

Le lait de chamelle, de la tradition à la modernité

Gaukhar KONUSPAYEVA ⁽¹⁾, Bernard FAYE ⁽²⁾

(1) Professeure à l'Université nationale du Kazakhstan al-Farabi, Kzakhstan

(2) Directeur de recherche à l'INRAE. Contact : bjfaye50@gmail.com

Cet article est issu d'une communication présentée lors de la journée d'étude de la Société d'Ethnozootéchnie sur les camélidés, qui s'est tenue à l'Institut du Monde Arabe, à Paris, le 6 juin 2019.

Résumé : Longtemps essentiellement autoconsommé par les populations en permanente mobilité, le lait de chamelle connaît une soudaine notoriété auprès d'un public élargi (urbains, occidentaux) qui explique son entrée croissante dans les circuits marchands, y compris à l'échelle internationale. Un tel engouement pour le lait de chamelle est lié à sa réputation diététique, voire médicinale. L'enjeu pour les producteurs et les consommateurs est de proposer des produits de qualité et diversifiés pouvant correspondre aux goûts et habitudes alimentaires des nouveaux consommateurs. Les techniques de transformation se sont adaptées à cette matière première traditionnellement consommée crue ou fermentée, permettant la production de fromage, crème glacée et poudre, voire de sucreries ou cosmétiques. Toutefois, le comportement particulier du lait de chamelle nécessite la poursuite de travaux de recherche parfois très fondamentaux pour en comprendre les mécanismes.

Mots-clés : Chameaux, lait, traite, transformation.

Camel milk, from tradition to modernity – Summary : For a long time mainly self-consumed by populations in constant mobility, camel milk is experiencing a sudden notoriety among a wider public (urban, western population) which explains its progressive entry into the market, including at international level. Such enthusiasm for camel milk is obviously linked to its dietary, even medicinal reputation. The challenge for producers and consumers today is to offer high quality and diversified products that match the tastes and food habits of the new consumers. Traditionally consumed raw or fermented, processing technologies have adapted to this raw material, enabling the production of cheese, ice cream and powder, even sweets and non-food products such as cosmetics. However, the peculiar behaviour of camel milk requires the continuation of sometimes very fundamental researches to understand its mechanisms.

Keywords: Camels, milk, milking, processing.

Introduction

Pendant longtemps, le lait de chamelle a été essentiellement auto-consommé par les nomades sous forme crue ou fermentée. En effet, leur éloignement des centres de consommation n'était que peu propice à une possible commercialisation. Encore aujourd'hui, la production mondiale de lait de chamelle est largement sous-estimée car sa plus grande part n'est pas incluse sur le marché même localement (Faye et Bonnet, 2012). Par exemple, en Arabie Saoudite, pays pourtant au fait de la modernité laitière cameline, on a pu estimer que 62% du lait de chamelle n'était pas intégré au marché local, formel ou informel (Faye et al., 2014). En 2017, les statistiques de la FAO ont fait état d'une quantité totale de 2,85 millions de tonnes de lait de chamelle au niveau mondial (FAOstat, 2019). Pourtant, selon la population mondiale de chameau

(près de 35 millions de têtes), la production laitière pourrait dépasser les 10 millions de tonnes. En outre, depuis deux décennies, « l'enthousiasme » pour le lait de chamelle (Faye, 2018), cet « or blanc du désert » (Wernery, 2006) et les changements actuels dans les systèmes d'élevage camelin (Faye, 2014) ont contribué à une intégration plus poussée du lait de chamelle sur le marché local, régional et même international. Dans le même temps, les recherches ont mis en place différentes technologies pour développer de nouveaux produits à base de lait de chamelle, et par conséquent diversifié les offres. La présente publication propose une analyse des changements actuels, tant sur les plans technologique, culturelle qu'économique qui permettent et ont permis au lait de chamelle de passer de la tradition à la modernité.

Une brève histoire du lait de chamelle

La domestication du chameau dromadaire remonte à 3 000 ans av. J.C. environ (Uerpmann et Uerpmann, 2002). Dans la Péninsule Arabique, l'utilisation du lait a été probablement un des moteurs de la domestication

(Zarins, 1989) et le lait de chamelle est sans doute consommé par l'homme depuis le néolithique (Roffet-Salque et al, 2014). Dans les 48 "pays du chameaux" répertoriés dans la base de données de la FAO, le lait

de chamelle était consommé de manière traditionnelle, essentiellement sous forme crue et, pour la conservation de longue durée, sous forme fermentée, ce qui était très populaire en particulier en Asie centrale (nommé *shubat* par exemple au Kazakhstan) et dans la Corne de l'Afrique (par exemple, *gariss* au Soudan, *susaac* au Kenya, *dhanan* en Ethiopie, etc...) (Ahmed et al., 2010 ; Konuspaveva et Faye, 2011). Utilisant des « vieux laits » comme ferment, les nomades en perpétuel mouvement, conservaient ainsi pour quelques jours leur breuvage dans des gourdes de cuir ou de bois, et cette pratique traditionnelle est restée intacte jusqu'à une période très récente, voire perdure encore en Afrique. Surtout, ce lait était rarement l'objet de transaction commerciale : « Don de Dieu », le lait de chamelle ne saurait être vendu. Offert à l'hôte de passage ou donné aux pauvres de la communauté, sa vente était toujours perçue comme une honte pour le producteur.

