

**RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**



**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**

**Département de Biochimie-Microbiologie**

**Filière : Sciences Biologiques**

**Option : Biochimie appliquée**

## **Mémoire de fin d'étude**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master**

### **Thème**

**Les fromages à base de lait de  
chamelle**

**Présenté par :**

**Mr TOUDERT Dahmane**

**Devant le jury :**

**M<sup>me</sup> ISSELNANE S.**

**Maître assistante A**

**Promotrice**

**M<sup>me</sup> SENANI N.**

**Maître de conférences B**

**Présidente**

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

**Maître de conférences A**

**Examinatrice**

**Année universitaire : 2022/2023.**

## ***Remerciements***

*Je Remercie avant tout le Grand Dieu, qui ma a fait parcourirmon chemins avec des pas stables et beaucoup de patience.*

*Je tien à remercier Mme ISSELNANE S., maitre assistante A à l'université mouloud maameri de tizi-ouzou pour avoir encadré et diriger ce travail du début jusqu'a la fin, pour toute l'aide qu'elle a pu me fournir, son soutien sans failles, pour sa bienveillance et sa disponibilité, ses conseils et ses observations qui mon été d'une énorme utilité.*

*Je remercie vivement Mme SENANI N., maitre de conférence B de me faire l'honneur d'etre la présidente de mon jury, ainsi que Mme ALMI D., maitre assistante A d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail à l'âme de mon père, qui a toujours souhaité de me voir réussi dans ma vie, à mes deux mamans qui ont été derrière moi durant tout mon parcours scolaire et universitaire, pour l'éducation qu'ils m'ont donnée, tous les principes inculqués, l'amour et le soutien qu'elles ne cessent de m'apporter et en témoignage de tous les sacrifices et l'immense tendresse dont ils ont toujours su me combler.*

*A tous mes amis et mes collègues.*

*A toutes les personnes qui ont croisé ma route et qui ont contribué à ce que je deviens quelqu'un de meilleur.*

# Sommaire

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

**Résumé**

**Introduction** ..... 01

## **I/ Généralités sur le lait de chamelle**

1.1. Définition du lait camelin..... 02

1.2. Caractéristique organoleptiques ..... 02

1.3. Paramètres physiques ..... 02

1.4. Composition du lait camelin ..... 03

1.4.1. Eau..... 03

1.4.2. Lactose ..... 04

1.4.3. Matière grasse ..... 04

1.4.4. Protéines ..... 05

1.4.5. Minéraux ..... 09

1.4.6. Vitamines ..... 10

1.4.7. Enzymes ..... 11

## **II/ Le fromage**

2.1. Définition de fromage ..... 13

2.2. Etapes de fabrication du fromage..... 13

2.2.1. La pasteurisation ..... 13

2.2.2. La coagulation ..... 13

2.2.3. L'égouttage..... 15

2.2.4. Moulage.....	15
2.2.5. Salage .....	16
2.2.6. Affinage.....	16

### **III/ Le fromage au lait de chamelle**

3.1. Les contraintes liées à la transformation fromagère du lait camelin.....	17
3.2. Méthodes de correction de l’aptitude fromagère du lait de chamelle .....	17
3.2.1. Au niveau du lait .....	17
3.2.2. Au niveau de la préparation enzymatique .....	21
3.2.3. Au niveau d’égouttage .....	24
3.2.4. Au niveau d’affinage.....	24

### **IV- Les vertus thérapeutiques du lait camelin**

4.1. Activité anticancéreuse.....	25
4.2. Activité hypocholestérolémiante .....	25
4.3. Activité antidiabétique .....	26
4.4. Activité antivirale et antimicrobienne .....	26
Conclusion.....	27

Références bibliographiques

### Liste des figures :

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Figure 01	Représentation schématique d'une micelle de caséines.	<b>07</b>
Figure 02	Les composants (en %) des protéines de lactosérum du lait camelin et bovin.	<b>09</b>
Figure 03	L'action de la chymosine dans l'hydrolyse de la k-caséine en para-kappa caséine et en glycomacropeptide dans le lait de vache et de chamelle.	<b>14</b>
Figure 04	Comparaison entre la coagulation acide et la coagulation enzymatique.	<b>15</b>
Figure 05	Schéma d'agrégation des protéines de lait après l'ajout du chlorure de calcium (CaCl <sub>2</sub> ).	<b>18</b>

### Liste des tableaux :

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau 01	Comparaison des paramètres physiques du lait de chamelle et de vache.	<b>02</b>
Tableau 02	Les compositions chimiques moyennes du lait camelin et bovin.	<b>03</b>
Tableau 03	Profil des acides gras (% des acides gras totaux) et la teneur en cholestérol du lait de chamelle et de vache.	<b>05</b>
Tableau 04	Concentrations des caséines (g/l) dans le lait de chamelle et de vache.	<b>06</b>
Tableau 05	Concentrations en acides aminés (g/100 g de protéines) du lait camelin et bovin.	<b>07</b>
Tableau 06	Teneur en minéraux du lait camelin et bovin.	<b>10</b>
Tableau 07	Les teneurs en vitamines du lait camelin et bovin.	<b>11</b>
Tableau 08	Les enzymes présentes dans le lait de chamelle	<b>12</b>
Tableau 09	Les enzymes utilisés comme coagulants pour la fabrication de différents types de fromages.	<b>23</b>

### Liste des abréviations :

<b>Abréviation</b>	<b>Désignation</b>
<b>a<sub>w</sub></b>	Activité de l'eau.
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	Chlorure de calcium.
<b>CHY-MAX</b>	Chymosine bovine recombinante
<b>CMP</b>	Caséino-macro-peptide.
<b>Da</b>	Dalton.
<b>IMCU</b>	Unité de soins intermédiaires.
<b>κ-caséine</b>	kappa-caséine
<b>LAB</b>	Bactéries lactiques.
<b>MG</b>	Matière grasse.

## **Résumé :**

La production de fromage à base de lait de chamelle présente des défis uniques en raison des propriétés particulières de ce lait. Les différences de composition et de comportement du lait de chamelle par rapport au lait de vache entraînent des difficultés lors de la transformation en fromage. Cependant, des solutions sont envisageables pour surmonter ces obstacles et permettre une production de fromage de qualité à base de ce lait telle que la standardisation du lait camelin (Ajout de CaCl<sub>2</sub>, ajout de la transglutaminase microbienne, Ajout de cultures bactériennes, Ajout des acides organiques), l'ajout de différents coagulants (Chymosine, protéases végétales), la pré-acidification, l'ultrafiltration, la fortification de lait de chamelle avec du lait d'autres espèces.

**Mots clés :** Lait camelin, Coagulation, Fromage, Coagulants, Ultrafiltration, Standardisation.

## **Abstract:**

The production of cheese from camel milk presents unique challenges due to the particular properties of this milk. The differences in composition and behavior of camel milk compared to cow's milk lead to difficulties when processing into cheese. However, solutions are possible to overcome these obstacles and allow the production of quality cheese based on this milk, such as the standardization of camel milk (Addition of CaCl<sub>2</sub>, addition of microbial transglutaminase, addition of starter cultures, addition of organic acids), the addition of different coagulants (chymosin, vegetable proteases), pre-acidification, ultrafiltration, fortification of camel milk with milk from other species.

## **Key words:**

Camel milk, Coagulation, Cheese, Coagulants, Ultrafiltration, Standardisation.

### **Introduction :**

Sur la base des données disponibles, la population mondiale de chameaux est d'environ 35 millions, dont environ 95% sont des dromadaires, *Camelus dromedarius*, et le reste sont des chameaux de Bactriane *Camelus bactrianus*. Les chamelles produisent du lait pendant une période plus longue que tout autre animal dans le même état de terres arides. La production de lait de chamelle augmente d'environ 2,45 % par an.

Afin de stocker le lait de chamelle pendant de longues durées, il doit être transformé en différents produits comme le fromage. Cependant, des études antérieures ont rapporté que ce lait est difficile à coaguler en raison de sa composition protéique différente, la présence d'une charge microbienne plus élevée et un faible taux de matières grasses que le lait de vache.

Dans le but de faciliter la coagulation du lait camelin, plusieurs travaux et adaptations technologiques ont été proposées par divers auteurs, afin d'améliorer sa phase de coagulation. Les corrections recommandées reposent généralement sur l'amélioration de la teneur en matière sèche et de l'équilibre salin de ce lait. Toutefois, le choix des enzymes coagulantes à employer demeure le facteur déterminant du temps de coagulation de lait.

L'objectif principal de ce travail consiste en une synthèse bibliographique sur les principales difficultés dans la coagulation du lait de chamelle et les recherches faites pour les surmonter en utilisant des solutions appropriées pour la fabrication d'un fromage à base de lait de chamelle.

### I-Généralités sur le lait de chamelle :

Le lait de chamelle est connu comme «l'or blanc» du désert car il contient des nutriments essentiels qui jouent un rôle important. Le lait camelin est disponible sous la forme de nombreux produits, tels que le fromage, la poudre, la crème glacée. Ces produits sont vendus dans de nombreux pays développés (Ho *et al.*, 2022).

#### 1.1. Caractéristiques organoleptiques :

Le lait de chamelle est généralement d'une couleur blanche opaque, avec un aspect plus visqueux (Vincenzetti *et al.*, 2022). Cette couleur est notamment due à la fine répartition de sa matière grasse (Alhadrami et Faye., 2022). Relativement pauvre en  $\beta$ -carotène. (Muthukumarane *et al.*, 2022). Il est légèrement sucré, avec un goût acide, parfois un peu salé et/ou amer (Swelum *et al.*, 2021). Les changements de son goût sont principalement causés par la nature du fourrage ingéré et de la disponibilité de l'eau potable (Patel *et al.*, 2016).

#### 1.2. Paramètres physiques :

Le lait de chamelle est plus acide et moins dense que le lait de vache (Tableau 01). Le pH inférieur du lait de chamelle pourrait être attribué à la teneur élevée en vitamine C (Swelum *et al.*, 2021).

**Tableau 01** : Comparaison des paramètres physiques du lait de chamelle et de vache (Chethouna *et al.*, 2022 ; Otmane *et al.*, 2022).

Paramètres	Lait de chamelle	Lait de vache
pH	6,341±0,063	6,70± 0,11
Acidité (D°)	18,029±0,296	16.333 ± 0.471
Densité	1,022±0.002	1,027± 0,003

Le lait de chamelle a une valeur calorique de 665 contre 701 kcal/L pour le lait de vache (Kumar *et al.*, 2016). La viscosité du lait de chamelle à 20 °C est de 1,72 mPa/s, alors que celle du lait bovin est de 2,04 mPa/s (Seifu, 2022). Le point de congélation du lait de chamelle se situe entre (-0,57 °C et -0,61 °C), ce qui est inférieur au lait de vache (-0,51 °C à -0,56 °C) (Muthukumaran *et al.*, 2022).

### 1.3. Composition du lait camelin :

La composition du lait est importante car elle détermine sa valeur nutritionnelle et ses propriétés technologiques lors de sa transformation en produits laitiers (Seifu, 2022). La composition du lait de chamelle varie en fonction de la saison, de l'alimentation, de la fréquence d'abreuvement, de la méthode d'analyse, de la race, du stade de lactation et des conditions climatiques (Tableau 02) (Ibrahim *et al.*, 2020 ; Roshdy *et al.*, 2020).

**Tableau 02** : Les compositions chimiques moyennes du lait camelin et bovin (Nagy *et al.*, 2019 ; Mohamed *et al.*, 2020a).

Composants (%)	Lait camelin	Lait bovin
Lactose	4,4	4,4
Matière grasse	3,5	3,7
Protéines	3,1	3,4
cendres	0,79	0,7
Solides totaux	12	13

Les données rapportées ont montré que la moyenne et l'écart type des composants du lait de chamelle étaient de  $12,2 \pm 1,62\%$  de solides totaux,  $3,28 \pm 0,59$  protéines,  $4,47 \pm 0,66$  lactose,  $0,81 \pm 0,19$  cendres et  $3,68 \pm 1,00$  de matière grasse (Konuspayeva, 2020).

#### 1.4.1. Eau :

La quantité d'eau dans le lait de chamelle varie de 84 jusqu'à 90 % (Kanca, 2017). La variation de la teneur d'eau de lait de chamelle est également observée dans de nombreux résultats de recherche et est attribuée à la variation de l'alimentation animale, de la disponibilité et de la consommation d'eau (Al haj et Al kanhal, 2010). Pendant la période sèche, la production de lait est réduite, et augmente pendant la période des pluies (Yadav, 2015).

