

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



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Sciences Biologiques

Option : Biochimie Appliquée

THEME

**Comparaison des activités antioxydantes
des hydrolysats des protéines totales de
lait de chamelle et de lait de vache traités
par la pepsine et la pancréatine**

Réalisé par :

Melle DERDAH DAHBIA

Melle HIMEUR NAWEL

Devant le jury composé de :

Président : Mme Si AHMED-ZENNIA.S	Maitre de conférences A	UMMTO
Encadreur : Mme SEBBANE-ALMI.D	Maitre de conférences B	UMMTO
Examineur : M ^{me} GHEZALI-SENOUSSIS	Maitre-assistante A	UMMTO

Année universitaire : 2021 /2022

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la patience et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Nos remerciements s'adressent à notre promotrice Mme SEBANE-ALMI.D, maitre de conférence B à la faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, d'avoir proposé et dirigé ce travail.

Nous remercions vivement GHEZALI-SENOUSSI.S maitre-assistante A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour avoir accepté de présider le jury.

Nos remerciements s'adressent à Mme Si AHMED-ZENNIA.S, maitre de conférence A à l'UMMTO, pour nous avoir guidés pendant la réalisation de la partie expérimentale et d'avoir accepté d'être membre de jury.

Je dédié ce travail :

A mes chers parents pour leur amour inestimable, leur soutien et leurs sacrifices, que Dieu les
protège et les bénisse.

A mes très chers frères et sœurs, pour leurs tendresses et leurs précieux encouragements,
j'espère que la vie leur réserve le meilleur. A toute ma famille ainsi qu'à mes amies.

NAWEL

Je dédie ce modeste travail à :

A La mémoire de mes chers et regrettés grands parents paternel.

A Mama et Papa pour leur grand soutien.

A Mes grands parents maternels Jeddi et Yaya pour leur amour inconditionnel, je leur
souhaite une longue vie.

Mes frères, ma sœur et toute personne qui a souhaité mon succès.

DAHBIA

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction.....01

1. Synthèse des données bibliographiques

1.1. Aperçu sur le dromadaire.....	02
1.1.1. Elevage.....	02
1.1.2. Effectif du cheptel camelin.....	02
1.1.2.1. Effectif du cheptel camelin dans le monde.....	02
1.1.2.2. Effectif du cheptel camelin en Algérie.....	02
1.1.3. Races.....	04
1.1.4. Production laitière.....	05
1.1.4.1. Production laitière dans le monde.....	05
1.1.4.2. Production laitière en Algérie.....	05
1.2 .Aperçu sur le cheptel bovin.....	06
1.2.1. Elevage	06
1.2.2. Effectif du cheptel bovin.....	06
1.2.2.1. Effectif du cheptel bovin dans le monde.....	06
1.2.2.2. Effectif du cheptel bovin en Algérie.....	07
1.2.3. Races.....	08
1.2.4. Production laitière.....	08
1.2.4.1. Production laitière dans le monde.....	08
1.2.4.2. Production laitière en Algérie.....	09
1.3. Caractéristiques physico-chimiques du lait camelin et bovin.....	10
1.3.1. Comparaison de la valeur nutritionnelle	10
1.3.2. Fraction protéique	11
1.4. Enzymes digestives.....	14
1.4.1. Pepsine.....	14
1.4.2. Pancréatine.....	15
1.5. Peptides du lait à activité biologique.....	16
1.5.1. Définition.....	16
1.5.2. Peptides à activité opiacée	17
1.5.3. Peptides à activité antihypertensive.....	17
1.5.4. Peptides à activité immunomodulatrice.....	18
1.5.5. Peptides à activité antioxydante.....	18

2. Partie expérimentale

2.1. Matériel.....	19
2.1.1. Matière première	19
2.1.2. Produits chimiques.....	19
2.1.3. Matériel biologique.....	19
2.1.4. Appareillage	19
2.2. Méthodes	19
2.2.1. Mesure du pH.....	19
2.2.2. Ecrémage	20
2.2.3. Dosage des protéines du lait.....	20

2.2.4. Hydrolyse enzymatique	20
2.2.5. Méthode électrophorétique.....	21
2.2.6. Détermination du degré d'hydrolyse des protéines du lait.....	21
2.2.7. Détermination de l'activité antioxydante.....	23
2.2.7.1. Test du 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH).....	23
2.2.7.2. Dosage des polyphénols totaux dans le lait.....	23
3. Résultats et discussions	25
3.1. Teneur en protéines totales.....	25
3.2. Hydrolyse enzymatique des protéines camelines et bovines.....	25
3.2.1. Hydrolyse des protéines du lait camelin.....	25
3.2.2. Hydrolyse des protéines du lait bovin.....	27
3.3. Degré d'hydrolyse.....	28
3.4. Effet de l'hydrolyse enzymatique sur les activités antioxydantes des protéines du lai.....	29
3.4.1. Evaluation de l'activité antioxydante apr le dosage de polyphénols Totaux.....	29
3.4.2. Test de piégeage du radical DPPH.....	31
Conclusion.....	32
Références bibliographiques.....	33

La liste des figures

N°	Intitulé	Page
01	L'effectif camelin dans les Wilayas d'Algérie année 2017	4
02	Taux de production annuelle de lait camelin dans le monde pendant la période 2010-2018(FAOSTAT, 2022)	6
03	Taux de production annuelle du lait camelin en Algérie pendant la période 2010-2020, (FAOSTAT 2022)	7
04	La production laitière bovine dans le monde en 2018 en millions de tonnes de lait (Maigret, 2019)	10
05	L'évolution de la production laitière bovine nationale (FAO, 2019)	10
06	Structure d'une molécule de pepsine et son site actif mit en évidence par les atomes d'oxygène (Fujinaga <i>et al</i> ,1995)	16
07	Site catalytique de la trypsine (Goodsell, 2003)	16
08	Structure d'un monomère de chymosine (Sullivan ,2013)	17
09	Les peptides bioactifs dérivés du lait et leurs diverses fonctionnalités (Korhonen et Pihlanto, 2003)	18
10	Courbe étalon du dosage des protéines par la méthode de Lowry <i>et al</i> (1951). Albumine sérique bovine (BSA) comme protéine de référence	22
11	Courbe étalon du dosage des protéines par la méthode de Lowry <i>et al</i> (1951). Albumine sérique bovine (BSA) comme protéine de référence	24
12	Mécanisme de réduction du DPPH	25
13	Droite d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux en utilisant l'acide gallique comme référence	26
14	Profil electrophorétique des protéines du lait de chamelle en PAGE-SDS après l'action des enzymes digestives (pepsine, pancréatine). Gel de séparation : T = 15 %, C = 2,7 % ; gel de concentration :T= 4%, C=2,7%. LC :lait de chamelle écrème ; G 15 ,G 30 ,G 60, G 90, I 15, I 30 ,I 90 ,I 120 : hydrolysats prélevés à différents temps d'incubation (G : hydrolyse par la pepsine, I : hydrolyse par la pancréatine), M : marqueur de taille (KDa) ; 67KDa : BSA, 45 KDa :Ovalbumine,18KDa : β -Lactoglobuline :14KDa.	29
15	Profil electrophorétique des protéines du lait de vache en PAGE-SDS après hydrolyse enzymatique. Gel de séparation : T = 15 %, C = 2,7 % ; gel de concentration : T= 4%, C=2,7%. LV :lait de vache écrème ; G 15 ,G 30 ,G 60, G 90, I 15, I 30 ,I 90 ,I 120 : hydrolysats prélevés à différents temps d'incubation (G : hydrolyse gastrique, I : hydrolyse intestinale), M : marqueur de taille (kDa) ; 67kDa : BSA, 45 kDa :Ovalbumine,18kDa : β -Lactoglobuline :14kDa.	30
16	Degré d'hydrolyse des protéines de lait de chamelle et de lait de vache traités par la pepsine et la pancréatine	31
17	L'évolution des concentrations en composés phénoliques totaux dans le lait bovin et camelin en fonction du temps d'incubation lors de l'hydrolyse	33
18	Pourcentage DPPH résiduel des hydrolysats protéiques du lait camelin et bovin en fonction du temps d'incubation	34

La liste des tableaux

N°	Intitulé	Page
I	Le cheptel camelin pendant la période de 2016-2018 (Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche)	4
II	Les principaux cheptels bovins dans le monde en 2018 en millions de têtes -GEB-Institut de l'élevage (Maigret, 2019)	8
III	Evolution du cheptel bovin en Algérie entre 2006 et 2017 (MADR, 2018)	8
IV	Répartition géographique des bovins en Algérie (MADR 2018)	9
V	Les races bovines autochtones et allochtones en Algérie (FAO, 2019)	8
VI	Les caractéristiques physico-chimiques des caséines du lait de vache et du lait de chamelle, (Kappeller <i>et al</i> 1998 ; Ochirkhuyag <i>et al</i> 1997)	13
VII	Les caractéristiques physico-chimiques des protéines sériques du lait de vache et du lait de chamelle, (Kappeller <i>et al</i> , 1998 ; Ochirkhuyag <i>et al</i> ,1998 ; El Agamy <i>et al</i> , 1996 ; Beg <i>et al</i> ,1987)	14
VIII	la teneur en protéine (g/l) des échantillons de lait de chamelle et de vache.	23

Résumé

La présente étude a pour objectif de comparer la composition protéique du lait bovin et camelin et d'évaluer leurs capacités antioxydantes avant et après hydrolyse enzymatique par deux enzymes digestives : pepsine et pancréatine.

Le dosage des protéines totales des deux échantillons de lait a montré des teneurs en protéines proches, $27 \pm 0,001$ g/l pour le lait bovin et $30 \pm 0,47$ g/l pour le camelin.

Les profils électrophorétiques obtenus en PAGE-SDS ont révélé la présence de protéines homologues entre l'espèce bovine et cameline (α -lactalbumine, albumine sérique bovine, albumine sérique cameline) à l'exception du lait camelin qui est dépourvu de β -lactoglobuline.

L'étude de la cinétique enzymatique a révélé des comportements différents des hydrolysats protéiques des espèces étudiées, vis-à-vis de l'action de la pepsine et de la pancréatine. Après 2h d'incubation nous avons remarqué la disparition des bandes caractérisant les protéines majeures de deux espèces.

A la fin de l'incubation le lait de chamelle a présenté un degré d'hydrolyse de $2,53 \pm 0,0035$ %, supérieur au lait de vache qui a montré un D.H de $2,39 \pm 0,0004$ %.

L'activité antioxydante a été déterminée par le test du DPPH et par le dosage des polyphénols. Les hydrolysats protéiques camelins ont montré des taux de DPPH résiduel inférieurs aux hydrolysats bovins, $69,15 \pm 0,15$ % comparé à $81,03 \pm 0,7392$ %, néanmoins le lait de chamelle a présenté des concentrations en polyphénols supérieures au lait de vache, $9,5 \pm 0,018$ mg/ml comparé à $7,608 \pm 0,076$ mg/ml. Ces résultats indiquent que les peptides dérivés du lait de chamelle possèdent d'importantes propriétés antioxydantes.

Mots clés : bovin / camelin / protéines totales / pepsine / pancréatine /activité antioxydante.

Abstract

The objective of this study is to compare the protein composition of bovine and camel milk and to evaluate their antioxidant capacities before and after enzymatic hydrolysis by two digestive enzymes: pepsin and pancreatin.

The total protein assay of the two milk samples showed close protein levels, $27 \pm 0,001$ g/l for bovine milk and $30 \pm 0,47$ g/l for camel.

Electrophoretic profiles obtained in PAGE-SDS revealed the presence of homologous proteins between the bovine and camel species (α -lactalbumin, bovine serum albumin, cameline serum albumin) with the exception of camel milk which is free of β -lactoglobuline.

The study of enzymatic kinetics revealed different behaviors of protein hydrolysates of the studied species in relation to the action of pepsin and pancreatin.

At the end of incubation, camel milk showed a degree of hydrolysis of $2,53 \pm 0,0035\%$, higher than cow's milk which showed a D.H of $2,39 \pm 0,0004\%$.

Antioxidant activity was determined by the DPPH test and polyphenols. Camel protein hydrolysates showed levels of residual DPPH lower than bovine hydrolysates, $69,15 \pm 0,15\%$ compared to $81,03 \pm 0,7392\%$, however camel milk had polyphenols concentrations higher than cow's milk, $9,5 \pm 0,018$ mg/ml compared to $7,608 \pm 0,076$ mg/ml. These results indicate that peptides derived from camel milk have important antioxidant properties.

Keywords: cattle/ camel/ total proteins/ pepsin/ pancreatin/ antioxidant activity.

تهدف الدراسة الحالية إلى مقارنة تركيبة البروتين في حليب الأبقار والإبل وتقييم قدراتها المضادة للأكسدة قبل وبعد التحلل المائي الأنزيمي بواسطة إنزيمين في الجهاز الهضمي: البيبسين و البنكرياتين.

أظهر فحص مجموع البروتين لعينتي الحليب محتويات بروتين متشابهة ، $27 \pm 0,001$ جم / لتر لحليب الأبقار و $30 \pm 0,47$ جم / لتر للإبل.

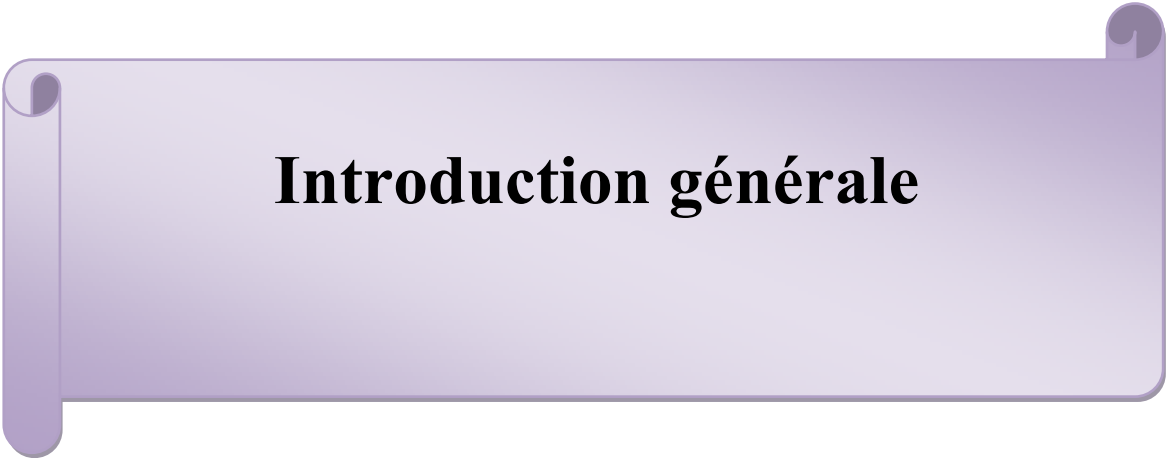
كشفت المقاطع الكهربائية التي تم الحصول عليها بواسطة PAGE-SDS عن وجود بروتينات متماثلة بين أنواع الأبقار والكاميلينا (α -lactalbumin ، وألبومين مصل البقر ، وألبومين مصل الإبل) باستثناء حليب الإبل الذي يفتقر إلى β -lactoglobulin.

كشفت دراسة الحركة الأنزيمية عن سلوكيات مختلفة من بروتينات التحلل المائي للأنواع المدروسة ، فيما يتعلق بعمل البيبسين والبنكريسين.

في نهاية فترة الحضانه ، أظهر لبن الإبل درجة من التحلل المائي $2,53 \pm 0,0035\%$ ، أعلى من حليب الأبقار الذي أظهر درجة سهمية $2,39 \pm 0,0004\%$.

تم تحديد نشاط مضادات الأكسدة عن طريق اختبار DPPH ومقايصة البوليفينول. أظهرت التحلل المائي لبروتين الإبل انخفاض مستويات DPPH المتبقية من محلات الأبقار ، $69,15 \pm 0,15\%$ مقارنة بـ $81,03 \pm 0,7392\%$ ، لكن حليب الإبل أظهر تركيزات بوليفينول أعلى من حليب الأبقار ، $9,5 \pm 0,018$ مجم / مل مقارنة بـ 7.608 ± 0.076 مجم / مل . تشير هذه النتائج إلى أن الببتيدات المشتقة من حليب الإبل تمتلك خصائص مضادة للأكسدة.