Dans les années 60, en Union soviétique (Kazakhstan actuel, Turkménistan, Ouzbékistan, Kirghizistan, Russie), les effets attendus sur la santé du lait fermenté de chamelle (ainsi que du lait de jument, *shubat* et *koumis*) ont été mis à profit dans des sanatoriums établis par le gouvernement pour le traitement de la tuberculose (Kenzhebulat et al., 2000). Cette utilisation a stimulé la transformation du lait de chamelle, emballé en bouteille, et dans le même temps, le premier développement de la machine à traire pour les chameaux a eu lieu (Tasov, 2015).

Les moteurs de l'engouement pour le lait de chamelle

Trois grands moteurs de changement sont à l'œuvre pour expliquer l'engouement actuel pour le lait de chamelle (Faye, 2018). Le premier "driver" est d'ordre écologique. En effet, les changements climatiques marqués par une aridification du milieu ont tendance à pousser les pasteurs à modifier la composition spécifique de leurs troupeaux, conduisant en maints endroits à un transfert des bovins vers les camelins (Faye et al., 2012) et donc à une recherche accrue de la valorisation des produits du chameau. Le second driver est d'ordre économique, avec la « marchandisation du lait » (Faye, 2011) comme évoqué plus haut, ce qui conduit à la recherche de la diversification des produits offerts aussi bien qu'à une amélioration de sa qualité pour des consommateurs urbains plus exigeants. Le troisième driver est d'ordre culturel car le lait de chamelle est réputé pour ses vertus « thérapeutiques » réelles ou supposées, susceptibles d'attirer une clientèle urbaine plus sensible aux effets bien-être de ce qu'il consomme (Konuspaveva et al., 2004 ; Faye, 2016).

En Afrique, c'est l'entrée progressive du lait de chamelle dans les circuits marchands et donc la fin du tabou de sa vente qui a conduit à un changement notable de sa place dans les économies familiales et dans sa modernisation. Ainsi, à la fin des années 80, en Mauritanie, l'usine laitière semi-industrielle "Tiviski" a été mise en place pour la collecte, la transformation du lait de chamelle et sa vente sous forme pasteurisée (Abeiderrahmane, 1997). Les premiers essais sur la transformation du lait de chamelle en fromage sont très récents puisqu'ils ont commencé en 1985 seulement (Ramet, 1989). Après 2003, la production de lait de chamelle a considérablement augmenté au niveau mondial, selon les statistiques de la FAO. En 2010, le chymosin industriel de chamelle proposé par l'entreprise danoise Chr Hansen™ est apparu, permettant le développement de la fabrication de fromage de chamelle. Depuis 2015, une demande croissante pour la mise en place de fermes de chameaux laitières privées « modernes » est apparue en Afrique du Nord, au Moyen-Orient, en Asie centrale pour la commercialisation de produits transformés à base de lait de chamelle au niveau local et international (y compris les pays occidentaux). La ferme laitière Camelicious de Dubaï, mise en œuvre en 2006, est ainsi considérée comme le « modèle » de la ferme laitière intensive pour les investisseurs (Nagy et Juhasz, 2016).

De fait, les qualités « médicinales » du lait de chamelle sont attestées empiriquement depuis des lustres, mais ce n'est que récemment que les scientifiques ont apporté quelque éclairage sur la réalité de ces effets. Ainsi, de nombreuses études se sont penchées sur les effets régulateur du lait de chamelle sur la glycémie chez les diabétiques (Agrawal et al., 2011), ses effets anti-oxydants contribuant à réduire les conséquences du stress oxydatif (Jrad et al., 2014), ses effets antihypertensifs en intervenant sur le système rénine-angiotensine (Moslehisad et al., 2013), ses propriétés antibactériennes dues à la bio-activité accrue de certaines protéines comme la lactoferrine (Conesa et al., 2008), ses capacités antitumorales du moins sur des lignées cellulaires (Korashy et al., 2012) et ses capacités hypo-allergisantes liées notamment à l'absence de β -lactoglobuline (Navarrete-Rodriguez et al., 2018) ainsi que sur les effets réduits de l'intolérance au lactose (Cardoso et al., 2010) liée probablement à l'excès de métabolisation sous forme de L-lactate (Konuspaveva et al., 2019). A cela s'ajoutent les effets sur la régénération du foie après une maladie hépatique telle que la cirrhose (Liao et al.,

2012 ; Elhag et al., 2017), les effets diététiques dues à sa composition : relative richesse en acides gras mono et poly-insaturés (Konuspayeva et al., 2008), richesse en fer (Faye et al., 2008) et en vitamine C (Konuspayeva et al., 2011) et D (El-Khasmi et al., 2001). Autant de vertus ne pouvait qu'inciter le

marché et les consommateurs à s'intéresser à ce produit autrefois limité aux seuls pasteurs nomades, d'autant qu'un autre élément devait intervenir avec l'entrée de ce lait dans le monde de l'industrie laitière, sa transformation en produits diversifiés.

La diversification des produits laitiers camelins

Le lait fermenté

La fermentation était autrefois l'un des seuls moyens de prolonger la survie du lait frais produit dans les régions désertiques reculées. Aujourd'hui d'autres voies ont été rendues possible. La diversification des produits laitiers transformés répond aussi à l'exigence accrue des consommateurs urbains pour des produits de qualité aux goûts plus variés. Désormais, le lait de chamelle peut être pasteurisé, transformé en fromage, poudre, yaourt, beurre, crème glacée...

De fait, de nombreux pays en Afrique (Mauritanie, Maroc, Algérie, Tunisie, Niger, Egypte, Kenya) ou en Asie (Arabie Saoudite, Emirats, Oman, Kazakhstan) ont mis sur le marché du lait pasteurisé qui demeure la transformation « moderne » la plus fréquente. La transformation fromagère demeure récente comme évoqué plus haut, et à l'exception de la Mauritanie et du Maroc, est rarement sortie des centres de recherche (Konuspayeva et al., 2014). Les crèmes glacées (Maroc, Emirats), les chocolats (Emirats) et autres caramels (Kazakhstan) font partie aussi de la panoplie des produits à base de lait de chamelle, désormais accessibles sur les marchés.