Lorsque les dromadaires ont libre accès à l'eau, la teneur en eau du lait est de 86 %, mais lorsque l'eau est restreinte, la teneur en eau du lait augmente à 91 % (Abdullahi, 2019). Ainsi, il semblerait que la chamelle en lactation perd de l'eau au profit du lait en période de sécheresse, c'est-à-dire que les chammelles produisent du lait dilué par temps chaud lorsque

l'eau est rare (Farah, 2011). Cela pourrait être une adaptation naturelle pour fournir non seulement les nutriments mais le liquide nécessaire au veau déshydraté (Seifu, 2022).

La teneur en eau a une grande influence qui peut affecter toute la composition du lait de chamelle. À la suite de nombreuses recherches, il a été confirmé que l'absence d'eau est la cause de l'augmentation de la teneur en eau et par conséquent de la réduction des solides totaux. Selon le rapport de Yagil et Etzion (1980), les chameaux desséchés qui ne boivent de l'eau qu'une fois par semaine sécrètent du lait contenant plus de 90% d'eau et seulement 1% de matières grasses (Sadik *et al.*, 2021).

### 1.4.2. Lactose :

Le lactose est le glucide majoritaire présent dans le lait camelin. Sa teneur varie de 3,3 à 5,4 %, avec une moyenne de 4,37 % (Farah, 2011). Il a été rapporté que sa teneur est restée pratiquement inchangée tout au long de l'année, des premiers mois jusqu'à la fin de la lactation (Haddadin *et al.*, 2008). Le lactose du lait de chamelle est facilement digéré car il est plus exposé à l'action de la lactase (Bakr-Shori, 2015).

La variation de la concentration de lactose dans le lait de chamelle est associée à la consommation d'eau et au type de plantes consommées par le dromadaire dans les déserts. Les dromadaires préfèrent les plantes halophiles telles que *L'Atriplex*, *la Salosa*, *l'Acacia*, pour répondre à leurs besoins physiologiques en sels (Seifu, 2023). En cas de déshydratation, la teneur en lactose diminue, ainsi le goût du lait devient moins sucré (Al-Berhe *et al.*, 2017). Selon Sumaira *et al.*, (2020), la concentration de 3,5 à 4,5 % de lactose dans le lait de chamelle est remarquablement constante entre les saisons et dans les environnements hydratés et déshydratés.

### 1.4.3. Matière grasse :

La teneur en matières grasses du lait de chamelle varie entre 2,9 et 5,4% (Tableau 03) (Seifu, 2022). Elle existe sous forme de globules gras avec une taille allant de 1,1 à 2,1 nm, ce qui est inférieur à ceux du lait de bufflonne (3,9–7,7 nm), de vache (1,6–4,9 nm) et de chèvre (1,1–3,9 nm) justifiant son taux de digestion plus rapide par rapport aux autres laits de mammifères (Meena *et al.*, 2014 ; Muthukumar, 2022).

Les globules de matière grasse sont recouverts d'une couche d'une substance tensioactive appelée membrane des globules gras du lait, et ils ont de nombreux rôles

nutritionnels et sanitaires. Semblable à d'autres types de lait, la composition de la matière grasse de lait camelin change constamment en raison de nombreuses influences environnementales et physiologiques (He *et al.*, 2019 ; Bakry *et al.*, 2020).

La matière grasse du lait de chamelle est une excellente source d'acides gras essentiels (Haddad *et al.*, 2010 ; Bakry *et al.*, 2020). Les acides gras insaturés du lait de chamelle ont été détectés sous forme d'acide arachidonique (0,4 % à 5 %), d'acide palmitoléique (7,3 %) et d'acide oléique (25 %). Cependant, les acides gras polyinsaturés sont présents en quantités relativement faibles, comme l'acide linoléique (4,1%-4,6%) et l'acide linoléique (0,6%-0,9%), tandis que l'acide stéarique, l'acide myristique, l'acide caprique et l'acide palmitique se trouvent dans le lait de chamelle en tant qu'acides gras saturés majeurs (Tultabayeva *et al.*, 2015 ; Maqsood *et al.*, 2018).

Il a été rapporté que le lait de chamelle contient 6 à 8 fois moins d'acides gras à chaîne courte (C4-C8) que le lait de vache, de chèvre, de brebis et de bufflonne (Seifu, 2022). Tandis qu'il contient une quantité plus élevée d'acides gras à longue chaîne (Bakry *et al.*, 2021).

**Tableau 03** : Profil des acides gras (% des acides gras totaux) et la teneur en cholestérol du lait de chamelle et de vache (Vincenzetti *et al.*, 2022).

Acides gras (%)	Lait camelin	Lait bovin
Acides gras saturés	47,0-69,9	55,7-72,8
Acides gras monoinsaturés	28,1-31,1	22,7-30,3
Acides gras polyinsaturés	1,8-11,1	2,4-6,3
Cholestérol (mg/100ml de lait)	31,3-37,1	13,1-31,4

### 1.4.4. Protéines :

Globalement, les protéines du lait représentent un apport nutritionnel important (source d'acides aminés essentiels). Ces protéines représentent également une source de propriétés techno-fonctionnelles importantes pour la conservation et la transformation du lait en produits laitiers destinés à la consommation humaine (Lajnaf, 2017).

Le profil en acides aminés du lait de chamelle montre qu'il contient la plupart des acides aminés essentiels nécessaires à l'alimentation humaine (Tableau 5) (Seifu, 2022). Le

## Généralités sur le lait de chamelle

lait de chamelle contient plus de méthionine, de valine, de phénylalanine, d'arginine et de leucine que le lait de vache (Barlowska *et al.*, 2011).

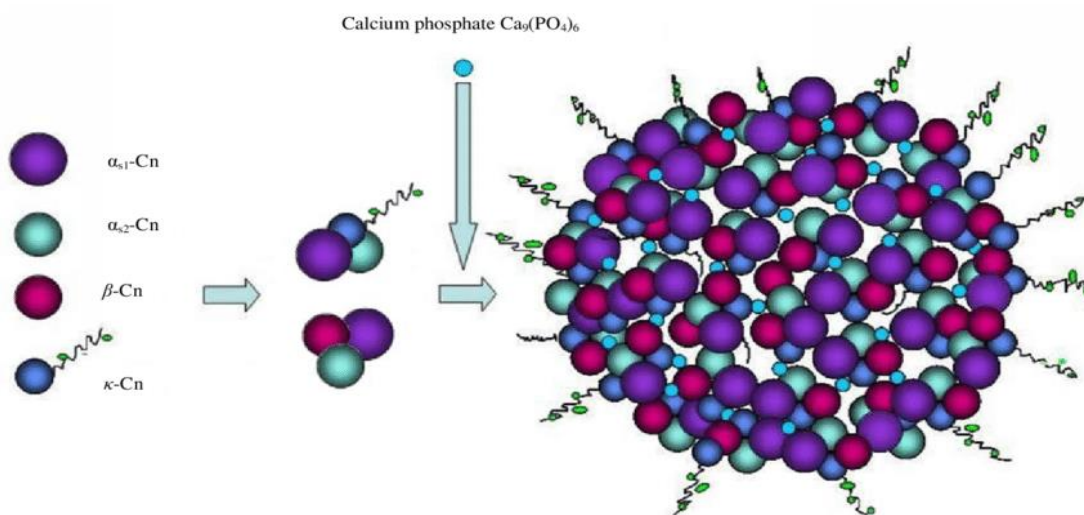
**Tableau 04** : Concentrations en acides aminés (g/100 g de protéines) du lait camelin et bovin (Roy *et al.*, 2020).

Acides aminés	Lait de chamelle	Lait de vache
Acide aspartique	6,9	7,8
Thréonine	4,1	4,5
Serine	4,3	4,8
Acide glutamique	18,1	23,2
Proline	12,0	9,6
Cystéine	1,9	0,6
Alanine	2,1	3,0
Valine	4,1	4,8
Méthionine	2,0	1,8
Isoleucine	4,9	4,2
Leucine	6,1	8,7
Tyrosine	3,1	4,5
Phénylalanine	4,0	4,8
Histidine	2,1	3,0
Lysine	4,0	8,1
Arginine	2,0	3,3
Glycine	2,1	1,8

Le lait de chamelle contient deux fractions principales de protéines : les caséines et les protéines de lactosérum. La quantité totale des protéines du lait camelin varie de 2,15 à 4,90 % (Konuspayeva *et al.*, 2009). La teneur en protéines du lait de chamelle est influencée par la race et la saison (Al haj *et al.*, 2022). La teneur en protéines du lait de chamelle, qui provient de la même race, variait considérablement selon les saisons, allant de 24,8 g/L de protéines en été à 29 g/L en hiver (Lajnaf *et al.*, 2023).

### 1.4.4.1. Caséines :

Les caséines sont les principaux composants des protéines du lait camelin (Figure 01). Elles représentent environ 52 à 87 % des protéines totales du lait (Tableau 04) (Mohamed *et al.*, 2020a). Akindykova (2019) a rapporté que les caséines camelines varient entre 61,8 et 88,5% de la majorité des protéines totale du lait.



**Figure 01** : Représentation schématique d’une micelle de caséines (Rebouillat et Ortega-Requena, 2015).

**Tableau 05** : Concentrations des caséines (g/l) dans le lait de chamelle et de vache (Huppertz *et al.*, 2018).

Caséines	Lait camelin	Lait de vache
$\alpha$ -s1 caséine	4,9-5,7	8,0-10,7
$\alpha$ -s2 caséine	2,1-2,5	2,8-3,4
$\beta$ -caséine	14,4-16,9	8,6-9,3
$\kappa$ -caséine	0,8-0,9	2,3-3,3

Par conséquent, la composition en caséine du lait de chamelle est considérablement différente de celui du lait bovin (Kumar *et al.*, 2016). La caséine du lait camelin diffère de la caséine du lait bovin en termes de distribution de taille micellaire en ce sens qu'il y a un plus

grand nombre de grosses micelles dans le lait de chamelle que dans le lait de vache (Muthukumaran *et al.*, 2022).

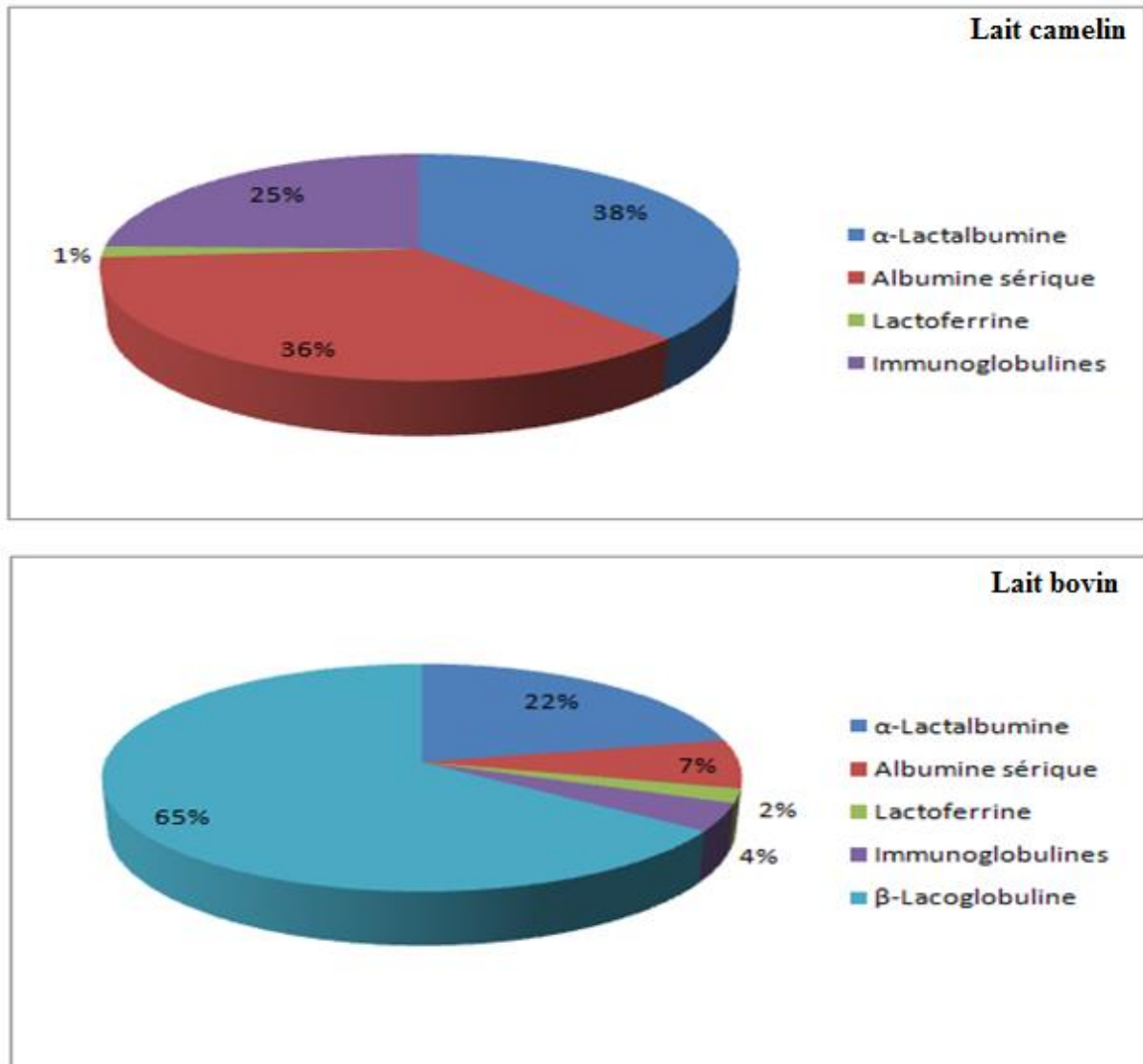
Le diamètre de la caséine bovine varie de 40 à 160 nm, tandis que celui de la caséine cameline varie de 20 nm à plus de 300 nm (Dugassa, 2021 ; Seifu, 2022). En effet, les caséines précipitent à leur pH isoélectrique qui est respectivement de 4,6 et 4,3 pour le lait de vache et de chamelle, tandis que les protéines de lactosérum restent solubles dans ces valeurs de pH (Liang et Luo, 2020).

