incubant les échantillons à 55°C dans un bain marie pendant 2h en homogénéisant chaque 30min.

A la fin de l'hydrolyse, les réactions ont été stoppées par chauffage à 100°C pendant 5 min, puis refroidis à l'aide de l'eau de robinet.

## **2.2.6 Méthodes électrophorétiques**

### **2.2.6.1 Principe**

L'électrophorèse est une méthode d'analyse basée sur la migration différentielle de particules chargées sous l'effet d'un champ électrique. Les protéines, du fait de leurs caractères amphotères, peuvent se comporter comme des anions ou des cations et se déplacer ainsi soit vers l'anode ou la cathode et être visualisées sous forme de bandes de migrations distinctes selon leurs charges et leur poids moléculaires. Le gel de polyacrylamide (PAGE) utilisé est le produit de polymérisation de monomères d'acrylamide ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$ ) et d'un agent de pontage le N, N'méthylène- bis-acrylamide ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CO}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ). Cette réaction est catalysée par un générateur de radicaux libres composé de persulfate d'ammonium  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  et de N, N, N, N-tetraméthylènediamine (TEMED).

### **2.2.6.2 PAGE-SDS**

Ce type d'électrophorèse permet la migration des protéines uniquement selon leur taille et leur forme. Pour ce faire, un détergent anionique (dodécylsulfate de sodium ou SDS) est rajouté dans le milieu (10 %) avec un agent réducteur des ponts disulfures ( $\beta$ - mercaptoéthanol (4 %)) et un traitement thermique des échantillons à 100 °C pendant 2- 3 minutes est utilisé.

Le procédé adopté est celui décrit par Laemmli et Favre (1973) qui utilise un système de tampons discontinus comprenant : tampon Tris/HCl, 0,125 M, pH 6,8 pour le gel de concentration (T = 4 %, C = 2,7 %) contenant 0,1 % de SDS et tampon Tris/HCl, 3,8 M, pH 8,8 contenant 0,1 % de SDS pour le gel de séparation (T = 15 %, C = 2,7 %). Le tampon d'électrode pH 8,3 est composé de 50 mM de Tris, de 384 mM de glycine et de 0,1 % de SDS. L'échantillon

est déposé dans les puits à raison de 15 $\mu$ L (d'une solution à 4 mg/mL). L'électrophorèse est conduite sur mini-cuves sous des conditions électriques de 20 mA, 10 W et 250 V.

A la fin de l'électrophorèse, les protéines sont fixées dans une solution d'acide triachloracétique (12 %) pendant 45 minutes, puis colorées pendant 2 heures par le bleu de Coomassie R250 à raison de 0,2 %. La décoloration du gel s'effectue dans des solutions (eau/méthanol/acide acétique, 31,2 : 15 : 3,7).

### **2.2.6.3 PAGE-Urée**

La PAGE-Urée est une méthode particulièrement adaptée pour la séparation des caséines qui sont difficilement dissociables en conditions natives. L'urée à forte concentration élimine les liaisons faibles, plus particulièrement les liaisons hydrogènes et hydrophobes.

Nous avons utilisé la méthode décrite par Andrew (1983), qui comprend un système biphasique : un gel de concentration (T= 4 % et C = 2,7 %) en tampon (Urée, 0,8 M ; Tris, 0,49 M ; pH 6,8) et un gel de séparation (T= 13 % et C= 2,7 %) en tampon (Urée, 4 M, Tris, 1,5 M ; pH 8,8). Le tampon de gel est composé de (TRIS, 0,75 M, pH 8,9). Le tampon d'électrode est constitué de Tris, 5 mM ; glycine 77 mM ; pH 8,3. Les échantillons protéiques sont préparés et mis en solution dans le tampon de gel de concentration (8 %) contenant de l'urée (3,3 M), du 2-ME (0,3 %) et du glycérol (10 %).

Les échantillons protéiques sont déposés à raison de 7,5  $\mu$ L (d'une solution à 2 mg/mL). La migration électrophorétique a lieu sous voltage et ampérage constant (20 mA, 250 V). La même procédure décrite plus haut est utilisée pour la coloration des protéines.

## **2.2.7 Evaluation des propriétés techno-fonctionnelles des caséines**

### **2.2.7.1 Pouvoir moussant**

Pour déterminer la capacité moussante des caséines, la méthode décrite par Sze-Tao et Sathe (2000) est utilisée. 30 ml de la solution protéique de caséine ont été introduites dans une éprouvette graduée (100 ml). Foisonner les solutions préparées à l'aide d'un homogénéisateur « ULTRA TURRAX » à 17200 rpm pendant 3 min à température ambiante.

Après avoir fouetté la solution protéique, le volume de la mousse a été mesuré précisément en fonction du temps (0 min et après 30 min de repos). La capacité moussante (CM) a été calculée par cette équation :

$$\text{CM}(\%) = \frac{V' - V}{V} * 100$$

V' : Volume après homogénéisation.

V : Volume initial avant homogénéisation.

La stabilité des mousses (SM) après 30 minutes est calculée comme suivant :

$$\text{SM}(\%) = \frac{V''}{V'} * 100$$

V'' : Volume après 30 minutes.

V' : Volume après homogénéisation.

#### **2.2.7.2 Pouvoir émulsifiant**

L'indice d'activité émulsifiante (EAI) a été déterminé en suivant les procédures décrites par Pearce et Kinsella (1978).

Les émulsions huile-dans-eau ont été préparées en mélangeant 5 ml d'huile d'olive avec 15 ml de solution de protéines de caséines à l'aide d'un homogénéisateur « ULTRA TURRAX » à la vitesse la plus élevée 17 200 rpm pendant 1 min.

Une aliquote de 50 µl d'émulsion a été prélevée au fond du bécher à la fin de l'homogénéisation, suivi d'une dilution 100 fois avec une solution de dodécylsulfate de sodium (SDS) à 0,1%. Le mélange a été mixé pendant 10 secondes et l'absorbance a été mesurée à 500 nm à l'aide d'un spectrophotomètre « Thermo SCIENTIFIC ».

La capacité émulsifiante décrit la quantité d'huile qui peut être émulsifiée par une unité de poids de la protéine, elle est calculée selon l'équation suivante :

$$\mathbf{EAI (m^2/g) = \frac{2 \cdot \left(2,303 - \frac{A_0}{l}\right) \cdot Df}{\phi \cdot C \cdot 10000}}$$

*Df* : facteur de dilution (100).

*L* : longueur de la cuve (1cm).

*C* : concentration de l'échantillon (g/ml).

*A0* : l'absorbance à  $t=0$  min.

$\phi$  : la fraction d'huile (0,25).

*Partie .3. Résultats –  
Discussion*

### 3 Résultats et discussion

#### 3.1 Mesure du pH

Les valeurs du pH obtenues lors de cette étude des deux types de laits sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau X** : Les valeurs du pH du lait camelin et bovin.

Echantillons	Lait de chamelle	Lait de vache
pH	6,32	6,52

Comparativement au lait de vache, le lait de chamelle s'avère légèrement plus acide (6,32 vs 6,52). La valeur du pH de lait de chamelle trouvée dans notre étude rentre dans la gamme rapportée par de nombreux auteurs ayant étudié le lait camelin : 6,38 (Sawaya et al., 1984) ; 6,31 (Siboukeur et al., 2007) ; 6,31 (Ismaili et al., 2016) et 6,2-6,5 (Swelum et al., 2020).

Tandis que d'autres auteurs ont signalés des valeurs de pH plus élevées : 6,52 (Kamoun, 1995) ; 6,71 (Khashkheli et al., 2005) ; 6,51 (Alloui-Lombrakia et al., 2007) ; 6,6 - 6,8 (Rahli, 2015) ; 6,43 (Bouhaddaoui et al., 2019). Cependant, Sulieman et al. (2006) ont rapporté une valeur inférieure (6,0).

La faible valeur de pH trouvée lors de cette étude peut être liée à la teneur élevée en vitamine C (60,06mg/ml) dans le lait de chamelle (Chetouna, 2011), ce qui lui confère un goût particulier pouvant être masqué par une saveur amère ou acide selon la nature des plantes broutées (Al-juboori et al., 2013). La faible valeur de pH peut être aussi attribuée à la richesse du lait camelin en acides organiques (acide citrique, acide orotique, acide butyrique) (Haddadin et al., 2007).

La valeur du pH est dépendante de la teneur en citrates et en caséines et de l'état sanitaire de la mamelle (Siboukeur et al., 2012), l'alimentation, le stade de lactation et la variation des conditions climatiques (Bouhaddaoui et al., 2019).

#### 3.2 Dosage des protéines

Les teneurs moyennes des fractions protéiques contenues dans le lait des deux espèces (bovine, cameline) sont représentées dans le tableau suivant.

**Tableau XI** : La teneur en protéines totales, caséines et protéines sériques de lait camelin et bovin.

	Lait camelin	Lait bovin
<b>Protéines totales</b>	23,19 ± 0,98	34 ± 1,41
<b>Protéines sériques</b>	6,13 ± 0,32 (26,43%)	9,16 ± 0,71(26,94%)
<b>Caséines</b>	17,05 ± 1,09(73,62%)	24,83 ± 1,72(73,02)

Les résultats obtenus montrent que le lait de chamelle a une teneur en protéine plus faible que le lait de vache.

La teneur moyenne en protéines totales de l'échantillon du lait camelin analysé (23,19 g/l ± 0,98) est légèrement faible, ce qui est en accord avec les valeurs rapportées par certains auteurs : 27 g/l (Kamoun, 1995) ; 25,4 g/l (Khaskheli et al., 2005) ; 29,42 (Alloui et al., 2007) ; 27,9 (Bornaz et al., 2009) ; 28,1 g/l (Dabouz et al., 2014). Tandis que d'autres auteurs ont enregistré des valeurs plus élevées : 34,6 g/l (Schamsia et al., 2009) ; 34,15 g/l (Sboui et al., 2016) ; 32,2 g/l (Bouhaddaoui et al., 2019).

Concernant le lait de vache, la valeur trouvée dans notre étude (34 g/l ± 1,41) concorde avec les résultats de Siboukeur (2012) et Sboui (2016), qui sont de l'ordre de 33 et 32,5 g/l, respectivement.

La teneur en caséines dans le lait de chamelle est relativement très faible par rapport à celle du lait de vache (17,05g/l ± 1,09 et 24,83g/l ± 1,72, respectivement), mais en terme de proportion nous avons une similarité (73,62% et 73,02% respectivement) ce qui concorde avec les résultats rapportés par Hamed et al. (2012) qui ont trouvé un pourcentage similaire en caséines dans le lait de chamelle et de vache (70,3% et 69,9%, respectivement). Néanmoins, la valeur enregistrée lors de cette étude est proche aux valeurs rapportées par de nombreux auteurs ayant étudié le lait camelin : 19,7 g/l (Kamoun, 1995) ; 19,80 g/l (Allaoui et al., 2007). Une teneur élevée en caséine (22,8 g/l) a été trouvée par (Barnaz et al., 2009).

Concernant le lait de vache, la valeur trouvée dans notre étude (24,83g/l ± 1,72) concorde avec les résultats de Kamoun (1995) (24,8 g/l) et très faible par rapport à celle rapportée par (Borbnaz et al., 2009) qui est de 29,5 g/l.