Cependant, la technologie utilisée pour la transformation était souvent fondée sur les connaissances acquises sur le lait de vache. Or, dans la pratique, le comportement de la matière première (lait de chamelle) s'est avéré différent que pour le lait de vache. C'est ainsi que les normes techniques de la pasteurisation ne peuvent s'appliquer de façon identique, d'autant que les indicateurs de pasteurisation généralement utilisés pour contrôler le process (dosage des phosphatases alcalines) ne sont pas applicables au lait de chamelle (Loiseau et al., 2001 ; Wernery et al., 2008) compte-tenu de la thermorésistance des phosphatases du chameau. Lorenzen et al., (2011) ont donc propose que la γ -Glutamate transférase (GGT) encore présente dans le lait pasteurisé et probablement la lactoperoxydase (LPO) soient des indicateurs mieux appropriés de la pasteurisation du lait de chamelle.

Par ailleurs, la pasteurisation, même si elle contribue fortement à la diminution des charges microbiennes, n'équivaut pas à une stérilisation. Elle n'autorise pas

de s'abstraire de la nécessité d'assurer la production d'un lait de bonne qualité hygiénique. Le comportement des protéines du lait de chamelle à haute température est, du reste, une forte contrainte pour les procédés de stérilisation. Leur dénaturation empêche jusqu'à présent de proposer du lait de chamelle UHT (Benabdelkamel et al., 2017), les protéines devenant instables (Al-Haj et al., 2011). Toutefois, on peut stériliser du lait de chamelle après reconstitution à partir de poudre ou par microfiltration (Mehia, 1996).

Concernant le yaourt, de nombreux essais sont proposés dans la littérature (par exemple Khalifa et Ibrahim, 2015, ou Abd Elhamid et Elbayoumi, 2017). Cependant, la fabrication du yaourt au lait de chamelle pose un problème de texture, le produit apparaissant gluant et finalement désagréable au palais (Berhe et al., 2017). Pour obtenir une meilleure texture des essais avec addition de gélatine, alginate ou calcium ont été tentés (Hashim et al., 2009) ou en utilisant des ferments produisant des exo-polysaccharides (Ibrahim, 2015).

En revanche, l'application d'un traitement haute-pression pourrait avoir un effet positif sur la texture, mais aucun essai n'a été réalisé à ce jour avec du lait de chamelle. La matière grasse du lait de chamelle étant très pauvre en acide butyrique (Konuspayeva et al., 2008) et les globules gras du lait étant plus petits que dans le lait de vache (Attia et al., 2000), le rendement beurrier est faible (Berhe et al., 2013) et les propriétés organoleptiques décevantes (Farah et al., 1989 ; Berhé et al., 2017). Pour obtenir des globules gras au moment de la fabrication du beurre, il est nécessaire de procéder à de vigoureuses secousses à chaud (22-23°C), ce qui permet de récupérer environ 80% du gras (Berhé et al., 2013).

En revanche, d'autres technologies de transformation ont été mises en œuvre avec un certain succès pour le traitement du lait de chamelle. Quelques exemples obtenus dans différents pays sont énumérés ci-après. Cependant, il convient de rappeler ici, qu'aussi bien le lait de chamelle a un comportement particulier différent du lait de vache, aussi bien il n'existe pas de

normes internationales pour le lait de chamelle et qu'on ne saurait appliquer correctement les mêmes normes. La nouvelle industrie laitière cameline doit

faire des efforts pour mettre en œuvre une norme spécifique (Konuspayeva et al., 2014).

La standardisation du lait de chamelle fermenté (*shubat*) au Kazakhstan

Le *shubat* est traditionnellement obtenu par fermentation naturelle du lait de chamelle en utilisant un « vieux lait » comme ferment. La « modernisation » du procédé de fermentation dans l'industrie laitière demande une standardisation de la technologie afin d'obtenir un produit final ayant des propriétés constantes (goût, qualité, flaveur, etc.).

Afin d'atteindre un tel but, il est nécessaire (i) d'identifier les bactéries lactiques d'intérêt technologique (LAB) et les levures responsables de la fermentation naturelle, (ii) de sélectionner les souches de bactéries et de levures selon le produit final espéré, (iii) de tester les cinétiques de croissance, les capacités d'acidification, les propriétés organoleptiques et les activités antagonistes de chaque souche sélectionnée, (iv) de tester les milieux nutritifs pour une croissance

optimale dans les bioréacteurs industriels, (v) de préparer un emballage spécial des LABS lyophilisés à utiliser comme ferments standards pour les producteurs de lait (Akhmetsadykova et al., 2015; Baubekova et al., 2015). Parmi les 104 souches de LABs et levures isolées du traditionnel *shubat*, plus de 50% n'ont pas été identifiées. Huit souches ont été retenues pour préparer un nouveau ferment et la flaveur du produit final a été testée par l'identification de ses composés organiques volatiles (Kondybayev et al., 2018). Par ailleurs, il a été démontré que certaines souches de bactéries lactiques peuvent contribuer à la décontamination du lait ayant une forte concentration de métaux lourds (plomb et cadmium) chez les consommateurs, ces bactéries fixant les métaux dans leur cytoplasme et facilitant leur évacuation au cours du transit intestinal (Akhmetsadykova et al., 2013).