الكلمات المفتاحية: بقري / جمل / بروتينات كاملة / بيبسين / بنكرياتين / نشاط مضاد للأكسدة.



Introduction générale

Introduction générale

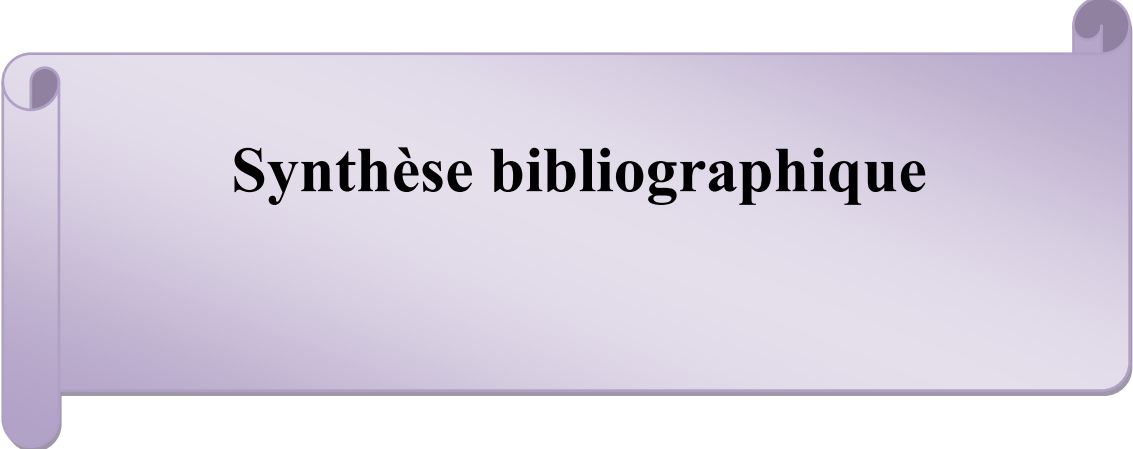
De part sa teneur en protéines, graisses et glucides, le lait représente un aliment presque complet en dehors de sa carence en fer et en certaines vitamines (C, B5, B8, B12), il permet un apport en proportions équilibrées, en macronutriments essentiels, en vitamines ainsi qu'en minéraux. C'est un aliment complexe contenant plusieurs molécules bioactives jouant un rôle important dans la régulation de plusieurs processus métaboliques.

Un grand nombre de peptides dérivés du lait se sont révélés être une bonne source d'antioxydants naturels. Les peptides bioactifs pourraient être libérés des protéines du lait par l'hydrolyse enzymatique, qui est le moyen le plus efficace pour générer des peptides avec de multiples activités biologiques comme les activités antioxydantes, antimicrobiennes, anticancéreuses et anti-inflammatoires. Par conséquent, les hydrolysats de protéines ont une large application dans l'industrie alimentaire.

Le lait de dromadaire se distingue du lait des autres espèces laitières par la composition et la structure de ses protéines, ce qui lui confère des propriétés fonctionnelles et bioactives différentes. De plus, le lait camelin est similaire au lait maternel car il contient de faibles quantités de caséine α et de quantité de caséine β , de lactoferrine et d' α -lactalbumine. Il est déficient également de β -lactoglobuline. De nombreuses études ont rapportées les propriétés médicinales du lait de dromadaire comme les capacités anticancéreuses, antibactériennes et antihypertensives ainsi que la capacité à réduire les symptômes de l'autisme.

Les propriétés biologiques et fonctionnelles des peptides obtenus à partir des protéines de lait de vache après hydrolyse enzymatique ont été largement étudiées. Récemment, les peptides bioactifs du lait de dromadaire ont suscité un grand intérêt. L'effet de l'hydrolyse enzymatique sur les activités antioxydantes du lactosérum, de la caséine ou de certaines protéines individuelles du lait de dromadaire a été rapporté. Cependant, les protéines entières du lait de dromadaire et leurs hydrolysats n'ont pas reçu d'attention concernant leurs propriétés biologiques.

Cette étude a pour objectif d'évaluer la capacité antioxydante des protéines entières du lait de chamelle et du lait de vache avant et après l'hydrolyse enzymatique par deux enzymes digestives : pepsine, pancréatine.



Synthèse bibliographique

1. Synthèse bibliographique

1.1. Aperçu sur le dromadaire

1.1.1. Elevage

Les dromadaires sont élevés selon les trois systèmes d'élevage existants : Sédentaire, nomade et transhumant. Compte tenu des zones écologiques dans lesquelles ils vivent, les deux derniers systèmes sont de loin les plus fréquents avec toutefois prédominance du mode transhumant.

➤ Elevage sédentaire

Les animaux peuvent faire quasiment autant de kilomètres par jour que s'ils étaient non sédentaires mais ils reviennent régulièrement et fréquemment à un même point fixe. Ce type d'élevage est pratiqué lorsque les ressources en eau nécessaires au pâturage et à l'abreuvement (dans des lieux proches) ne constituent pas un facteur limitant; ce dernier peut être alors d'ordre sanitaire, financier et technologique.

Les animaux sont souvent ramenés dans des parcs pour la nuit. On rencontre cet élevage lorsque la pluviométrie est supérieure à 400 mm dans l'année.

➤ Elevage nomade

Il se caractérise par les déplacements fréquents des éleveurs et de leurs troupeaux en fonction de la disponibilité des ressources. Le cheptel camelin n'a pas de camps établis. Les régions d'élevage nomade peuvent être isolées ou confluentes et les groupes familiaux se retrouvent plus ou moins séparés. La production suit un cycle saisonnier, on produit du lait, de la viande et de la laine.

➤ Système de transhumance

Ce système est caractérisé par les allers et retours effectués entre les différents pâturages par les groupes pastoraux ou les communautés à la recherche de terres qui ne leur appartiennent pas. Ce système de déplacement, que l'on appelle transhumance, s'effectue selon des axes préétablis et selon les périodes en cours. Les éleveurs se déplacent du sud vers le nord lorsque la saison des pluies commence pour déplacer les troupeaux des zones agricoles ou des zones inondées. Le cheptel camelin repart vers le sud lorsque les points d'eau s'assèchent et que les pâtures du nord s'épuisent. C'est pendant la saison sèche que les ressources pour les animaux sont les plus abondantes dans le sud (cours d'eau, pâtures nouvelles après que les inondations se retirent, herbe pérenne, cultures, sous-produits et résidus).

1.1.2. Effectif camelin

1.1.2.1. Effectif camelin dans le monde

Selon les statistiques de la FAOSTAT 2019, l'effectif camelin dans le monde atteint 348 29975 têtes en 2017, dont 26% de la population camelin mondiale est présent dans le monde arabe et 67% dans le continent africain.

1.1.2.2. Effectif camelin en Algérie

En Algérie, un pays dont plus de 80% de sa surface est un désert, le dromadaire est présent sur l'ensemble de ses régions naturelles du Sahara ainsi que la Steppe (Bekkouche, 2021), l'élevage camelin est une réalité au regard de son rôle social et

économique primordial et a toujours été associé aux formes de vie dans ces zones là (Senoussi, 2012), surtout qu'il joue un rôle important dans l'optique de la sécurité alimentaire des communautés natives (Meguellati et Kanoun, 2018).

Malgré cette importance, le troupeau camelin national a évolué d'une manière très irrégulière jusqu'à l'aube des années 2000 connaissant un nouvel élan où les effectifs ont pratiquement doublé en l'espace de 20 ans pour atteindre les 416519 têtes en 2018 (FAO STAT, 2021) (Tableau I).

Il faut aussi noter qu'au titre de l'année 2018, l'effectif en cheptel camelin est estimé à 417322 têtes, soit une progression de 9% par rapport à 2017. Cette hausse est essentiellement attribuée à l'augmentation des chamelles qui sont passées de 207884 têtes en 2017 pour s'établir à 250404 têtes en 2018, soit un taux de croissance de 20% (Office National des Statistiques à l'usage des utilisateurs de l'information agricole, 2018).

Tableau I : Le cheptel camelin pendant la période de 2016-2018 (Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche).

	2016	2017	2018
Chamelles	213 987	207 884	250 404
Autres	165 107	173 998	166 918
Total camelins	379 094	381 882	417 322

Le cheptel camelin en Algérie est reparti entre 17 wilayas (Figure 1) (MADRP, 2018), dont:

- 90,86 % de cheptel camelin dans 8 wilayas sahariennes (Ouargla, Ghardaïa, El-Oued, Tamanrasset, Illizi, Adrar, Tindouf, Béchar).
- 9,14 % dans 42 wilayat steppiques (Biskra, Tébessa, Khenchela, Batna, Djelfa, ElBayad, Naâma, Laghouat et M'sila, Saida, Médéa, Tiaret).

Par ailleurs, trois wilayas du sud constituent le pôle le plus important de l'élevage camelin en Algérie, à savoir Tamanrasset, Adrar et Tindouf.

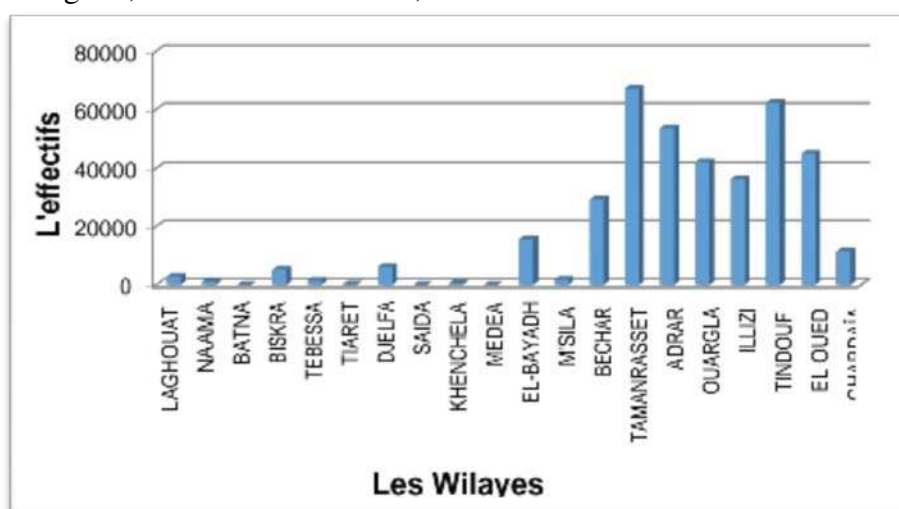


Figure 1: L'effectif camelin dans les Wilayas d'Algérie durant l'année 2017.

1.1.3. Les races

Selon Ben Aissa (1989), Bouregueba et Lounis (1993), les différentes races rencontrées en Algérie sont :

➤ **Dromadaires des steppes**: Les circonférences thoraciques et abdominales ne sont pas grandes, la taille est petite et peu des musculatures. Ce qui donne un animal qui ne supporte pas les grandes charges. Cette population cameline se caractérise par des poils qui sont les meilleurs du point de vu quantité et qualité par rapport aux autres populations en Algérie, et son aire de répartition se localise entre le Sahara septentrionale et la steppe.

➤ **Ouled Sid cheikh** : Les individus ont des tailles moyennes varies entre 1,80 m et 1,83 m, robustes et plus adaptés aux sols caillouteux que aux sols sableux. Ces poils sont de couleurs foncées, c'est un animal de selle. Son aire de répartition est les Hauts plateaux dans le Nord du Grand erg Occidental.

➤ **Chambi** : C'est un animal robuste et sa hauteur à l'épaule peut atteindre 1,65m. Les individus de cette population ce sont de très bons animaux de selle et de transport. Ils sont répandus comme les meilleurs par rapport aux autres concernant la production de viande. Son aire de répartition est très vaste, se localise entre les deux Grands Ergs (Occidental et Oriental).

➤ **Sahraoui** : C'est le résultat du croisement de la race Chambi avec celle d'Ouled sidi cheikh. Dromadaire d'une hauteur et largeur moyenne, dur et résistant, sa taille est de 1,85 m environ, les poils ont une longueur moyenne et parfois courte ondulée avec une couleur foncée, ils se trouvent au Sahara Centrale et le Grand Erg Occidental.

➤ **Ait khebach** : Animaux robustes généralement forts, présentant des muscles bien développés et les poils sont courts et ondulés avec une couleur foncée. Ils se localisent dans le Sud-ouest.

➤ **Reghibi** : Animaux de selle et de course, de taille moyenne. Les femelles sont des bonnes laitières par rapport aux autres populations camelines de l'Algérie, se trouvent au Sahara Nord Occidentale.

➤ **Barbari** : Se rapproche de Chaambi, mais son poids reste toujours inférieur à celui du Chaambi, se trouve entre le Sahara Nord Occidental et la steppe.

➤ **Targui** : Il est de qualité supérieure. Les dromadaires targuis sont des animaux habitués aussi bien au rude climat du tassili et du massif central du Hoggar, qu'au sable et aux Tanezrouft qui entourent leurs montagnes.

➤ **Ajjer** : Animaux de petites tailles adaptées à la montée. Ils sont utilisés pour le transport et le tourisme.

➤ **Aftouth** : Animal de viande, se trouve dans la région de réguibet (Tindouf).

1.1.4. La production laitière

1.1.4.1. La production laitière dans le monde

La production effective de lait camelin à l'échelle mondiale est très mal renseignée pour de multiples raisons : faible intégration au marché jusqu'à une époque récente, éloignement des bassins de production avec difficulté d'accès aux bassins de consommation, faible part des produits transformés et surtout importance de l'autoconsommation (Konuspayeva *et al*, 2021).

La production du lait camelin dans le monde estimée par la FAO a été multipliée par cinq depuis 1962 (FAOSTAT, 2021). Même si qu'elle a connu un certain déclin dans la période de 2010-2014 (Figure 2), les chiffres ont vite repris leurs trajectoires initiales d'augmentation.

Cette envolée correspond à un taux de croissance annuel de 7 %, soit plus du double du taux de croissance du lait de vache, et plus du triple du taux de croissance du lait de petits ruminants (FAOSTAT, 2021).

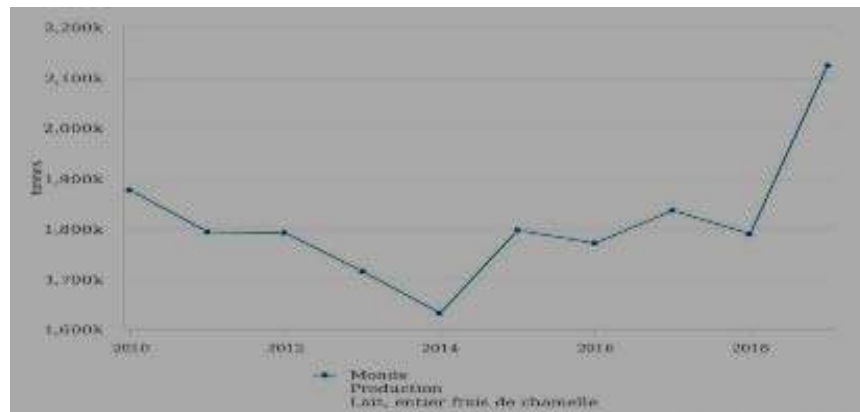


Figure 2: Taux de production annuelle de lait camelin dans le monde pendant la période 2010-2018(FAOSTAT, 2022).

1.1.4.2. La production laitière en Algérie

L'industrie de la production laitière cameline semble connaître ces dernières années une augmentation graduelle dans ces chiffres, augmentant chaque année depuis 2014 de ± 500 tonnes (Figure 3).

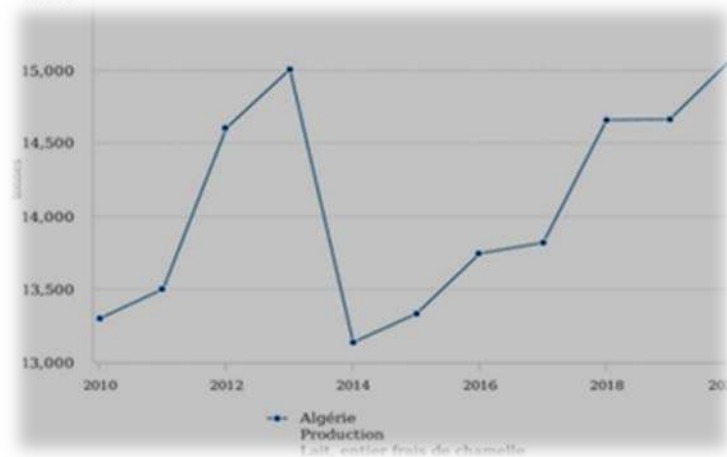


Figure 3 : Taux de production annuelle du lait camelin en Algérie pendant la période 2010-2020, (FAOSTAT 2022).