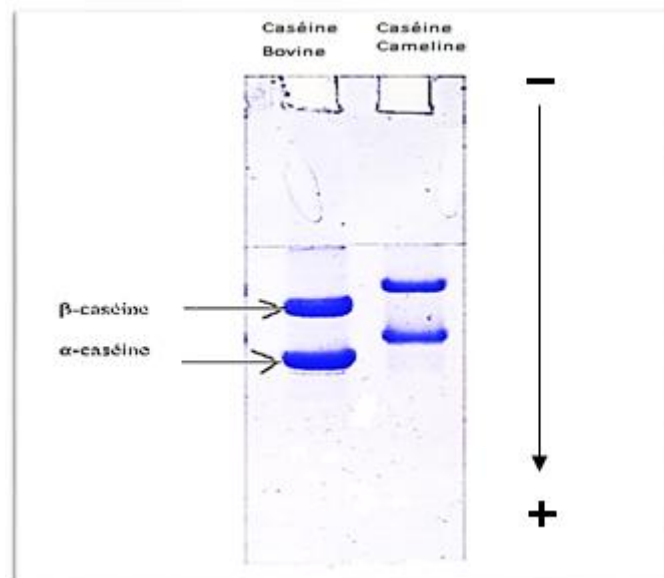
La teneur moyenne en protéines sériques dans le lait de chamelle ( $06,13 \pm 0,23$  g/l) est significativement inférieure par rapport à celle du lait bovin ( $9,16 \pm 0,71$ g/l). Des résultats contradictoires ont été enregistrés par Alloui et al. (2007) qui ont trouvé une teneur similaire entre les deux espèces (08,40 et 08,20 g/l, respectivement).

La faible quantité en protéine du lait est due à la période de prélèvements (Alloui et al., 2007). Elle est également influencée par le type d'alimentation, le stade de lactation et le nombre de mises en bas (Dabouz et al., 2014). La composition de l'eau affecte aussi la qualité protéique du lait selon Khaskheli et al. (2005).

### **3.3 Caractérisation des caséines (PAGE urée)**

L'électrophorèse sur gel de polyacrylamide dans des conditions dénaturantes (PAGE-urée) est une technique particulièrement adaptée à la séparation des groupes protéiques à forte association comme les caséines. Les agents dissociant, urée et 2- mercaptoethanol (rompent respectivement les liaisons hydrogènes et disulfures), permettent aux protéines de migrer sous leur forme la plus simple.

Un contrôle électrophorétique des deux fractions de caséines bovines et camelines isolées à partir de lait bovin et camelin, respectivement a été réalisé (Figure 17). Le profil montre que les deux fractions sont séparées avec une grande pureté.



**Figure 17 :** Electrophoregramme en PAGE-urée des deux fractions de caséines camelines et bovines. Gel de séparation : T = 13 %, C = 2,7% ; Gel de concentration : T = 4 %, C = 2,7 %.

La figure (17) montre que les caséines des deux espèces migrent en deux bandes bien séparées et qui correspondent, en partant du dépôt aux caséine  $\beta$  ( $\beta$ -CN) et  $\alpha$ S ( $\alpha$ -CN) en se référant aux données bibliographiques (Mati, 1992 ; Pesic et al., 2011).

Le schéma général de la migration, selon un ordre décroissant, est comme suit :  $\kappa$ -CN <  $\beta$ -CN <  $\alpha$ S2-CN <  $\alpha$ S1-CN, présente en premier la caséine  $\beta$  avec la plus faible mobilité, suivi par le groupe des caséines  $\alpha$ S ( $\alpha$ S2 puis  $\alpha$ S1), ces deux groupes ont migré en une seule bande.

La mobilité électrophorétique des caséines camelines est inférieure à celle de leurs homologues de l'espèce bovine, ceci est en concordance avec les résultats de Si Ahmed-Zennia et al. (2013). Le même constat a été relevé par Silva et al. (2000). Selon Mohamed et al. (1991) cela peut dépendre du degré de phosphorylation.

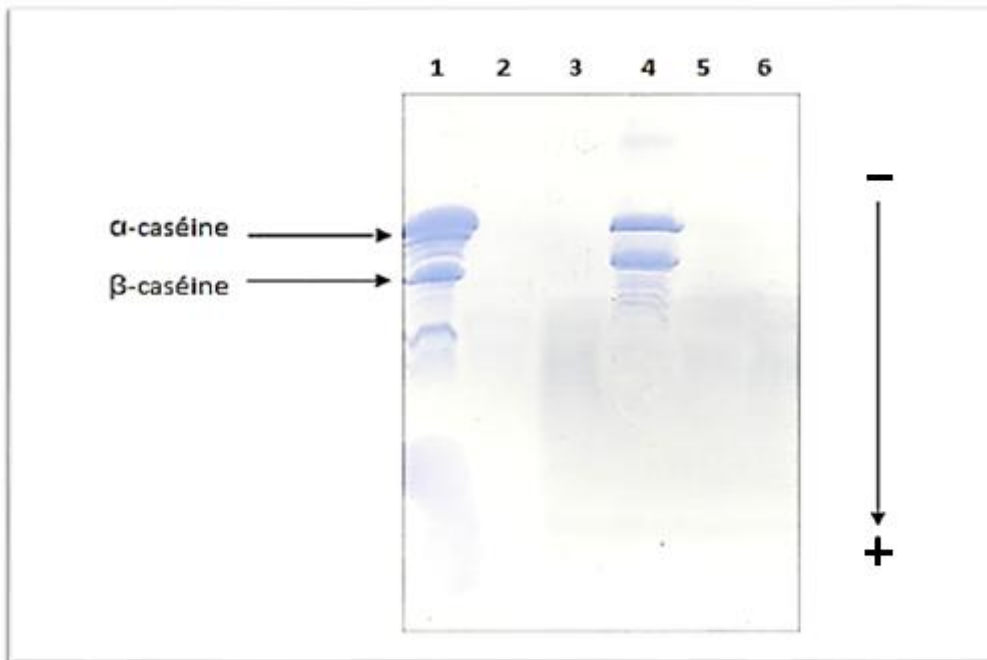
Hinz et al. (2012) ont rapporté que les caséines camelines présentent une migration plus lente, du fait de leurs charges négatives nettes moins élevées et suggèrent que les caséines camelines peuvent avoir une charge nette négative inférieure à la charge de leurs homologues bovins.

### **3.4 Contrôle de l'hydrolyse enzymatique par PAGE SDS**

Le résultat du contrôle électrophorétique réalisé pour les caséines camelines et bovines et leurs hydrolysats est représenté dans la figure 18.

Le profil électrophorétique en PAGE SDS montre que les caséines totales (Bovines et Camelines) migrent en deux bandes principales. La première représente les  $\alpha$ S-CN, tandis que la deuxième est la  $\beta$ -CN, en se référant aux données bibliographiques (Mati et al., 2002 ; Al-Shamsi et al., 2018).

Après l'hydrolyse enzymatique des caséines bovines et camelines avec la papaïne, aucune bande n'a été révélée, ceci peut être expliqué par l'hydrolyse des caséines qui a généré des peptides de faible poids moléculaire.



**Figure 18 :** Electrophorégramme en PAGE SDS des caséines camelines et bovines,

1 : CN natives bovines

4 : CN natives camelines

2 : CN bovines hydrolysées (papaine)

5 : CN camelines hydrolysées (papaine)

3 : CN bovines traitées à 95°C et hydrolysées

6 : CN camelines traitées (95°C) et hydrolysées

Gel de séparation : T=15%, C=2,7% et gel de concentration : T=4%, C=2,7%.

Les résultats de notre étude sont similaires à ceux rapportés par Banache et al. (2013) et Luo et al. (2014) qui ont confirmé que la papaine est efficace pour l'hydrolyse des caséines bovines, et que les sous unités de caséines étaient sensibles à cette enzyme.

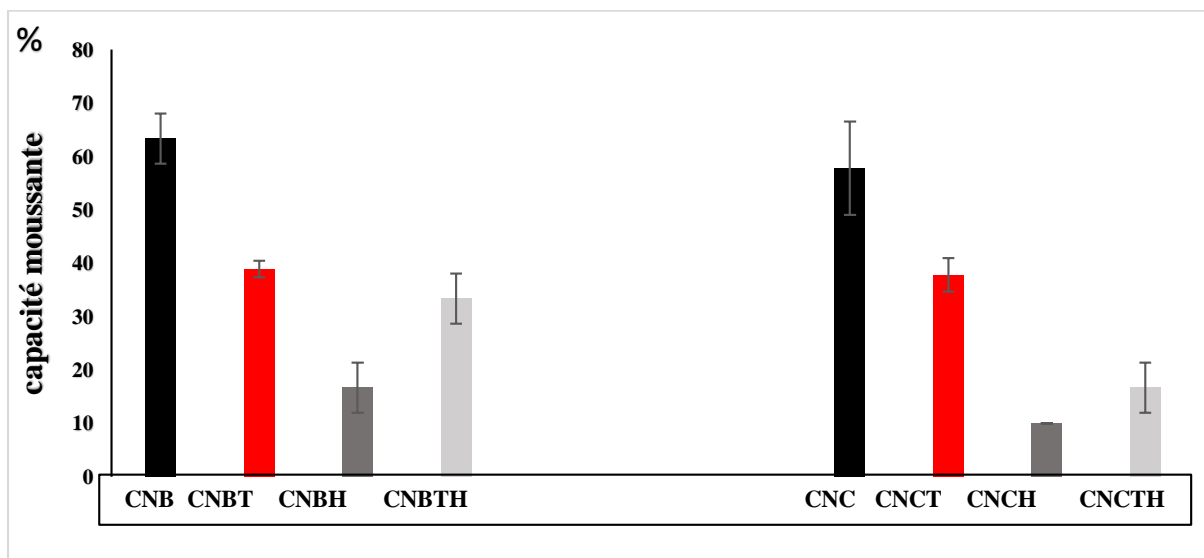
Les résultats obtenus lors de notre étude concordent avec ceux rapportés par Al-Shamsi et al. (2018), qui ont signalé que les bandes des protéines de caséines camelines ont été complètement hydrolysées et n'ont pas été détectées après 2 h d'hydrolyse. Les mêmes auteurs ont observé aussi que la  $\kappa$ -CN est la première caséine hydrolysée après 2 h d'hydrolyse, suivie de  $\alpha$ -CN et  $\beta$ -CN ( $\kappa$ -CN <  $\alpha$ -CN <  $\beta$ -CN) (Al-Shamsi et al., 2018).

La dénaturation par la chaleur et les ajustements du pH sont deux moyens courants qui rendent les liaisons plus sensibles à l'action enzymatique (Kumar et al., 2016). Le même constat a été relevé par Banache et al. (2013), qui ont conclu que la structure flexible des caséines les rend plus sensibles à l'hydrolyse par la papaine. Selon Tsou et al. (2010), l'hydrolyse limitée était nécessaire pour maintenir la structure, la séquence des peptides bioactifs et peut donner lieu à des propriétés alimentaires fonctionnelles et organoleptiques intéressantes, telles que les propriétés moussantes et émulsifiantes.

### 3.5 Propriétés techno-fonctionnelles

#### 3.5.1 Pouvoir moussant

L'étude de l'effet de traitement thermique et l'hydrolyse enzymatique sur la capacité moussante des caséines camelines et bovines est représentée dans la figure 19.



**Figure 19 :** La capacité moussante des caséines du lait camelin et bovin,

CNB : Caséines natives du lait bovin

CNC : Caséines natives du lait camelin

CNBT : Caséines bovines traitées (95°C)

CNCT : Caséines camelines traitées (95°C)

CNBH : Caséines bovines hydrolysées (papaine)

CNCH : Caséines camelines hydrolysées (papaine)

CNBTH : Caséines bovines traitées (95°C) et hydrolysées (papaine)

CNCTH : Caséines camelines traitées (95°C) et hydrolysées (papaine)

L'examen de la figure (19) nous a permis de remarquer que les caséines du lait bovin ont une meilleure capacité moussante que celles du lait camelin.

La capacité moussante des caséines natives bovines égale à  $63,32\% \pm 4,71$ , le traitement thermique a abaissé la capacité moussante des caséines jusqu'à  $38,88\% \pm 1,57$ .

Nos résultats sont en désaccord avec ceux de Paquet et al. (1978) qui ont prouvé que les protéines dénaturées ont en général de bonnes propriétés moussantes, souvent un chauffage modéré peut améliorer ces propriétés. D'après Lam et al. (2015), cette amélioration du pouvoir moussant était dû à l'agrégation induite par la chaleur qui se produit moins à pH neutre qu'à pH acide en raison des forces de répulsion de charge. Kim et al. (2005) et Zhu et al. (1994) ont montré que la dénaturation par traitements thermiques améliore les propriétés interfaciales et moussantes des protéines, grâce à l'augmentation de leur flexibilité moléculaire, leur hydrophobicité de surface et leurs changements conformationnels.