Technologie de fabrication du fromage de chamelle

Le lait de chamelle n'a pas été traditionnellement transformé en fromage du fait des difficultés à obtenir un caillé (Farah and Bachmann, 1987). En effet, la concentration en k-caséine, responsable de la

coagulation et de la qualité du coagulum se trouve en faible proportion (3%) comparé au lait de vache (13-15%) et même aux autres espèces laitières (Tableau 1).

Tableau 1. Proportions respectives (en %) des quatre caséines du lait de différentes femelles domestiques traitées.

Espèce	Type de caséine				Référence (#)
	κ	α_{s1}	α_{s2}	β	
Bactriane	3,1 ± 1,9	36,1 ± 2,3	7,1 ± 1,5	53,7 ± 2,1	(a)
Dromadaire	3,6 ± 2,1	37,4 ± 3,9	5,8 ± 1,0	53,2 ± 3,5	(a)
Vache	15	40	5	40	(b)
Bufflesse	10,6	22,8	13,0	53,6	(c)
Chèvre	13	38	11	38	(d)
Brebis	9,1 - 10,8	33,9 - 39,9	12 - 16,4	37 - 42,3	(e)

(#) (a) : Ryskaliyeva et al., 2018 ; (b) McMahon et Brown, 1984 ; (c) Feligini et al., 2009 ; (d) Boulanger et al., 1984 ; (e) Moatsou et al., 2004.

De plus, l'acidification du lait de chamelle à plus fort pouvoir tampon est plus lente que dans le lait de vache. Ces difficultés technologiques expliquent que l'expérience fromagère avec le lait de chamelle est récente. En effet, les premiers essais datent du milieu des années 80, soit à peine un peu plus de 30 ans de recul, à comparer aux 8000 ans d'expérience de transformation fromagère du lait de vache ou de brebis. Dans un premier temps, les technologues se sont focalisés sur l'amélioration du procédé de

coagulation (Ramet, 1989 ; Abu-Lehia, 1989 ; Mehaia, 1993), mais les résultats se sont avérés décevants tant sur le rendement que sur les propriétés organoleptiques du produit final. Le problème a été résolu grâce aux travaux de Kappeler et al. (2006) sur la structure de la chymosine cameline, travaux ayant débouché rapidement vers la mise en place d'un recombinant spécifique obtenu par transfert génétique sur une moisissure (*Aspergillus niger*) du gène de la synthèse de chymosine cameline. Ce recombinant a pu être

produit industriellement et mis sur le marché sous le nom de Chymax-M1000® commercialisé par Ch. Hansen© (Danemark). L'hypothèque de la coagulation étant levée (d'autant que le rendement obtenu avec cette présure industrielle a été supérieure même pour le lait de vache), restait à fabriquer un fromage au goût des consommateurs locaux. Or, à l'exception de l'expérience mauritanienne de l'entreprise laitière Tiviski (Jones-Abeiderrhamane, 2013), le fromage au lait de chamelle est resté confiné au pire à des essais de laboratoire (El-Zubeir et Jabreel, 2008), au mieux à des productions à petite échelle (Arabie Saoudite, Emirats arabes Unis, Inde, Kenya, Maroc).

Pour répondre au marché local, différentes technologies ont été testées et publiées. C'est ainsi qu'ont été testées les technologies de fabrication du gruyère (Konuspayeva et al., 2012), de la mozzarella (Konuspayeva et al., 2014), de la feta et de l'halloumi (Konuspayeva et al., 2017), voire du fromage fondu (El-Sayed et al., 2018) ou du fromage blanc (El-Zubeir, and Jabreel, 2008). Cependant, soit le résultat final était décevant car ne correspondant pas à l'appellation attendue (le « gruyère » de chamelle avait un goût de Saint-Paulin par exemple !), soit l'acceptabilité par les consommateurs a été variable, à tel point que certains technologues ont proposé de fabriquer des fromages mixtes, mélangés à du lait d'une autre espèce (Qadeer et al., 2015). En effet, le lait de chamelle n'aura pas le même comportement que le lait de vache bien que la même technologie soit appliquée. Afin de comparer les résultats d'une même

technologie fromagère appliqué au lait de vache et au lait de chamelle, un essai a été réalisé en ajustant le premier sur le même taux de matières grasses et de protéines que le second. Ainsi, si le rendement fromager s'est révélé identique (7.4 ± 0.15 vs 7.3 ± 0.55 kg/100kg pour le lait de chamelle et le lait de vache, respectivement), l'azote total a été plus élevé dans le fromage de chamelle et à l'inverse le taux de matières grasses plus élevé dans le fromage de vache. Cependant, le calcium s'est retrouvé en même quantité dans les deux produits (Konuspayeva et al., 2017).

Finalement, le succès de la fabrication du fromage de chamelle s'appuie sur 3 piliers : (i) une matière première de bonne qualité hygiénique, (ii) l'utilisation d'une présure spécifique permettant un bon rendement, et (iii) l'utilisation de ferments adaptés pour accélérer l'acidification du coagulum et apporter au produit final, une saveur spécifique. Il s'agit surtout d'œuvrer pour obtenir un produit adapté au goût des consommateurs locaux et ne pas chercher à fabriquer un fromage ressemblant à un produit connu fait à partir de lait de vache. Par ailleurs, l'expérience montre qu'il y a la possibilité de valoriser non seulement le fromage, mais aussi le lactosérum issu de la fabrication fromagère, apprécié comme boisson rafraîchissante en Mauritanie. Il y a nécessité aussi d'approfondir les recherches sur les propriétés rhéologiques (Soltani, Boran & Hayaloglu, 2016 ; Hailu et al., 2018) et sur les composés organiques volatiles déterminant les arômes spécifiques du fromage de chamelle (Hailu et al., 2018).