1.2. Aperçu sur le cheptel bovin

1.2.1. Les systèmes d'élevage

L'élevage bovin est caractérisé par l'existence de deux systèmes productifs, l'un intensif basé sur des races importées à haut potentiel génétique et l'autre extensif comportant des races locales. Entre les deux systèmes, nous pouvons trouver des chevauchements et de ce fait nous pouvons parler du mode semi-intensif et semi-extensif.

➤ **Semi-intensif** : le troupeau est conduit en extensif dans une courte période de l'année (printemps généralement) vue l'abondance de l'alimentation à l'extérieur.

➤ **Semi-extensif** : le troupeau est conduit en intensif dans une période de l'année à cause des mauvaises conditions climatiques (l'hiver généralement).

➤ **Le système intensif** : situé dans les zones potentielles de production fourragère, au niveau des plaines et des périmètres irrigués. Cet élevage détenu dans sa majorité par le secteur public et il est constitué de diverses races bovines importées, qui sont spécialisées principalement dans la production laitière.

➤ **Le système extensif** : localisé dans les collines et les zones de montagne, il renferme la race locale dénommée « brune de l'Atlas » et les croisements de cette race avec les races d'importations. Il est pratiqué par le secteur privé assurant une production mixte (lait et viande).

1.2.2. Effectif du cheptel bovin

1.2.2.1. Effectif bovin dans le monde

L'Inde est classée à la première place par sa population bovine (305 millions de têtes dont 129 millions de vaches laitières), suivie par le Brésil (223 millions de têtes) et la Chine avec 98 millions de têtes (Tableau II).

Tableau II : Le cheptel bovin dans certains pays du monde en 2018 (Maigret, 2019).

Pays	Total bovins (millions de têtes)	Vaches laitières
Inde	305	129
Brésil	223	24
Chine	98	7
USA	94	9
UE a 28	88	23
Argentine	55	2
Australie	27	2
Russie	20	7

1.2.2.2. Effectif du cheptel bovin en Algérie

La croissance du cheptel bovin en Algérie a été toujours faible, ceci est dû selon plusieurs auteurs à plusieurs facteurs, principalement l'environnement, le matériel animal et la politique de l'Etat depuis l'indépendance (Kharzat, 2006 ; Mouffok, 2007 ; Souki, 2009). Selon le MADR (2018), le cheptel bovin a connu une évolution progressive qui a passé de 1 607 890 têtes en 2006 à 2 171 633 têtes en 2017 (Tableau III).

Tableau III: Evolution du cheptel bovin en Algérie entre 2006 et 2017 (MADR, 2018)

Année	Effectif total	Effectif de vache laitière
2006	1607890	847640
2007	1633810	859970
2008	1440730	853523
2009	1682433	882282
2010	1747700	915400
2011	1790140	940690
2012	1843930	966097
2013	1909455	1008575
2014	2049652	1051052
2015	2107000	1107000
2016	2100000	1000000
2017	2171633	971633

Selon les données du ministère de l'agriculture (2018), l'élevage bovin en Algérie reste concentré dans le nord du pays où il représente 92% de l'effectif total. Il prédomine à l'Est avec 63%, suivi de l'Ouest avec 26%, au sud et au centre avec respectivement 8% et 3% (tableau IV). Cette concentration est due principalement à la répartition des superficies fourragères au niveau du territoire national.

Tableau IV : Répartition géographique des bovins en Algérie (MADR 2018)

Région	Effectif (tête)	Pourcentage (%)
Centre	54034	3
Ouest	496116	26
Est	1190945	63
Sud	154031	8
Total	1895126	100

1.2.3. Les races

Cette liste de races bovines autochtones et allochtones, représentée dans le tableau V correspond à celles répertoriées par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

Tableau V: Les races bovines autochtones et allochtones en Algérie (FAO, 2019)

Origine des races	Races	Production	Région
Race autochtone	Brune de l'Atlas	Mixte	Nord-est du pays
	Chelifienne	Mixte	Massif de Dahra
	Guelmoise	Mixte	Wilaya de Guelma et Jijel
	Cheurfa	Mixte	Wilaya d'Annaba
	Sétifienne	Mixte	Monts de Babors
	Holstein	Laitière	
Races introduites en province d'autres pays	Française frisonne pie noir	Laitière	
	Pie rouge des plaines	Laitière	
	Montbéliarde	Laitière	
	Tarentaise	Laitière	
	Simmental	Laitière	

1.2.4. La production laitière

1.2.4.1. Production laitière dans le monde

L'UE et l'Inde sont les premiers pays producteurs du lait de vache dans le monde, leur production est estimée à 167 millions de tonnes de lait. Vient ensuite l'USA avec 98,7 millions de tonnes de lait et le Brésil avec 35,4 millions de tonnes (figure 4).

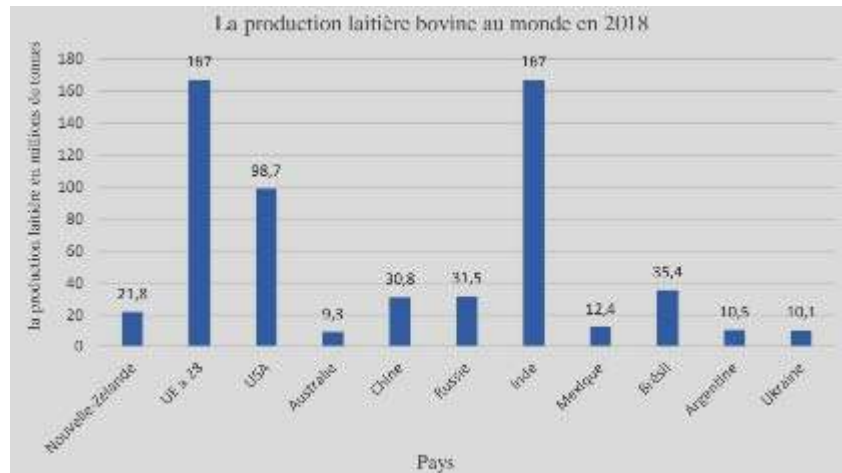


Figure 4 : La production laitière bovine dans le monde en 2018 en millions de tonnes de lait (Maigret, 2019).

1.2.4.2. Production laitière en Algérie

La production laitière en Algérie provient des vaches laitières pour la quasi-totalité (Achemaoui et Bendahmane, 2017), mais la principale contrainte actuelle de cette production est l'insuffisance des ressources fourragères (Makhlouf *et al*, 2016).

L'évolution de la production nationale de lait selon la FAO, durant les dix années comprises entre 2007 et 2017 a connu une progression remarquable entre 2007 et 2014 passant de 2 184 846 à 3 548 825 tonnes de lait (Figure 5). Cette progression dû est principalement à l'importation des vaches laitières et à l'évolution notable de la structure des élevages bien conduits.

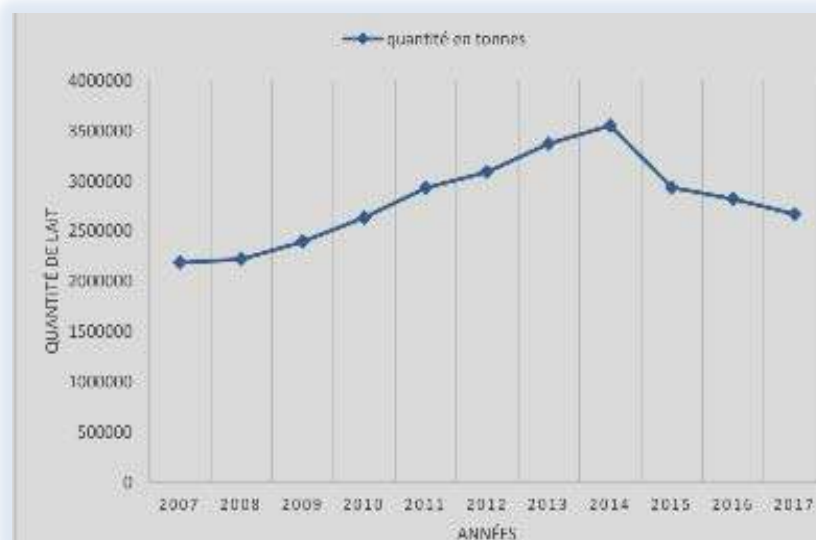


Figure 5 : L'évolution de la production laitière bovine nationale (FAO, 2019).

1.3. Caractéristiques physico-chimiques des laits bovin et camelin

Le lait de chamelle est généralement blanc (Yagil, 1982 ; Al Haj et Al Kanhal, 2010) contrairement au lait bovin ayant une couleur un peu jaunâtre due à sa richesse en matières grasses et en β -carotène (la vache transforme β -carotène en vitamine A qui passe directement dans le lait) (Laure et Cazet, 2007). Il a une saveur douce (Farah, 2004) et forte, avec un goût légèrement salé (Mal et Pathak, 2010) alors que le lait bovin, il est légèrement sucré dû au taux important du lactose. La saveur et la couleur évoluent en fonction de l'alimentation de l'animal et de la disponibilité de l'eau potable (Siboukeur, 2007).

La densité de lait de chamelle à 15°C oscille entre 0,99 et 1,034, contre 1,028 à 1,035 pour le lait bovin. Sa viscosité moyenne à 20°C est de 1,72 mPa.s et elle est toutefois inférieure à celle du lait de vache qui est de 2,04 mPa.s dans les mêmes conditions (Kherouatou *et al*, 2003).

Le pH du lait camelin frais se situe entre 6,0 et 6,7 (Khaskheli *et al*, 2005), un peu acide par rapport à celui du lait bovin possédant une valeur qui se situe entre 6,6 et 6,8. Le lait de dromadaire a une acidité Dornic de 14,66 °D (Ghennam *et al*, 2007), plus faible que le lait de vache ayant une acidité comprise entre 15 et 18 °D (Debouz *et al*, 2014).

Le point de congélation du lait de chamelle est évalué entre -0,57 °C et -0,61 °C (Wangoh, 1997). Il est inférieur à celui du lait de vache, qui se situe entre -0,51 °C et -0,56 °C.

1.3.2. Comparaison de la valeur nutritionnelle

Le lait de chamelle et le lait bovin fournissent tous les deux différents composants nutritionnels tels que les vitamines, les minéraux et les acides aminés essentiels. Cependant, quelques différences quantitatives et qualitatives entre ces deux laits sont constatées, les discordances remarquées sont présentées ci-dessous :

- **Vitamines hydrosolubles et liposolubles**

Les vitamines A, C, D, E et B se présentent avec une teneur globale d'environ 3,7 g/L dans le lait camelin (Mehaia, 1995). Ce dernier se distingue par sa grande quantité en vitamines B3 (niacine) ainsi qu'en vitamine C dont la teneur est cinq fois supérieure à celle du lait bovin (24-52mg/L) (Sawaya *et al*, 1984 ; Farah *et al*, 1992 ; Hadaddin *et al*, 2008) et qui constitue un apport nutritionnel important pour les personnes vivant dans les zones désertiques où les fruits et légumes ne sont pas disponibles.

- **Minéraux**

Comme le lait de vache, le lait de chamelle est une source importante de divers minéraux, en particulier le calcium, le magnésium, le potassium, le phosphore et le sodium (Al-Awadi et Strikumar, 2001). La teneur totale en minéraux varie entre 6 et 9 g/L avec une valeur moyenne de 7,9 g/L et 7 g/L pour le lait de chamelle et le lait de bovin, respectivement. La teneur en Ca, Mg et P du lait de chamelle est similaire à celle du lait

bovin. Alors que les minéraux Na, Fe, K, Mn et Cu dans le lait de chamelle sont significativement plus élevés que dans le lait de bovin.

- **La matière grasse**

La teneur en lipides du lait de chamelle est d'environ 3,5 %. Des travaux antérieurs ont rapporté que la matière grasse du lait de chamelle contient une plus grande quantité d'acides gras à longue chaîne (C14-C22) et une quantité plus faible d'acides gras à chaîne courte par rapport au lait de bovin (Konuspayeva *et al*, 2008). De plus, il contient plus d'acides gras insaturés que le lait bovin, en particulier les acides gras essentiels (Hadaddin *et al*, 2007). Cependant, la teneur moyenne en cholestérol de la matière grasse du lait de chamelle (~ 34,5 mg/100 g) est supérieure à la teneur en cholestérol du lait de vache (~ 25,6 mg/100 g).

- **Le lactose**

Le lactose constitue le sucre principal dans le lait. Sa concentration dans le lait camelin varie de 2,8 à 5,8% (Yagil, 1982 ; Farah, 1996), il est plus faible que le lait de vache où il constitue 5%.

1.3.3. Fraction protéique

La fraction protéique constitue 3,5% de la composition totale du lait de vache et 3,1% de celle du lait de chamelle. Cette fraction est répartie en deux groupes majeurs : les caséines qui constituent approximativement 80% (29,5 g/L) et les protéines de lactosérum aussi dites protéines sériques qui présentent 20% (6,3 g/L).

Les caséines se trouvent sous forme micellaire. Les différentes caséines s'associent entre elles pour donner des submicelles qui à leur tour s'associent pour donner les micelles de caseines.

La micelle de caséine est composée de 93% de protéines et de 7% de minéraux principalement du phosphate du calcium (Ould Eleya, 1996).

Le tableau VI résume les différentes caractéristiques physico-chimiques des caséines du lait bovin et du lait camelin.

Tableau VI : Les caractéristiques physico-chimiques descaséines du lait de vache et du lait de chamelle (Kappeller *et al*, 1998 ; Ochirkhuyag *et al*, 1997).

	Concentrations g/L		PM (kDa)		pHi		Nbre aa		Propriétés
	LB	LC	LB	LC	LB	LC	LB	LC	
α_{s1}	12-15	5	22,97	24,27	4,26	4,41	199	207	Peptides opioïdes, hypotensifs et antibactériens
α_{s2}	9-11	9-12	24,34	21,26	4,78	4,58	207	178	Peptides mitogènes
β	9-11	19-28	23,58	24,65	4,49	4,76	209	217	Propriétés anxiolytiques, immunostimulantes et immunosuppressives
κ	3-4	4-5	18,97	18,25	3,97	4,11	169	162	Coagulation du lait

Les caséines camelines sont caractérisées par des proportions protéiques différentes par rapport au lait bovin. Le lait de chamelle présente des quantités plus élevées en β -caséine allant jusqu'à 65% des protéines totales (Kappeller *et al*, 1998), comparativement au lait bovin (37%). Le pourcentage élevé de β -caséine reflète un taux de digestibilité plus élevé du lait de chamelle et une incidence plus faible d'allergie chez les nourrissons; en effet, la β -caséine est plus sensible à l'hydrolyse peptique que la α -caséine (Sadat *et al*, 2011). La fraction caséinique cameline est caractérisée par des quantités de κ -caséine et α_{s1} -caséine plus faibles que celles du lait de vache.

Les séroprotéines sont des protéines qui restent solubles suite à la précipitation des caséines après un traitement enzymatique ou une acidification (Cayot et Lorient, 1998). Leur distribution dans le lait diffère d'une espèce à une autre.

Le tableau VII résume les différentes caractéristiques physico-chimiques des protéines sériques composant le lait bovin et le lait camelin.

Tableau VII : Les caractéristiques physico-chimiques des protéines sériques du lait de vache et du lait de chamelle (Kappeller *et al*, 1998 ; Ochirkhuyag *et al*, 1998 ; El Agamy *et al*, 1996 ; Beg *et al*, 1987).