### 1.4.4.2. Protéines du lactosérum :

Les protéines de lactosérum représentent 20 à 25 % des protéines totales du lait de chamelle (Vincenzetti *et al.*, 2022). Et oscillent entre 0,63 et 0,80 g/100 g de lait. Les immunoglobulines, la lactoferrine, la lactophorine, la lactoperoxydase, le lysozyme, les protéines de reconnaissance des peptidoglycane, l'albumine sérique et l' $\alpha$ -lactalbumine sont les principales protéines de lactosérum présentes dans le lait de chamelle (Figure 02) (Ho *et al.*, 2022).

La comparaison des protéines sériques camelines avec les protéines sériques bovines a montré une composition différente, où la  $\beta$ -lactoglobuline est le composant principal du lait de vache alors que l' $\alpha$ -lactalbumine est le composant principal du lait de chamelle (Muthukumaran *et al.*, 2022). Cependant la  $\beta$ -lactoglobuline n'est pas présente dans le lait de chamelle (Farah, 2011).

L' $\alpha$ -lactalbumine contient une concentration plus élevée de résidus d'acides aminés antioxydants, possédant donc une plus grande activité antioxydante que celle de l' $\alpha$ -lactalbumine bovine (Salami *et al.*, 2010). D'autre part, le lait de chamelle a une meilleure stabilité à la chaleur que le lait de vache, l'augmentation de la température du lait de chamelle à 80°C provoque une dégradation de 32 à 35% des protéines de lactosérum, tandis que l'augmentation à 90 °C entraîne une dénaturation de 47 à 53% de ses protéines de lactosérum (Izadi *et al.*, 2019).



**Figure 02 :** Les composants (en %) des protéines de lactosérum du lait camelin et bovin (Konuspayeva, 2020)

Le lactosérum contient également différents peptides bioactifs générés par les protéases du lait de chamelle telles que la chymotrypsine A et la cathepsine D (Mati *et al.*, 2017).

### 1.4.6. Minéraux :

La teneur totale en minéraux chez le dromadaire varie de 0,60 % à 0,90 % avec une moyenne de  $0,79 \pm 0,07$  % ce qui est généralement appelé cendres totales (Saibhavana *et al.*, 2023). Chaque 100 g de lait de chamelle apporte du calcium (Ca) (114-116 mg), du phosphore (P) (87,4 mg), du potassium (K) (144-156 mg), du sodium (Na) (59 mg), du magnésium (Mg )

## Généralités sur le lait de chamelle

(10,5-12,3 mg), fer (Fe) (230-290 µg), zinc (Zn) (530-590 µg), manganèse (Mn) (80 µg) et cuivre (Cu) (140 µg) (Tableau 06) (Vincenzetti *et al.*, 2022).

La teneur en Fe, Cu, Na, K, Zn et Mn sont considérablement plus élevés dans le lait de chamelle que dans le lait de vache, de chèvre et humain (Barlowska *et al.*, 2011 ; Muthukumar *et al.*, 2022 ; Konuspaveva *et al.*, 2022). La présence d'une teneur plus élevée en Na et K dans le lait de chamelle est attribuée à la consommation par les dromadaire de fourrages riches en sel, ce qui est responsable du goût salé du lait de chamelle (Bakry *et al.*, 2021 ; Seifu, 2023).

**Tableau 06:** Teneur en minéraux du lait camelin et bovin selon Vincenzetti *et al.*, (2022).

Minéraux	Lait de chamelle	Lait de vache
Macro minéraux (mg/100g)		
Sodium	59,0	58,0
Potassium	144-156	152
Calcium	114-116	122,0
Magnésium	10,5-12,3	12,0
Phosphore	87,4	119,0
Micro minéraux (µg/100g)		
Fer	230-290	80,0
Cuivre	140,0	60,0
Zinc	530-590	530,0
Manganèse	80,0	20,2

### 1.4.7. Vitamines :

Le lait de chamelle contient des vitamines C, A, E, D et de groupe B (Korlepara *et al.*, 2017). Il est bien connu que le lait de chamelle est une riche source de vitamine C et est plus élevé que dans le lait de vache (Patel *et al.*, 2016). Par conséquent, il peut prolonger la durée de conservation de ses produits et augmenter ses capacités antioxydantes et antiradicalaires (Izadi *et al.*, 2019).

Les concentrations en vitamines dans le lait de chamelle sont mentionnées dans le tableau 07, elles dépendent de la race, de l'alimentation, de la consommation d'eau et du stade

## Généralités sur le lait de chamelle

de lactation (Fayera et Zerihun, 2022). En outre, le lait de chamelle contient une concentration plus élevée de niacine par rapport au lait de vache. Mais il est carencé en vitamines A et D. Le lait de chamelle et le lait de vache ont presque la même teneur en vitamines B1, B2 et B5 (Swelum *et al.*, 2021).

**Tableau 07** : Les teneurs en vitamines du lait camelin et bovin selon Seifu *et al.*, (2022)

Teneurs en vitamines	Lait de chamelle	Lait de vache
A (Rétinol) ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	26,7	126
B1 (Thiamine) ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	0,05	0,05
B2 (Riboflavine) ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	0,17	0,16
B3 (Niacine) ( $\text{mg}/100\text{g}$ )	0,77	0,08
B5 (Acide pantothénique) ( $\text{mg}/100\text{g}$ )	0,35	0,32
B6 (Pyridoxine) ( $\text{mg}/100\text{g}$ )	0,55	0,04
B9 (Acide folique) ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	87	05
B12 (Cobalamine) ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	85	0,36
D ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	0,3	02
C (Acide ascorbique ( $\text{mg}/100\text{g}$ ))	33	0,94

### 1.4.8. Enzymes :

Les enzymes et leur activité dans le lait de chamelle sont présentés dans le tableau 08. Certaines des enzymes peuvent être utilisées comme indicateurs pour assurer la qualité du lait. Mais cela pourrait être différent dans les sources de lait. Par exemple, dans le lait de vache, la phosphatase alcaline est utilisée comme indicateur d'une pasteurisation appropriée puisqu'elle est désactivée à 72 °C alors que, dans le lait de chamelle, la gamma glutamyl transférase est l'indicateur du traitement thermique car elle est détruite à 72 °C pendant 20 min. (Yadav *et al.*, 2015).

## Généralités sur le lait de chamelle

**Tableau 08** : Les enzymes présentes dans le lait de chamelle selon Galali et Al-Dmoor, (2019).

Enzymes	Activités(UI/L)
Aspartate amino-transférase (ASAT)	7,98-9,21
Alanine amino-transférase (ALAT)	9,49-11,0
Gamma glutamyl-transpeptidase	254,0-296,0
Phosphatase acide	2,74-3,08
Phosphatase alcaline	16,04-24,93
Lactate dehydrogenase	132,0-168,0
Catalase	0,083-0,193 mole/min/g de protéine

### II/Le fromage :

#### 2.1. Définition de fromage :

Le fromage correspond à un véritable moyen de conservation et de stockage ancestral des principaux composants du lait. Selon la norme CODEX STAN 283-1978, le fromage est le produits affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi-dure, dure ou extra-dure qui peut être enrobé et dans lequel le taux de protéines lactosériques et caséiques ne dépasse pas celui du lait.

#### 2.2. Les étapes de fabrication du fromage :

##### 2.2.1. La Pasteurisation :

Il est souvent préférable d'utiliser du lait pasteurisé pour la fabrication du fromage car il tue presque tous les organismes pathogènes (Rankin *et al.*, 2017). Plusieurs agents pathogènes peuvent être éradiqués en utilisant une température de pasteurisation de 72°C pendant 30 secondes ou 65°C pendant 30 minutes (Chavan *et al.*, 2011). Cependant, des températures élevées peuvent entraîner des temps de coagulation plus longs et une dénaturation des protéines sériques (Mbye *et al.*, 2021a).

##### 2.2.2. La coagulation

La coagulation du lait est une étape essentielle dans la fabrication de toutes les variétés de fromage. C'est la conversion de l'émulsion de lait liquide en gels solides (Fox *et al.*, 2017). Selon Ramet, (1997) les conditions nécessaires et favorables à un bon déroulement de la fabrication fromagère sont les suivantes :

- L'activité coagulante doit être bonne dans les conditions physiques et chimiques rencontrées dans les laits : pH, température, force ionique, ...etc.
- Le comportement rhéologique du gel doit permettre d'effectuer les traitements de l'égouttage dans un délai acceptable et d'obtenir un fromage présentant les caractéristiques de composition et de rendement souhaitées.
- Les modalités de l'affinage doivent conduire à une évolution des propriétés organoleptiques conformes aux normes de la fabrication et de la commercialisation.

##### 2.2.2.1. La coagulation acide :

Selon Mahaut *et al.*, (2000) la coagulation par voie acide consiste à précipiter les caséines à leur point isoélectrique en neutralisant leurs charges négatives et en dissolvant le phosphate de calcium colloïdal. L'abaissement du pH induit la solubilisation du calcium et du phosphate inorganique. Les micelles vont se lier entre-elles et former un gel cassant, très

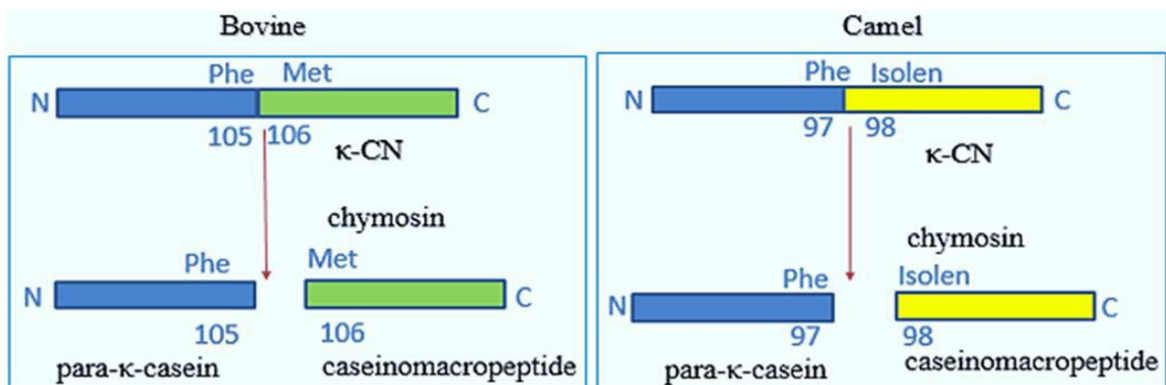
friable et peu élastique (Ramet, 2001). Cette diminution du pH se traduit par une perte de répulsion électrostatique pour vaincre les forces attractives des interactions (Lucey, 2018).

La coagulation acide du lait s'effectue par des ferments lactiques qui transforment le lactose en acide lactique, ou par acidification chimique (injection de CO<sub>2</sub>) ou par addition de glucono delta-lactone (GDL) ou par ajout de protéines sériques à pH acide (Mahaut *et al.*, 2000).