La poudre de lait de chamelle

La poudre de lait de chamelle est un enjeu important d'une part car dans beaucoup de pays, les lieux de production sont très éloignés des lieux de consommation, d'autre part la forme poudre est la meilleure façon d'exporter le produit sur le marché international. Différentes technologies sont utilisées pour préparer la poudre de lait : séchage par pulvérisation à chaud ou spray-drying (Suliman et al.,

2014 ; Zouari et al., 2018) ou lyophilisation (Ibrahim and Khalifa, 2015 ; Rahman et al., 2012). La première méthode paraît préférable avec le lait de chamelle pour une meilleure reconstitution du lait liquide. La poudre de lait est disponible sur différentes plateformes de vente en ligne tels qu'Alibaba en Chine ou Desert-Farm aux USA à des prix variant de 2,9 à 590 \$/kg selon le volume de vente.

Autres produits laitiers à base de lait de chamelle

La fabrication de crèmes glacées avec différents arômes est aisée et est déjà disponible par exemple aux Emirats Arabes Unis, au Maroc ou au Kazakhstan. Basée sur la même technologie que les autres laits, ces produits ont un succès d'estime auprès des consommateurs. Cependant, très peu d'études sur la texture et les propriétés sensorielles ont été réalisées (Ahmed and El-Zubeir, 2015).

A notre connaissance, en dépit de l'absence de publications sur le sujet, il existe plusieurs sucreries au lait de chamelle proposés sur les marchés locaux. Par exemple, au Kazakhstan, il existe un caramel appelé *Balkailmak*, obtenu après un long traitement thermique (une dizaine d'heures) à température d'ébullition du lait de chamelle. Aux Emirats, une gamme de luxe de chocolat au lait de chamelle (2% de lait en poudre dans une tablette) est proposé dans des magasins spécialisés.

Utilisation non-alimentaire du lait de chamelle

Dans de nombreux pays (Maroc, Mauritanie, Inde, Hollande, Chine...), le gras du lait ou de la bosse peut être intégré dans la production de savons. Une telle production peut être assurée en ferme, mais des petits transformateurs ou des coopératives de femmes (par exemple au Maroc) peuvent proposer une large variété de savon au lait de chamelle.

La production commerciale de cosmétiques s'est développée aussi en Australie, Arabie Saoudite et

Maroc. En Chine, différents produits telles des crèmes cutanées de différentes propriétés (hydratante, nutritive), des lotions corporelles, des shampooings ou des bâtons de rouge à lèvres sont disponibles sur le marché. Les propriétés hypo-allergènes des protéines du lait de chamelle (notamment liées à l'absence de β -lactoglobuline) réhausse l'intérêt de son utilisation en cosmétique (Maryniak et al., 2018).

Conclusion

Sans aucun doute, le lait de chamelle représente de nouvelles opportunités aussi bien pour les scientifiques cherchant à en percer les mystères que pour l'industrie laitière à l'affût d'une plus-value sur les produits. La diversification des produits laitiers à base de lait de chamelle semble émerger rapidement depuis 2 ou 3 décennies. Cependant, comme le montrent les essais de fabrication de fromage, il n'est pas toujours possible de s'appuyer aveuglément sur les technologies appliquées au lait de vache. Une bonne valorisation du lait à travers différents procédés

demande des recherches fondamentales et appliquées pour une meilleure compréhension du comportement de cette matière première. L'Humanité a une longue expérience concernant le lait de vache. Pour le lait de chamelle, à l'exception de la fermentation, l'expérience en matière de fabrication de yaourts, de fromages, de beurre et autres produits comme la poudre ou le lait ultrafiltré est trop récente pour être achevée. Il s'agit là d'un réel défi pour les chercheurs et les industriels pour faire rentrer définitivement le lait de chamelle dans la modernité.