L'hydrolyse des caséines bovines avec la papaïne entraîne une diminution de la capacité moussante ( $16,66 \pm 4,71\%$ ) comparée aux caséines natives ( $63,32\% \pm 4,71$ ). De plus, pour les caséines bovines traitées thermiquement et hydrolysées, nous avons signalé une faible diminution en les comparant aux caséines traitées thermiquement ( $33,33\% \pm 4,71$  ;  $38,88\% \pm 1,57$ ). En effet, la capacité moussante des caséines est influencée par l'hydrolyse, et le traitement thermique. Decastro et al. (2015) ont rapporté que la conformation ouverte de la papaïne, lui permet de dégrader rapidement et largement les molécules de caséines  $\beta$ .

La valeur du pouvoir moussant des caséines camelines natives enregistrée lors de cette étude est de  $57,77\% \pm 8,74$ . Nous avons remarqué aussi que le traitement thermique a abaissé cet indice jusqu'à  $37,77\% \pm 3,14$ .

Han et al. (2021) ont expliqué la diminution de la capacité moussante par le fait que le traitement thermique du lait de chamelle diminue l'abondance des caséines. La  $\kappa$ -caséine du lait de chamelle étant très sensible à la chaleur, elle s'épuisera rapidement à des températures très élevées. L' $\alpha$ -caséine et la  $\beta$ -caséine sont également affectées par les températures et les durées de chauffage, mais elles sont plus stables que la  $\kappa$ -caséine (Clement, 2018).

Nous avons également remarqué une diminution du pouvoir moussant des caséines camelines hydrolysées avec la papaïne ( $10 \pm 00\%$ ) et des caséines traitées thermiquement et hydrolysées ( $16,66 \pm 4,7\%$ ).

Nos résultats contredisent les résultats enregistrés par certains auteurs (Panyam et al., 1996 ; Liceaga-Gesua et al., 1999 ; Wouters et al., 2016), qui ont rapporté que l'hydrolyse enzymatique génère des peptides, dont la vitesse de diffusion ainsi que d'absorption à l'interface air-eau et leur flexibilité sont augmentées, ce qui améliore le pouvoir moussant.

En plus, Al-Shamsi et al. (2018) ont constaté que l'hydrolyse des protéines du lait de chamelle par la papaïne améliore la capacité moussante.

En comparant les résultats obtenus avec le lait des deux espèces (cameline et bovine), nous constatons qu'au niveau des caséines natives, la capacité moussante des caséines camelines ( $57,77 \pm 8,74 \%$ ) est inférieure à celle des caséines bovines ( $63,32 \pm 4,71\%$ ). Les mêmes résultats ont été rapportés par Sanchez et al. (2005), Martinez-Padilla et al. (2014) et Picart-Palmade (2022) qui ont confirmé que la capacité moussante est liée à la quantité de caséinates adsorbées à l'interface air-eau.

Lajnaf et al. (2020) ont montré que le lait de chamelle donne une meilleure capacité moussante que celle du lait de vache, et ont remarqué que dans ces conditions, les protéines de lait de chamelle enrobent mieux les bulles d'air que celles de lait de vache. Ces mêmes auteurs ont expliqué cet effet par la grande quantité de  $\beta$ -caséine dans le lait camelin par rapport au lait bovin.

D'autres études indiquent que la  $\beta$ -caséine est considérée comme la protéine laitière la plus tensioactive en raison de sa structure désordonnée particulière, de sa forte hydrophobicité et de sa thermosensibilité, donc, c'est la responsable du pouvoir moussant au niveau des deux échantillons, bovin et camelin (Dickinson, 1998 ; Zhang et al., 2004 ; Kamel et al., 2017). Kappeler et al. (1998) ont conclu que la faible quantité des caséines  $\alpha$ s-2 et  $\kappa$  dans le lait camelin induit une sensibilité vis-à-vis du traitement thermique, et donc une faible propriété moussante.

La valeur du pouvoir moussant des caséines camelines traitées thermiquement enregistrée lors de cette étude ( $37,77 \pm 3,14\%$ ) est inférieure à la valeur obtenue avec les caséines bovines traitées thermiquement ( $38,88 \pm 1,57\%$ ).

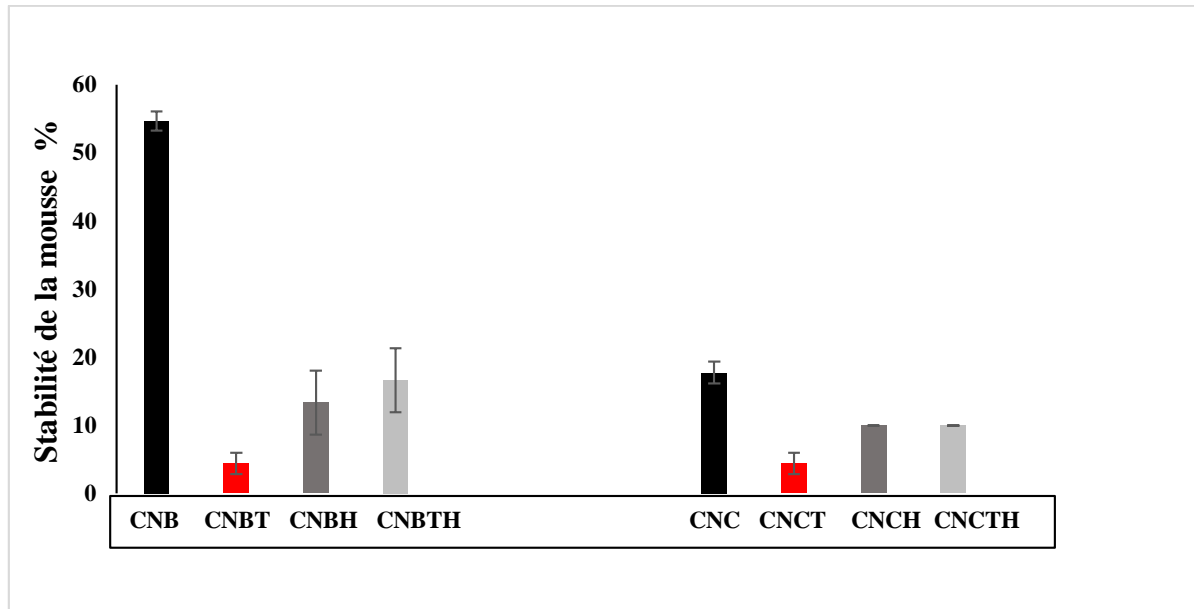
Ces résultats sont opposés à ceux signalés par Ladjnaf et al. (2020) qui ont montré que le lait de chamelle donne une meilleure mousse que le lait de vache quelle que soit la valeur de la température de chauffage. Ceci est expliqué par le fait qu'une température de chauffage plus élevée des protéines du lait à un pH neutre entraîne une plus grande hydrophobicité de surface causée par l'effilochage des protéines (Lam et al., 2015).

Quant aux caséines qui ont subi une hydrolyse, nous avons remarqué une baisse de leurs capacités moussantes par rapport aux caséines natives dans les deux laits (camelin et bovin). Ce qui pourrait être due à une libération de plusieurs groupes à fonction hydrophiles, polaires, altérant la formation de la mousse (Banach et al., 2013).

La combinaison du traitement thermique avec l'hydrolyse enzymatique induit une capacité moussante nettement supérieure pour le bovin ( $33,33\% \pm 4,71$ ) que pour le lait camelin qui a enregistré une valeur de  $16,66\% \pm 4,71$ .

### **3.5.1.1 Stabilité de la mousse**

L'un des paramètres recherchés dans les propriétés techno-fonctionnelles du lait est la stabilité du pouvoir moussant. Le maintien de la mousse dans le temps joue un grand rôle dans les technologies alimentaires.



**Figure 20 :** La stabilité de la mousse des caséines du lait de camelin et bovin.

CNB : Caséines bovines natives

CNB : Caséines camelines natives

CNBT : Caséines bovines traitées (95°C)

CNBT : Caséines camelines traitées (95°C)

CNBH : Caséines bovines hydrolysées (papaïne)

CNBH : Caséines camelines hydrolysées (papaïne)

CNBTH : Caséines bovines traitées (95°C) et hydrolysées (papaïne)

CNBTH : Caséines camelines traitées (95°C) et hydrolysées (papaïne).

L'examen de la figure (20) montre que les caséines du lait camelin ont une stabilité moussante inférieure à celles des caséines bovines. Nous avons noté que les caséines natives du lait bovin possèdent un indice de stabilité moussante largement supérieur à celui des caséines traitées thermiquement ( $54,66 \pm 1,41\%$  et  $4,44 \pm 1,56 \%$ , respectivement).

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par certains auteurs (El Agamy, 2006 ; Kappeler et al., 1998 ; Ladjnaf et al. 2020), qui ont expliqué la forte stabilité de la mousse par la présence de  $\kappa$ -caséine dans le lait de vache car elle est très thermosensible.

Pour les caséines bovines hydrolysées par la papaïne, nous avons enregistré une valeur de  $13,3\% \pm 4,71$  et nous remarquons une meilleure stabilité de celles-ci par rapport aux caséines traitées thermiquement ( $4,44\% \pm 1,56$ ).

La combinaison du traitement thermique avec l'hydrolyse enzymatique n'a pas amélioré la stabilité de la mousse ( $16,66\% \pm 4,71$ ) dans les cas des caséines bovines chauffées et hydrolysées contre  $54,66\% \pm 1,41$  pour les caséines natives.

La mousse formée avec les caséines camelines natives ( $17,77\% \pm 1,57$ ) est plus stable par rapport à celle formée par les caséines camelines traitées thermiquement ( $4,44 \pm 1,56\%$ ). Ce résultat est en accord avec les résultats obtenus par Marchessau (2021) qui a souligné que les mousses sont sensibles aux traitements thermiques.

Quant à l'hydrolyse par la papaine, ainsi que la combinaison hydrolyse/traitement thermique, la mousse des caséines camelines est moins stable ( $10\% \pm 00$ ) que celle des caséines natives ( $16,67\% \pm 4,71$ )

Les caséines natives bovines stabilisent mieux la mousse que les caséines camelines. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par Lajnaf et al. (2016) qui ont expliqué la stabilité de la mousse par la présence de la  $\beta$  caséine bovine qui se caractérise par une plus grande capacité à stabiliser les mousses par rapport à son homologue camelin en raison de la différence de leurs structures moléculaires. En plus, Closs et al. (1990) ont rapporté que la stabilité des mousses de lait est due principalement à la présence de la  $\kappa$ -caséine en raison de sa forme structurée particulière par rapport aux autres caséines. Cette dernière, faible dans le lait camelin (3 à 5%), explique cette différence du pouvoir moussant ainsi que la stabilité de la mousse entre les deux espèces.

Le traitement thermique influence la stabilité de la mousse en l'abaissant dans les deux types du lait. Ces résultats sont en accord avec ceux de Borcharding et al. (2008) qui ont observé que la mousse la plus stable a été obtenue à partir de lait non chauffé alors que la moins stable a été observée pour le lait ultra haute température (UHT). Cependant, certains auteurs ont avancé aussi que les micelles de caséines contribuent à la stabilité de la mousse uniquement lorsque les mousses sont générées à des températures plus élevées (Jelen et al., 1995 ; Erdem, 2006 ; Xiong et al., 2020).