### 2.2.2.2. La coagulation enzymatique :

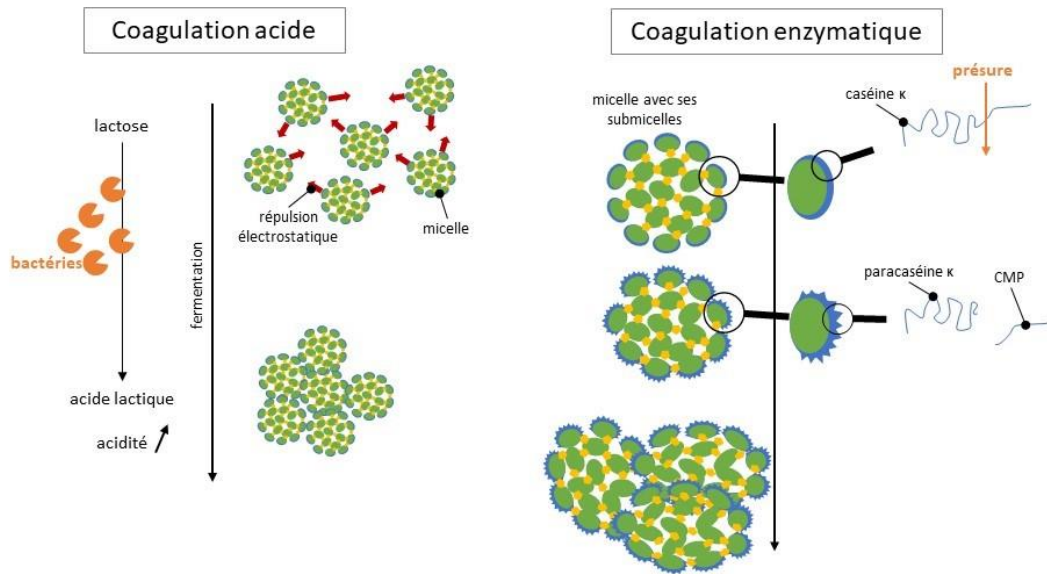
Un grand nombre d'enzymes protéolytiques d'origines animale, végétale ou microbienne sont connus pour coaguler le complexe caséinique. La présure, mélange de la chymosine et de la pepsine est la mieux connue et utilisée pour coaguler le lait (Eck et Gillis, 1997). La coagulation du lait par la présure peut se décomposer en trois étapes à savoir l'hydrolyse enzymatique de la  $\kappa$ -caséine, agrégation des micelles de caséine et formation du gel (Abbas, 2012).

La chymosine clive la  $\kappa$ -caséine en para-kappa-caséine qui reste associée à la micelle et au caséinomacropéptide libéré dans le lactosérum (Huppertz *et al.*, 2018). Le site de coupure se situe entre la phénylalanine 105 et la méthionine 106 dans le lait bovin, et la phénylalanine 97 et l'isoleucine 98 dans le lait camelin. (Figure 03).



**Figure 03 :** L'action de la chymosine dans l'hydrolyse de la  $\kappa$ -caséine en para-kappa caséine et en glycomacropéptide dans le lait de vache et de chamelle (Mbye *et al.*, 2020).

Le gel obtenu de la coagulation par voie enzymatique est élastique, souple, peu friable, fortement imperméable et contractile avec un raffermissement important et rapide par rapport au gel lactique (Aissaoui-Zitoun, 2014). (Figure 04).



**Figure 04 :** Comparaison entre la coagulation acide et la coagulation enzymatique (Florian, 2012).

### 2.2.3. Égouttage :

Dans un coagulum laissé au repos, l'égouttage se traduit par une élimination progressive du lactosérum emprisonné dans les mailles du gel formé par voie acide et/ou enzymatique. C'est la séparation du lactosérum et du caillé (Tormo, 2010). Il s'agit donc d'une phase essentielle qui conditionne directement la composition du fromage. Le lactosérum est constitué, par la plus grande partie, des éléments solubles du lait (lactose, sels minéraux et protéines sériques) et quelques fractions insolubles mineures (composés azotés, matières grasses) qui sont en effet expulsées du gel conjointement à l'eau. A l'opposé, la quasi-totalité de la caséine et des matières grasses se retrouvent dans le fromage sous forme plus ou moins concentrée en fonction de la teneur en lactosérum résiduel (Ramet, 1997).

### 2.2.4. Moulage :

Il s'agit d'une opération fondamentale tant pour la régulation du drainage du lactosérum que la mise en forme final de fromage (Ramet, 2006). Des traitements mécaniques tels que le découpage, le brassage, le moulage et les retournements sont utilisés pour permettre l'élimination du lactosérum (St-Gelais et Tirard-Collet, 2010). Les fromages obtenus sont

pressés dans des moles perforées, ce qui permet d'obtenir leur forme définitive (Fredot, 2006).

### **2.2.5. Salage :**

Le salage s'effectue de différentes façons, en saupoudrant le caillé de sel, en l'immergeant dans la saumure ou encore en le frottant avec un chiffon salé (Mahaut, 2000).

Le salage a plusieurs rôles technologiques. Il complète l'égouttage, contribue à la formation de la croûte, règle l'activité de l'eau ( $A_w$ ) du fromage, et favorise ou freine ou oriente le développement des micro-organismes et les activités enzymatiques au cours de l'affinage (Dugatbony *et al.*, 2019 ; Guinee et Sutherland, 2020).

Le salage a aussi un rôle sensoriel en donnant une saveur marquée au produit, rehausse l'arôme du fromage et masque ou exalte le goût de certaines substances formées au cours de l'affinage (Abbas, 2012 ; Leskir, 2018).

### **2.2.6. Affinage :**

L'affinage est en fait la résultante de trois principales actions biochimiques qui se déroulent simultanément à savoir : la dégradation des protéines, l'hydrolyse de la matière grasse, la fermentation du lactose (Dahou, 2017). C'est une étape clé pour le développement des qualités organoleptiques de chaque fromage (Abbas, 2012).

Elle correspond à une digestion enzymatique par des enzymes protéolytiques et lipolytiques. Ces dernières sont des enzymes coagulantes ou des enzymes natives du lait.

Le fromage subit alors un affinage (ou maturation) qui va modifier sa composition, sa valeur nutritive, sa digestibilité et qui lui conférera des caractères organoleptiques (texture, odeur et saveur) caractéristiques selon le type de fromage recherché (Vignola, 2002). Cette étape est réalisée dans des conditions de température et d'hygrométries bien déterminées qui sont en partie à l'origine d'un croutage différent des fromages (Tormo, 2010).

### III/ Le fromage au lait de chamelle :

#### 3.1. Les contraintes liées à la transformation fromagère du lait camelin:

Le lait de chamelle est connu pour être techniquement plus difficile à transformer en fromage. En raison de sa composition particulière en protéines, à la plus grande taille des micelles de caséine (260–300 nm chez le camelin contre 100–140 nm chez le lait bovin). Et à la faible quantité en  $\kappa$ -caséine, (3,5 % contre environ 13,6 % dans le lait bovin). Le niveau élevé de  $\beta$ -caséine dans le lait de chamelle semble également jouer un rôle important dans cet effet (Ramet, 2001 ; Mehaia, 2006 ; El Zubeir et Jabreel, 2008 ; Konuspayeva *et al.*, 2009 ; Bornaz *et al.*, 2009 ; Ibrahem et El Zubeir., 2016 ; Kamal *et al.*, 2017 ; Berhe *et al.*, 2017 ; Fox *et al.*, 2017 ; Roy, 2020 ; Mohamed *et al.*, 2020b ; Mbye *et al.*, 2020).

Les enzymes du lactosérum du lait de chamelle y compris le lysozyme, la lactoferrine et la lactoperoxydase ont des propriétés antimicrobiennes et ralentissent la croissance bactérienne dans le lait camelin ce qui empêche l'acidification de ce lait par l'acide lactique produit par la fermentation bactérienne (El Sayed *et al.*, 1992). Une vitesse d'acidification maximale de 12 h et une phase de latence de 5 h ont été observées dans le lait camelin fermentée avec des bactéries lactiques contre respectivement 6 et 1 h dans le lait bovin. (Attia *et al.*, 2001).

Des enzymes endogènes telles que la plasmine présente dans le lait de chamelle pourraient être responsables de l'hydrolyse des caséines (Rauh *et al.*, 2014 ; Ryskaliyeva *et al.*, 2018). La  $\beta$ -caséine est très vulnérable à l'attaque par la plasmine mais moins à l'attaque par la chymosine et les enzymes bactériennes (Juan *et al.*, 2007). Ainsi, les peptides produits par cette hydrolyse, en migrant dans le lactosérum, peuvent contribuer à la texture fine et lisse et à la rétention d'eau provoquant une texture molle des fromages camelins et une faible teneur en solides (Zhang *et al.*, 2018).

#### 3.2-Méthodes de correction de l'aptitude fromagère du lait de chamelle :

##### 3.2.1. Au niveau du lait :

###### 3.2.1.1. La standardisation :

Pour qu'un fromage respecte la norme internationale, il est essentiel de standardiser ces composants en protéines et matières grasses (Guinee *et al.*, 2007). Pour cela, plusieurs stratégies ont été utilisées notamment :

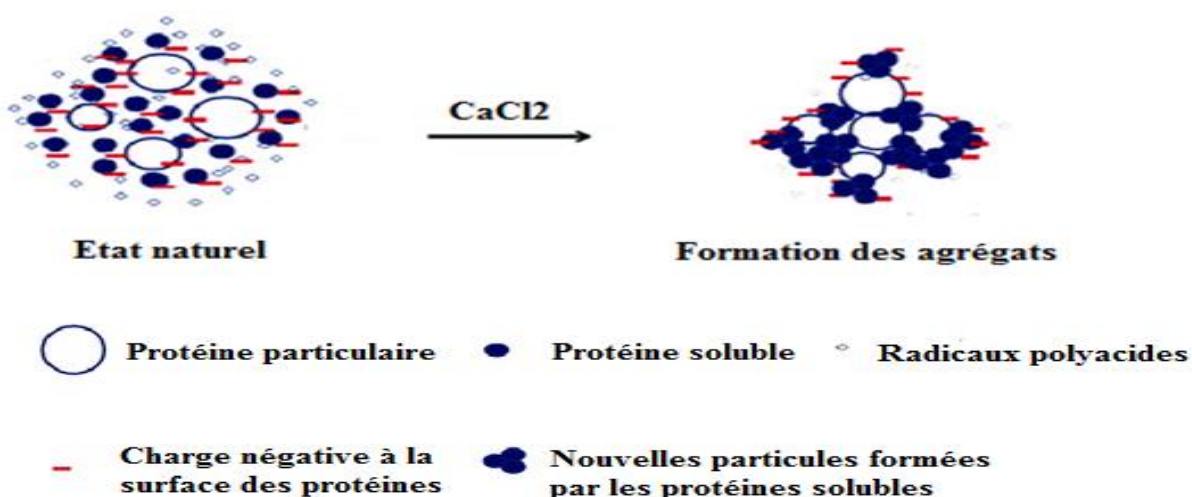
- L'ajout de chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) (Hailu *et al.*, 2018).

- L'ajout de cultures bactériennes (Elnemr *et al.*, 2020).
- Le mélange de lait de chamelle avec du lait d'autres animaux (Inayat *et al.*, 2007 ; derar et el zubeir, 2016 ; saadi *et al.*, 2019).
- L'ajout de transglutaminase microbienne (MTGase) (Ibrahim et Khalifa, 2013 ; Abou-Soliman *et al.*, 2020).

### 3.2.1.1.1. Effet de l'ajout de chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) :

En plus des protéines et des matières grasses, le calcium joue un rôle essentiel dans la fabrication du fromage (Priyashantha *et al.*, 2019). Le calcium améliore l'interaction entre et au sein des particules de caséine, les stabilisant en rétrécissant le réseau poreux à l'intérieur et augmente la fermeté et l'élasticité du lait de chamelle (Figure 05) (Li et Zhao, 2019 ; Lucey et Horne, 2018 ; Huppertz *et al.*, 2017). Il existe plusieurs études sur l'effet de l'ajout de sels de calcium dans la formation du gel du lait (Lin *et al.*, 2018).

Lorsque des sels de calcium sont ajoutés au lait, son pH diminue (Lin *et al.*, 2018). En optimisant sa coagulation par la présure (Li & Zhao, 2019), en réduisant le temps de coagulation et en améliorant le rendement fromager (Khan *et al.*, 2004 ; Kappeler *et al.*, 2006 ; Mehaia, 2006 ; El Zubeir et Jabreel, 2008). Certaines études ont rapporté que la modification de la concentration en  $\text{CaCl}_2$  n'affectait pas la coagulation par la chymosine cameline (Kappeler *et al.*, 2006 ; Konuspayeva *et al.*, 2014). Hailu *et al.*, (2018) ont conclu que les effets du  $\text{CaCl}_2$  dépendaient de la valeur de pH et que 0,02 % de  $\text{CaCl}_2$  à pH 6,3 réduisait le temps de coagulation.



**Figure 05** : Schéma d'aggrégation des protéines de lait après l'ajout du chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) (Ruican *et al.*, 2015).