	Concentrations		PM (kDa)		pHi		Nbre aa	
	LB	LC	LB	LC	LB	LC	LB	LC
Albumine sérique	0,4mg/l	8,5 mg/ml	66,2	69,6	n.d	4,3- 4,9	582	583
α-lac	0,6-1g/l	2,2mg/ml	14.2	14	5.1-5.3	4,2- 4, 5	123	123
β-lact	2,5-3 g/l	traces	18	n.d		n.d	162	n.d
Lactoferrine	140mg/ml	220 mg/l	75,25	76,14	8,5	8,14	689	689
Lactoperoxydase	30mg/l	n.d	69,56	78	7,9	8,63	612	612
Lysozyme	7 μ g/100 ml	15 μ g/100 ml	14,4	n.d	10,2	n.d	129	n.d
Peptidoglycan recognition protein (PGRP)	n.d	370mg/l	n.d	19 ,11	n.d	8.73	n.d	172
WheyAcidicProtein(WAP)	n.d	157 mg/l	n.d	12 ,56	n.d	4,7	n.d	117

LB :lait bovin,LC : lait camelin, n.d :non déterminé, α -lac : α -lactalbumine, β -lact : β -lactoglobuline

Le lactosérum de chamelle est totalement dépourvu de la β -lactoglobuline qui est la principale protéine du lactosérum du lait bovin représentant plus de 50% du total des protéines de lactosérum bovin (El Agamy *et al*, 2009). Alors que pour le lait de chamelle, la α -lactalbumine est la principale protéine de lactosérum (Beg *et al*, 1985) représentant 72,8% des protéines sériques camelines, suivie de l'albumine sérique (7,8%) et de la lactoferrine (4,1%). La α -lactalbumine cameline serait plus nutritive que son homologue bovine. En effet, elle possède une forte concentration en acides aminés essentiels notamment des résidus Trp, Cys et Lys. La α -lactalbumine cameline et bovine contiennent respectivement 21,6 % et 19,6 % de ces résidus d'acides aminés (Farrell *et al*, 2004).

Il faut noter que la lactoperoxydase cameline est considérée comme étant hautement plus thermorésistante que celle du lait bovin (El-Agamy *et al*, 1996).

La concentration en lysozyme représente également une différence entre les deux laits, cette dernière étant plus élevée dans le lait camelin (El-Agamy *et al*, 1996 ; Korhonen, 1977).

En plus de ces protéines connues, les chercheurs ont détecté la présence dans le lait camelin d'autres fractions qui n'ayant leurs équivalents dans le lait de vache, c'est le cas du Peptidoglycan recognition protein (PGRP) qui est une protéine spécifique au lait camelin constituée de 172 résidus d'acides aminés avec un poids moléculaire de 19,1 kDa (Kappeller, 1998). Elle possède des propriétés antimicrobiennes dues à sa capacité inhibitrice de la synthèse des peptidoglycane bactérien (Lu *et al*, 2006).

La WheyAcidicProtein (WAP) est également une protéine retrouvée exclusivement dans le lait camelin, comme son nom l'indique, est une protéine à caractère acide avec un pHi de 4,7. Elle est constituée de 117 acides aminés avec une masse moléculaire de 12,564 kDa (Simpson et Nicholas, 2002).

A ces deux protéines s'ajoute la CWBP (Camel whey basic protein), c'est une protéine basique de 20kDa possédant un pHi de 9,30.

1.4. Les enzymes digestives

1.4.1. La Pepsine

Parmi les composants du suc gastrique, la pepsine est la principale enzyme jouant un rôle dans la digestion des protéines. C'est une endopeptidase faisant partie de la famille des protéases aspartiques sécrétées par les cellules de la muqueuse gastrique sous une forme inactive dite pepsinogène. Elle est activée uniquement par un environnement acide assuré par l'acide chlorhydrique.

La pepsine est un monomère à deux domaines contenant 43 résidus acides aminés avec une masse moléculaire de 34,5 kDa. Le site catalytique de cette enzyme (Figure 6) est formé de deux résidus aspartate, Asp32 et Asp215, l'un doit être protoné et l'autre déprotoné pour que la protéine soit active, cela se produit dans un pH acide entre 1 et 5 (Allen et Flemstrom, 2005). Après son activation, la pepsine clive les liaisons peptidiques du côté amino-terminal des résidus d'acides aminés cycliques (tyrosine, phénylalanine et tryptophane), brisant les chaînes polypeptidiques en peptides plus petits (Heda *et al*, 2022).

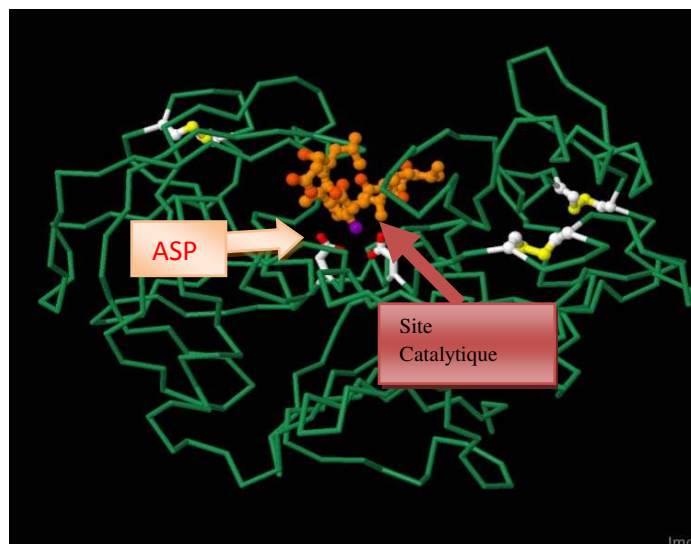


Figure 6 : Structure d'une molécule de pepsine et son site actif mis en évidence par les atomes d'oxygène (Sidikou *et al*, 2005).

1.4.2. La pancréatine

La pancréatine est un complexe enzymatique combinant plusieurs enzymes et obtenu par lyophilisation du suc gastrique, elle possède des activités protéolytiques, lipolytiques et amylolytiques, ceci est en raison des différentes enzymes qu'elle contient. Son action protéolytique revient aux protéases qu'elle renferme qui sont la trypsine et la chymotrypsine

➤ La trypsine

C'est une protéase à sérine contenant 247 résidus d'acides aminés et une masse moléculaire de 26 558 Da. Comme toutes les protéases à sérine, la trypsine possède une triade catalytique composée des chaînes latérales de trois acides aminés (Figure 7) : une sérine (Ser-195), une histidine (His-57) et un aspartate (Asp-102). Son activité optimale est à pH 7 ou elle clive les liaisons peptidiques des acides aminés basiques du côté C-terminal.

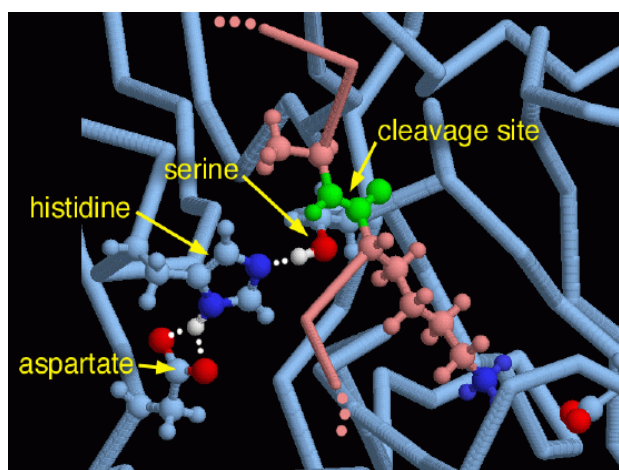


Figure 7 : Site catalytique de la trypsine (Goodsell, 2003).

➤ La chymosine

C'est une endopeptidase spécifique à la caséine, elle clive la liaison Phe(105)–Met(106), donc entre une phénylalanine et une méthionine de la caséine κ , et la liaison 23-24 (donc entre deux phénylalanines) de la caséine α S1. L'hydrolyse se produit à pH acide compris entre 3,5 et 4. La plus connue et la mieux caractérisée est celle extraite des caillètes de veaux. C'est un polypeptide à chaîne unique (Figure 8) contenant 323 résidus d'acides aminés avec une masse moléculaire de 35,6 kDa (Williams, 2005).

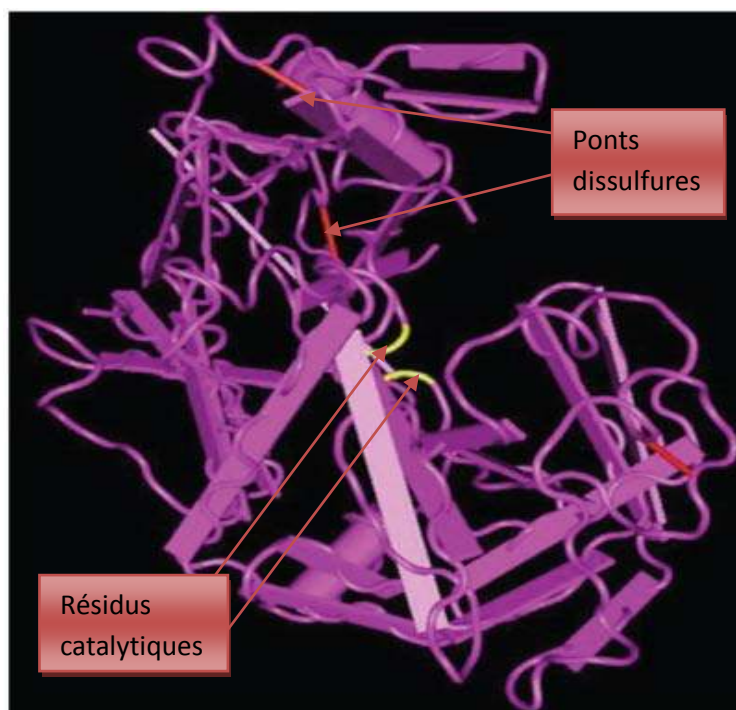


Figure 8 : Structure tridimensionnelle de la chymosine (Yegin et Dekker,2013)

1.5. Les peptides du lait à activité biologique

1.5.1. Définition

La génération des peptides peut être induite de plusieurs manières, par hydrolyse enzymatique ou fermentation microbienne *in vitro*, comme elle peut être induite *in vivo* par des enzymes digestives comme la trypsine et la chymosine. De nombreux effets bénéfiques pour la santé ont été attribués aux peptides bioactifs dérivés de la protéolyse enzymatique des protéines laitières, notamment des effets anti thrombotiques, antihypertenseurs, anti-inflammatoire, anti-oxydantes et antimicrobiens (Figure 9).

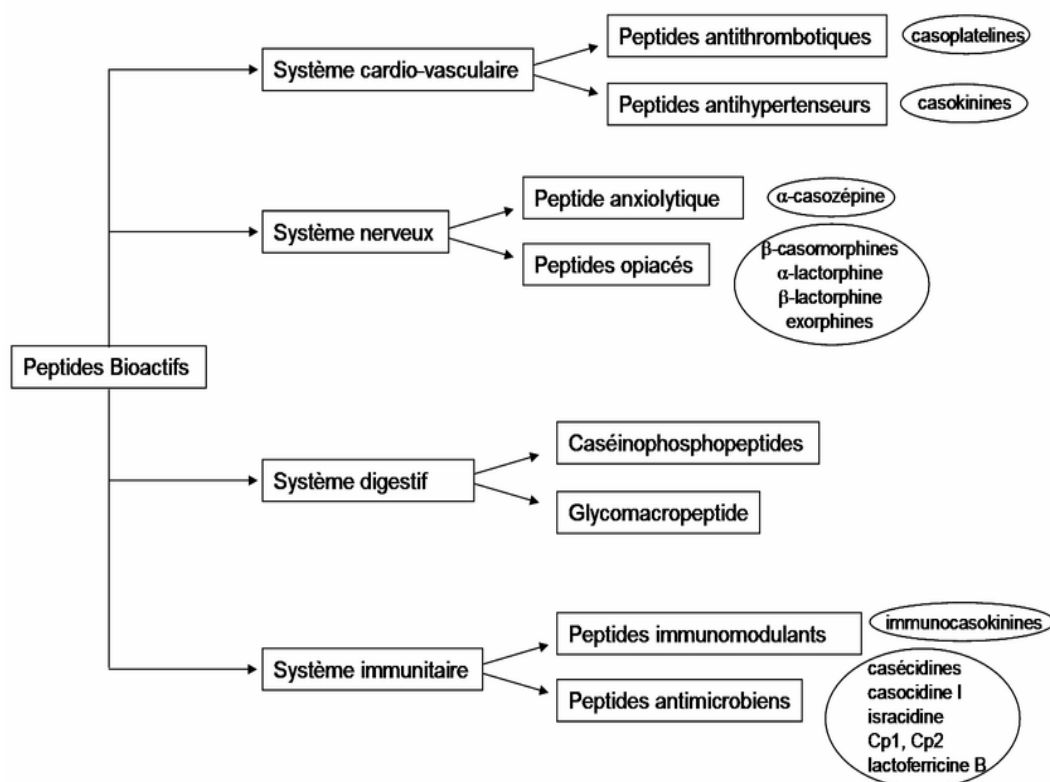


Figure 9 : Les peptides bioactifs dérivés du lait et leurs diverses fonctionnalités (Korhonen et Pihlanto, 2003).

1.5.2. Peptides à activité opiacée

Les peptides d'origine alimentaire à activité opioïde ont été découverts pour la première fois à la fin des années 1970 et ont été appelés exorphines sur la base de leur similitude structurale avec les ligands endogènes (endorphines et enképhalines), qui interagissent avec les récepteurs opioïdes des récepteurs δ -, μ - ou de type κ . Le motif structural commun présenté par les ligands endogènes et exogènes est un résidu tyrosine N-terminal (à l'exception des opioïdes α -caséine) et la présence d'un autre résidu aromatique en troisième ou quatrième position à partir de l'extrémité N-terminale (Phe ou Tyr).

Les casomorphines semblent être impliquées dans la régulation des fonctions de l'intestin et améliorent l'absorption d'eau et d'électrolytes ralentissant par la suite le transit intestinal du carillon et agissant ainsi comme un agent antidiarrhéique. Henchen *et al* (1979) ont attribué l'enchaînement 60-66 de la caséine bovine dénommée β -casomorphine 7 la séquence Tyr-Pro-Phe-Gly-Pro-Ile.

Il est à noter que les exomorphines sont généralement présents dans la séquences des deux principales protéines du lactosérum : l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline (Maubois et Léonil, 1994).

1.5.3. Peptides à activité anti hypertensive

L'un des effets les plus connus des peptides bioactifs est leur influence sur la pression sanguine. Cette activité a été observée principalement pour les casoquinines issues de

caséines alpha et beta, ainsi les lactoquinines provenant de l'alpha-lactalbumine et de la beta-lactoglobuline. Les lactoquinines agissent sur le système rénine-angiotensine-aldostérone ainsi que sur le système callicréine-quinine, deux importants mécanismes intervenant dans la régulation de la pression sanguine. Le peptide bioactif inhibe ici l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ACE), si bien que l'angiotensine I inactive ne peut pas être transformée en angiotensine II, la forme active vasoconstrictrice. Par ailleurs, le peptide bioactif empêche l'inactivation de la bradyquinine, qui continue ainsi de déployer son effet vasodilatateur (Walther, 2006).

Parmi les séquences peptidiques inhibitrices de l'ACE, on cite le CEI 12 qui est le segment 23-34 de la caséine α S1 avec l'enchaînement :Phe-Phe-Val-Ala-Pro-Phe-Pro-Glu-Val-Phe-Gly-Lys (Léonil, 2014).

1.5.4. Peptides à activité immunomodulatrice

De nombreux peptides immunomodulateurs ont été trouvés dans le lait avec des effets sur des types de cellules immunitaires. Le mécanisme par lequel les peptides dérivés du lait exercent leurs activités immunomodulatrices n'est pas encore clair, mais il a été suggéré que la présence d'arginine dans la région N- ou C-terminale des peptides bioactifs pourrait être importante pour cette activité.

Il a été démontré que la prolifération des lymphocytes est modulée par un certain nombre de composants du lait tels que des peptides dérivés de α - β - κ -caséine, des protéines de lactosérum et de la lactoferrine. En particulier, les séquences Tyr-Gly et Tyr-Gly-Gly ont significativement amélioré la prolifération des lymphocytes.

La lactoferrine et les peptides dérivés ont également montré une activité immunomodulatrice en inhibant la granulopoïèse et la production d'anticorps, et en régulant l'activité des cellules tueuses naturelles (Gokhale et Satyanarayanan, 2014).

Fait intéressant, les peptides inhibiteurs de l'enzyme de conversion de l'angiotensine ont été impliqués dans la stimulation du système immunitaire, car l'inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine augmente les concentrations de bradykinine qui, à leur tour, stimulent les macrophages et améliorent la migration des lymphocytes et la sécrétion de lymphokines. (Maubois et Léonil, 1989).