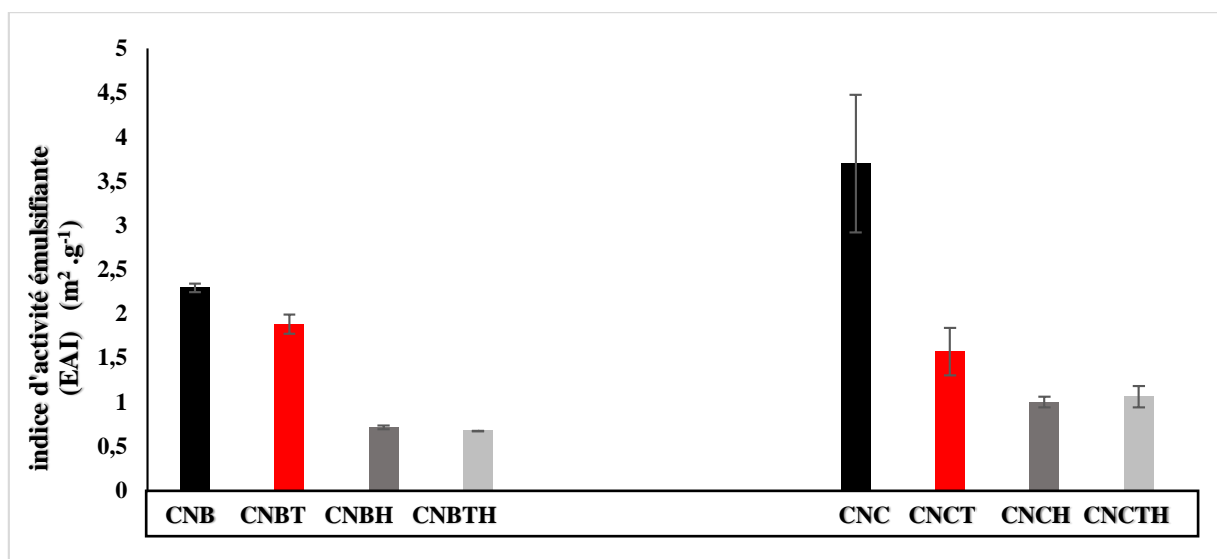
Damodaran et al. (1997), Dickinson et al., (2003) et Ladjnaf (2017) ont signalé que la stabilité de la mousse augmente avec l'augmentation de la vitesse de diffusion et d'adsorption des protéines du lait à la surface et l'augmentation du nombre d'interactions hydrophobes.

La stabilité de la mousse des caséines camelines hydrolysées par la papaïne ( $10\pm 00\%$ ), ainsi que la combinaison hydrolyse enzymatique/traitement thermique ( $10\pm 00\%$ ) est moins stable que celle des caséines bovines ( $13,33\pm 4,71\%$  et  $16,66\pm 4,71\%$  respectivement). Banach et al. (2013) ont observé les mêmes résultats.

Wouters et al. (2016) et Bao et al. (2017) ont rapporté que les hydrolysats possédant un degré d'hydrolyse élevé ont une plus faible stabilité que ceux ayant un degré d'hydrolyse plus faible, car les petits peptides interagissent moins et sont moins efficaces pour former un film viscoélastique résistant autour des bulles.

### 3.5.2 Propriété émulsifiante

L'étude de l'effet de traitement thermique et de l'hydrolyse enzymatique sur la capacité émulsifiante des caséines camelines et bovines est représentée dans la figure 21.



**Figure 21** : L'indice d'activité émulsifiante des émulsions huile/eau stabilisée par les caséines du lait de camelin et bovin.

CNB : Caséines bovines natives

CNC : Caséines camelines natives

CNBT : Caséines bovines traitées (95°C)

CNBT : Caséines camelines traitées (95°C)

CNBH : Caséines bovines hydrolysées (papaïne)

CNBH : Caséines camelines hydrolysées (papaïne)

CNBTH : Caséines bovines traitées (95°C) et hydrolysée (papaïne)

CNBTH : Caséines camelines traitées (95°C) et hydrolysée (papaïne)

L'activité émulsifiante dépend du pH, de la température du traitement thermique ainsi que du type du lait (Ellouze et al., 2021).

Nous avons remarqué que les caséines du lait camelin ont une meilleure capacité émulsifiante que celle des caséines bovines, et cela dans les différentes conditions étudiées, sauf dans le cas du traitement thermique.

Nous avons observé une baisse de l'indice d'activité émulsifiante (EAI) des caséines bovines traitées (thermiquement, hydrolysées), par rapport aux caséines natives. L'EAI chute de  $2,29 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,05$  pour la native jusqu'à  $1,88 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,11$  après traitement thermique, et de  $2,29 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,05$  à  $0,71 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,02$  après hydrolyse enzymatique (papaïne).

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Dickinson (1997) et ceux de Laleye et al. (2008). Cette baisse pourrait être due à la sensibilité conformationnelle et structurale des protéines responsables de l'émulsion, et à l'hydrophobicité de surface (Banach et al., 2013 ; Luo et al., 2014 ; Lajnaf et al., 2017 ; Han et al., 2021 ; Mohamed et al., 2022). La combinaison des deux paramètres (traitement thermique et hydrolyse par la papaïne) n'a pas vraiment d'effet sur l'indice d'émulsion par rapport à l'hydrolyse seule ( $0,67 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,004$  et  $0,71 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,02$ , respectivement).

L'indice d'activité émulsifiante des caséines camelines est affecté par les différents traitements étudiés lors de cette étude (traitement thermique et hydrolyse par la papaïne). Le traitement thermique des caséines camelines a diminué l'indice d'activité émulsifiante de  $3,7 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,78$  (caséines camelines natives) à  $1,57 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,27$  (caséines chauffées). L'hydrolyse des caséines camelines par la papaïne a baissé cet indice considérablement par rapport aux caséines natives de  $3,7 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,78$  à  $1 \pm 0,06$ . Certains auteurs ont expliqué cette baisse par le fait que les protéines, à capacité émulsifiante, sont très sensibles aux traitements thermiques, et à l'hydrolyse enzymatique (Banach et al., 2013 ; Ellouze et al., 2021 ; Mohamed et al., 2022). La combinaison du traitement thermique avec l'hydrolyse par la papaïne, quant à elle, ne présente qu'une légère différence insignifiante ( $1,06 \pm 0,12\%$  et  $1 \pm 0,06\%$ , respectivement).

L'indice d'activité émulsifiante des caséines camelines natives est plus élevé que celui des caséines bovines. Nos résultats sont similaires avec les résultats d'Ellouze (2019). La différence réside dans le patrimoine protéique de chaque espèce, comme suggéré par Perez-fuentes et al. (2017) indiquant que la  $\beta$  caséine, s'adsorbe en forme des multicouches sur les surfaces hydrophobes.

Mohamed et al. (2022) ont conclu que la caséine  $\beta$  du lait de chamelle est plus hydrophobe que celle du lait de vache en raison des concentrations élevées des groupes méthyle au niveau de l'acide aminé Ile (5,55% contre 4,12% respectivement).

Après le traitement thermique des caséines, nous avons enregistré un indice d'activité émulsifiante des caséines camelines moins élevé que celui des caséines bovines (1,5 et 1,8 m<sup>2</sup>/g, respectivement). Ces résultats sont en accord avec ceux d'Ellouze et al. (2021), ayant travaillé sur l'effet du traitement thermique sur les propriétés émulsifiantes de la  $\beta$  caséine purifiée du lait camelin et bovin.

Les caséines de lait de chamelle sont moins stables que les caséines du lait de vache à des températures plus élevées (Mohamed et al., 2022). Ce qui peut être expliqué par, d'un côté la diminution de l'abondance des caséines du lait de chamelle après traitement thermique, et d'un autre côté, par la faible représentation de la  $\kappa$ -CN dans le lait camelin par rapport à son homologue bovin (Mohamed et al., 2022).

La  $\kappa$ -CN cameline se dissocie initialement pendant le chauffage, en raison de sa disposition à la surface des micelles de caséines et sa sensibilité à la chaleur, suivie de la dissociation des  $\beta$ -CN et des  $\alpha$ - caséines micellaires, toutes associées à l'intensité de traitement thermique (Han et al., 2021 ; Mohamed et al., 2022).

Au niveau biochimique, les caséines ont une teneur élevée en résidus proline qui confèrent des conformations ouvertes, flexibles et stables à la chaleur en raison de l'absence de structure tertiaire (Broyard et al., 2015). Le traitement thermique va perturber les interactions non covalentes et modifier la conformation des protéines, exposant de ce fait les résidus hydrophobes pouvant ainsi conduire à la formation d'agrégation (Nunes et al., 2019) et même diminuer la taille moyenne des caséines par rapport à celles de leurs laits crus bovin et camelin (Han et al., 2021).

La conformation 3D des deux  $\beta$ -CN (camelines et bovines) est différente, et l'exposition des parties hydrophobes à la surface de la  $\beta$ -CN cameline est moins importante. Cela signifie que la  $\beta$ -CN cameline est plus protectrice contre le changement du pH (résidus hydrophobe caché). Cependant, le traitement thermique intensif (95°C) engendrera une relaxation de cette structure, exposant ainsi une hydrophobie de surface plus élevée, et des charges électrostatiques négatives à pH 6 (Ellouz et al., 2021).

Ces changements au niveau de la conformation des CN, soit par agrégations et associations intermoléculaires ou par distorsions thermiques, engendreront une diminution de leur capacité à stabiliser les interfaces huile-dans-eau.

Le second paramètre étudié sur la capacité émulsifiante est l'hydrolyse par la papaïne. Nous remarquons que l'EAI des caséines bovines et camelines est presque similaire (1 et 0,71 m<sup>2</sup>/g, respectivement).

Des résultats similaires ont été trouvés par Banach et al. (2013) (EAI= 0,133 m<sup>2</sup>/g), et dans lesquels, leurs caséines ont été complètement hydrolysées par la papaïne, en raison de leurs structures aléatoires flexibles qui les rends plus sensibles à cette hydrolyse enzymatique.

Cependant, nos résultats ne concordent pas avec une étude précédente sur les hydrolysats de caséines bovines traitées par la papaïne (Luo et al., 2014), et dans laquelle les propriétés émulsifiantes étaient généralement améliorées après hydrolyse.

Certaines recherches ont montré que l'hydrophobie de surface pouvait être liée à la capacité des protéines à agir comme émulsifiant. Une hydrophobicité de surface plus élevée indique de meilleures propriétés émulsifiantes car une grande partie du brin peptidique peut interagir avec la gouttelette d'huile et former un film protéique solide (Banach et al., 2013). Les acides aminés hydrophobes enfouis sont exposés lors de la protéolyse initiale, ce qui entraîne des structures dépliées et une augmentation de l'hydrophobicité de surface des hydrolysats (Luo et al., 2014). Cette hydrophobie de surface, après l'hydrolyse enzymatique, diminue progressivement suivant le processus d'hydrolyse (Luo et al., 2014).

D'après Nagler et al. (1999), la papaïne présente une forte préférence pour les résidus hydrophobes. Cette endopeptidase hydrolyse préférentiellement les liaisons peptidiques adjacentes à la base acide aminé leucine et glycine. La teneur en ces acides aminés est plus élevée dans les  $\alpha$ -CN et plus faible au niveau des  $\kappa$ -CN. Le  $\beta$ -CN contient un niveau légèrement inférieur de ces résidus que la  $\alpha$ -CN (Ashoor et al., 1971).

Le dernier paramètre étudié au niveau de la capacité émulsifiante est la combinaison hydrolyse/traitement thermique. La valeur des EAI pour les caséines camelines est supérieure à celle bovine (1,06 et 0,67 m<sup>2</sup>/g respectivement).

# **Conclusion**

### Conclusion et perspectives

Le lait représente l'unique source de nutriments pour l'ensemble des nouveau-nés des espèces mammifères. Il est particulièrement essentiel pour la croissance de l'enfant et l'entretien de son organisme. Il joue par conséquent un rôle crucial dans l'alimentation de l'Homme. Mis à part sa valeur nutritive, il comporte des composés biologiquement actifs tels que les caséines, sources d'acides aminés indispensables et les protéines lactosériques, importantes pour les diverses fonctions physiologiques et biochimiques qu'elles assurent.

Le lait de chamelle est une pharmacie naturelle en raison de ces caractéristiques médicinales et thérapeutiques contre divers maladies (tuberculose, l'asthme, cancer, ...) et possède des similitudes avec le lait bovin.