### 3.2.1.1.2. L'ajout de culture bactérienne :

La plupart du temps, les bactéries productrices d'acide lactique qui se développent dans le lait de chamelle sont les lactobacilles (*Lactobacillus acidophilus*) et les streptocoques (*S.cremoris* et *S. lactis*), qui sont utilisés comme cultures bactériennes dans les produits laitiers (Rakhmanova *et al.*, 2018). Il est essentiel de souligner que ces cultures ont un impact considérable sur le rendement, le contenu nutritionnel, les textures et la qualité sensorielle des fromages au lait de chamelle.

Des ferments mésophiles, thermophiles ou une combinaison de ces levains ont été utilisés pour traiter le lait de chamelle pour la fabrication de fromage (Liu *et al.*, 2011 ; Parmjit, 2011). Cependant, Berhé *et al.*, (2017) ont conclu que les cultures n'étaient pas inhibées par le lait camelin. Il a été révélé que le lait de chamelle inoculées à l'aide de cultures STI-12 et RST-743 ont subi une acidification plus rapide que les cultures XPL-2, R-707 et CHN-22 (Bekele *et al.*, 2019).

### 3.2.1.1.3. Fortification de lait camelin avec du lait d'autres espèces :

Shahein *et al.*, (2014) ont probablement été le premier groupe à étudier la faisabilité de produire du fromage à pâte molle en combinant du lait de chamelle avec du lait de vache dans divers rapports. L'augmentation de la quantité de lait de vache ajoutée au lait de chamelle a entraîné une augmentation des niveaux de l'extrait sec total, de matières grasses et de protéines, tandis que la teneur en humidité et en cendres a diminué.

Saadi *et al.*, (2019) ont produit un fromage à pâte molle en mélangeant le lait de chamelle avec du lait de brebis. Ils ont conclu que les pourcentages de solides, de matières grasses et de protéines augmentent progressivement avec une augmentation du pourcentage de lait de brebis. Dans le cas où l'on n'utilisait que du lait de brebis, les solides totaux étaient plus élevés.

### 3.2.1.1.4. Effet de l'ajout de la transglutaminase microbienne :

La transglutaminase microbienne ou MTGase a été approuvée par les industries alimentaires. Aujourd'hui, des variétés de fromages sont produites en utilisant cette enzyme (Moschopoulou, 2018). Elle aide à améliorer le rendement, la capacité de rétention d'eau, la texture, la rhéologie et les propriétés sensorielles du fromage. De plus, cette enzyme a une importance nutritionnelle, économique et environnementale (Motoki et Seguro, 1998). En

outre, elle peut jouer un rôle important dans la prolongation de la durée de conservation du fromage (Mahmood et Sebo, 2009).

Abou soliman *et al.*, (2020) ont rapporté que la MTGase a amélioré les propriétés du fromage à pâte molle à base du lait camelin et un excellent score de qualité sensorielle a été observé en fonction de la concentration et du moment de l'ajout, par exemple, l'ajout de 80 unités de MTGase au lait après 20 minutes de l'emprésurage a produit des teneurs plus élevées en solides et en protéines.

### **3.2.1.1.5. Effet de l'ajout des acides organiques :**

La fabrication de fromages au lait de chamelle à l'aide d'acide organique a été documentée (Mihretie *et al.*, 2018). L'acidification directe à l'aide d'acides organiques, tels que l'acide citrique et l'acide acétique a également été utilisée dans la préparation du fromage (Mihretie *et al.*, 2018). L'ajout d'acides organiques affecte la stabilité des micelles de caséine et abaisse le pH du lait, en neutralisant les charges négatives des micelles de caséine qui sont les forces de répulsion qui les séparent, entraînant leur coagulation (Adetunji *et al.*, 2008). Mohamed *et al.*, (2013) ont rapportés l'utilisation de l'acide acétique. De même, Mihretie *et al.*, (2018) ont fabriqués du fromage au lait de chamelle en utilisant des acides d'agrumes provenant d'agrumes en produisant du fromage à pâte molle.

### **3.2.1.2. Effet d'ultrafiltration :**

Cette technique est significative pour augmenter le rendement de fromage, former une structure de gel ferme et réduire la perte de caséines dans le lactosérum (Faye, 2016). De plus, l'étape d'égouttage utilisée dans les procédés conventionnels pour éliminer la majeure partie du lactosérum présent dans le caillé n'est pas nécessaire dans la fabrication des fromages ultrafiltres (Borsting *et al.*, (2014).

En effet, l'ultrafiltration diminue la taille des micelles, et il y a un réarrangement possible via des liaisons hydrophobes vers une structure plus compacte. Cela peut entraîner des changements physico-chimiques lors de l'emprésurage, entraînant une augmentation de la fermeté du caillé (Alexander et Correding, 2011). Par conséquent, il pourrait être utile d'adopter l'ultrafiltration pour concentrer le lait de chamelle et diminuer la taille des micelles de caséine (Bulat et Topcu, 2019).

El Hatmi *et al.*, (2020) Ont mentionnés que l'ultrafiltration est une technologie prometteuse pour la transformation du fromage blanc de dromadaire à pâte molle à hautes valeurs nutritionnelles, technologiques et fonctionnelles. En fait, ce procédé a donné des types plus fermes de fromage de dromadaire à pâte molle avec une texture appréciée, une forte concentration de protéines, une faible teneur en matières grasses. Mehaia, (2006) a montré l'importance de la technologie d'ultrafiltration pour la fabrication de fromage de type Domiati qui est le fromage le plus populaire en Égypte et dans d'autres pays du Moyen-Orient avec une augmentation de 45% du rendement fromager obtenu par ce procédé.

### **3.2.1.4. La pré-acidification :**

La pré-acidification est nécessaire pour la fabrication de nombreux types de fromages, le temps et la dose approprié jouant un rôle essentiel dans l'affinage et la qualité du fromage (Ali, 2010). Le processus d'acidification semble être plus lent pour le lait de chamelle que pour le lait de vache (Konuspayeva et Faye, 2021). Selon Genene, (2022), pour produire du fromage au lait de chamelle, le pH doit d'abord être acidifié afin de le réduire à environ 6,4 avant que des enzymes ne soient ajoutées pour raccourcir le temps de coagulation. Certaines études ont rapporté que la réduction du pH du lait de chamelle à 5,6 à des températures allant jusqu'à 42 ° C réduit encore le temps de coagulation. (Mehaia *et al.*, 1995 ; Siboukeur *et al.*, 2005).

### **3.2.2. Au niveau de préparation enzymatique :**

#### **3.2.2.1. Utilisation de la chymosine recombinante :**

La chymosine est considérée comme la principale enzyme de l'industrie laitière puisqu'elle est utilisée pour la production commerciale de fromage. Avant le début du XIXe siècle, le fromage était fabriqué à partir de la caillotte de jeunes veaux. Cependant, avec la création de coopératives laitières, il a fallu plus de présure pour produire plus de fromage ce qui a entraîné une pénurie en présure. Cette pénurie a incité l'industrie à rechercher une enzyme coagulante alternative similaire à la présure de veau dans la fabrication de fromage (Zhang *et al.*, 2019). L'une de ces enzymes était la chymosine cameline recombinante.

La chymosine cameline recombinante s'est avérée avoir une activité coagulante 70 % plus élevée pour le lait de vache. Elle a amélioré la formation de caillé du lait de chamelle et a ouvert la voie à la production de fromage au lait de chamelle (Kappeler *et al.*, 2006). Cependant, la qualité de la formation du caillé dépend du stade de lactation. Konuspayeva *et*

*al.*, (2014) ont rapporté qu'une bonne formation de caillé ne se produit qu'au 20<sup>ème</sup> jour après l'accouchement.

### 3.2.2.2. Utilisation d'enzymes extraites des plantes :

Au cours des dernières années, le défi associé au rendement et à la qualité des fromages issus de lait camelin a également contribué à explorer des enzymes d'origine végétale (Alavi, 2020). Il y a eu une croissance constante des enzymes végétales dans l'industrie fromagère car elles sont facilement accessibles et ont des processus d'extraction et de raffinage simples (Grozdanovic *et al.*, 2013). De plus, les enzymes animales deviennent impopulaires dans certains pays en raison de régimes alimentaires et de questions religieuses (Bathmanathan *et al.*, 2019).

Les protéases végétales ont été divisées en groupes basés sur le mécanisme du processus hydrolytique : protéases à aspartate de *Withania* (Kazemipour *et al.*, 2017 ; Salehi *et al.*, 2017 Ebrahimnejad *et al.*, 2019), à sérine extraites de rhizome de gingembre (*Zingiber officinale*) (Hailu *et al.*, 2014) et à cystéine isolées de *Ficus carica* (Fguiri *et al.*, 2020).

La sérine protéase telle que les extraits de *Zingiber officinale* a été utilisée dans la production de fromage au lait de chamelle. Ce dernier était acceptable, et entraînerait une forte coagulation du lait de chamelle (Hailu *et al.*, 2014). De plus, Hashim *et al.*, (2011a) ont révélé que l'enzyme extraite du gingembre avait une spécificité élevée pour l' $\alpha$ -caséine suivie de la  $\beta$ -caséine et de la  $\kappa$ -caséine.

Certaines études incluent l'utilisation de chymosine cameline avec des cultures bactériennes pour l'acidification et l'obtention d'une meilleure qualité du caillé (Hailu *et al.*, 2018 ; Bekele *et al.*, 2019 ; Abou-Soliman *et al.*, 2020 ; El Hatmi *et al.*, 2020 ; Mbye *et al.*, 2020 ; Belkheir *et al.*, 2020 ; Al-Zoreky et Almathen, 2021 ; Bouazizi *et al.*, 2021).

L'expérience menée par Fguiri *et al.*, (2020) sur les protéases de latex de *Ficus carica* pour la coagulation du lait camelin a montré que cette protéase pourrait être utilisée comme alternative à la chymosine animale dans le processus de fabrication du fromage.

La *withania* est une plante appartient à la famille des solanacées et pousse en Afghanistan, au Pakistan, en Inde et en Iran (Ben *et al.*, 2017 ; Qazalbash *et al.*, 2018). Cependant Mbye *et al.*, (2021a) ont étudiés les effets de l'extrait de *Withania coagulans* sur le rendement et la dureté du fromage de lait de chamelle et bovin. Le résultat a montré que l'extrait pur de *Withania* présentait un effet coagulant plus faible, ce qui se traduisait par des fromages à faible rendement par rapport à la chymosine cameline.

## Le fromage au lait de chamelle

**Tableau 09** : Les enzymes utilisés comme coagulants pour la fabrication de différents types de fromages.

Type de fromage produit	Enzymes utilisés	Conclusion	Référence
Fromage à pâte molle	Chymosine bovine recombinante (Chy-Max)	Une concentration de chymosine de 1,7 mL/L a obtenu un meilleur rendement, et 2,9 mL/L de chymosine ont marqué les propriétés sensorielles et la qualité microbiologique.	Benkerroum <i>et al.</i> , (2011)
Fromage à pâte molle non affiné	Chymosine cameline recombinante (Chy-Max M)	Le fromage cuit avec 100 IMCU/L avait les valeurs les plus élevées pour les protéines, les solides totaux et la dureté. Cependant, la meilleure acceptation sensorielle globale concernait le fromage cuit fabriqué avec 70 IMCU/L.	Wale <i>et al.</i> , (2017)
Fromage frais	Extrait enzymatique de <i>Ficus carica</i>	Le fromage au lait de chamelle a produit un rendement de 15 % avec une augmentation des protéines par rapport au fromage au lait bovin.	Figuri <i>et al.</i> , (2020)
Fromage frais	Extraits de gingembre, d'ananas et de kiwi	Parmi les extraits enzymatiques, l'extrait enzymatique de kiwi a montré le potentiel le plus élevé de coagulation du lait dans le fromage, et qui est similaire à la chymosine de chameau.	Figuri <i>et al.</i> , (2021)
Fromage frais	Mélange de <i>Withania</i> et de la chymosine cameline recombinante	Les attributs de qualité du fromage ont été améliorés en utilisant un mélange de withania coagulans et de chymosine de chameau.	Mbye <i>et al.</i> , (2021a)

### 3.2.3. Au niveau d'égouttage :

Hailu *et al.*, (2018) ont étudiés l'ajout d'un coagulant (55 et 85 IMCU L) et deux niveaux de NaCl (2 % et 5 %, p/p). Ils ont conclu que le ramollissement de la texture du fromage à pâte molle saumuré produit a été causé par 85 IMCU/L de coagulants et 5 % de sel.

### 3.2.4. Au niveau d'affinage :

Felfoul *et al.*, (2021) ont évalués l'impact de la température de stockage sur les caractéristiques physico-chimiques, structurelles et sensorielles du fromage camelin et bovin. Ils ont rapportés que la valeur de dureté des fromages camelin et bovin a été améliorée à une condition d'affinage de 15 °C. Et ils ont suggérés que la condition d'affinage appropriée pour le fromage camelin à pâte mole saumuré est de 10 °C.