1.5.5. Peptides à activité antioxydante

Il a été démontré que la consommation d'antioxydants alimentaires, contenant par exemple de la vitamine C, des polyphénols et des caroténoïdes, réduit le stress oxydatif en renforçant les défenses antioxydantes naturelles. De récentes études *in vitro* ont montré que les peptides du lait issus de la caséine et des protéines du lactosérum sont une source de peptides antioxydants comme, par exemple, le peptide YFYPEL (Tyr-Phe-Tyr-Pro-Glu-Leu), un hexapeptide généré par l'hydrolyse par la pepsine de la caséine bovine qui piège les radicaux superoxydes (Maubois et Léonil, 1994). La puissance de l'activité antioxydante des peptides bioactifs a été attribuée à la teneur en acides aminés spécifiques, en particulier à des quantités élevées d'histidine, qui a des capacités de piégeage et de chélation des peroxy-radicaux et aux acides aminés hydrophobes qui augmentent l'accessibilité des peptides aux cibles hydrophobes (Taj Khan *et al*, 2019).



Partie expérimentale

La partie expérimentale de cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire de biochimie du département de Biochimie et de Microbiologie de l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

2. Partie expérimentale

2.1- Matériel

2.1.1-Matière première

L'échantillon de lait de chamelle utilisé dans notre étude provient d'un troupeau de chameaux de la wilaya de Djelfa et celui du lait de vache provient de la région de Mekla de la wilaya de Tizi Ouzou, les deux laits sont collectés au cours de l'année 2022. Les laits sont acheminés au laboratoire dans une glacière, après la mesure du pH, les laits sont fractionnés et congelés à -40°C .

2.1.2- Produits chimiques

- **Acides** : acide acétique, acide chlorhydrique, acide gallique.
- **Solvants** : glycérol, éthanol.
- **Sels et tampons** : carbonate de sodium, chlorure de sodium, sulfate de cuivre, tartrate double de sodium et de potassium, hydroxyde de sodium.
- **Colorants et réactifs spécifiques** : acrylamide, bleu de bromophénol, bleu de Coomassie R250, dodecyl sulfate de sodium, persulfate d'ammonium, réactif de FolinCiocalteu, β -mercaptoéthanol, tétraméthyléthylènediamine (TEMED), tris-(hydroxyméthyl)-aminométhane, 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH).

2.1.3- Matériel biologique

- Sérum albumine bovine (BSA).
- Kit pour étalonnage du gel d'électrophorèse en PAGE-SDS (gamme de PM : α -Lactalbumine (14kDa), β -Lactoglobuline (18kDa), Ovalbumine (45kDa), Albumine sérique bovine (67kDa).
- Pepsine extraite de l'estomac de porc 1436U/mg, BioChemika.
- Pancréatine (350U/g Protéase, 7500U/g Lipase, 7500U/g Amylase, MERCK)

2.1.4. Appareillage

- Balance de précision (0,01 mg) et balance analytique à affichage digital (0,01g) ;
- Spectrophotomètre UV-visible ;
- pHmètre ;
- Lyophilisateur ;
- Centrifugeuse réfrigérée, max 28000g
- Agitateur variés ;
- Bain-marie.

2.2. Méthodes

2.2.1. Mesure du pH

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

2.2.2. Ecrémage

L'écémage des deux laits a été effectué par centrifugation à 3 500g pendant 20 minutes à 4°C. La crème a été écartée par une spatule et le lait écrémé a été filtré afin d'éliminer la matière grasse résiduelle.

2.2.3. Dosage des protéines du lait

Le dosage des protéines des laits analysés est réalisé selon la méthode de Lowry *et al*, (1951). La méthode repose sur deux réactions différentes. La première réaction (réaction de Biuret) est la constitution d'un complexe d'ions de cuivre avec les liaisons amides, formant du cuivre réduit en solutions alcalines. La seconde réaction est la réduction du réactif Folin-Ciocalteu par les noyaux phénoliques des acides aminés (tyrosine, tryptophane, cystéine et histidine) donnant un composé bleu.

L'intensité de la couleur développée est proportionnelle à la concentration protéique, son absorbance est mesurée par spectrophotométrie à 750 nm.

La teneur en protéines des échantillons analysés est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage établie en utilisant l'Albumine Sérique Bovine (BSA) comme protéine étalon (Figure 10).

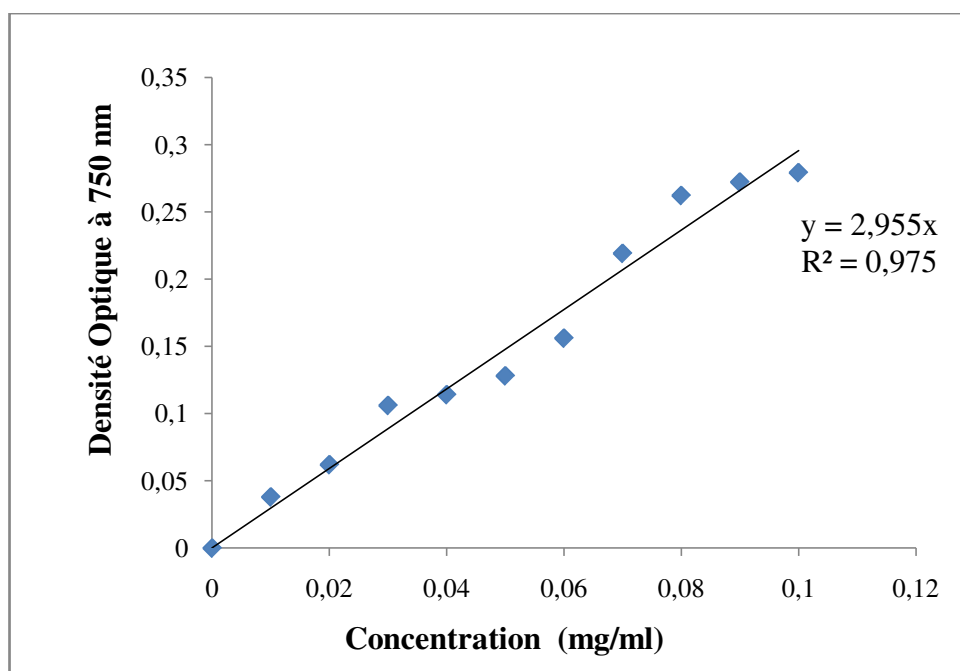


Figure 10: Courbe étalon du dosage des protéines par la méthode de LOWRY *et al* (1951). Albumine sérique bovine (BSA) utilisée comme protéine de référence.

2.2.2.3. Hydrolyse enzymatique

Les échantillons de lait de vache et de lait de chamelle écrémés ont été hydrolysés par le protocole décrit par Van Hekken *et al* (2017). A 37°C, 100ml de lait écrémé ont été dilués avec 50ml de liquide gastrique simulé contenant 0,2 % de NaCl et 0,32% de pepsine, le pH est ajusté à 1,5 avec du HCl 6N. Le mélange a été incubé à 37°C dans un bain-Marie et des

prélèvements de 5ml ont été effectués à 15, 30, 60 et 90 minutes. Le reste de l'hydrolysat a été ensuite dilué 1:1 avec du liquide intestinal simulé contenant 0,68% de KPO_4 et de la pancréatine, le pH a été ajusté à 6,80 avec du NaOH 0,2 N. Le mélange a été incubé une deuxième fois et des prélèvements ont été effectués à 0, 15, 30, 90 et 120 minutes. L'arrêt de l'hydrolyse se fait par chauffage à 100 °C pendant 5 minutes dans un bain Marie.

2.2.3. Méthode électrophorétique

- **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 migration distinctes selon leurs charges et leur poids moléculaire.

- **Electrophorèse sur gel de polyacrylamide en presence du SDS**

Le gel de polyacrylamide utilisé est le produit de la polymérisation de monomères d'acrylamide ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$) et d'un agent de pontage le N,N,N-tetraméthylènediamine (TEMED). 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, SDS) est rajouté dans le milieu (10%) avec un agent réducteur des ponts disulfures β -mercaptoéthanol, 4%) et un traitement thermique des échantillons à 100°C pendant 4-5min est effectué.

Le procédé adopté est celui décrit par Laemmli et Favre, (1973) qui utilise un système de tampons discontinus comprenant : tampon T1 (Tris/HCl, 0,125 M, pH 6,8 pour le gel de concentration (T= 4%, 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 10 μl . 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 trichloracétique (12%) pendant 45 min, puis colorées pendant 2 h par le bleu de Coomassie (0,2%). La décoloration du gel s'effectue dans des solutions (eau /méthanol/acide acétique, 3, 12, 1,5, 0,37). Un Kit de protéines de poids moléculaires connus est déposé sur l'un des puits. Le Kit comprend : L'albumine sérique bovine (67 000), l'ovalbumine (45 000), la β -Lactoglobuline (18 000) et l' α -Lactalbumine (14000).

2.2.4. Détermination du degré d'hydrolyse des protéines du lait

- **Principe**

Nous avons utilisé la méthode de Hoyle et Merritt (1994) qui nous a permis d'estimer le degré d'hydrolyse (DH) du lait. La quantité d'azote dans le surnageant est mesurée après précipitation à l'acide trichloroacétique (TCA) 20%. Ce dernier a pour rôle de précipiter les protéines non hydrolysées éventuellement présentes, donc le surnageant est supposé être composé uniquement d'acides aminés et de petits peptides. Le précipité est centrifugé et la teneur en azote dans le surnageant est ensuite déterminée.

- **Mode opératoire**

Un volume de 1 ml de chaque hydrolysats de lait est mélangé avec 1 ml de solution d'acide trichloracétique (TCA) à 20% et le mélange est incubé à 25°C pendant 30 min. Après incubation, le mélange est centrifugé à 10 000g pendant 10 min à 4°C pour obtenir 10% (m/v) de fraction TCA-soluble. Les protéines totales contenues dans la fraction TCA-soluble et les échantillons de lait sont déterminées par la méthode de Lowry *et al*, (1951). Le DH est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$DH = \frac{\text{azote soluble dans le surnagent TCA 10\%}}{\text{azote total}} \times 100$$

La teneur en protéines totales est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage établie en utilisant l'Albumine Sérique Bovine (BSA) comme protéine étalon (Figure 11).

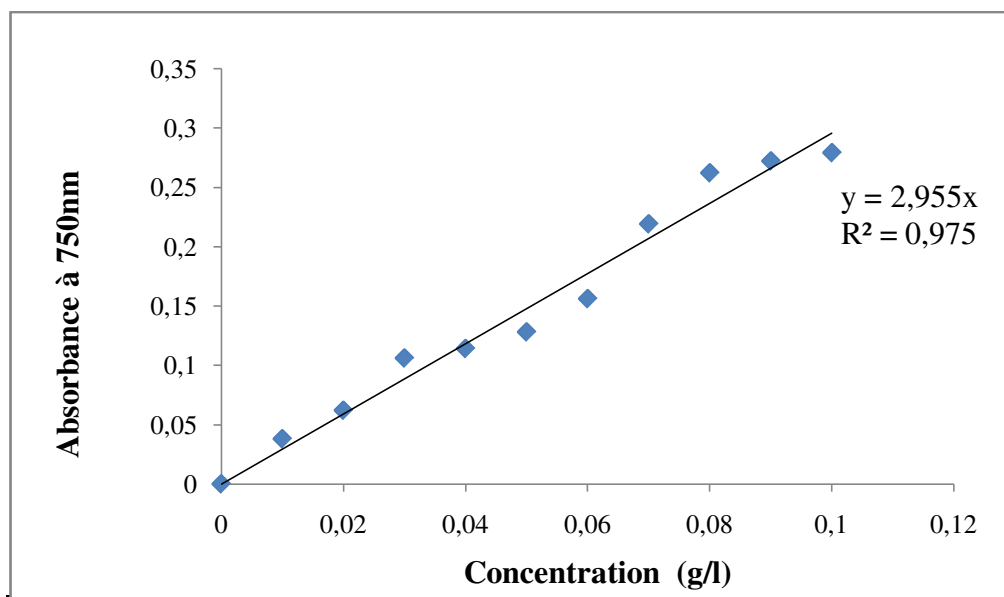


Figure 11: Courbe étalon du dosage des protéines par la méthode de LOWRY *et al* (1951). Albumine sérique bovine (BSA) comme protéine de référence.

2.2.5. Détermination de l'activité antioxydante

2.2.5.1. Test du 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

- **Principe**

Le test du DPPH est utilisé pour mesurer la capacité d'un antioxydant à réduire le radical chimique 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) par transfert d'hydrogène. Le DPPH réduit apparaîtra alors de couleur jaune pâle (Figure 12).

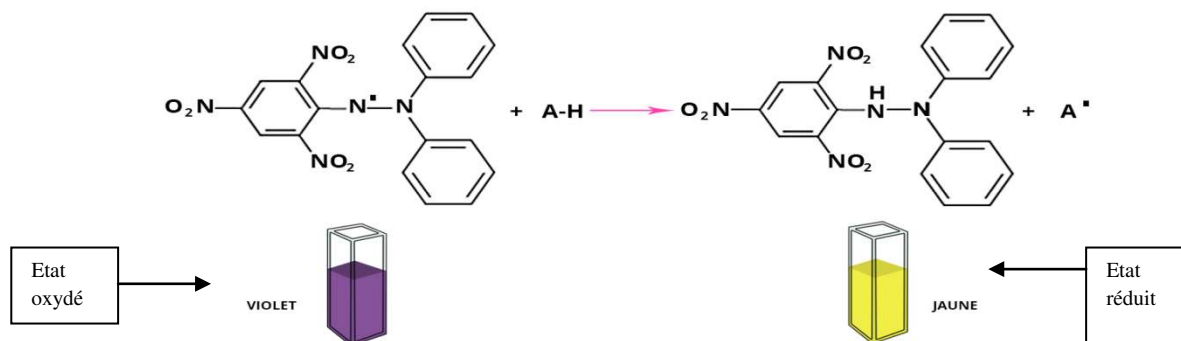


Figure 12 : Mécanisme de réduction du radical DPPH

- **Protocole**

Nous avons effectué le test selon le protocole décrit par Bersuder *et al* (1998). La préparation du réactif se fait en solubilisant le DPPH dans de l'éthanol à 0,01M. Nous rajoutons ensuite le réactif préparé aux échantillons et après homogénéisation, nous incubons pendant une heure à l'obscurité à température ambiante.

2.2.5.2. Dosage des polyphénols totaux dans le lait

Nous nous sommes intéressé à quantifier les polyphénols totaux contenus dans les deux échantillons, à savoir le lait écrémé de vache et celui de chamelle afin d'évaluer l'activité anti-oxydante. Le dosage des polyphénols totaux a été effectué en suivant la méthode de Singleton et Rossi (1965).

- **Principe**

Le réactif de Folin-Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleu de tungstène et de molybdène (Ribereau, 1968). La coloration produite, dont l'absorption maximum est à 765 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les hydrolysats des deux échantillons de lait (Ghazi et Sahraoui, 2005).

- **Mode opératoire**

Un volume de 100 μ l d'hydrolysate est mélangé avec 0,5 ml du réactif de Folin-Ciocalteu incubé pendant 3 min à température ambiante, puis 0,4ml de carbonate de sodium à 7,5% seront rajoutés. Le mélange est incubé à température ambiante pendant 2h à l'obscurité. La lecture est effectuée contre un blanc d'eau distillée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 765nm.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique (Figure13). Les résultats sont exprimés en milligramme (mg) équivalent d'acide gallique par litre d'échantillons de lait (Singleton et Rossi, 1965). Toutes les mesures sont répétées trois fois.