La présente étude s'est intéressée à l'évaluation de l'effet de l'hydrolyse enzymatique par la papaïne et le traitement thermique sur les propriétés techno-fonctionnelles (moussante et émulsifiante) des caséines camelines et des caséines bovines.

Les caséines sont les principales fractions protéiques dans les deux laits. Cette fraction a été isolé par précipitation isoélectrique et caractérisé par une électrophorèse dans des conditions dissociantes (PAGE Urée) qui a révélé une différence de mobilité électrophorétique entre les caséines camelines et les caséines bovines étudiées.

Les différents traitements appliquées (traitement thermique à 95°C/35min et l'hydrolyse par la papaïne) ont baissé la capacité et la stabilité des moussantes ainsi que les propriétés émulsifiantes des caséines camelines et bovines.

Les caséines natives des deux espèces possèdent des bonnes capacités émulsifiantes et moussantes et un pouvoir à stabiliser la mousse dans le temps par rapport aux caséines qui ont subi un traitement thermique et une hydrolyse enzymatique.

Les caséines bovines natives possèdent des meilleures capacités et stabilité moussante ( $63,32\% \pm 4,71$  ;  $54,66\% \pm 1,41$ , respectivement) par rapport à celle de l'espèce cameline ( $54,66\% \pm 8,74$  ;  $17,77\% \pm 1,57$ , respectivement). L'application de traitement thermique et l'hydrolyse par la papaïne ont diminué les deux propriétés pour les caséines des deux espèces.

Les caséines natives camelines ont une meilleure capacité émulsifiante que celle des caséines bovines ( $3,7 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,78$  ;  $2,29 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,05$ , respectivement). Le traitement thermique abaisse le pouvoir émulsifiant des caséines camelines contrairement à leurs homologues bovines ( $1,57 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,27$  ;  $1,88 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,11$ , respectivement).

Les résultats de notre étude permettent d'ouvrir de nouvelles perspectives. Donc pour compléter ce travail sur les propriétés techno-fonctionnelles des caséines camelines et bovines, nous proposons de :

- Etudier d'autres propriétés techno-fonctionnelles (la gélification, la rétention d'eau, ...) et l'effet de l'hydrolyse et du traitement thermique sur ces propriétés ;
- Etudier l'effet de la concentration, la vitesse et la technique de foisonnement sur les propriétés techno-fonctionnelles des caséines ;
- Purifier les entités de caséines ( $\beta$ ,  $\alpha_s$ ) et étudier leurs propriétés techno-fonctionnelles.

# **Références bibliographiques**

**Références bibliographiques**

**Abbas S., Ashraf H., Nazir A. & Sarfraz L. (2013).** Physical-chemical analysis and composition of camel milk. *International Research*, 2, 85-98.

**Abd El-Aziz M., Kassem J. M., Assem F.M. & Abbas H.M. (2022).** Physicochemical properties and health benefits of camel milk and its application in dairy products: A review. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(5),101-118.

**Ahamad S. R., Raish M., Ahmad A. & Shakeel F. (2017).** Potential health benefits and metabolomics of camel milk by GC-MS and ICP-MS. *Biological trace element research*, 175, 322-330.

**Al-awadi F.M. & Srikumar TS. (2001).** Les oligo-éléments et leur répartition dans les fractions protéiques du lait de chamelle par rapport aux autres laits couramment consommés. *Journal of Dairy Research*, 68 (3), 463-469.

**Al haj A and Al Kanhal A. (2010).** Composition, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *International Dairy Journal*, 20, 811-821.

**Al-Hashem M. (2009).** Monitoring population abundance of the sand lizard *Acanthodactylus scutellatus* and their ant prey in oil polluted soils at Kuwait's Greater Al-Burgan oil field. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12(21), 1425.

**Al-Juboori A.T, Mohammed M., Rashid J., Kurian J. & El Refaey S. (2013).** Valeur nutritionnelle et médicinale du lait de chamelle (*Camelus dromedarius*). *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 170, 221-232.

**Alloui-Lombarkia O., Ghennam E.H., Bacha A. & Abededdaim M. (2007).** Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du lait de chamelle et séparation de ses protéines par électrophorèse sur gel de polyacrylamide Propriétés physico-chimiques et biochimiques du lait de chamelle et séparation de ses protéines par électrophorèse sur gel de polyacrylamide. *Pack. J. Nutr*, 4 (2), 112-116.

**AL-Saleh A.A. (1996).** Heat coagulation of camel milk. *Journal of King Saud university, Agriculture Science*, 8 (1).

**Al-Shamsi A., Mudgil P., Hassan M. & Maqsood S. (2018).** Camel milk protein hydrolysates with improved techno-functional properties and enhanced antioxidant potential in in vitro and in food model systems. *Journal of Dairy Science*, 101, 47-60.

**Aludatt MH., Ereifej K., Alothman AM., Almajwal A., Alkhalidy H., Al-Tawaha AR et Alli I. (2010).** Variations des propriétés physiques et chimiques et de la composition minérale et vitaminique du lait de chamelle de huit endroits en Jordanie. *J. Alimentaire Agric. Environ*, 8 (3), 16-20.

**Andrews A.T. (1983).** Proteinases in normal bovine milk and their action on caseins. *Journal of Dairy Research*, 50(1), 45-55.

- Ashoor S.H., Sair R.A., Olson N.F. & Richardson T. (1971).** Utilisation d'un superpolymère de papaïne pour élucider la structure des micelles de caséine bovine. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Protein Structure*, 229 (2), 423-430.
- Banach J.C., Lin Z., & Lamsal B.P. (2013).** Enzymatic modification of milk protein concentrate and characterization of resulting functional properties. *LWT-Food Science and Technology*, 54(2), 397-403.
- Bao Z.J., Zhao Y., Wang X.Y. & Chi Y.J. (2017).** Effects of degree of hydrolysis (DH) on the functional properties of egg yolk hydrolysate with alcalase. *Journal of food science and technology*, 54, 669-678.
- Beg OU, von Bahr-Lindström H., Zaidi ZH. & Jörnvall H. (1986).** Une protéine de lactosérum de lait de chamelle riche en demi-cystine : structure primaire, évaluation des variations, schémas de répétition internes et relations avec la neurophysine et d'autres polypeptides actifs. *Journal Européen de biochimie*, 159 (1), 195-201.
- Behrouz S., Saadat S., Memarzia A., Sarir H., Folkerts G. & Boskabady M.H. (2022).** Les effets antioxydants, anti-inflammatoires et immunomodulateurs du lait de chamelle. *Frontières en immunologie*, 13.
- Bhargava A. & Jelen P. (1995).** Freezing of Whey Protein Concentrate Solutions and its Effect on Protein Functionality Indicators. *Int. Dairy Journal*, 5, 533-541.
- Bocquet A., Bresson J.L., Briend A., Chouraqui J.P., Darmaun D. & Dupont C. (2002).** Traitement nutritionnel des diarrhées aiguës du nourrisson et du jeune enfant. *Comité de Nutrition de la Société Française de Pédiatrie*, 9(6), 610-619.
- Bouhaddaoui S., Chabir R., Errachidi F., El Ghadraoui L., El Khalfi B., Benjelloun M., & Soukri A. (2019).** Etude de la biodiversité biochimique du lait de chamelle. *La revue scientifique mondiale*, 2019.
- Bouquet S. (2008).** Les Protéines alimentaires in : « Biochimie alimentaire », Ed Université des Sciences et Technologies de Lille.
- Bourriot S. (2002).** Conférence sur les additifs alimentaires. *Olympiades Nationales de la Chimie*, 9.
- Bourrel M. & Schester R.S. (1988).** *Microémulsions et systèmes associés* (New York : Marcel Dekker).
- Boussouar N. (2017).** Caractérisation technologique et sanitaire des entérocoques isolés à partir de lait de chamelle du sud-ouest Algérien (Doctoral dissertation, thèse de doctorat. 238p).
- Borcherding K., Chr P., Lorenzen W., Hoffmann K. & Schrader (2008).** Effet de la température de moussage et des conditions de durée/température variables du préchauffage sur les propriétés moussantes du lait. *Journal laitier international* 18, 349-358.

- Bornaz S., Sahli A., Attalah A. & Attia H. (2009).** Physicochemical characteristics and renneting properties of camels' milk: A comparison with goats', ewes' and cows' milks. *International Journal of Dairy Technology*, 62, 505-513.
- Brezovečki A., Čagalj M., Dermit F.Z., Mikulec N., Bendelja L.D. & Antunac N. (2015).** Camel milk and milk products. *Mljekarstvo : časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 65(2), 81-90.
- Broyard C. & Gaucheron F. (2015).** Modifications des structures et des fonctions des caséines : un défi scientifique et technologique. *Science et technologie laitières*, 95, 831-862.
- Bruchon J. (2004).** Etude de la formation d'une structure de mousse par simulation directe de l'expansion de bulles dans une matrice liquide polymère. Thèse Doctorat en Mécanique Numérique, Paris, 191.
- Callender S.P., Mathews J.A., Kobernyk K. & Wettig S.D. (2017).** Microemulsion utility in pharmaceuticals: Implications for multi-drug delivery. *International journal of pharmaceutics*, 526(1-2), 425-442.
- Cantat I. (2013).** Frottement ménisque liquide sur plaque humide : Bulles, lamelles et mousses. *Physique des fluides*, 25 (3).
- Cheftel J.C. & Lorient D. (1982).** Les propriétés fonctionnelles des protéines laitières et leur amélioration. *Le lait*, 62, 435-483.
- 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 Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.
- Chitour C.E. (2004).** Physico-chimie des surfaces, les interfaces liquide-liquide et gaz-liquide dans les solutions aqueuses. Ed OPU, 2, Alger, 249.
- Clement C.D. (2018).** Effect of Heat Treatment on Camel Milk Proteins.
- Closs B., Courthaudon J.L. & Lorient D. (1990).** Effet de la glycosylation chimique sur les propriétés de surface de la fraction soluble de la caséine. *Journal of food science*, 55 (2), 437-439.
- Dalgleish D.G., Spagnuolo P.A. & Goff H.D. (2004).** Une structure possible de la micelle de caséine basée sur la microscopie électronique à balayage à émission de champ à haute résolution. *Journal laitier international*, 14 (12), 1025-1031.
- Dalgleish D.G. & Corredig M. (2012).** La structure de la micelle de caséine du lait et ses modifications au cours de la transformation. *Revue annuelle des sciences et technologies alimentaires*, 3, 449-467.
- Damodaran S. & Anand K. (1997).** Sulfhydryl-disulfide interchange-induced interparticle protein polymerization in whey protein-stabilized emulsions and its relation to emulsion stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(10), 3813-3820.