### IV/Les vertus thérapeutiques du lait camelin :

Le lait de chamelle contient des composants bioactifs importants qui peuvent être utilisés dans la prévention et le traitement des maladies (Khatoon et Najam, 2017). On prétend que le lait de chamelle a des bienfaits pour la santé et des valeurs thérapeutiques contre un certain nombre de maladies humaines. Certaines des utilisations thérapeutiques présumées les plus courantes du lait de chamelle comprennent son effet antidiabétique (Agrawal *et al.*, 2007 ; Patel *et al.*, 2016). Antimicrobienne (El-agamy *et al.*, 1992). Antihypertenseur (Quan *et al.*, 2008). Anticancérigène (Magjeed, 2005 ; Habib *et al.*, 2013). Des effets anticholestérolémians (Swelum *et al.*, 2021). Et comme stimulant immunitaire (Kumar *et al.*, 2016).

La justification scientifique de l'utilisation du lait de chamelle comme produit de santé naturel provient principalement de ses propriétés antioxydantes, immunomodulatrices, anti-inflammatoires, analogues à l'insuline et anti-apoptotiques (Mihic *et al.*, 2016).

Ces propriétés ont été largement déterminées par des études *in vitro* et ne fournissent donc que des mécanismes hypothétiques de bénéfice.

#### 4.1. Activité anticancéreuse :

Korashy *et al.*, (2012) ont exploré l'activité anticancéreuse du lait de chamelle et ont conclu que le lait de chamelle inhibait à la fois l'hépatome humain et la survie et la prolifération des cellules cancéreuses du sein grâce à l'activation des voies apoptotiques extrinsèques et intrinsèques. Des études ont également indiqué que la lactoferrine du lait de chamelle était capable d'inhiber environ 50% des cellules cancéreuses du côlon ainsi que des réductions significatives de la quantité de dommages à l'ADN (Muthukumaran *et al.*, 2022).

#### 4.2. Activité hypocholestérolémiante:

La présence d'acide orotique dans le lait de chamelle peut être en partie responsable de l'effet hypocholestérolémiant du lait de chamelle puisque l'acide orotique est connu pour diminuer le taux de cholestérol chez l'homme (Swelum *et al.*, 2021). La réduction du taux de cholestérol est attribuée à l'interaction des peptides bioactifs avec le cholestérol, ce qui réduit encore le taux de cholestérol après la consommation de produits à base de lait de chamelle fermenté (Muthukumaran *et al.*, 2022). Une étude menée pour déterminer les effets du lait de chamelle fermenté contenant du *Bifidobacterium* sur les taux de cholestérol plasmatique et hépatique chez les rats a entraîné une diminution des lipoprotéines de basse densité (LDL) et des triglycérides plasmatiques (Elayan *et al.*, 2008).

### 4.3. Activité antidiabétique :

L'activité antidiabétique du lait de chamelle est attribuée à divers facteurs. Une étude récente menée pour étudier l'action fonctionnelle de la lactoferrine purifiée à partir de lait de chamelle sur les récepteurs de l'insuline et sa pharmacologie et sa signalisation dans les cellules d'hépatocarcinome (HepG2) et de rein embryonnaire humain (HEK293) a révélé la bioactivité de la lactoferrine vers la fonction des récepteurs d'insuline (activation des récepteurs de l'insuline), l'indiquant comme une protéine bioactive potentielle derrière les propriétés antidiabétiques du lait de chamelle conduisant à une plus grande absorption de glucose (Khan *et al.*, 2022).

### 4.4. Activité antibactérienne et antivirale :

Le lait de chamelle présente une activité antibactérienne et antivirale contre les micro-organismes pathogènes, notamment *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Listeria monocytogenes* et *rotavirus* (Benkerroum *et al.*, 2004).

L'activité antibactérienne du lait de chamelle aide à contrôler les maladies causées par des infections bactériennes, telles que la tuberculose et la maladie de Crohn (Ho *et al.*, 2022). Conesa *et al.*, (2008) ont suggéré que les propriétés antivirales et antibactériennes du lait de chamelle étaient dues à la présence de quantités plus élevées de lactoferrine dans le lait de chamelle que dans le lait de vache.

## Conclusion

---

### Conclusion :

La composition brute du lait de chamelle est similaire à celle du lait de vache. Cependant, la composition relative, la distribution et la structure moléculaire des composants du lait sont différentes. Par conséquent, la fabrication de fromage à partir de lait de chamelle est difficile.

La transformation du lait de chamelle en fromage grâce à des innovations technologiques a été rendue possible par la recherche appliquée en utilisant des solutions appropriées. La recherche et l'innovation dans le domaine peuvent permettre de produire du fromage de haute qualité à base de lait de chamelle, en améliorant la coagulation par la standardisation du lait camelin (ultrafiltration, ajout de  $\text{CaCl}_2$ , ajout de la transglutaminase microbienne), l'ajout de différents coagulants (Chymosine, acides organiques, protéases végétales), la pré-acidification (cultures bactériennes), la fortification de lait de chamelle avec du lait d'autres espèces.

Ces dernières années, les avantages pour la santé du lait camelin et de ses produits ont attiré beaucoup d'attention sur les possibilités de son utilisation comme alternative au lait de vache et à d'autres types de lait. Ses effets exceptionnels, nutritionnels et thérapeutiques tels qu'antidiabétique, anti cancérigène, des effets hypoallergiques, antimicrobiens et antihypertenseurs sont bien confirmés.

### Références bibliographiques :

Abbas K. (2012). Effet de traitements thermiques sur les propriétés fonctionnelles de fromages traditionnels : le cas des pâtes persillées .Pp: 5. Sciences agricoles. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, Français.246p

Abdullahi A. (2019). Camel Milk-A Review. Journal of Animal Sciences and Livestock Production 3, 1-3.

Abou-Soliman, N. H. I., Awad, S., El-Sayed, M. I. (2020). The Impact of Microbial Transglutaminase on the Quality and Antioxidant Activity of Camel-Milk Soft Cheese. Food and Nutrition Sciences, 11(03), 153.

Adetunji V., Alonge D., Singh R., Chen J. (2008). Production of wara, a West African soft cheese using lemon juice as a coagulant. Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie -Food Science and Technology, 41(2), 331-336.

Aissaoui-Zitoun O. 2014. Fabrication et caractérisation d'un fromage traditionnel algérien «Bouhezza » [Thèse de doctorat]: Université Mentouri de Constantine.196p.

Agrawal R. P., Saran S., Sharma P. (2007). Effect of camel milk on residual  $\beta$ -cell function in recent onset type 1 diabetes. Diabetes Research and Clinical Practice, 77:494-495.

Alavi F. & Momen S. (2020). Aspartic proteases from thistle flowers: traditional coagulants used in the modern cheese industry. International Dairy Journal, 104709.

Al haj O. A. & Al Kanhal H. A. (2010). Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. International Dairy Journal 20: 811–821.

Alhadrami A. & Faye B. (2022). Animals that produce dairy food: Camel. In: McSweeney PLH, McNamara JP, Encyclopedia of Dairy Science, 3<sup>rd</sup> Ed., USA: Elsevier Ltd., 48–64.

Ali A., Baby B., Vijayan R. (2019). From desert to medicine: A review of camel genomics and therapeutic products. Front Genet 10: 1–20.

Ali A. (2010). Beneficial Role of Lactic Acid Bacteria in Food Preservation and Human Health: A Review. Research Journal of Microbiology, 5(12), 1213- 1221.

## Références bibliographiques

---

- Al-Zoreky N. S. & Almathen, F. S. (2021). Using recombinant camel chymosin to make white soft cheese from camel milk. *Food Chemistry*, 337, 127994.
- Aquilanti L., Dell'Aquila L., Zannini E., Zocchetti A., Clementi F. (2006). Resident lactic acid bacteria in raw milk Canestrato Pugliese cheese. *Letters in Applied Microbiology*, 43(2), 161-167.
- Attia H., Kherouatou N., Dhouib A. (2001). Dromedary milk lactic acid fermentation: microbiological and rheological characteristics. *Journal of industrial Microbiology and biotechnology*, 26(5), 263-270.
- Awad R. A., Salama W. M., Ragb W. A. (2015). Enhancing yield and acceptability of Kareish cheese made of Reformulated milk. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(1), 87-93.
- Bakr Shori A. (2015). Seasonal variations in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(4):609
- Bakry I. A., Yang L., Farag M. A. (2021). A comprehensive review of the composition, nutritional value, and functional properties of camel milk fat. *Foods* 10: 2158.
- Bakry I. A., Ali A. H., Abdeen E. S., Ghazal A. F., Wei W., Wang X. (2020). Comparative characterisation of fat fractions extracted from Egyptian and Chinese camel milk. *International Dairy Journal*, 105, 104691.
- Barlowska J., Szwajkowska M., Litwińczuk Z. (2011). Nutritional value and technological suitability of milk from various animal species used for dairy production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10: 291-302.
- Bathmanathan R., Yahya Y. A. C., Yusoff M. M., Vejayan J. (2019). Mini Review Utilizing Coagulant Plants in the Development of Functional Dairy Foods and Beverages: A Mini Review, 10: 259-271
- Bekele B., Hansen E. B., Eshetu M., Ipsen R., Hailu Y. (2019). Effect of starter cultures on properties of soft white cheese made from camel (*Camelus dromedarius*) milk. *Journal of Dairy Science*, 102(2), 1108-1115.

## Références bibliographiques

---

- Belkheir K., Zadi-Karam H., Karam N. E., Carballo J., Centeno J.A. (2020). Effects of selected mesophilic *Lactobacillus* strains obtained from camel milk on the volatile and sensory profiles of a model short-ripened pressed cows milk cheese. *International Dairy Journal*, 109, 104738.
- Ben Amira A., Besbes S., Attia H., Blecker C. (2017). Milk-clotting properties of plant rennets and their enzymatic, rheological, and sensory role in cheese making: A review. *International Journal of Food Properties*, 20, 76-93.
- Benkerroum N., Mekkaoui M., Bennani N. (2004), Antimicrobial activity of camel's milk against pathogenic strains of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes*. *International journal dairy technology*, 57: 39–43.
- Benkerroum N., Dehhaoui M., El Fayq A., Tlaiha R. (2011). The effect of concentration of chymosin on the yield and sensory properties of camel cheese and on its microbiological quality. *International Journal of Dairy Technology*, 64(2), 232-239.
- Berhe T., Seifu E., Ipsen R., Kurtu M. Y., Hansen E. B. (2017). Processing challenges and opportunities of camel dairy products. *International journal of food science*, doi.org/10.1155/2017/9061757
- Bintsis T. (2018). Lactic acid bacteria: their applications in foods. *Journal of Bacteriology and Mycology*, 6(2), 89-94.
- Bittante G., Penasa M., Cecchinato A. (2012). Invited review: Genetics and modeling of milk coagulation properties. *Journal of Dairy Science*, 95(12), 6843-6870.
- Bornaz S., Sahli A., Attalah A., Attia H. (2009). Physicochemical characteristics and renneting properties of camel's milk: a comparison with goats, ewes and cows milks. *International Journal of Dairy Technology*, 62(4), 505-513.
- Bouazizi A., Ben Touati T., Guesmi C., Attia H., Felfoul I. (2021). Physicochemical, sensory and coagulation properties of dromedary and cows skim milk white brined cheeses. *International Dairy Journal*, 105006.
- Bulca S., Leder J., Kulozik U. (2004). Impact of UHT or high heat treatment on the rennet gel formation of skim milk with various whey protein contents. *Milk Science International*, 59, 590-593.

## Références bibliographiques

---

Chavan R. S., Chavan S. R., Khedkar C. D., Jana A. H. (2011). UHT milk processing and effect of plasmin activity on shelf life: a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 10(5), 251-268.

Chethouna F., Haroun-Boudjenah S., Beldi N., Siboukeur O. (2022). Comparative study of the physico-chemical and microbiological characteristics of raw and pasteurized camel milk, *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 34(10): 850-858

Conesa C., Sánchez L., Rota. (2008). Isolation of lactoferrin from milk of different species: Calorimetric and antimicrobial studies. *Comparative biochemistry and physiology part b biochemistry and molecular biology*, 150: 131–139.

Dahou A. E. (2017). Etude de l'évolution de la flore microbienne indigène d'un fromage industriel à pâte molle type camembert au cours de son affinage et évaluation de ses aptitudes technologiques. Thèse de doctorat. Université Abdelhamid Ben Badis – Mostaganem. P 99-100.

Derar A. W. & El Zubeir I. (2016). Effect of Fortifying Camel Milk with Sheep Milk on the Processing Properties, Chemical Composition and Acceptability of Cheeses. *Journal of Food Science and Engineering*, 6. doi: 10.17265/2159- 5828/2016.04.004

Desouky M., Salama H., El-Sayed S. M. (2019). The effects of camel milk powder on the stability and quality properties of processed cheese sauce. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 18(4), 349-359.