Références

- Abd Elhamid A.M., Elbayoumi M.M., 2017. Effect of heat treatment and fermentation on bioactive behavior in yoghurt made from camel milk. *American J. Food Sci. Technol.*, 5(3), 109-116.
- Abeiderrahmane N., 1997. Camel milk and modern industry. *J. Camel Pract. Res.*, 4, 223-228.
- Abu-Lehia I.H., Al-Mohizea I.S., El-Behry M., 1989. Studies on the production of ice-cream from camel milk products. *Australian J. Dairy Technol.*, 44 31-34.
- Agrawal R., Jain S., Shah S., Chopra A., Agarwal V., 2011. Effect of camel milk on glycemic control and insulin requirement in patients with type 1 diabetes: 2-years randomized controlled trial. *Eur. J. Clin. Nut.*, 65, 1048-1052.
- Ahmed A.I., Mohammed A.A., Faye B., Blanchard L., Bakheit S.A., 2010. Assessment of quality of camel milk and Gariss, North Kordofan, Sudan. *Res. J. Anim. Vet. Sci.*, 5(1), 18-22.
- Ahmed A.S.M., El Zubeir I.E.M., 2015. Microbiological and sensory properties of low-fat ice cream from camel milk using natural additives. *Ann. Food Sci. Technol.*, 16(1), 236-244.
- Akhmetsadykova Sh., Konuspayeva G., Loiseau G., Baubekova A., Kanayat Sh., Akhmetsadykov N., Faye B., 2013. Protection against lead contamination by strains of lactic acid bacteria from fermented camel milk. *Emir. J. Food Agric.*, 25(4) 274.
- Akhmetsadykova Sh., Baubekova A., Konuspayeva G., Akhmetsadykov N., Akhmetsadykov N., Faye B., Loiseau G., 2015. Lactic acid bacteria biodiversity in raw and fermented camel milk. *African J. Food Sci. Technol.*, 6(3), 84-88.
- Alhaj O.A., Metwalli A.M., Ismail E.A., 2011. Heat stability of camel milk proteins after sterilisation process. *J. Camel Pract. Res.*, 18(2), 277-282.
- Attia H., Kherouatou N., Fakhfakh N., Khorchani T., Trigui N., 2000. Dromedary milk fat: biochemical, microscopic and rheological characteristics. *J. Food Lipids*, 7(2), 95-112.
- Baubekova A., Akhmetsadykova S., Konuspayeva G., Akhmetsadykov N., Faye B., Loiseau G., 2015. Biodiversity study of the yeast in fresh and fermented camel and mare's milk by denaturing gradient gel electrophoresis. *J. Camel Pract. Res.*, 22, 91.
- Benabdelkamel H., Masood A., Alanazi I. O., Alzahrani D. A., Alrabiah D. K., AlYahya S.A., Alfadda A. A., 2017. Proteomic profiling comparing the effects of different 121 heat treatments on camel (*Camelus dromedarius*) milk whey proteins. *Int. J. Mol. Sci.*, 18, 2-15.
- Berhe T., Seifu E., Kurtu M.Y., 2013. Physicochemical properties of butter made from camel milk. *Int. Dairy J.*, 31(2), 51-54.
- Berhe T., Seifu E., Ipsen R., Kurtu M.Y., Hansen E.B., 2017. Processing challenges and opportunities of camel dairy products. *Int. J. Food Sci.*, 2, 1-8.
- Boulanger A., Grosclaude F., Mahé M.F., 1984. Polymorphisme des caséines α 1 et α 2 de la chèvre (*Capra hircus*). *Génét., Sélect., Evol.*, 16(2), 157-176.
- Cardoso R., Santos R., Cardoso C., Carvalho M., 2010. Consumption of camel's milk by patients intolerant to lactose. A preliminary study. *Rev. Alerg. México*, 57, 26-32.