- Debouz A. & Guerguer L. (2014).** Etude comparative de la qualité de vache et du. Revue ElWahat pour les recherches et les E, 7(2), 2014.
- De Castro R.J., Bagagli M.P. & Harumi Sato H.L. (2015).** Improving the functional properties of milk proteins: focus on the specificities of proteolytic enzymes. Current Opinion in Food Science, 1,64-69.
- De Kruif C.G., Huppertz T., Urban V.S. & Petukhov A.V. (2012).** Casein micelles and their internal structure. Advances in Colloid and Interface Science, 36-52.
- Destribats M. (2010).** Emulsions stabilisées par des particules colloïdales stimulables : propriétés fondamentales et matériaux (Doctoral dissertation, Université Sciences et Technologies-Bordeaux I).
- Devendra K., Verma K.A., Chatli M.K., Singh R., Kumar P., Mehta N. & Malav O.P. (2016).** Lait de chamelle : lait alternatif pour la consommation humaine et ses bienfaits pour la santé. Nutr sci alimentaire. 46, 217-227.
- Dickinson E. (2003).** Propriétés interfaciales, émulsifiantes et moussantes des protéines de lait. Advanced Dairy Chemistry-1 Proteins: Part A/Part B, 1229-1260.
- Dickinson E. & Golding M. (1997).** Flocculation par déplétion d'émulsions contenant du caséinate de sodium non adsorbé. Hydrocolloïdes alimentaires, 11 (1), 13-18.
- Dugassa D. (2021).** Quality and Therapeutic Aspect of Camel Milk: A Review. JOURNAL Food Process Technol 12, 902.
- El-Agamy. (2006).** Lait de chamelle. Manuel du lait des mammifères non bovins, 297-344.
- EL-Agamy E. I., Nawar M., Shamsia S. M., Awad S. & Haenlein G. F. W. (2009).** Are camel milk proteins convenient to the nutrition of cow milk allergic children? Small Ruminant Research, 82, 1-6.
- El-Hatmi H., Girardet J.M., Gaillard J.L., Yahyaoui M.H. & Attia H. (2007).** Caractérisation des protéines de lactosérum du lait et du colostrum de chamelle (*Camelus dromedarius*). Recherche sur les petits ruminants, 70 (2-3), 267-271.
- El-Hatmi H., Jrad Z., Salhi I., Aguibi A., Nadri A. & Khorchani T. (2015).** Comparison of composition and whey protein fractions of human, camel, donkey, goat and cow milk. Mljekarstvo, 65 (3), 159-167.
- Ellouze M., Vial C., Attia H. & Ali Ayadi M. (2019).** Camel  $\alpha$ -lactalbumin at the oil-water interface: Effect of pH and heat treatment on the structure, surface characteristics and emulsifying properties. LWT - Food Science and Technology, 116, pp.108550.

- Ellouze M., Lajnaf R., Zouari A., Attia H., Ayadi M.A. & Vial C. (2020).**  $\alpha$ -Lactalbumine de chameau à l'interface huile-eau : effet de la concentration en protéines et du changement de pH sur les caractéristiques de surface et les propriétés émulsifiantes. *Colloïdes et surfaces B : Biointerfaces*, 189.
- Ellouze M., Vial C., Attia H. & Ayadi M.A. (2021).** Effet du pH et du traitement thermique sur la structure, les caractéristiques de surface et les propriétés émulsifiantes de la  $\beta$ -caséine de chameau purifiée. *Chimie alimentaire*, 365, 130421.
- Emmanuelle R. (2013).** Stabilité des mousses : quelques expériences montrant l'influence de la rhéologie de surface. *Dynamique des Fluides*, Université Paris-Sud-Paris XI.
- Erdem Y.K. (2006).** Modification of casein micelle structure caused by ultrafiltration and heat treatment: A spectrofluorimetric and kinetic approach. *Journal of food engineering*, 74(4), 536-541.
- Fameau A.L. & Salonen A. (2014).** Effet des particules et des structures agrégées sur la stabilité et le vieillissement de la mousse. *Comptes rendus physiques*, 15 (8-9), 748-760.
- Famelart M.H., Gauvin G., Paquet D. & Brule G. (2009).** Acid gelation of Colloidal calcium phosphate-depleted preheated milk. *Dairy Science and Technology*, 89, 335-348.
- Farah Z. & Atkins D. (1992).** Heat coagulation of camel milk. *Journal of Dairy Research*, 59.
- Farrell H.M., Jimenez Flores R., Bleck G.T., Brown E.M., Butler J.E., Creamer L.K., Hicks C.L., Hollar C.M., Ng Kwaihang K.F. & Swaisgood H.E. (2004).** Nomenclature of the proteins of cow milk-sixth revision. *Journal of Dairy Science*, 87, 1641-1674.
- Ferranti P., Traisci M.V., Picariello G., Nasi A., Boschi V., Siervo M., Falconi C., Chianese L. & Addeo F. (2004).** Casein proteolysis in human milk: tracing the pattern of casein breakdown and the formation of potential bioactive peptides. *J Dairy Res.* 71(1), 74-87.
- Gerais. (2020).** Propriétés moussantes des protéines de lait réticulées par la transglutaminase à différents pH / Laise Trindade Paes. – Viçosa, MG.
- Glantz M.J., Van Horn A., Fisher R. & Chamberlain M.C. (2010).** Voie d'administration de la chimiothérapie du liquide intracérébrospinal et efficacité du traitement dans la méningite néoplasique. *Cancer*, 116 (8), 1947-1952.
- Gonzalez C., Herranz A. & Vallée C. (2004).** Les propriétés moussantes du lait. *Projet industriel de l'Institut National Polytechnique de Lorraine*, 20p.
- Guéry J. (2006).** Emulsions doubles cristallisables : stabilité, encapsulation et relargage. Thèse de doctorat, Paris 6, France.
- Fox P.F. (2001).** Milk proteins as food ingredients. *Int. J. Dairy Tec.*, 54(2), 41- 55.
- Fox P.F. (2008).** Lait : un aperçu. *Protéines du lait*, 1-54.

- Haddadin M.S.Y., Gammoh S.I. & Robinson R.K. (2008).** Seasonal variations in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of Dairy Research* 75 (1).
- Hailu Y., Hansen E.B., Seifu E., Eshetu M., Ipsen R. & Kappeler S. (2016).** Functional and technological properties of camel milk proteins: a review. *Journal of Dairy Research*, 83(4), 422-429.
- Han R., Shi R., Yu Z., Ho H., Du Q., Sun, X. & Yang, Y. (2021).** Distribution and variation in proteins of casein micellar fractions response to heat-treatment from five dairy species. *Food Chemistry*, 365.
- Hambraeus L. (1982).** Nutritional aspects of milk proteins. *Journal of Food and Nutrition*, 39,1-13.
- Hamed H., Trujillo A.J., Juan B., Guamis B., ElFeki A. & Gargouri A. (2012).** Interrelationships between somatic cell counts, lactation stage and lactation number and their influence on plasmin activity and protein fraction distribution in dromedary (*Camelus dromedaries*) and cow milks. *Small Ruminant Research*, 105, 300-307.
- Hammam A.R. (2019).** Propriétés compositionnelles et thérapeutiques du lait de chamelle : une revue. *Journal de l'alimentation et de l'agriculture des Émirats*, 148-152.
- Hinz K., O'Connor P.M., Huppertz T., Ross R.P. & Kelly A.L. (2012).** Comparison of the principal proteins in bovine, caprine, buffalo, equine and camel milk. *Journal of Dairy Research*, 79, 185-191.
- Horne D.S. (2006).** Casein micelle structure: models and muddles. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 11, 148-153.
- Horne D.S. (2020).** Casein micelle structure and stability. *Wisconsin Center for Dairy Research, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI, United States*, 213-250.
- Hu Y.T., Ting Y., Hu J.Y. & Hsieh S.C. (2016).** Techniques and methods to study functional characteristics of emulsion systems. *Journal of Food and Drug Analysis*, 1-11.
- Huet R. (1956).** Nature et propriétés de la papaine. *Fruits*, 11 (2), 51-58.
- Huppertz T. (2010).** Foaming properties of milk: A review of the influence of composition and processing. *International Journal of Dairy Technology*, 63(4), 477-488.
- Ismaili A., Saidi B., Zahar M., Hamama A. & Ezzaier R. (2016).** Composition and microbial quality of raw camel milk produced in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Izzadin A., Khedmatb L. & Mojtahedic S. (2019).** Nutritional and therapeutic perspectives of camel milk and its protein hydrolysates: A review on versatile biofunctional properties. *Journal of Functional Foods*, 60.
- Jilo K. & Tegegne D. (2016).** Chemical composition and medicinal values of camel milk. *International journal of research studies in biosciences*, 4(4), 13-25.

- Ouanezar M., Guyomarc'h F. & Bouchoux A. (2012).** Imagerie AFM des micelles de caséine du lait : preuves d'un réarrangement structurel lors de l'acidification. *Langmuir*, 28 (11), 4915-4919.
- Kamal M. & Karou R. (2017).** Suivi du traitement thermique doux du lait de chamelle par spectroscopie de fluorescence en face avant. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 586-593.
- Kamoun M. (1995).** Le lait de dromadaire : production, aspects qualitatifs et aptitude à la transformation. *Options méditerranéennes, Séries séminaires*, 13, 81-103.
- Kappeler S., Farah Z. & Puhan Z. (1998).** Sequence Analysis of *Camelus dromedarius* milk caseins. *J. Dairy Res.*, 65, 206-222.
- Karman A.Y., Akgul F.Y., Ogut S., Canbay H.S. & Alvarez V. (2022).** Gross composition of raw camel's milk produced in turkey. *Food Science and Technology, Campinas*, 42.
- Kaskous S. (2016).** Importance du lait de chamelle pour la santé humaine. *Journal de l'alimentation et de l'agriculture des Émirats*, 158-163.
- Khaliq M.A., James B., Chen Y.H., Saqib H.S.A., Li H.H., Jayasuriya P. & Guo W. (2019).** Uptake, translocation, and accumulation of Cd and its interaction with mineral nutrients (Fe, Zn, Ni, Ca, Mg) in upland rice. *Chemosphere*, 215, 916-924.
- Khaskheli M., Arain M.A., Chaudhry S., Soomro A.H. & Qureshi T. (2005).** Physic chemical quality of camel milk. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, 01 (2), 164-166.
- Kilari B.P., Mudgil P., Azimullah S., Bansal N., Ojha S. & Maqsood S. (2021).** Effect of camel milk protein hydrolysates against hyperglycemia, hyperlipidemia, and associated oxidative stress in streptozotocin (STZ)-induced diabetic rats. *Journal of dairy science*, 104(2), 1304-1317.
- Kim D.A., Michel Cornec M. & Narsimhan G. (2015).** Effect of thermal treatment on interfacial properties of  $\beta$ -lactoglobulin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 285, 100-109.
- Kinsella J.E. & Franzen K.L. (1978).** Protéines texturisées : fabrication, aromatisation et nutrition. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 10 (2), 147-207.
- Konuspayeva G., Faye B. & Serikbaeva A. (2003).** Les produits laitiers traditionnels à base de lait de chamelle en Asie centrale. *Actes de l'Atelier International sur : "Lait de chamelle pour l'Afrique"*, 5-8, Niamey, Niger.
- Konuspayeva G., Loiseau G. & Faye B. (2004).** Le plus-value "santé " du lait de chamelle cru et fermenté l'expérience du kazakhstan. *Rencontre de recherche Ruminants*, 11, 47-50.
- Konuspayeva G., Faye B. & Loiseau G. (2009).** The composition of camel milk: A meta-analysis of the literature data. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22.
- Kumar D., Kumar C.M., Singh R., Mehta N. & Kumar P. (2016).** Enzymatic hydrolysis of camel milk casein and its antioxidant properties. *Dairy Science and Technology*, 96, 391-404.