Dugassa D. (2021). Quality and Therapeutic Aspect of Camel Milk: A Review. *Journal of Food Processing and Technology*. 12: 902.

Dugat-Bony E., Bonnarme P., Fraud S., Catellote J., Sarthou A. S., Loux V., Rue O., Bel N., Chuzeville S., Helinck S. (2019). Effect of sodium chloride reduction or partial substitution with potassium chloride on the microbiological, biochemical and sensory characteristics of semi-hard and soft cheeses. *Food Research International*, 125, 108643.

Ebrahimnejad H., Hekmatynia F., Mansouri S. (2019). A comparison study on the cow and mare milk-clotting activity of *Withania coagulans*. *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology*, 11(2), 11-20.

## Références bibliographiques

---

Eck A. & Gillis. J. C. 1997. Le fromage de la science à l'assurance .Edition 3<sup>ème</sup>.Londres Lavoisier Tec et Doc .New York.Pp43. 891p

El-Agamy E. I., Ruppanner R., Ismail A. (1992) Antibacterial and antiviral activity of camel milk protective proteins. *Journal of Dairy Research* 59: 169–175.

Elayan A. A., Sulieman A., Saleh F. A. (2008). The hypocholesterolemic effect of Gariss and Gariss containing *Bifidobacteria* in rats fed on a cholesterol-enriched diet. *Asian Journal of Biochemistry* 3: 43–47.

El Hatmi H., Jrad Z., Mkaem W., Chahbani A., Oussaief O., Zid M. B., Mihoubi N. B. (2020). Fortification of soft cheese made from ultrafiltered dromedary milk with *Allium roseum* powder: Effects on textural, radical scavenging, phenolic profile and sensory characteristics. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 132, 109885. doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109885

Elnemr A. M., Ahmed M. A., Arafat H. H. O., Osman S. (2020). Improving the Quality of Camel Milk Soft Cheese Using Milky Component (BMR) and Sweet Potato Powder. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 566-577.

El Sayed I., Ruppanner R., Ismail A., Champagne C. P., Assaf R. (1992). Antibacterial and antiviral activity of camel milk protective proteins. *Journal of Dairy Research*, 59(2), 169-175.

El Zubeir I. E., Jabreel S. O. (2008). Fresh cheese from camel milk coagulated with Camifloc. *International Journal of Dairy Technology*, 61(1), 90-95.

Farah Z. (2011). Camel milk. In: Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH, *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2<sup>nd</sup> Ed., London, UK: Academic Press, 512–517.

Faye B. & Konuspayeva G. (2016). Innovations in camel milk processing, The new challenges for marketing camel dairy products and the consequences on genetic selection. In *Proceedings of the Regional Conference for Animal Genetic Resources Conservation, towards Sustainable Utilization*, Muscat, Oman, 23–24 February 2016.

Feyera G. & Zerihun N. (2022). Review on Composition, Nutritional and Medicinal Value of Camel. *Advanced Sciences and Technologies*, 2, 1-10

## Références bibliographiques

---

- Felfoul I., Bouazizi A., Tourki I., Guesmi C., Attia H. (2021). Effect of storage conditions on physicochemical, sensory, and structural properties of dromedary and cow's skim milk soft-brined cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45 e15970.
- Fguiiri I., Sboui A., Ayeb N., Ziadi M., Guemri M., Arroum S., Dbara M., Khorchani T. (2020). Camel Milk-Clotting Properties of Latex Protease from *Ficus carica*. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 19: 99-106.
- Fguiiri I., Atigui M., Sboui A., Samira A., Marzougui C., Dbara M., Khorchani T. (2021). Camel Milk-Clotting Using Plant Extracts as a Substitute to Commercial Rennet. *Journal of Chemistry*, 2021. doi.org/10.1155/2021/6680246
- Florian R. (2012). Le lait et sa coagulation. Thèse de doctorat.
- Fox P. F., Guinee T. P., Cogan T. M., McSweeney P. L. (2017). Enzymatic coagulation of milk. *Fundamentals of cheese science*, 185-229.
- Fredot. (2006). *Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique*, Techniques et Documentations, Lavoisier, p. (397 pages).
- Galali Y. & Al-Dmoor H. M. (2019). Miraculous Properties of Camel Milk and Perspective of Modern Science. *Journal of Family Medicine and Disease Prevention*, 5:095.
- Geneve A. (2022). Possibilities of camel milk cheese making. *Global Journal of Dairy Farming Milk Production*, 7(2):01-03
- Guinee T. P., Mulholland E. O., Kelly J., Callaghan D. J. (2007). Effect of protein-to-fat ratio of milk on the composition, manufacturing efficiency, and yield of cheddar cheese. *Journal of dairy science*, 90(1), 110-123
- Guinee T. P. & Sutherland B. J. (2020). *CHEESE: Salting of Cheese*. Reference Module in Food Science.
- Grozdanovic M. M., Burazer L., Gavrovic-Jankulovic M. (2013). Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) extract shows potential as a low-cost and efficient milk-clotting agent. *International Dairy Journal*, 32(1), 46-52.

## Références bibliographiques

---

- Habib H. M., Ibrahim W. H., Schneider-Stock R. (2013). Camel milk lactoferrin reduces the proliferation of colorectal cancer cells and exerts antioxidant and DNA damage inhibitory activities. *Food Chemistry* 141: 148–152.
- Habtegebriel H. & Emire S. (2016). Optimization of the Production Process of Soft Cheese from Camel Milk Using Linear Programming Technique. 49, 35- 41.
- Haddad I., Mozzon M., Strabbioli R., Frega N.G. (2020). Stereospecific analysis of triacylglycerols in camel (*Camelus dromedarius*) milk fat. *International Dairy Journal*. 20, 863–867
- Haddadin M. S., Gammoh S. I., Robinson R. K. (2008). Seasonal variations in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of Dairy Research*, 75(1):8-12.
- Hailu Y., Hansen E. B., Seifu E., Eshetu M., Petersen M. A., Lametsch R., Ipsen R. (2018). Rheological and sensory properties and aroma compounds formed during ripening of soft brined cheese made from camel milk. *International Dairy Journal*, 81, 122-130.
- Hailu Y., Seifu E., Yilma Z. (2014). Clotting activity of camel milk using crude extracts of ginger (*Zingiber officinale*) rhizome. *African Journal of Food Science Technology*, 5(3), 90-95.
- Hashim M. M., Mingsheng D., Iqbal M. F., Xiaohong C. (2011). Ginger rhizome as a potential source of milk coagulating cysteine protease. *Phytochemistry*, 72(6), 458-464.
- He J., Xiao Y., Orgoldol K., Ming L., Yi L., Ji R. (2019). Effects of Geographic Region on the Composition of Bactrian Camel Milk in Mongolia. *Animals*, 9, 890.
- Ho T. M., Zou Z, Bansal N. (2022). Camel milk: A review of its nutritional value, heat stability, and potential food products. *Food Research International*: 110870.
- Huppertz T., Fox P. F., Kelly A. L. (2018). The caseins: Structure, stability, and functionality. *Proteins in Food Processing*, 49-92.
- Huppertz T., Gazi I., Luyten H., Nieuwenhuijse H., Alting A., Schokker, E. (2017). Hydration of casein micelles and caseinates: Implications for casein micelle structure. *International Dairy Journal*, 74, 1-11.

## Références bibliographiques

---

- Ibrahem S. A., El Zubeir I. E. M. (2016). Processing, composition and sensory characteristic of yoghurt made from camel milk and camels sheep milk mixtures. *Small Ruminant Research*, 136, 109-112.
- Ibrahim A. H. & Khalifa S. A. (2013). Influence of Protein Cross-Linking Enzymes of Soft Cheese Properties Made from Camel's Milk. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 40, 1133-1140.
- Ibrahim A., Saad M., Hafiz N. (2020). Toxic elements in dried milk and evaluation of their dietary intake in infant formula. *International Journal of Veterinary Science*, 9:563–7.
- Inayat S., Arain M., Khaskheli M., Farooq A. (2007). Study on the production and quality improvement of soft unripened cheese made from buffalo milk as compared with camel milk. *Italian Journal of Animal Science*, 6, 1115- 1119.
- Izadi A., Khedmat L., Mojtahedi S.Y. (2019). Nutritional and therapeutic perspectives of camel's milk and its protein hydrolysates: a review on versatile biofunctional properties. *Journal of Functional Foods*, 60
- Juan B., Ferragut V., Buffa M., Guarnis B. Trujillo A. J. (2007). Effects of High Pressure on Proteolytic Enzymes in Cheese: Relationship with the Proteolysis of Ewe Milk Cheese. *Journal of Dairy Science*, 90, 2113– 2125
- Kamal M., Foukani M., Karoui R. (2017). Rheological and physical properties of camel and cow milk gels enriched with phosphate and calcium during acid-induced gelation. *Journal of food science and technology*, 54(2), 439-446.
- Kanca H. (2017). Milk production and composition in ruminants under heat stress. *Nutrients in Dairy and their Implications for Health and Disease*, London, UK: Elsevier, 97–109.
- Kappeler S. R., Rahbek-Nielsen H., Farah Z., Puhan Z., Hansen E. B., Johansen E. (2006). Characterization of recombinant camel chymosin reveals superior properties for the coagulation of bovine and camel milk. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 342(2), 647-654.
- Kazemipour N., Salehi-Inchebron M., Valizadeh J., Sepehrimanesh M. (2017). Clotting characteristics of milk by *Withania coagulans*: Proteomic and biochemical study. *International Journal of Food Properties*, 20(6), 1290- 1301.

## Références bibliographiques

---

- Khatoon H. & Najam R. (2017). Bioactive components in camel milk: Their nutritive value and therapeutic application. *Nutrients in dairy and their implications for health and disease*, 377–387.
- Khan H., Athar I. H., Aslam M. (2004). Evaluation of cheese prepared by processing camel milk. *Pakistan Journal of Zoology*, 36(4), 323-326.
- Khan F. B., Anwar I., Redwan E. M. (2022). Camel and bovine milk lactoferrins activate insulin receptor and its related AKT and ERK1/2 pathways. *Journal of Dairy Sciences*, 105: 1848-1861.
- Korashy H. M., Maayah Z. H., Abd-Allah A. (2012) Camel milk triggers apoptotic signaling pathways in human hepatoma HepG2 and breast cancer MCF7 cell lines through transcriptional mechanism. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 593195.
- Korlepara., Raja G., Adarsh M., Vyshnavi M., Srikanth K. (2017). Camel Milk An White Gold Of Dessert- A Review. *International Archives of Science and Technology*; Vol 8 [3] September. 7483
- 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(2), 95-101.
- Konuspayeva G., Camier B., Gaucheron F., Faye B. (2014). Some parameters to process camel milk into cheese. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26(4), doi: 10.9755/ejfa.v26i4.17277.
- Konuspayeva G. S. (2020). Camel milk composition and nutritional value. In *Handbook of Research on Health and Environmental Benefits of Camel Products*; IGI Global: Hershey, PA, USA, pp. 15–40.
- Konuspayeva G. & Faye B. (2021). Recent advances in camel milk processing. *Animals* 11 1045.
- Kumar D., Verma A. K, Chatli M. K. (2016) Camel milk: Alternative milk for human consumption and its health benefits. *Nutrition et Food Science* 46: 217–227.
- Lajnaf R. (2017). Propriétés techno-fonctionnelles du lait de dromadaire. (2017)[PhD thesis]. Montpellier, France: University of Montpellier.