- Conesa C., Sánchez L., Rota C., Pérez M. D., Calvo M., Farnaud S., Evans R. W., 2008. Isolation of lactoferrin from milk of different species: Calorimetric and antimicrobial studies. *Comp. Bioch. Physiol.-Part B: Bioch. Mol. Biol.*, 150(1), 131-139.
- Elhag A.E., Faye B., El Badwi S.M.A., 2017. Protective activity of camel's milk and urine mixture (*Camelus dromedarius*) against ethanol-induced hepatotoxicity in rats. *Adv. Biosci. Biotechnol.*, 8, 378-387.
- El Khasmi M., Riad F., Safwate A., Hidane K., Faye B., Davicco M.J., Coxam V., Barlet J.P., 2001. Postpartum evolution of mammary secretion of minerals and 25-hydroxyvitamin D in lactating camels (*Camelus dromedarius*). *J. Camel Pract. Res.*, 8(2), 131-135.
- El-Sayed M.A., El-Shafei S.M.S., Khalifa S.A., (2018. Manufacture of processed cheese spread from camel cheese based: Evaluation of cheese characteristics. *American J. Food Sci. Nut. Res.*, 5(4), 76-86.
- El-Zubeir I.E.M., Jabreel S.O., 2008. Fresh cheese from camel milk coagulated with Camifloc. *Int. J. Dairy Technol.*, 61, 90-95.
- Farah Z., Bachmann M.R., 1987. Rennet coagulation properties of camel milk. *MilchwissenSCC-Baft*, 42, 689-692.
- Farah Z., Streiff T., Bachmann M.R., 1989. Manufacture and characterization of camel milk butter. *Milchwissenschaft*, 44(7), 412-414.
- Faye B., Konuspayeva G., Messad S., Loiseau G., 2008. Discriminant milk components of Bactrian camel (*Camelus bactrianus*), dromedary (*Camelus dromedarius*) and hybrids. *Dairy Sci. Technol.*, 88, 607-617.
- Faye B., 2011. Quelles espèces pour quels espaces ? Quels systèmes pour quels territoires ? Les enjeux de la durabilité en élevage laitier. *Coll. Culture des laits du Monde*, Paris 5-6 mai 2010. In: *Les cahiers de l'OCHA n°15*, 160-173.
- Faye B., Bonnet P., 2012. Camel sciences and economy in the world: current situation and perspectives. *Proc. 3rd ISOCARD conference*. Keynote presentations. 29th January -1st February 2012, Mascate (Sultanate of Oman), 2-15.
- Faye B., Chaibou M., Vias G., 2012. Integrated impact of climate change and socioeconomic development on the evolution of camel farming systems. *British J. Environ. Clim. Change*, 2(3), 227-244.
- Faye B., 2014. The camel today: stakes and potentials. *Anthropozoologica*, 49(2), 15-24.
- Faye B., Madani H., El-Rouili A.H., 2014. Camel milk value chain in Northern Saudi Arabia. *Emir J. Food Agric.*, 26(4), 359-365.
- Faye B., 2016. The camel, new challenges for a sustainable development. *Trop. Anim. Health Prod.*, 48, 689-692.
- Faye B., 2018. The enthusiasm for camel production. *Editorial. Emir. J. Food. Agric.*, 30(4), 249-250.
- Feligini M., Bonizzi I., Buffoni J.N., Consenza G., Ramunno L., 2009. Identification and quantification of α -s1, α -s2, β , and κ -caseins in water buffalo milk by reverse phase-high performance liquid chromatography and mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.*, 57(7), 2988-2992.
- Hailu Y., Hansen E., Seifu Y., Eshetu M., Agerlin M., Petersen M.A., Lametsch R., Rattray F., Ipsen R., 2018. Rheological and sensory properties and aroma compounds formed during ripening of soft brined cheese made from camel milk. *Int. Dairy J.*, 81, 122-130.
- Hashim I.B., Khalil A.H., Habib H., 2009. Quality and acceptability of a set-type yogurt made from camel milk. *J. Dairy Sci.*, 92(3), 857-862.
- Ibrahim A.H., 2015. Effects of exopolysaccharide-producing starter cultures on physicochemical, rheological and sensory properties of fermented camel's milk. *Emir J. Food Agric.*, 27 (4): 374-383.
- Ibrahim A.H., Khalifa S.A., 2015. Effect of freeze drying on camel's milk nutritional properties. *Int. Food Res. J.*, 22(4), 1438-1445.
- Jones-Abeiderrahmane N., 2013. Camel cheese: seemed like a good idea. *Publ Nancy Jones-Abeiderrahmane, Nouakchott, Mauritania*, 387 p.
- Jrad Z., Girardet J-M., Adt I. Oulahal I., Degraeve N., Khorchani P., El Hatmi H. (2014). Antioxidant activity of camel milk casein. *Mljekarstvo*, 64, 287-294.
- Kappeler S.R., van den Brink H.J., Rahbek-Nielsen H., Farah Z., Puhan Z., Hansen E.B., Johansen E., 2006. Characterizations of recombinant camel chymosin reveals superior properties for the coagulation of bovine and camel milk. *Bioch. Biophys. Res. Comm.*, 342, 647-654.
- Kenzhebulat S., Ermuhan B., Tleuov A., 2000. Composition of camel milk and its use in the treatment of infectious diseases in human. *Proc. of 2nd International Camelid Conference: "agro-economics of camelid farming"*. Almaty, 8-12 sept., 2000, Kazakhstan, p. 101.
- Khalifa S.A. Ibrahim A.H., 2015. Influence of addition modified starches as stabilizer on physicochemical and textural properties of camel's milk yoghurt. *Zagazig J. Agric. Res.*, 42(2), 13 p.
- Kondybayev A., Zhakupbekova A., Amutova F., Omarova A., Nurseitova M., Akhmetsadykova Sh., Akhmetsadykov N., Konuspayeva G., Faye B., 2018. Volatile organic compounds profiles in milk fermented by lactic bacteria. *Int. J. Biol. Chem.*, 11(2), 57-67.
- Konuspayeva G., Loiseau G. Faye B., 2004. La plus-value « santé » du lait de chamelle cru et fermenté : l'expérience du Kazakhstan. *Renc. Rech. Ruminants*, 11, 47-50.
- Konuspayeva G., Lemarie E., Faye B., Loiseau G., Montet D., 2008. Fatty acid and cholesterol composition of camel's (*Camelus bactrianus*, *Camelus dromedarius* and hybrids) milk in Kazakhstan. *Dairy Sci. Technol.*, 88, 327-340.
- Konuspayeva G., Faye B., 2011. Identité, vertus thérapeutiques et allégation santé : les produits fermentés d'Asie Centrale. *Coll. Culture des laits du Monde*, Paris 5-6 mai 2010. In : *Les cahiers de l'OCHA n°15*, 135-145.
- Konuspayeva G., Faye B., Loiseau G., 2011. Variability of vitamin C content in camel milk from Kazakhstan. *J. Camelid Sci.*, 4, 63-69.
- Konuspayeva G., Faye B., Baubekova A., Loiseau G., 2012. Camel gruyere cheese making. In: *Proceedings of the 3rd ISOCARD conference* (E.H. Johnson et al., Eds), 29th January -1st February 2012, Mascate (Sultanate of Oman), 218-219.
- Konuspayeva G., Camier B., Gaucheron F., Faye B., 2014. Some parameters to process camel milk into cheese. *Emir. J. Food Agric.*, 26, 354-358.
- Konuspayeva G., Faye B., 2014. *Ouloutschiénye tekhnologiya i razrabotka pravil dliya natsionalnij produktov iz verbljujemoj moloka v sootvetstvii c trebovaniyami* FAO i FIL/IDF [Technology improvement and elaboration of rules for national camel milk products according to FAO and FIL/IDF requirements]. *Veterinariya*, 2-3 (36-37), 44-52.