- Laemmli U.K. & Favre H. (1973).** Maturation of the head of bacteriophage T4 I DNA packaging events. *Journal of Molecular Biology*, 80, 575-599.
- Learoussy H.Y., Dartige A.Y., Kankou M.S., Dick B. A. & Aarab L. (2020).** Etude comparative de la qualité physico-chimique et microbiologique du lait de chamelle. *Journal of the Mauritanian Chemical Society*, 02, 37-42.
- Lajnaf R., Palmade L., Attia H., Marchesseau S. & Ayadi M.A. (2017).** Foaming and adsorption behavior of bovine and camel proteins mixed layers at the air/water interface. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 151, 287-294.
- Lajnaf R., Gharsallah H., Jridi M., Attia H. & Ayadi MA. (2020).** Activités antioxydantes et antibactériennes, propriétés interfaciales et émulsifiantes des formes apo et holo de l' $\alpha$ -lactalbumine purifiée de chameau et de bovin. *Journal international des macromolécules biologiques*, 165, 205-213.
- Lajnafa R., Picart-Palmadeb L., Attiaa H., Marchesseaub S. & Ayadia M.A. (2021).** Foaming and air-water interfacial properties of camel milk proteins. *Journal : Food Hydrocolloids*.
- Laleye L.C., Jobe B. & Wasesa A.A.H. (2008).** Comparative study on heat stability and functionality of camel and bovine milk whey proteins. *Journal of Dairy Science*, 91(12), 4527-4534.
- Lam R. S. & Nickerson M. T. (2013).** Food proteins: a review on their emulsifying properties using a structure–function approach. *Food Chemistry*, 141(2), 975-984.
- Lam RS. & Nickerson M.T. (2015).** L'effet des prétraitements de pH et de température sur les propriétés physicochimiques et émulsifiantes de l'isolat de protéines de lactosérum. *LWT-Food Science and Technology*, 60 (1), 427-434.
- Larsson-Raznikiewicz M. & Mohamed M. A. (1986).** Analysis of the casein content in camel (*Camelus dromedarius*) milk. *Swedish Journal of Agricultural Research (Sweden)*.
- Liceaga-Gesualdo A.M. & Li-Chan E.C.Y. (1999).** Propriétés fonctionnelles de l'hydrolysate de protéines de poisson de hareng (*Clupea harengus*). *Journal of food science*, 64 (6), 1000-1004.
- Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L. & Randall R. J. (1951).** Protein measurement with Folin phenol reagent. *Journal of Biochemistry*, 193, 265-275.
- Lucey J.A. & Horne D.S. (2009).** Milk Salts: Technological Significance. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 3: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*, P.L.H. McSweeney and P.F. Fox, Springer Science and Business Media, Pages 351-389.
- Luo Y., Pan K. & Zhong Q. (2014).** Physical, chemical and biochemical properties of casein hydrolyzed by three proteases: Partial characterizations. *Food Chemistry*, 155, 146-154.
- Magjeed N.A. (2005).** Corrective effect of camel milk on some cancer biomarkers in blood of rats intoxicated with aflatoxin B1. *Journal of Saoudi Chemical Society*, 9 (2), 253263.
- Mal G., Sena D.S., Jain V.K. & Sahani M.S. (2006).** Valeur thérapeutique du lait de chamelle comme supplément nutritionnel pour les patients atteints de tuberculose multirésistante (MDR). *IJVM* 61, 88-91.

## *Références bibliographiques*

- Mal G. & Pathak K.M.L. (2010).** Camel milk and milk products. Milk & milk products. SMVS' Dairy Year Book.
- Marinova K.G., Basheva E.S., Nenova B., Temelska M., Mirarefi A.Y., Campbell B. & Ivanov I.B. (2009).** Facteurs physico-chimiques contrôlant le pouvoir moussant et la stabilité de la mousse des protéines de lait : caséinate de sodium et concentrés de protéines de lactosérum. *Hydrocolloïdes alimentaires*, 23 (7), 1864-1876.
- Martínez-Padilla L.P., García-Mena V., Casas-Alencáster N.B. & Sosa-Herrera M.G. (2014).** Foaming properties of skim milk powder fortified with milk proteins. *International Dairy Journal*, 36, 21-28.
- Mati A., Senoussi-Ghezzali C., Si ahmed Zennia S., Almi Sebbane D., El-Hatmi H. & Girardet J.M. (2016).** Dromedary camel milk proteins, a source of peptides having biological activities. A review. *International Dairy Journal*, 73, 25-37.
- Mati A. & Linden G. (1992).** Les protéose peptones dans les laits bovin, ovin et caprin : isolement, caractérisation, origine et évolution de la fraction hydrophobe contenant le composant-3 (Doctoral dissertation, Thèse Doctorat. Université de Nancy I).
- McClements D.J. (2011).** Edible nanoemulsions: fabrication, properties, and functional performance. *The Royal Society of Chemistry, Soft Matter*, 7, 2297-2316.
- Mc Clements D.J., Jiakai Lu J. & Grossmann L. (2022).** Proposed Methods for Testing and Comparing the Emulsifying Properties of Proteins from Animal, Plant, and Alternative Sources. *Colloids Interfaces*, 6, 19.
- Medjour A. (2014).** Etude comparative des caractéristiques physico- chimiques du lait collecté à partir de chamelles (*Camelus dromedarius*) conduites selon deux systèmes d'élevage (extensif et semi-intensif). Thèse de Magister en Biologie appliquée. Université Mohamed KHIDER, Biskra, Algérie.
- Merin U., Bernstein S., Bloch-Damti A., Yagil R., Van Creveld C., Lindner P. & Gollop N. (2001).** Une étude comparative des protéines de sérum de lait chez le chameau (*Camelus dromedarius*) et le colostrum bovin. *Science de la production animale*, 67 (3), 297-301.
- Mohamed M. A., Larsson-Raznikeiwicz M. & Mohamud M. A. (1990).** Hard cheese making from camel milk. *Milchwissenschaft*, 45, 716-718.
- Mohamed M. A. & Larsson-Raznikeiwicz M. (1991).** Heat treatment of camel milk. Effects upon casein fraction. *Milchwissenschaft*, 46, 562-565.
- Mohamed H., Ayyash M. & Kamal-Eldin A. (2022).** Effet des traitements thermiques sur les protéines du lait de chamelle - Une revue. *Journal laitier international*, 105404.
- Mona E.Y., Ragia O.M., Abeer A.K.H. & Mosa T.E. (2010).** Biochemical Effects of Fermented Camel Milk on Diarrhea in Rats. *New York Science Journal*. 3(5), 106-111.

## Références bibliographiques

- Mudgil P., Redha AA., Nirmal NP. Et Maqsood S. (2023).** Activités antidiabétiques et anti-hypercholestérolémiantes *in vitro* des hydrolysats de protéines de lait de chamelle dérivés de la digestion gastro-intestinale simulée du lait de différentes races de chameaux. *Journal of Dairy Science*, 106 (5), 3098-3108.
- Nagler D.K., Tam W., Storer A.C., Krupa J.C., Mort J.S. & Menard R. (1999).** Interdependency of Sequence and Positional Specificities for Cysteine Proteases of the Papain Family. *Biochemistry*, 38, 4868-4874.
- Nunes L. & Tavares G.M. (2019).** Traitements thermiques et technologies émergentes : Impacts sur la structure et les propriétés techno-fonctionnelles des protéines du lait. *Tendances en science et technologie alimentaires*, 90, 88-99.
- Ochirkhuyag B., Chobert J. M., Dalgalarondo M., Choiset Y. & Haertlé T. (1997).** Characterization of caseins from Mongolian yak, khainak, and Bactrian camel. *Le Lait*, 77(5), 601-613.
- Ouanezar M., Guyomarc'h F. & Bouchoux A. (2012).** Imagerie AFM des micelles de caséine du lait : preuves d'un réarrangement structurel lors de l'acidification. *Langmuir*, 28 (11), 4915-4919.
- Paquet D., Thou K.S. & Alais C. (1978).** Obtention de produits moussants alimentaires par hydrolyse ménagée des protéines du lactosérum de fromagerie. *Ind. Alim. Agric.* 95, 161- 168.
- Panyam D. & Kilara A. (1996).** Amélioration de la fonctionnalité des protéines alimentaires par modification enzymatique. *Tendances des sciences et technologies alimentaires*, 7 (4), 120-125.
- Park Y. W., Juárez M., Ramos M., & Haenlein G. F. W. (2007).** Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small ruminant research*, 68(1-2), 88-113.
- Pérez-Fuentes L., Drummond C., Faraudo J. & Bastos-González D. (2017).** Adsorption de protéines de lait ( $\beta$ -caséine et  $\beta$ -lactoglobuline) et de BSA sur des surfaces hydrophobes. *Matériaux*, 10 (8), 893.
- Pesic M.B., Barac M., Vrvic M., Ristic N., Macej O. & Stanojevic S. (2011 b).** Qualitative and quantitative analysis of bovine milk adulteration in caprine and ovine milks using native-PAGE. *Food Chemistry*, 125, 1443-1444.
- Portier J. (2008).** Les fiches explicatives : comprendre les émulsions, la belle verte. Publication internet, <http://labelleverte.over-blog.net>.
- Rahli F. (2015).** Valorisation du lait de chamelle par l'exploitation des potentialités technologiques des bactéries lactiques isolées localement. Thèse de Doctorat en sciences microbiologie appliquée, option : contrôle microbiologique et hygiène alimentaire, Université d'Oran-1-, Oran, Algérie.
- Rahmouni I. (2016).** « Formulation d'une émulsion à base d'huile d'argan en utilisant un plan de mélange », thèse de doctorat en pharmacie, Université Mohamed V – Rabat.

## Références bibliographiques

- Sadiq U., Gill H. & Chandrapala J. (2021).** Les micelles de caséine comme système de livraison émergent pour les composants alimentaires bioactifs. *Aliments*, 10 (8), 1965.
- Sanchez C.C. & Patino J.M. (2005).** Interfacial, foaming and emulsifying characteristics of sodium caseinate as influenced by protein concentration in solution. *Food Hydrocolloids*, 19, 407-416.
- Sboui A., Khorchani T., Djegham M. & 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*, 5 (2), 293-304.
- Sboui A., Arroum S., Hayek N., Mekrazi H. & Khorchani T. (2015).** Etude comparative de l'effet de la pasteurisation et de l'ébullition sur la composition physicochimique des laits camelin et bovin. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, JS-INAT*. 18, 943-947.
- Sboui A., Djegham M., Belhadj O. & Khorchani T. (2016).** Le lait de chamelle : qualités nutritives et effet sur les variations de la glycémie. *Options Méditerranéennes, A*, 115, 487-492.
- Senoussi C. (2011).** Les protéines sériques du lait camelin collecté dans trois régions du sud algériens : essais de séparation et caractérisation de la fraction protéose peptone. Thèse de Magister en Sciences Biologiques, option Biochimie Appliquée et Biotechnologies. Université Mouloud MAMMARI, Tizi- Ouzou, Algérie.
- Shabo Y., Barzel R., Margoulis M. & Yagil R. (2005).** Camel milk for food allergies in children. *Immunology and Allergies Journal*, 7, 796-797.
- Si Ahmed Z.S., Almi D., Senoussi C., Boudjenah H.S. & Mati A. (2013).** Separation and characterization of major milk proteins from Algerian Dromedary (*Camelus dromedarius*). *Emir. J. Food Agric.* 25 (4), 283-290.
- Siboukeur O., Mati A. & Hesas B. (2005).** Amélioration de l'aptitude à la coagulation du lait camelin (*Camelus dromedarius*) : utilisation d'extraits enzymatiques coagulants gastriques de dromadaires. *Cahiers d'étude et de recherches francophones Agricultures*, Ed John Libbey, 5(14), 473-478.
- Siboukeur O.K. (2007).** Etude du lait camelin collecté localement : caractéristiques physicochimiques et microbiologiques ; aptitudes à la coagulation. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques université INA EL Harrach-Alger.
- Siboukeur A. & Siboukeur O. (2012).** Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du lait de chamelle collecté localement en comparaison avec le lait bovin.
- Silva N. F. N., Saint-Jalmes A., de Carvalho A. F. & Gaucheron F. (2014).** Development of casein micro-gels from cross-linking of casein micelles by genipin. *Langmuir*, 30(34), 10167-10175.
- Singh H. (2011).** Aspects des émulsions stabilisées aux protéines de lait. *Hydrocolloïdes alimentaires*, 25, 8, 1938-1944.