## Références bibliographiques

---

- Lajnaf R., Feki S., Ben Ameer S., Attia H., Kammoum T., Ayadi M. A. (2023). Cows' milk alternatives for children with cows' milk protein allergy-review of health benefits and risks of allergic reaction. *International Dairy Journal*, 141:105624
- Leksir C. (2018). Contribution à la caractérisation du *Klila*, un fromage traditionnel de l'est de l'Algérie. Thèse de doctorat. Université 8 Mai 1945. Guelma.
- Li Q. & Zhao Z. (2019). Acid and rennet-induced coagulation behavior of casein micelles with modified structure. *Food chemistry*, 291, 231-238.
- Liang LI. & Luo Y. (2020). Casein and pectin: Structures, interactions, and applications. *Trends in Food Science and Technology*.97:391-403
- Lin L., Wong M., Deeth H. C., Oh H. E. (2018). Calcium-induced skim milk gels using different calcium salts. *Food chemistry*, 245, 97-103.
- Liu S. N., Han Y., Zhou Z. J. (2011). Lactic acid bacteria in traditional fermented Chinese foods. *Food research international*, 44(3), 643-651.
- Lucey J.A. & Horne D. S. (2018). Perspectives on casein interactions. *International Dairy Journal*, 85, 56-65.
- Magjeed N. A. (2005). Corrective effect of milk camel on some cancer biomarkers in blood of rats intoxicated with aflatoxin B1. *Journal of Saudi Chemical Society* 9: 253–263.
- Mahaut M., Jeantet R., Brule G. (2000). *Initiation à la technologie fromagère*. Lavoisier, Paris, 1-5.
- Mahmood W.A. & Sebo N. H. (2009). Effect of Microbial Transglutaminase Treatment on Soft Cheese Properties. *Mesopotamia Journal of Agriculture*, 37, 1-9.
- Mati A., Senoussi-Ghezali C., Zennia S., Almi-Sebbane D., El-Hatmi H., Girardet J. M. (2017). Dromedary camel milk proteins, a source of peptides having biological activities-A review. *International Dairy Journal*, 73, 25–37

## Références bibliographiques

---

- Maqsood S., Al-Dowaila A., Mudgil P., Kamal H., Jobe B., Hassan H. M. (2018). Comparative characterization of protein and lipid fractions from camel and cow milk, their functionality, antioxidant and antihypertensive properties upon simulated gastro-intestinal digestion. *Food Chemistry*, 279, 328–338.
- Mbye M., Sobti B., Al Nuami M. K., Al Shamsi Y., Al Khateri L., Al Saedi R., Kamal-Eldin A. (2020). Physicochemical properties, sensory quality, and coagulation behavior of camel versus bovine milk soft unripened cheeses. *NFS Journal*, 20, 28-36.
- Mbye M., Mohamed H., Ramachandran T., Hamed F., AlHammadi A., Kamleh R., Kamal-Eldin, A. (2021a). Effects of Pasteurization and High-Pressure Processing of Camel and Bovine Cheese Quality, and Proteolysis Contribution to Camel Cheese Softness. *Frontiers in Nutrition*, 8(336).
- Mbye M., Mohamed H., Raziq A., Kamal-Eldin A. (2021b). The effects of camel chymosin and *Withania coagulans* extract on camel and bovine milk cheeses. *Scientific Reports*, 11(1), 13573.
- Meena S., Rajput Y., Sharma R. (2014). Comparative fat digestibility of goat, camel, cow and buffalo milk. *International Dairy Journal*. 35, 153-156.
- Mehaia M. A., Hablas M. A., Abdel-Rahman K. M., El-Mougy S. A. (1995). Milk composition of majaheim, wadah and hamra camels in Saudi Arabia. *Food chemistry*, 52(2), 115-122.
- Mehaia M. A. (2006). Manufacture of fresh soft white cheese (Domiaty type) from dromedary camel's milk using ultrafiltration process. *Journal of food technology*, 4(3), 206-212.
- Mihic T., Rainkie D., Wilby K. J. (2016). The Therapeutic effects of camel milk: a systematic review of animal and human trials. *Journal of evidence-based complementary and alternative medicine*, 21, 110-126.
- Mihretie Y., Tadesse N., Amakelew S., Fikru, S. (2018). Cheese production from camel milk using lemon juice as a coagulant. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 17, 11-19.

## Références bibliographiques

---

- Mohamed A. E., Babiker I. A., Mohamed T. E. (2013). Preparation of fresh soft cheese from dromedary camel milk using acid and heat method. *Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences*, 3(9), 289-292.
- Mohamed H., Nagy P., Agbaba J., Kamal-Eldin A. (2020a). Use of near and mid infra-red spectroscopy for analysis of protein, fat, lactose and total solids in raw cow and camel milk. *Food chemistry*, 334, 127436.
- Mohamed H., Johansson M., Lundh A., Nagy P., Kamal-Eldin A. (2020b). Caseins and  $\alpha$ -lactalbumin content of camel milk (*Camelus dromedarius*) determined by capillary electrophoresis. *Journal of Dairy Science*, 103(12), 11094-11099.
- Moschopoulou E. (2018). Microbial Non-Coagulant Enzymes Used in Cheese Making. *Microbial Cultures and Enzymes in Dairy Technology*, 204-221.
- Motoki M. & Seguro K. (1998). Transglutaminase and Its Use for Food Processing. *Trends in Food Science and Technology*, 9, 204-210.
- Muthukumar M. S., Mudgil P., Baba W. N., (2022). A comprehensive review on health benefits, nutritional composition and processed products of camel milk. *Food Reviews International*. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2008953>.
- Nagy P., Juhász J., Reiczigel J., Császár G., Kocsis R., Varga L. (2019). Circannual changes in major chemical composition of bulk dromedary camel milk as determined by FT-MIR spectroscopy, and factors of variation. *Food chemistry*, 278, 248-253.
- Otmane-Rachedi K., Remadni M., Badi Y. (2022). Etude comparative des caractéristiques physico-chimiques des différents laits crus (chamelle, chèvre et vache) de la région d'El-Oued et Bougous (Wilaya d'El-Tarf). *Revue des Sciences et de la Technologie*, 28, (2): 01-11.
- Patel A. S., Patel S. J., Patel N. R. (2016). Importance of camel milk-An alternative dairy food. *Journal of Life Sciences* 7: 19-25.
- Parmjit S. (2011). Fermented dairy products: starter cultures and potential nutritional benefits. *Food and Nutrition Sciences*, 2011. doi:10.4236/fns.2011.21006

## Références bibliographiques

---

- Priyashantha H., Lundh A., Hojer A., Hetta M., Johansson M., Langton M. (2019). Interactive effects of casein micelle size and calcium and citrate content on rennet-induced coagulation in bovine milk. *Journal of Texture Studies*, 50(6), 508-519.
- Qazalbash M.A., Masud T., Sammi S., Khan R. S., Latif A. (2018). Effect of different storage conditions on coagulating properties and cheese quality of *Withania coagulans* extract. *International Journal of Dairy Technology*, 71(3), 654-662.
- Quan S., Tsuda H., Miyamoto T. (2008). Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides in skim milk fermented with *Lactobacillus helveticus* 130B4 from camel milk in Mongolia, China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88: 2688–2692.
- Rakhmanova A., Khan Z., Shah K. (2018). A mini review fermentation and preservation: role of Lactic Acid Bacteria. *MOJ Food Process Technol*, 6(5), 414-417.
- Ramet J. (1997). L'égouttage du coagulum. *in* : Eck A Gillis J. *Le fromage*. 3<sup>ème</sup> édition, Lavoisier, Paris, 42-61.
- Ramet J. P. (2001). The technology of making cheese from camel milk (*Camelus dromedarius*). Food and Agriculture Organization.
- Ramet J. P. (2006). Les Agents De La Transformation Du Lait ; *in* : « Le fromage » édition. Eck et Gillis. *Technique et Documentation*, 3<sup>ème</sup> éd., Lavoisier, Paris.
- Rankin S., Bradley R., Miller G., Mildenhall K. (2017). A 100-Year Review: A century of dairy processing advancements–Pasteurization, cleaning and sanitation, and sanitary equipment design. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9903-9915.
- Rauh V. M., Johansen L. B., Ipsen R., Paulsson M., Larsen L. B., Hammershoj M. (2014). Plasmin activity in UHT milk: relationship between proteolysis, age gelation, and bitterness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(28), 6852-6860.
- Rebouillat S. & Ortega-Requena S. (2015). Potential Applications of Milk Fractions and Valorization of Dairy By-Products: A Review of the State-of-the-Art Available Data, Outlining the Innovation Potential from a Bigger Data Standpoint. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 6, 176-203.

## Références bibliographiques

---

Roshdy S., Omar L., Sayed R., Hassan H., Hanafy M., Soliman R. (2020). Reduction of milk contamination with aflatoxin-M1 through vaccination of dairy cattle with aflatoxin-B1 vaccine. *International Journal of Veterinary Science*. 9: 528–33.

Roy D., Ye A., Moughan P. J., Singh H. (2020). Composition, structure, and digestive dynamics of milk from different species - a review. *Front Nutrition*. 7:577759.

Ruican W., Laichao X., Shuntang G. (2015). Effects of small molecular compounds in soymilk on the protein coagulation process: Ca<sup>2+</sup> as coagulant. *Food Research International*, 77(1).

Ryskaliyeva A., Henry C., Miranda G., Faye B., Konuspayeva G., Martin P. (2018). Combining different proteomic approaches to resolve complexity of the milk protein fraction of dromedary, Bactrian camels and hybrids, from different regions of Kazakhstan. *PLOS ONE*, 13(5), e0197026. doi.org/10.1371/journal.pone.0197026.

Saadi A., Ali F., Jasim A. (2019). Study of the Soft Cheese Composition Produced from a Mixture of Sheep and Camel Milk at Different Storage Periods Using the Enzyme Trypsin and Calcium Chloride. *Annals of Agri Bio Research*, 24, 316-320.

Sadik Z., Fuad A., Wubit T. (2021). Review on Composition, Nutritive and Therapeutic Value of Camel Milk. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2456-2165.

Saibhavana S., Vasukhi S. M., Shreya R., Rajakumari R., Abhijith A. S., Adithya-Krishna S., Gautam P., Aishwarya P., Pran M., Sandip Ch., Hitesh Ch., Abhijit D., Anil K., Kuldeep D., Deepak Ch. (2023). Prospective nutritional, therapeutic, and dietary benefits of camel milk making it a viable option for human consumption: Current state of scientific knowledge. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 2320 – 8694

Salami M., Moosavi-Movahedi A.A., et Ehsani MR. (2010). Improvement of the antimicrobial and antioxidant activities of camel and bovine whey proteins by limited proteolysis. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58: 3297–3302.

## Références bibliographiques

---

- Salehi M., Aghamaali M. R., Sajedi R. H., Asghari S. M., Jorjani E. (2017). Purification and characterization of a milk-clotting aspartic protease from *Withania coagulans* fruit. *International journal of biological macromolecules*, 98, 847-854.
- Seifu E. (2022). Recent advances on camel milk: Nutritional and health benefits and processing implications-A review. *AIMS Agriculture and Food*, 7(4), 777–804.
- Seifu E. (2023). Camel milk products: innovations, limitations and opportunities. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), 1- 20
- Shahein M., Hassanein A., Zayan A. F. (2014). Evaluation of soft cheese manufactured from camel and buffalo milk. *Journal of Dairy Food and Science*, 9, 213- 219.
- Siboukeur O., Mati A., Hesas B. (2005). Amélioration de l'aptitude à la coagulation du lait cameline (*Camelus dromedarius*): utilisation d'extraits enzymatiques coagulants gastriques de dromadaires. *Cahiers agricultures*, 14(5), 473-478.
- Sobti B., Al Teneiji H. A., Kamal-Eldin A. (2019). Effect of added bovine casein and whey protein on the quality of camel and bovine milk yoghurts. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 804-811.
- St-Gelais D. & Tirard-Collet P. (2010). *Science et technologie du lait, Transformation du lait, chapitre 6 fromages* fondation de technologie laitière .Québec, Canada. Carole L Vangola. p349. 600p
- Sumaira A. M. S., Solangi G. A., Anwar I., Kalwar Q. (2020). Composition and beneficial impact of camel milk on human health. *Punjab University Journal of Zoology*, 35, 179-189
- Swelum A. A., El-Saadony M. T, Abdo M. (2021) Nutritional, antimicrobial and medicinal properties of camel's milk: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28: 3126-3136.
- Tormo H. (2010). Diversité des flores microbiennes des laits crus de chèvre et facteurs de variabilité. Thèse de doctorat en Pathologie, Toxicologie, Génétique et Nutrition, Université Toulouse III - Paul Sabatier.258p.
- Tultabayeva T., Chomanov U., Tultabayev B. (2015) Study of fatty acids content of lipids in mare's and camel's milk. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3: 90–93.

## Références bibliographiques

---

Vignola C. L. (2002). Science et technologie du lait. Québec : Fondation de technologie laitière de Québec. p 587.

Vincenzetti S., Cammertoni N., Rapaccetti R. (2022). Nutraceutical and functional properties of camelids' milk. *Beverages*. 8: 12.

Walle T., Yusuf M., Ipsen R., Hailu Y., et Eshetu M. (2017). Coagulation and Preparation of Soft Unripened Cheese from Camel Milk using Camel Chymosin. *East African Journal of Sciences*, 11(2), 99-106.

Yadav A. K., Kumar R., Priyadarshini L., Singh J. (2015). Composition and medicinal properties of camel milk: A Review. *Asian Journal of Dairy and Food Research* 34: 83-91.

Yagil R., Etzion Z. (1980). The effect of drought conditions on the quality of camels' milk. *Journal of Dairy Research*, 47: 159–166.

Zhang Y., Liu D., Liu X., Hang F., Zhou P., Zhao J., Chen W. (2018). Effect of temperature on casein micelle composition and gelation of bovine milk. *International Dairy Journal*, 78, 20-27.