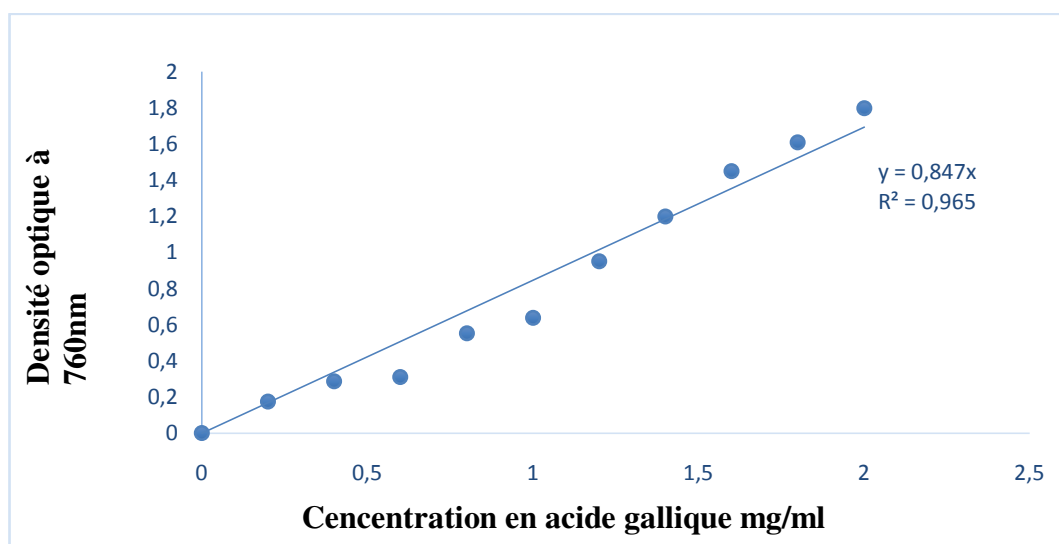


Figure 13 : Droite d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux en utilisant l'acide gallique comme référence.

3. Résultats et discussions

3.1. Teneur en protéines totales

Les résultats du dosage des protéines totales du lait camelin et du lait bovin analysés sont donnés dans le tableau VIII.

Tableau VIII : La teneur en protéines (g/l) des échantillons de lait de chamelle et de vache.

Paramètre	Lait de chamelle	Lait de vache
Protéines totales (g/l)	$30 \pm 0,47$	$27 \pm 0,001$

L'analyse des résultats montre que la teneur en protéines dans le lait camelin est de $30 \pm 0,47$ g/l. De même, cette teneur ne révèle pas une grande différence avec celle enregistrée pour le lait de vache ($27 \pm 0,001$ g/l).

La teneur en protéines totales du lait camelin enregistrée dans cette étude est comparable aux résultats rapportés par la bibliographie : 30,72 g/l (Attia *et al*, 2000) ; 30,8 g/l (Wangoh, 1997) ; 33,0 g/l (Kamal *et al*, 2007) ; 34,6 g/l (Shamsia, 2009) et 35,6 g/l (Siboukeur, 2005). Par ailleurs, des valeurs plus faibles ont été avancées : 22,26 g/l (Eellouze et Kamoun, 1989) ; 25,4 g/l (Khaskheli *et al*, 2005) ; 28,0 g/l (El-Amine et Wilcox, 1992). D'autres auteurs ont évoqué des teneurs plus importantes: 42 g/l (Haddadin *et al*, 2007) et 53 g/l (Mehaia *et al*, 1995).

Ces variations sont attribuées à la localisation géographique, la saison, le stade de lactation et le nombre de mises bas. Haddadin *et al* (2007) et Wangoh (1997) ont observé que le taux protéique augmente en saison pluviale, alors que Zeleke (2007) a noté un taux élevé en période sèche. Les taux les plus élevés sont notés en début de lactation (Kamal *et al*, 2007; Konuspayeva *et al*, 2009). Quant à Zeleke (2007), il a observé un taux important en protéines après la troisième parturition.

3.2. Hydrolyse enzymatique des protéines camelines et bovines

3.2.1. Hydrolyse des protéines du lait camelin

La sensibilité des protéines totales du lait camelin a été testée en examinant l'action de protéases digestives : pepsine et pancréatine. Dans les essais réalisés et dans les conditions des cinétiques optimisées, le contrôle électrophorétique en PAGE-SDS des protéines camelines hydrolysées par les enzymes digestives montre la disparition progressive des bandes correspondantes aux protéines majeures et apparition de plusieurs fragments peptidiques (Figure14).

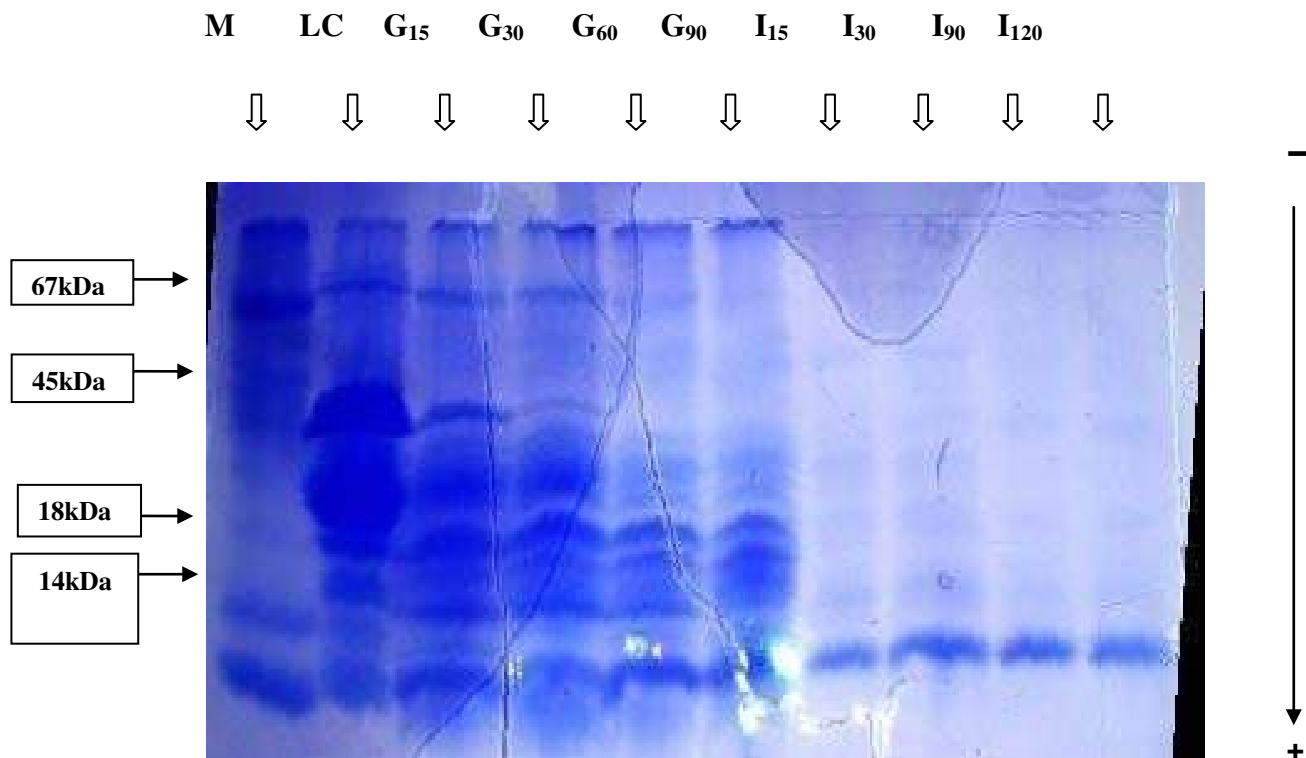


Figure14 : Profil electrophorétique des protéines du lait de chamelle en PAGE-SDS après l'action des enzymes digestives (pepsine, pancréatine).

Gel de separation : T = 15 %, C = 2,7 % ; gel de concentration : T= 4 %, C=2,7 %.

LC :lait de chamelle écrémé ; G₁₅,G₃₀,G₆₀,G₉₀,I₁₅,I₃₀,I₉₀,I₁₂₀ : hydrolysats prélevés à différents temps d'incubation (G : hydrolyse par la pepsine, I : hydrolyse par la pancréatine), M : marqueur de taille (kDa) (67 : BSA, 45 :Ovalbumine,18 : β -Lactoglobuline ,14 : α -lactalbumine).

Après hydrolyse par la pepsine, nous avons observé la disparition des bandes correspondantes aux protéines majeures (l'albumine sérique cameline et les caséines) et l'apparition de plusieurs fragments peptidiques de faible poids moléculaire.

Par la suite, après l'hydrolyse pancréatique, il y a apparition des fragments d'hydrolyse de 14kDa.

Les protéines totales camelines sont rapidement hydrolysées par la pepsine ce qui montre la sensibilité de ces protéines à l'activité de cette enzyme. Nous avons remarqué aussi qu'après 30min d'hydrolyse, la disparition totale des bandes de protéines correspondantes aux caséines. La grande sensibilité des caséines camelines à la pepsine peut être attribuée au nombre de sites de coupure présents sur ces protéines 41, 36, 45 et 23 pour la α 1-, α 2-, β - et κ -, respectivement (Swiss-Prot. Numéros d'accès : O97943, O97944, Q9TVD0 et P79139, respectivement).

Plusieurs auteurs ont montré la sensibilité des caséines camelines à l'hydrolyse enzymatique (Salami *et al*, 2008 ; Kumar *et al*, 2016).

3.2.2. L'hydrolyse des protéines du lait bovin

La sensibilité des protéines totales bovines à l'action des deux protéases (pepsine et pancréatine) est représentée par l'électrophorégramme (Figure 15) où la cinétique d'hydrolyse montre la disparition progressive des bandes correspondant aux protéines majeures et l'apparition de plusieurs fragments peptidiques en fonction du temps.

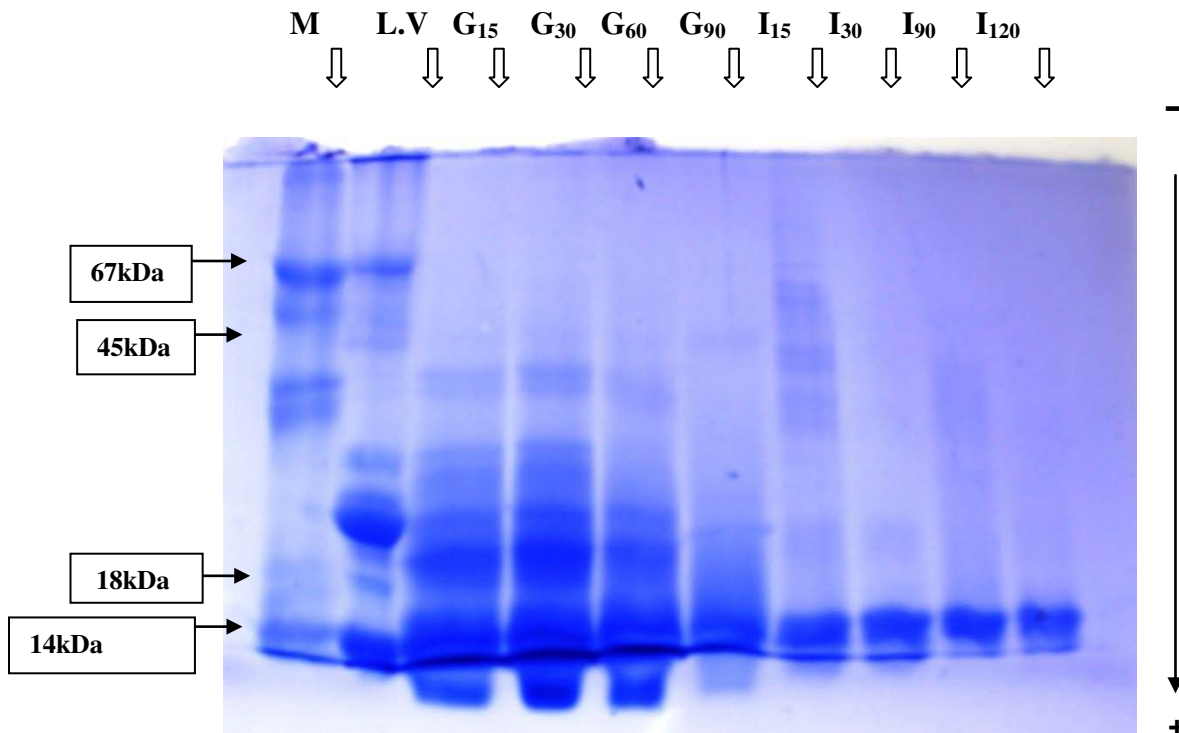


Figure 15 : Profil électrophorétique des protéines du lait de vache en PAGE-SDS après hydrolyse enzymatique. Gel de séparation : T = 15 %, C = 2,7 % ; gel de concentration : T = 4 %, C = 2,7 %. LV : lait de vache écrémé ; G₁₅, G₃₀, G₆₀, G₉₀, I₁₅, I₃₀, I₉₀, I₁₂₀ : hydrolysats prélevés à différents temps d'incubation (G : hydrolyse gastrique, I : hydrolyse intestinale), M : marqueur de taille (kDa) ; 67 : BSA, 45 : Ovalbumine, 18 : β -Lactoglobuline, 14 : α -lactalbumine.

Après une heure d'incubation nous remarquons la disparition totale des bandes correspondant à la BSA et aux caséines et l'apparition de nouvelles bandes correspondant aux produits de cette hydrolyse pepsique.

Ultérieurement, après le traitement à la pancréatine l'hydrolyse est poussée et nous remarquons la disparition totale du reste des protéines et apparition de bandes avec une Mm de 14 kDa.

Selon les profils électrophorétiques obtenus, nous déduisons que le lait de chamelle possède une plus grande résistance à l'hydrolyse comparé au lait de vache et ceci est probablement dû à la variation des structures des protéines des deux espèces et à la différence des sites de coupures des enzymes qui les hydrolysent.

3.3. Degré d'hydrolyse

Dans cette étude, deux protéases ont été utilisées pour hydrolyser les protéines de lait de dromadaire et le lait de vache afin d'évaluer la fonctionnalité des deux hydrolysats de protéines générées. L'étendue de la protéolyse a été évaluée par le degré d'hydrolyse (DH).

La figure 16 présente l'évolution du degré d'hydrolyse des protéines totales du lait camelin et bovin par l'enzyme gastrique (pepsine) et intestinale (pancréatine) en fonction du temps.

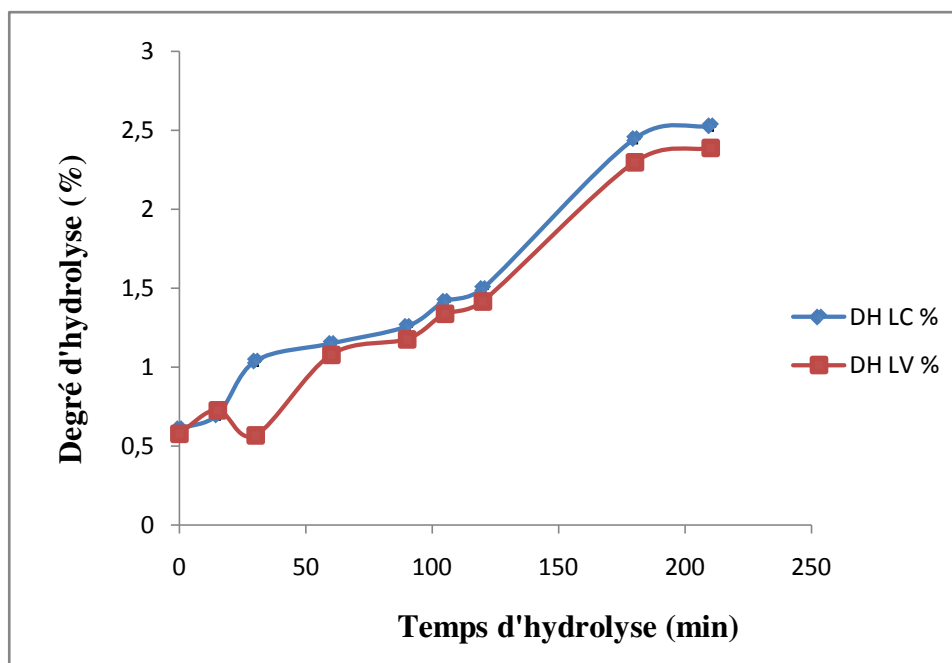


Figure 16 : Degré d'hydrolyse des protéines de lait de chamelle et de lait de vache traités par la pepsine et la pancréatine.

Lors de la digestion gastrique et intestinale, le DH a augmenté rapidement indiquant que les protéines du lait de dromadaire et du lait de vache contiennent de nombreux sites de clivage pour les enzymes utilisées (pepsine, pancréatine).

La forme typique des courbes d'hydrolyse a été trouvée précédemment pour les hydrolysats de protéines de vache (Cheng *et al*, 2013) et les hydrolysats de protéines de lait de chèvre (Espejo-Carpio *et al*, 2016).