- Konuspayeva G., Camier B., Aleilawi N., Al-Shumeimyri M., Al-Hammad K., Algruin K., Alshammari F., Beaucher E., Faye B., 2017. Manufacture of dry- and brine-salted soft camel cheeses for the camel dairy industry. *Int. J. Dairy Technol.*, 70(1), 92-101.
- Konuspayeva G., Baubekova A., Akhmetsadykova Sh., Akhmetsadykov N., Faye B., 2019. Concentrations in D- and L-lactate in raw cow and camel milk. *J. Camel Pract. Res.*, 26(1), 111-113.
- Korashy H., Maayah Z., Abd-Allah A., El-Kadi A., Alhaider A., 2012. Camel milk triggers apoptotic signaling pathways in human hepatoma HepG2 and breast cancer MCF7 cell lines through transcriptional mechanism. *J. Biomed. Biotech.*, 1-9.
- Liao Y., E. El-Fakkarany, B. Lonnerdal, E. M. Redwan, 2012. Inhibitory effects of native and recombinant full-length camel lactoferrin and its N and C lobes on hepatitis C virus infection of Huh7.5 cells. *J. Med. Microbio.*, 61, 375-383
- Loiseau G, Faye B, Serikbaeva A, Montet D (2001) Enzymes ability to serve as markers of pasteurized camel milk. In: International conference on new horizons in biotechnology, 18-21 avril 2001, Trivandrum, Inde.
- Lorenzen P., Wernery R., Johnson B., Jose Sh., Wernery U., 2011. Evaluation of indigenous enzyme activities in raw and pasteurized camel milk. *Small Rumin. Res.*, 97, 79-82.
- Maryniak N., Hansen E., Ballegaard A.S., Sancho A., Bøgh K., 2018. Comparison of the Allergenicity and Immunogenicity of Camel and Cow's Milk—A Study in Brown Norway Rats. *Nutrients*, 10(12), 1903, 1-18.
- Mc Mahon D.J., Brown R.J., 1984. Composition, structure and integrity of casein micelles: a review. *J. Dairy Sci.*, 67, 499-512.
- Mehaia M.A., 1993. Fresh soft white cheese (Domiaty-type) from camel milk: composition yield and sensory evaluation, *J. Dairy Sci.*, 76, 2845-2855.
- Mehaia M.A., 1996. Chemical composition of camel skim milk concentrated by ultracentrifugation. *Int. Dairy J.*, 6, 742-752.
- Moatsou G., Samolada M., Katsabeki A., Anifantakis E., 2004. Casein fraction of ovine milk from indigenous Greek breeds. *Dairy Sci. Technol.*, 84(3), 285-296.
- Moslehishad M., Ehsani M. R., Salami M., Mirdamadi S., Ezzatpanah H., Niasari A., Moosavi-Movahedi A., 2013. The comparative assessment of ACE-inhibitory and antioxidant activities of peptide fractions obtained from fermented camel and bovine milk by *Lactobacillus rhamnosus* PTCC 1637. *Int. Dairy J.*, 29, 82-87.
- Nagy P., Juhasz J., 2016. Review of present knowledge on machine milking and intensive milk production in dromedary camels and future challenges. *Trop. Anim. Health Prod.*, 48(5), 915-926.
- Navarrete-Rodríguez E. M., Ríos-Villalobos L. A., Alcocer-Arreguina C. R., Del-Rio-Navarro B., 2018. Cross-over clinical trial for evaluating the safety of camel's milk intake in patients who are allergic to cow's milk protein. *Allergol Immunopathol (Madr)*, 46, 149-154.
- Qadeer Z., Huma N., Sameen A., Iqbal T. (2015). Camel milk cheese: optimization of processing conditions. *J. Camelid Sci.*, 8, 18-25.
- Rahman M.S., Al-Hakmani H., Al-Alawi A., Al-Marhubi I., 2012. Thermal characteristics of freeze-dried camel milk and its major components. *Thermochemica Acta*, 549, 116-123.
- Ramet J.P., 1989. Cheese making capacity of camel milk. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 42, 105-111.
- Roffet-Salque M., Dunne J., Di Lernia S., Ryan K., Faye B., Outram A., Evershed W., 2014. Extending the carbon isotope proxy for animal fat identification in lipid residue preserved in archeological vessels to a wide range of ruminants and non-ruminant fats. *Proc. 12th Intl Conf. of Archaeozoology (ICAZ)*, A. Izeta (Ed.), 22-27/09/2014, Univ. National de Cordoba, San Rafael, Mendoza, Argentina, Abstracts, p. 135.
- Ryskaliyeva A., Henry C., Miranda G., Faye, B. Konuspayeva G., Martin P., 2018. Combining different proteomic approaches to resolve complexity of the milk protein fraction of dromedary, Bactrian camels and hybrids, from different regions of Kazakhstan. *PLoS ONE*, 13(5): e0197026.
- Soltani M., Boran O.S., Hayaloglu A.A., 2016. Effect of various blends of camel chymosin and microbial rennet (*Rhizomucor miehei*) on microstructure and rheological properties of Iranian UF White cheese. *LWT-Food Sci. Technol.*, 68, 724-728.
- Suliman A.M.E., Elamin O. M., Elkhalfa E.A., Laleye L., 2014. Comparison of Physicochemical Properties of Spray-dried Camel's Milk and Cow's Milk Powder. *Int.J. Food Sci. Nut. Engin.*, 4(1), 15-19.
- Tasov A., 2015. Solution of a problem *shubat* production with scientific working-outs implementing. In: *Proc. of 4th Conference of ISOCARD, "Silk Road Camel: the camelids, main stakes for sustainable development"*, June 8-12, 2015 Almaty, Kazakhstan, Konuspayeva G. (Ed.), Special Issue of Scientific and Practical Journal Veterinariya #2 (42) 2015, oral communication, 217.
- Uerpmann H.-P., Uerpmann, M., 2002. The appearance of the domestic camel in south-east Arabia. *J. Oman Stud.* 12, 235-260.
- Wernery U., 2006. Camel milk, the white gold of the desert. *J. Camel Pract. Res.*, 13(1), 15-26.
- Wernery U., Fischbach S., Johnson B., Jose S., 2008. Evaluation of alkaline phosphatase (ALP), γ -glutamyl transferase (GGT) and lactoperoxidase (LPO) activities for their suitability as markers of camel milk heat inactivation. *Milchwissenschaft*, 63(3), 265-267.
- Zarins J., 1989. Pastoralism in Southwest Asia: The Second Millennium BC. In: Clutton-Brock, J., ed. *The Walking Larder: Patterns of Domestication, Pastoralism, and Predation*. London: 127-155.
- Zouari A., Marchesseau S., Chevalier-Lucia D., Raffard G., Ayadi M.A., Picart-Palmade L., 2018. Acid gelation of raw and reconstituted spray-dried dromedary milk: a dynamic approach of gel structuring. *Int. Dairy J.*, 81, 95-103.