## *Références bibliographiques*

- Solans C., Izquierdo P., Nolla J., Azemar N. & Garcia-Celma M. J. (2005).** Nano-emulsions. *Current opinion in colloid & interface science*, 10(3-4), 102-110.
- Suliman A., Ilayan A.A. & Faki A. (2006).** Qualité chimique et microbiologique de Garris, lait de chamelle fermenté soudanais. *Journal international des sciences et technologies alimentaires*, 41 (3), 321-328.
- Schmidt D. G. (1980).** Colloidal aspects of casein. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 34, 42-64.
- Shamsia S.M. (2009).** Nutritional and therapeutic properties of camel and human milks, *International Journal of Genetics and Molecular Biology*, 1 (2) 052-058.
- 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*, 49(3), 744-747.
- Swelum A.A., El-Saadony MT., Abdo M., Ombarak R.A., Hussein E.O., Suliman G. & Abd El-Hack M.E. (2021).** Propriétés nutritionnelles, antimicrobiennes et médicinales du lait de chamelle : une revue. *Journal saoudien des sciences biologiques*, 28 (5), 3126-3136.
- Sze-Tao K.W.C. & Sathe S.K. (2000).** Functional properties and in vitro digestibility of almond (*Prunus dulcis* L.) protein isolate. *Food chemistry*, 69(2), 153-160.
- Trejo R., Dokland T., Jurat-Fuentes J. & Harte F. (2011).** Tomographie électronique par cryotransmission de micelles de caséine native de lait de vache. *Journal des sciences laitières*, 94 (12), 5770-5775.
- Tsou M.J., Kao F.J., Tseng C.K. & Chiang W.D. (2010).** Enhancing the anti-adipogenic activity of soy protein by limited hydrolysis with flavourzyme and ultrafiltration. *Food Chemistry*, 122, 243-248.
- Vani B. & Zayas J.F. (1995).** Propriétés moussantes de protéines végétales et animales sélectionnées. *Journal of food science*, 60 (5), 1025-1028.
- Wangoh J., Farah Z. & Puhan Z. (1998).** Iso-electric focusing of camel milk proteins. *Int. Dairy J.*, 8, 617-621.
- Walstra P. (1999).** Casein sub-micelles: do they exist. *International Dairy Journal*, 9(3-6), 189-192.
- Wernery U. (2006).** Camel milk, the white gold of the desert. *Central Veterinary Research Laboratory*, P.O. Box 597, Dubai, UAE, 15-26.
- Wouters A., Rombouts I., Fierens E., Brijs K. & Delcour J.A. (2016).** Pertinence des propriétés fonctionnelles des hydrolysats enzymatiques de protéines végétales dans les systèmes alimentaires. *Examens complets en science alimentaire et en sécurité alimentaire*, 15 (4), 786-800.
- Xiong X., Ho M. T., Bhandari B. & Bansal N. (2020).** Foaming properties of milk protein dispersions at different protein content and casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal*, 109, 104758.

## *Références bibliographiques*

**Yagil R. & Etzion Z. (1980).** Effect of drought condition on the quality of camel milk. *Journal of Dairy Research*, 47, 159-166.

**Zayas J. F. (1997).** *Functionality of proteins in food* (pp. 261–309). New York, NY, USA: Springer.

**Zhao D.B., Bai Y. H. & Niu Y.W. (2015).** Composition and characteristics of Chinese Bactrian camel milk. *Small Ruminant Research*, 127 : 58-67.

**Zhang Z. & Goff HD. (2004).** Distribution des protéines aux interfaces air dans les mousses laitières et la crème glacée, affectée par la dissociation de la caséine et les émulsifiants. *Journal laitier international*, 14 (7), 647-657.

**Zhu H. & Damodaran S. (1994).** Changements conformationnels induits par la chaleur dans l'isolat de protéines de lactosérum et sa relation avec les propriétés moussantes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42 (4), 846-855.

# **Annexes**

## Annexes

**Annexe 1 : Détermination de la teneur en protéines par la méthode de Lowry et al. (1951)****1. Préparation des solutions**

- **Solution A** :  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  anhydre 2% dans NaOH, 0,1 M ;
- **Solution B** : 2 ml de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,5% + 2 ml de tartrate de Na et K, 1% ;
- **Solution C** : 50 ml A + 1 ml B ;
- **Solution mère de la BSA** : 0,1 g/l.

**2. Gamme étalon**

A partir de la solution mère de la BSA (0,1 g/l), des dilutions sont préparées suivant le tableau ci-dessous.

Concentration BSA ( $\mu\text{g/ml}$ )	0	10	15	20	25	30	35	40	45
Solution de la BSA ( $\mu\text{l}$ )	0	100	150	200	250	300	350	400	450
Eau distillée ( $\mu\text{l}$ )	450	400	350	300	250	200	150	100	0

**3. Méthode**

A 0,5 ml de la solution d'échantillon contenant entre 25 et 100  $\mu\text{g}$  de protéines :

- Ajouter 2,5 ml de la solution C et mélanger ;
- Laisser 5 à 10 min à température ambiante ;
- Ajouter 0,25 ml de réactif de Folin-Ciocalteu ;
- Homogénéiser et mettre à l'obscurité 30 min ;
- Homogénéiser les solutions et lire les DO à 750nm.

**4. Expression des résultats**

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

**Annexe 2 : Electrophorèse en présence de SDS et de 2-mercaptoéthanol (PAGE-SDS)**

**1. Solutions**

• **Solution d'acrylamide (A)**

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

• **Tampon de gel de séparation**

-Tris.....	18,5g.
-Eau distillée.....	100ml.

Ajuster à pH 8.8 avec de HCl 4N

• **Tampon de gel de concentration (C)**

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

Ajuster à pH 6.8 avec de HCl 4N

• **Tampon d'électrode**

- Tris .....	1, 2 g
- Glycine .....	5,75 g
- SDS .....	0,2 g
- Eau distillée .....	200 ml.

• **Tampon d'échantillon**

- Solution (C) .....	500µl
- Eau distillée .....	250µl
- SDS (10%) .....	250µl
- 2-mercaptoéthanol .....	50µl

Dissoudre 4 mg de protéines de caséines dans 1 ml de ce tampon. Chauffage à 100°C pendant 4 à 5 min puis refroidir dans un bain d'eau froide. Ajouter 200 µl d'une solution de glycérol 50% (v/v) et quelques graines de bleu de bromophénol.

• **Solution de fixation**

- Acide triachloracétique (TCA).....12 g
- Eau distillée .....100 ml.

• **Solution de coloration**

- Bleu de Coomassie R250 .....0,2 g
- TCA .....4 g
- Méthanol.....100ml
- Eau distillée .....100ml.

• **Solution de décoloration**

- Acide acétique .....37,5ml
- Eau distillée .....312,5ml
- Méthanol .....150ml.

• **Solution de persulfate d'ammonium (PSA)**

- Persulfate d'ammonium .....0,1 g
- Eau distillée .....1ml

**Electrophorèse**

• **Préparation du gel de séparation : T = 15 % et C = 2,7 %**

- Solution (A) .....4,60 ml
- Solution (S) .....2,51 ml
- Eau distillée .....2,73 ml

Dégazer pendant 2 mn maximum

- SDS (0,1%) .....10µl
- TEMED .....13µl
- PSA .....75µl

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

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

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

Dégazer quelques secondes

- SDS (0,1%) .....10 µl
- PSA.....10 µl
- TEMED.....20 µl

Couler immédiatement sur le gel de séparation polymérisé et mettre le peigne.

**Dépôt d'échantillon :** 10-15 µl.

**Mise sous tension :** 20 mA, 250 V.

**Fixation :** 45 minutes dans la solution de fixation.

**Coloration :** 2 heures dans la solution de coloration.

**Décoloration :** dans la solution de décoloration.

### **Annexe 3 : Electrophorèse en présence d'urée et de 2-mercaptoéthanol (PAGE-urée)**

- **Tampon de gel de concentration (C)**

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

Ajuster à pH 6,8 avec de HCl 4 N

- **Tampon de gel de séparation (S)**

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

Ajuster à pH 8,9 avec de HCl 4 N

- **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 2 mg de protéines caséines dans 1 ml de ce tampon

**Electrophorèse**

**Préparation du gel de concentration : T = 4 % et C = 2.7 % (pour deux plaques)**

- Acrylamide .....0,44 ml
- Urée (9M) .....2,72 ml
- Solution (C) .....0,48ml
- Eau distillée .....0,33 ml

Dégazer environ 2mn maximum

**Préparation du gel de séparation : T = 13 % et C = 2,7 % (pour deux plaques)**

- Acrylamide .....2 ml
- Urée (9M) .....4,57 ml
- Solution (S) .....1,33ml

Dégazer environ 2mn maximum

- TEMED .....90 µl
- PSA .....10 µl

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

## **Abstract**

Caseins are the main protein fraction of milk. They are characterized by heat stability and wide use in food industries due to their various functional properties, such as emulsification and foam formation.

Our study aims to compare the techno-functional properties (foaming power and emulsifying power) of camel milk caseins (CNC) and those of cow's milk (CNB). First, caseins were isolated by isoelectric precipitation and characterized by electrophoresis under denaturing conditions (Urea PAGE), then we studied the effect of enzymatic hydrolysis by papain (E/S: 1/100) and the effect of heat treatment (95°C/30min) on the techno-functional properties of CNs.

The electrophoretic profile shows that the caseins of these two species migrate in two main bands ( $\alpha$ -CN,  $\beta$ -CN).

The results of our study showed that CNBs have good foaming properties than CNCs. We recorded a foaming capacity of  $63.32\% \pm 4.71$  for the CNB against  $57.77\% \pm 8.74$  for the CNC.

The heat treatment applied decreased the foaming capacity of CNB and CNC,  $38.88\% \pm 1.57$  and  $37.77\% \pm 3.14$ , respectively. Enzymatic hydrolysis also lowered this capacity  $16.66\% \pm 4.71$  for CNBs and  $10\% \pm 00$  for CNCs.

CNCs have better emulsifying ability than CNBs. In the native state, we noted a value of  $2.29\% \pm 0.05$  for CNB which is lower than that of CNC ( $3.70\% \pm 0.78$ ). By applying heat treatment, we recorded a decrease in the emulsifying activity index of CNB ( $1.88\% \pm 0.11$ ) and CNC ( $1.57\% \pm 0.27$ ). Enzymatic hydrolysis also reduced the emulsifying power,  $1\% \pm 0.06$  for the CNCs and  $0.71\% \pm 0.02$  for the CNBs.

**Keywords:** Camel caseins, bovine caseins, foaming power, emulsifying capacity, enzymatic hydrolysis, heat treatment.

## Résumé

Les caséines sont la principale fraction protéique du lait. Elles se caractérisent par une stabilité à la chaleur et une large utilisation dans les industries agro-alimentaires en raison de leurs diverses propriétés fonctionnelles, telles que l'émulsification et la formation de la mousse.

Notre étude a pour but de comparer les propriétés techno-fonctionnelles (pouvoir moussant et pouvoir émulsifiant) des caséines du lait de chamelle (CNC) et celles du lait de vache (CNB). D'abord, les caséines ont été isolées par précipitation isoélectrique et caractérisées par électrophorèse dans des conditions dénaturantes (PAGE Urée), par la suite nous avons étudié l'effet de l'hydrolyse enzymatique par la papaïne (E/S :1/100) et l'effet de traitement thermique (95°C/30min) sur les propriétés techno-fonctionnelles des CN.

Le profil électrophorétique montre que les caséines de ces deux espèces migrent en deux bandes principales ( $\alpha$ -CN,  $\beta$ -CN).

Les résultats de notre étude ont montré que les CNB possèdent des bonnes propriétés moussantes que les CNC. Nous avons enregistré une capacité moussante de  $63,32\% \pm 4,71$  pour les CNB contre  $57,77\% \pm 8,74$  pour les CNC.

Le traitement thermique appliqué a baissé la capacité moussante des CNB et CNC,  $38,88\% \pm 1,57$  et  $37,77\% \pm 3,14$ , respectivement. L'hydrolyse enzymatique a également baissé cette capacité  $16,66\% \pm 4,71$  pour les CNB et  $10\% \pm 00$  pour les CNC.

Les CNC ont une meilleure capacité émulsifiante que celle des CNB. A l'état natif, nous avons notés une valeur de  $2,29\% \pm 0,05$  pour les CNB qui est inférieure à celle CNC ( $3,70\% \pm 0,78$ ). En appliquant un traitement thermique, nous avons enregistré une baisse de l'indice d'activité émulsifiante des CNB ( $1,88\% \pm 0,11$ ) et CNC ( $1,57\% \pm 0,27$ ). L'hydrolyse enzymatique a également diminué le pouvoir émulsifiant,  $1\% \pm 0,06$  pour les CNC et  $0,71\% \pm 0,02$  pour les CNB.

**Mots clés :** Caséines camelines, caséines bovines, pouvoir moussant, capacité émulsifiante, hydrolyse enzymatique, traitement thermique.