Nous avons observé aussi que les hydrolysats de lait camelin présentent des valeurs de DH légèrement plus élevées que les hydrolysats du lait bovin. Ces différences sont dues à la différence de spécificité des enzymes vis-à-vis des séquences protéiques du lait, la pancréatine clive les liaisons à proximité de la Lys, de l'Arg et de la Phe (Oussaief *et al*, 2020) ; tandis que la pepsine clive spécifiquement les liaisons incluant les acides aminés aromatiques.

Nous avons noté aussi qu'avant d'ajouter les enzymes le lait camelin et bovin présentent des degrés d'hydrolyse respectifs de $(0,61 \pm 0,002 \%)$ et $(0,58 \pm 0,001 \%)$, et ceci pourrait être attribué à la présence de certaines enzymes protéolytiques endogènes dans les deux laits.

Les résultats obtenus lors de cette étude sont en accord avec ceux des études antérieures où les protéines de lait de chamelle se sont avérées avoir un DH plus élevé avec des temps d'incubation plus longs que les autres protéines du lait.

Abderrahmane *et al* (2011) ont rapporté que les protéines du lactosérum camelin hydrolysées par la pepsine présentent un degré d'hydrolyse plus élevé (31,6%) que les protéines du lactosérum de vache (21,3 %).

Les travaux de Mudgil *et al* (2018) ont montré également que les protéines du lait de chamelle présentent un DH plus élevé avec des temps d'incubation plus longs que les protéines du lait d'autres espèces (bovin , caprin).

Les valeurs du DH rapportées varient selon les études, principalement en raison de facteurs tels que le type de l'enzyme, la concentration d'enzyme et de substrat, le temps d'incubation, le pH et la température ont également un impact sur le DH (Shahi *et al*, 2018).

3.4. Effet de l'hydrolyse enzymatique sur les activités antioxydantes des protéines du lait

3.4.1. Evaluation de l'activité anti-oxydante par le dosage des polyphénols totaux

Une analyse du contenu phénolique a été effectuée pour détecter les acides aminés phénoliques dans les peptides et pour confirmer l'activité antioxydante.

Les teneurs en polyphénols totaux dans le lait camelin et bovin en fonction du temps d'incubation sont représentées dans la figure 17.

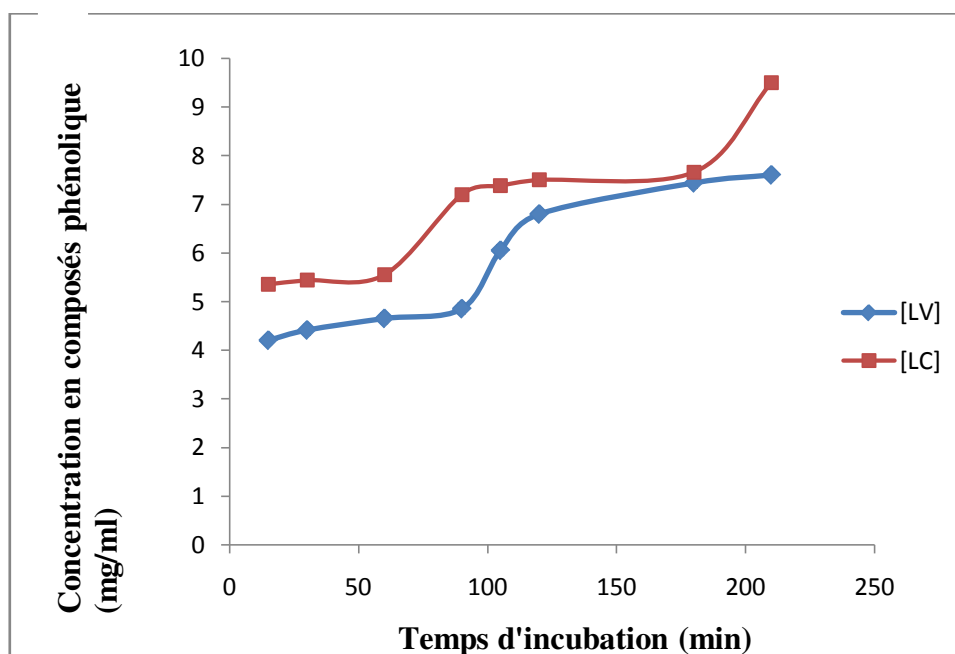


Figure 17 : L'évolution des concentrations en composés phénoliques totaux dans le lait bovin et camelin en fonction du temps d'incubation lors de l'hydrolyse.

Les concentrations en composés phénoliques totaux dans le lait écrémé et les hydrolysats des deux espèces augmentent en fonction du temps d'incubation, néanmoins, il faut noter que le lait de chamelle présente des concentrations plus élevées que le lait de vache. Les composés phénoliques prédominant sont très actifs comme antioxydants à activité antiradicalaire (Mansouri *et al*, 2005).

L'activité antioxydante des hydrolysats est attribuée à la présence des acides aminés phénoliques (Al-Laith *et al*, 2010). Une corrélation entre le degré d'hydrolyse et l'activité antioxydante des hydrolysats a été démontré actifs (Moyer *et al*, 2002 ; Wang *et al*, 2009).

Un certain nombre d'études antérieures ont montré que les peptides générés après traitement enzymatique auraient une activité antioxydante plus élevée (Yang *et al*, 2008). La capacité de réduction des radicaux libres est largement influencée par la composition phénolique de l'échantillon (Cheung *et al*, 2003 ; Alzaawely *et al*, 2007).

3.4.2. Test du piégeage du radical DPPH

Dans cette étude l'activité antioxydante est mesurée par l'efficacité des hydrolysats des protéines à piéger des radicaux libres du DPPH (Figure 18).

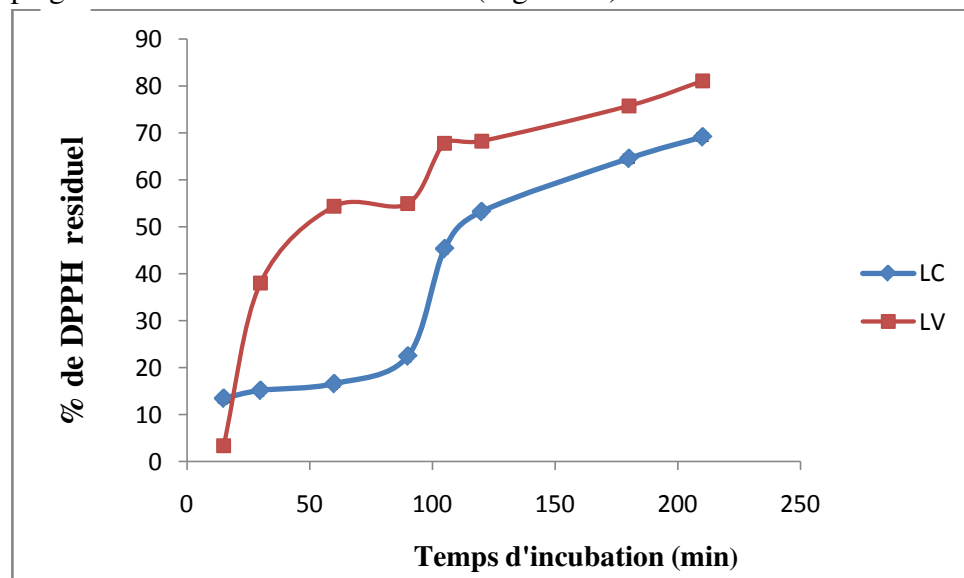


Figure 18 : Pourcentage du DPPH résiduel des hydrolysats

protéiques du lait camelin et bovin en fonction du temps d'incubation

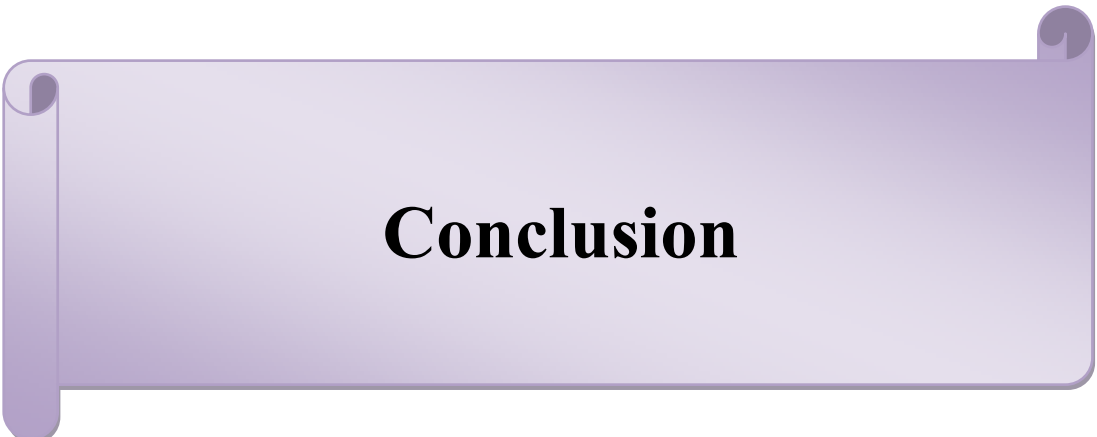
Les deux courbes montrent le piégeage du radical DPPH par les peptides issus de l'hydrolyse des protéines du lait camelin et bovin.

Nous avons remarqué que dans le cas des deux laits le pourcentage de DPPH augmente avec le temps, nous avons noté la présence d'une proportionnalité entre le degré d'hydrolyse et l'activité antioxydante. Néanmoins, le lait de vache présente des pourcentages de DPPH résiduel remarquablement plus élevés que le lait de chamelle, signifiant que les hydrolysats de lait de chamelle possèdent une plus grande capacité de piégeage de radicaux et donc une plus forte activité antioxydante.

Les résultats obtenus lors de cette étude sont en corrélation avec les résultats de l'étude d'Oussaief *et al* (2020) qui ont montré que l'hydrolyse des protéines du lait conduit à la libération de peptides capables de piéger le radical DPPH.

Selon les études de Salami *et al* (2010) et Abderrahmane *et al* (2011), il existe une relation entre l'activité antioxydante et la taille des peptides. Les peptides à faible masse moléculaire (5 à 10 kda) possèdent une activité antioxydante considérablement plus élevée.

En plus de la taille des peptides et de leur séquence en acides aminés (Hernandez-Ledesma *et al*, 2005), le facteur d'hydrophobicité des acides aminés influe également sur leur activité antioxydante et cela est en raison de leur accessibilité aux cibles hydrophobes (Chen *et al*, 2007). L'activité antioxydante a été attribuée à certaines résidues d'acides aminés (Phe, Trp, Tyr, His, Cys, Glu, Asp, Lys, Arg) (Suetsuna *et al*, 2000).



Conclusion

Conclusion

Le lait camelin et le lait bovin présentent une composition fortement similaire en nutriments de base (eau, protéines, lactose, matière grasse et matières minérales) avec des proportions qui varient selon la race, l'alimentation et la saison.

La présente étude a tracé pour objectif, en premier lieu, de comparer la composante protéique du lait de chamelle au lait de vache ; en deuxième lieu, d'étudier leur sensibilité à l'hydrolyse par la pepsine et la pancréatine et de déterminer l'activité antioxydante des hydrolysats obtenus.

Le dosage des protéines totales des deux laits étudiés a été effectué avec la méthode de Lowry *et al* (1951), la teneur en protéines enregistrée est de $27 \pm 0,001$ g/l pour le lait bovin et $30 \pm 0,47$ g/l pour le camelin.

La caractérisation électrophorétique des protéines totales des laits étudiés en conditions dénaturantes (PAGE SDS) a révélé la présence de protéines homologues entre les deux espèces, cependant le lait de chamelle se singularise par l'absence de la β -lactoglobuline .

L'étude de la sensibilité des protéines totales à l'hydrolyse par la pepsine et la pancréatine a montré un comportement différent des protéines des deux espèces étudiées, les protéines du lait camelin montrent une plus grande résistance à l'hydrolyse comparativement aux protéines du lait bovin.

L'activité anti-oxydante a été évaluée par le test du DPPH ainsi que par le dosage des polyphénols. Les hydrolysats protéiques camelins ont présenté un pourcentage de DPPH résiduel de $69,15 \pm 0,15$ % et une concentration en polyphénols de $9,5 \pm 0,018$ mg/ml, alors que leurs équivalents bovins ont montré un pourcentage de DPPH $81,03 \pm 0,7392$ % et une concentration en polyphénols $7,608 \pm 0,076$ mg/ml .Ces résultats démontrent que les peptides issus de l'hydrolyse du lait camelin possèdent une activité anti oxydante supérieure à ceux issus du lait bovin. De ce fait les peptides dérivés de l'hydrolyse du lait de chamelle peuvent être utilisés comme anti oxydants naturels dans la conservation des aliments.

Il serait intéressant pour des études ultérieures de séparer les caséines des protéines sériques pour mieux étudier leurs sensibilité, ainsi que d'utiliser d'autres tests tel que le test ABTS (3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique) pour déterminer l'activité antioxydante.De plus, il serait important d'isoler les peptides responsables du potentiel antioxydant et de les séquencer afin de les identifier.



Références bibliographiques

Références Bibliographiques

Abderrahmane M., H., Farida, M. M., Saliha, S. A., Nasma, M., Elkhir, S. O., et Saliha, B. (2011). Etude de la coagulation du lait de chamelle: utilisation des extraits gastriques de dromadaire à différents âges. *Livestock Research for Rural Development*, **23**, 8.

Achemaoui A., Bendahmane M. (2017). Analyse des paramètres de reproduction dans un élevage privé à vocation Bovins laitiers au niveau de la wilaya de Sidi Bel Abbés. *Nature and Technology Journal*, **14**, 20-22.

Al-Awadi F. M and Srikumar T. S. (2001). Trace elements and their distribution in protein fractions of camel milk in comparison to other commonly consumed milks. *Journal of Dairy Research*, **68**, 463-469.

Al Haj O.A and Al Kanhal H.A. (2010). Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk – review. *International Dairy Journal*, 1-11.

Al-Laith A. (2010). Antioxidant components and antioxidant/antiradical activities of desert truffle (*Tirmania nivea*) from various Middle Eastern origins. *Journal of Food Compositon and Analysis*, **23(1)**, 15-22.

Allen A. and Flemstrom G.(2005). Gastroduodenal mucus bicarbonate barrier : protection against acid and pepsin. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, **288(1)**, 1-19.

Alzaawely A.A., Xuan T.D., Koyama H. and Tawata S. (2007). Antioxydant activity and contents of oil and phenolic compounds in flowers and seeds of *Alpinia zerumbet* (Pers.) B.L. Burtt. & R.M.Sm. *Food Chemistry*, **104**, 1648-1653.

Assem M., Abd el-gawad M., Kassem M and Abd El-Salam H. (2018). Proteolysis and antioxidant activity of peptic, tryptic and chymotryptic hydrolysates of cow, buffalo, goat and camel caseins. *International Journal of Dairy Technology*, **71**, 236-242.

Attia H., Kherouatou N., Nasri M. and Khorchani T. (2000). Characterization of the dromadary milk casein micelle and study of its changes during acidification. *Lait*, **80**, 503-515.

Beg O. U., Bahr-Lindstrom H. V., Zaidi Z. H and Jornvall H.(1987). Characterization of a heterogeneous camel milk whey non-casein protein. *Febbs Letters*, **216**, 270-274.

Bekkouche Hanane.(2021). Les déterminants de la consommation du lait de chamelle dans la région du Souf.Mémoire de Master Académique.UKMO.Ouargla.

Ben Aissa. (1989). Le dromadaire en Algérie. *Options Méditerranéennes. Série Séminaires*, 19-28.

Bersuder P., Hole M., Smith G. (1992). Antioxidants from a heated histidine-glucose model system. I: Investigation of the antioxidant role of histidine and isolation of antioxidants by high-performance liquid chromatography. *Journal of American Oil Chemists's Society*, **75(2)**, 7-181.

Bouregba M. et Lounis K. (1993). Introduction à l'étude du mode d'élevage et des caractéristiques de production et de reproduction des races camélines dans le Sahara septentrional algérien, Mémoire Ing Agro Sah. *INFS/AS Ouargla*, **80**.

Cayot P. et Lorient D. (1998). Structures et Techno fonctions des Protéines du Lait. Edition Tec et Doc, Lavoisier, Paris.

Chen GW, Tsai JS, Sun Pan B.(2007). Purification of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides and antihypertensive effect of milk produced by protease facilitated lactic fermentation. *International Dairy Journal*, **17**, 641–647.

Cheng X., Tang X., Wang Q., Mao XY.(2013). Antibacterial effect and hydrophobicity of yak κ -casein hydrolysate and its fractions. *International Dairy Journal*, **31(2)**, 111–6.

Che ng X, Ta ng X, Wang Q, Mao XY. Antibacterial effect and

Cheung L.M., Cheung P.C.K .(2003). Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food Chemistry*, **81**, 249-255.

D. Goodsell.(2003). Trypsin : An activated serine amino acid in trypsin cleaves protein chains. Protein Data Bank.

Debouz A., Guerguer L., Hamid Oudjana A et Hadj Seyd A.E.K. (2014). Etude comparative de la qualité physico-chimique et microbiologique du lait de vache et du lait camelin dans la wilaya de ghardaïa. *Revue El Wahat pour les Recherches et les Etudes, Algérie, ISSN : 7(2)* ,10-17.

El-Agamy E. I., Ruppanner R., Ismail A., Chamagne C. P and ASSAF R. (1996). Purification and characterization of lactoferrin, lactoperoxidase, lysozyme and immunoglobulins from camel milk. *International Dairy Journal*, **6** ,129-145.

El-Agamy E.I., Nawar M., Shamsia S.M., Awad S. et George FW. (2009). Are camel milk proteins convenient to the nutrition of cow milk allergic children? *Small Ruminant research*, **82**, 1-6.

El-Amin F.M and Wilcox J.1992. Composition of Majahem camels. *Journal of Dairy Science*, **75**, 3155-3157.

Espejo-Carpio F.J., García-Moreno P.J., Pérez-Gálvez R., Morales-Medina R., Guadix A., Guadix EM. (2016). Effect of digestive enzymes on the bioactive properties of goat milk protein hydrolysates. *International Dairy Journal*, **8**, 21-54.

Ellouz S. et Kamoun M. (1989). Evolution de la composition du lait de dromadaire en fonction du stade de lactation. *Option Méd*, **6**, 307-323.

Espejo-Carpio F.J., García-Moreno P.J., Pérez-Gálvez R., Morales-Medina R., Guadix A., Guadix EM. (2016). Effect of digestive enzymes on the bioactive properties of goat milk protein hydrolysates. *International Dairy Journal*, **8**, 21-54.

F.A.O. STAT.2017-2018-2019: Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture. Production year book (Les statistiques officielles internationales).

FAO STAT.(2019): <http://www.faostat.org>.

F.A.O. (2021). <http://www.faostat.org>.

F.A.O. (2022). Les animaux laitiers. Passerelle sur la production laitière et les produits laitiers.

Farah Z., Rettenmaier R. et Attkins D. (1992). Vitamin content of camel milk. *International Journal of Vitamins and Nutrition Research*, **62**, 30-33.

Farah Z. (1996). Camel milk properties and products. Centre for Development Cooperation in Technology and Management, Switzerland, Swiss.

Farah Z. (2004). Milk.In Z. Farah, A. Fisher (Eds), Milk and meat from the camel. Han book on products and processing. Zurich. *Switzer-land.Swiss Federal Institute of Technology*, 25-28.

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 Kwai hang K. F. and Swaisgood H. E. (2004)Nomenclature of the proteins of cow milk – sixth revision. *Journal of Dairy Science*, **87**, 1641-1674.

Ghazi F., Sahraoui S. (2005).Evolution des composés phénoliques et des caroténoïdes totaux au cours de la maturation de deux variétés de dattes communes : Tantbouch et et Hamraia. Mémoire d'Ingénieur. Institute national d’agronomie. Alger, 81 p.

-
- Ghennam E.H., Alloui-Lombarkia O., Ghennam A. (2007).** Evolution de quelques caractères physico-chimiques et flore microbienne du lait de dromadaire conservé aux températures ambiante et de réfrigération. *Rencontres.Recherches.Ruminants*, **14**, 109.
- Gokhale, A. S., & Satyanarayanaajois, S. (2014).** Peptides and peptidomimetics as immunomodulators. *Immunotherapy*, **6**, 755-774.
- Haddadin M. S. Y., Gammoh S. I. and Robinson R. K. (2007).** Seasonal variations in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of Dairy Research*, **75**, 8-12.
- Haddadin M.S.Y., Gammoh S.I. et Robinson R.K. (2008).** Seasonal variations in the chemical composition of camel milk in Jordan . *Journal of Dairy Research*, **75** (1), 8-12.
- Heda R., Toro F. and Tombazzi C.R. (2022).**Physiology,Pepsin.StatePearls.
- Henschen A., Lottspeich F.,Brantl V. and Teschemacher H. (1979).** Novel opioid peptides derived from casein (I3-casomorphins).II. Structure of active components from bovine casein peptone. *Hoppe-Seyler's Zeitschrift für Physiologische Chemie*, **360**, 1217-1224.
- Hernandez-Ledesema B., Miralles B., Amigo L., Ramos M and Recio I. (2005).** Identification of antioxidant and ACE-inhibitory peptides in fermented milk .*Journal of the Science and Food and Agriculture*, **85**, 1041-1048.
- I. Taj Khan , M.Nadeem ,M.Imran, R. Ullah and M. Hayat Jaspal.(2019).** Antioxydant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge.*Lipids in Health and Disease*,**18**.
- J.Léonil.(2014).** Les peptides bioactifs du lait et leur intérêt dans la prévention des maladies cardiovasculaires et du syndrome métabolique.*Médecine des Maladies Métaboliques*,**5**,495-499.
- J.L. Maubois, J. Léonil.(1989).** Peptides du lait à activité biologique. *Le Lait*, **69**,245-269.
- Kamal A.M, Salam O.A et El-Saied K.M. (2007).** Changes in amino acid profile of camel milk protein during the early lactation.*International Dairy Journal*, 226-234.
- Kappeler S., Farah Z. and Puhan Z. (1998).** Sequence analysis of *Camelus dromedarius* milk caseins. *Journal of Dairy Research*, **65**, 209-222.
- Kaylene J.Simpson , Kevin R.Nicholas.(2002).**The comparative biology of whey proteins.*Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia* ,**3**, 313-323.

Kharzat B .(2006). Essai d'évaluation de la politique laitière en perspective de l'adhésion de l'Algérie à l'organisation mondiale du commerce et à la zone de libre-échange avec l'union européenne. *Mémoire de magister I.N.A., Alger*, **114** .

Khaskheli M., Arain M. A., Chaudhry S., Soomro A. H. et Qureshi T. A. (2005).Physico-chemical quality of camel milk. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, 164-166.

Kherouatou N. Nasri M. et Attia H .(2003). A study of the dromedary milk casein micelle and its changes during acidification. *Brazilian Journal of Food Technology*,**6**, 237- 244.

Korhonen H. (1977). Antimicrobial factors in bovine colostrum. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*, **49**, 434–447.

Korhonen H, Pihlanto A.(2006). Bioactive peptides: production and functionality. *International Dairy Journal* ,**16**, 945-960.

Konuspayeva G., Lemarie E., Faye B., Loiseau G. et Montet D. (2008).Fatty acid and cholesterol composition of camel's (Camelus bactrianus, Camelus dromedaries and hybrids) milk in Kazakhstan. *Dairy Science and Technology*, **88**, 327-340.

Konuspayeva G., Faye B. and Loiseau G. (2009).The composition of camel milk:A meta-analysis of the literature data. *Journal of Food Composition and Analysis*, **22**, 95-101.

Konuspayeva G., Faye B. (2021). Recent Advances in Camel milk processing. *Animals*, **11**, 10-45.

Kumar D., Chatli M., Singh R., Mehta N and Kumar P. (2016). Enzymatic hydrolysis of camel milk casein and its antioxidant properties. *Dairy Science & Technology*, **96(3)**, 391-404.

Laemmli U.K. et Favre H. (1973). Maturation of the head of bacteriophage T₄I DNA packaging events. *Journal of Molecular Biology*, **80**, 575-599.

Laure D., Cazet M. (2007). bilan du taux de contamination et étude préparatoire au dosage de résidus de produits phytosanitaires dans le lait de grand mélange bovin. *Thèse Doctorat. école nationale vétérinaire de Lyon*,**157**.

Lowry O. H., Rosebrough N. J., Faar A. L. and Randall R. J. (1951). Protein measurement with folin phenol reagent. *Journal of Biochemistry*, **193**, 265-275.

Lu X., Wang M., Wang J., Gupta X. and Dziarski R. (2006). Peptidoglycan recognition proteins are a new class of human bactericidal proteins. *Journal of Biology and*

Chemistry, **281**, 5895-5907.

M.A.D. Le cheptel et Produits de l'élevage. La Production Agricole.
N°881. Campagnes 2016/2017 et 2017/2018 ,9-10.

MADRP . (2018). Ministère de L'agriculture du Développement Rural et de la Pêche direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information.

Maigret C. (2019). Les Chiffres Cles Du Geb bovins 2019 productions lait et viande, institut de l'élevage idèle et confédération nationale d'élevage CNE.

Makhlouf M., Montaigne E., Tessa A. (2016). La politique laitière algérienne entre sécurité alimentaire et soutien différentiel de la consommation. *Mediterranean journal of economics, agriculture and environment* , **14**, 12-23.

Mal G. et Pathak K.M.L. (2010). Camel milk and milk products. *Milk & milk products. SMVS' Dairy Year Book*, 97-103.

Mansouri A., Embare G., Kokkalou E., Kefalas P. (2005). Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chemistry*, **89** , 411-420.

Meguellati-Kanoun A., Saadaoui M., Kalli S., Kanoun M., Huguenin J., Benidir M et Benmebarek A .(2018) Localisation et distribution spatio-temporelle des effectifs de dromadaires en Algérie. *Livestock Research for Rural Development*.

Mehaia M. A., hablas M. A., Abdel-Rahman K. M. et El-Mougy S. A. (1995). Milk composition of Majaheim, Wadah and Hamra camels in Saudi Arabia. *Food Chemistry*, **52**, 115-122.

Mouffok C.(2007). Diversité des systèmes d'élevage bovin laitier et performances animales en région semi-aride de Sétif. Thèse de magistère. Option Sciences animale. INA. Alger.

Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.F., Frei B and Wrolstad R.E. (2002). Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity in diverse small fruits : *Vaccinium*, *Rubus* and *Ribes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 519-525.

Mudgil P, Kamal H, Yuen GC, Maqsood S. (2018) .Characterization and identification of novel antidiabetic and anti-obesity peptides from camel milk protein hydrolysates. *Food Chemistry*, **259**,46–54.

Nana T.Hoyle, John H.Merrit.(1994). Quality of Fish Protein Hydrolysates from Herring(*Clupea harengus*).*Journal of food science*,**59**,76-79.

Ochirkhuyag B., Chobert J. M., Dalgallarrondo M., Choiset Y. and Haertle T. (1997). Characterization of caseins from Mongolian Yak, khainak and bactrian camel .*Lait*,**77**, 601-613.

Ould Eleya M.E.M. (1996). Analyse de la formation des gels acides de laits de vache, de chèvre et de brebis au moyen de la géométrie fractale : étude comparative. Thèse Doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine, Paris, France

Oussaief O., Jrad Z., Adt I., Dbara M., Khorchani T and El-Hatm H. (2020). Antioxidant activities of enzymatic-hydrolysed proteins of dromedary (*Camelus dromedarius*) colostrum. *International Journal of Dairy Technology* ,**73**(2),333-40.

Ribéreau-Gayon, J. and Peynaud, E. (1968). Les composés phénoliques des végétaux, Traité d'oenologie. Edition Dunod, Paris.

Sadat, L., Cakir-Kiefer, C., N'Negue, M.-A., Gaillard, J.-L., Girardet, J.-M., Miclo, L. (2011). Isolation and identification of antioxidant peptides from bovine α -lactalbumin. *International Dairy Journal* ,**21**, 214-221.

Salami M., Yousefi R., Ehsani M.R., Dalgarrondo M., Chobert J-M, Haertlé T., Razavi S and Moosavi-Movahedi A. (2008). Kinetic characterization of hydrolysis of camel and bovine milk proteins by pancreatic enzymes. *International Dairy Journal*, **29**,1097-1102.

Salami M., Moosavi-Movahedi A.A., Ehsani M.R., Yousefi R., Haertle T., Chobert J.M., Razavi S.H., Henrich R., Balalaie S., Ebadi S.A., Poutakdoost S. et Niasari-Naslaji A. (2010). Improvement of the antimicrobial and antioxidant activities of camel and bovine whey proteins by limited proteolysis. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **58**, 3297-3302.

Sawaya W. N., Khalil J. K., Al-Shalhat A and AL-Mohamed H.(1984). Chemical composition and nutritional quality of camel milk. *Journal of Food Science*, **49**, 744-747.

Senoussi A .(2012). L'élevage camelin en Algérie : mythe ou réalité .Université Kasdi Merbah Ouargla, Laboratoire de Bio Ressources Sahariennes : Préservation et Valorisation, Rencontre autour des Recherches sur les Ruminants. **19**.

Shamsia S. M. (2009). Nutritional and therapeutic properties of camel and human milks. *International Journal of Genetics and Molecular Biology*, 052-058.

Siboukeur O., Mati A et Hesas B. (2005). Amelioration de l'aptitude à la coagulation du lait cameline (*Camelus dromedarius*) : utilisation d'extrait enzymatiques coagulants gastriques de dromadaire. *Cahier Agricultures*, **5**, 473-478.

Siboukeur O. (2007). Etude du lait camelin collecté localement : caractéristiques physicochimiques et microbiologiques ; aptitude à la coagulation. Thèse Doctorat. INA El Harrach, Alger.

Sidikou I. D ., Remy B., Hornick J.L et Losson B.(2005).Le pepsinogène et la prochymosine de bovins : Connaissances actuelles , applications et perspectives dans la strategies e lutte contre les verminoses gastro-intestinales.*Annales de Médecine Vétérinaire*,**149** , 2013-228.

Singleton V.L. , Rossi J.A.(1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* ,**16**,144-158.

Souki H. (2009). Les stratégies industrielles et la construction de la filière lait en Algérie: portée et limites .

Suetsuna, K., Ukeda, H. & Ochi, H.(2000). Isolation and characterization of free radical scavenging activities peptides derived from casein. *Journal of Nutritional Biochemistry*, **11**, 128-131.

Van Hekken D.L., Tunick M.H., Ren D.X., Tomasula P.M. (2017). Comparing the effect of homogenization and heat processing of the properties and in vitro digestion of milk from organic and conventional dairy herds. *Journal of Dairy Science* , **100** ,6042–6052.

Walther B.(2006).Bioactive peptides in milk . *GESKES : Proteine in der Ernährung* ,1-24.

Wangoh J. (1997). Chemical and Technological Properties of Camel (*Camelus dromedarius*) Milk. Diss. *ETH Nr. 12295, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland*.

Wang Q., Rekika D., Charles M.T., Wang X., Tsao R., Yang R., Hao Y.J., Gauthier G., Gosselin A and Khanizadeh S. (2009). Phenolic compositions and antioxydant activities of new developed day-neutral strawberry lines. Agriculture and Agri-Food Canada

Williams P.(2005).Enzymes : Industrial Productcs and Processes.*Encyclopedia of Analytical Science*.

Yagil R. (1982). Camels and Camel Milk. FAO. *Animal Production and Health Paper* , **26**, 1-69.

Yang, S. A., Im, N. K., Ji, Y. J., Yoo, D. C., Jhee, K. H., and Lee, I. S. (2008) Radical scavenging and inhibition of platelet function by a polyphenol-rich fraction from *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Journal of Natural Products*, **1**, 7-13.

Yegin, S., Dekker, P.(2013). Progress in the field of aspartic proteinases in cheese manufacturing: structures, functions, catalytic mechanism, inhibition and engineering. *Dairy Science and Technoogyl*, **93**, 565–594.

Shahi, M. L. M., Ziaefar, L., Salami, M., & Askari, G. R. (2018). Effect of casein and inulin addition on physico-chemical characteristics of low fat camel dairy cream. *International journal of biological macromolecules*, **117**, 858-862.

Zelege Z. M. (2007). Non-genetic factors affecting milk yield and milk composition of traditionally managed camels (*Camelus dromedarius*) in Eastern Ethiopia. *Parity*, 1-9