

Potentiels des plantes dans l'amélioration de la qualité du fromage et du yaourt au lait de chamelle

Abir OMRANI, Amel SBOUI, Maha HAMOUDA, Mohamed DBARA, Mohamed HAMMADI, Touhami KHORCHANI
Institut des Régions Arides (IRA), Laboratoire d'Élevage et de la Faune Sauvage, Université de Gabès, 4119, Médenine, Tunisie
Courriel : abyromrani@gmail.com

■ Face à l'augmentation de la demande pour des produits laitiers naturels et fonctionnels, l'industrie cameline explore de nouvelles pistes pour valoriser le lait de chamelle, notamment dans les régions arides où il est une ressource clé. Cet article examine les apports des plantes comme coagulants et additifs pour améliorer les qualités nutritionnelles et sensorielles du fromage et du yaourt à base de lait de chamelle, apportant des perspectives innovantes pour le secteur agroalimentaire.

Introduction

Le lait de chamelle, traditionnellement consommé frais dans les régions arides, suscite de plus en plus d'intérêt dans le secteur agroalimentaire. Selon les statistiques de la FAO (2023), la production mondiale de lait de chamelle s'élevait à environ 4,095 millions de tonnes, dont 2,817 millions de tonnes produites en Afrique. Parmi les principaux pays producteurs figurent le Kenya (1,026 million de tonnes), la Somalie (993 501 tonnes), l'Éthiopie (226 520 tonnes), l'Arabie saoudite (136 003 tonnes) et le Niger (107 504 tonnes). Ces pays, qui disposent de vastes cheptels de dromadaires, intègrent progressivement le lait de chamelle dans les circuits commerciaux nationaux et internationaux.

Les propriétés nutritionnelles uniques du lait de chamelle, riches en vitamines, minéraux et protéines, lui confèrent des caractéristiques fonctionnelles et des effets bénéfiques pour la santé, bien

documentés (Haddadin *et al.*, 2008 ; Hamouda *et al.*, 2022 ; Sboui *et al.*, 2022 ; Omrani *et al.*, 2025). Ces atouts font de ce lait une source précieuse pour le développement de produits laitiers innovants. Cependant, la transformation du lait de chamelle en produits laitiers pose plusieurs défis en raison de sa composition particulière. Des éléments tels que la faible teneur en κ -caséine, la grande taille des micelles protéiques et la petite taille des globules gras rendent difficile la coagulation et l'obtention de textures satisfaisantes (Farah & Ruegg, 1989 ; El-Zeini, 2006 ; Bornaz *et al.*, 2009 ; Arain *et al.*, 2023). Pour surmonter ces difficultés, l'utilisation de coagulants d'origine végétale offre une solution prometteuse, permettant d'améliorer à la fois le rendement et la qualité des fromages à base de lait de chamelle. À ce propos, les extraits de caroube (*Ceratonia siliqua* L.) (Omrani *et al.*, 2023), d'ananas (*Ananas comosus* L.), de kiwi (*Actinidia deliciosa* L.), de gingembre (*Zingiber officinale* L.) (Fguiri *et al.*, 2021), de feuilles d'ortie (*Urtica dioica* L.) (Bouazizi *et al.*, 2022) et

de moringa (*Moringa oleifera* L.) (Terefe *et al.*, 2017) ont été étudiés comme alternatives potentielles à la présure commerciale.

Bien que l'utilisation des coagulants végétaux dans l'industrie fromagère soit encore principalement expérimentale, leur potentiel réside dans la diversification des arômes et la création d'une plus grande variété de produits pour les consommateurs. Par ailleurs, le principal défi actuel pour l'industrie du lait de chamelle réside dans le choix des ferments, afin de diversifier les fromages et développer des arômes spécifiques (Mohsin *et al.*, 2024).

En ce qui concerne le yaourt au lait de chamelle, la production classique présente des difficultés, notamment une consistance fluide et une texture irrégulière (Attia *et al.*, 2000 ; Berhe *et al.*, 2017). Cependant, l'ajout d'ingrédients naturels, tels que des purées ou des poudres de fruits et de légumes, a permis de surmonter ces limitations et d'améliorer à la fois les caractéristiques

sensorielles et nutritionnelles du yaourt (Aleman *et al.*, 2023).

Cet article de synthèse explore l'utilisation des plantes dans la fabrication de produits laitiers fonctionnels à base de lait de chamelle, en particulier les fromages et les yaourts, et évalue leur rôle dans l'amélioration des propriétés texturales, sensorielles et nutritionnelles de ces produits.

1. Diversification des produits dérivés du lait de chamelle

La majeure partie du lait produit dans le monde subit divers traitements à l'aide de procédures technologiques modernes afin de prolonger sa durée de conservation et de produire des produits laitiers fonctionnels ayant une meilleure valeur nutritionnelle. Le [tableau 1](#) résume la majorité des produits dérivés du lait de chamelle. En outre, le lait camelin est utilisé dans diverses régions pour la préparation de plats traditionnels, tels que le lait fermenté, le thé et le café au lait de chamelle, ainsi que comme ingrédient de base dans les soupes et les potages (Singh *et al.*, 2017).

2. Fabrication de fromage à partir du lait de chamelle

■ 2.1. Définition et différents types de fromages

Le fromage est un produit laitier, affiné ou non, de consistance molle, semi-dure, dure ou extra-dure, qui peut être enrobé et dont le rapport protéines de lactosérum/caséine ne dépasse pas celui du lait (Codex Alimentarius, 1978 : CXS 283-1978 amendée 2022).

Selon la norme du Codex Alimentarius (1978) (CXS 283-1978 amendée 2022), le fromage peut être nommé en fonction de sa consistance et de ses caractéristiques d'affinage ([tableau 2](#)).

Le fromage est un aliment riche en nutriments essentiels, tels que les protéines, les acides gras, les minéraux

Tableau 1. Exemples de produits dérivés du lait de chamelle.

Produits du lait de chamelle	Exemples de produits	Références
Lait en poudre	Lait en poudre écrémé Lait en poudre enrichi	AlYammahi <i>et al.</i> (2023) Deshwal <i>et al.</i> (2020)
Chocolat	Chocolat au lait de chamelle	Muthukumaran <i>et al.</i> (2022)
Beurre	Beurre traditionnel « Semen »	Mourad & Nour-Eddine (2006)
Lait fermenté	Suusac Garris Shubat	Solanki & Hati (2018) Konuspayeva & Faye (2021)
Crèmes glacées	Crème glacée légère Crème glacée fortifiée	Ahmed & El Zubeir (2015) Hajian <i>et al.</i> (2020)
Yaourts	Yaourt à boire Yaourt grec Yaourt fortifié Yaourt brassé	Zhaxybayeva <i>et al.</i> (2020) Hashim <i>et al.</i> (2009) Atwaa <i>et al.</i> (2020)
Fromages	Fromage aromatisé aux herbes Fromage aux extraits de plantes Fromage blanc à pâte molle	El Hatmi <i>et al.</i> (2020) Omrani <i>et al.</i> (2024) Al-Zoreky & Almathen (2021) Konuspayeva <i>et al.</i> (2017)

Tableau 2. Classification des fromages selon la norme CXS 283-1978 amendée 2022 (Codex Alimentarius, 1978).

Différents types de fromages	
Selon la fermeté	Selon le degré d'affinage
Fromage à pâte extra-dure Fromage à pâte dure Fromage à pâte ferme/semi-dure Fromage à pâte molle	Fromage affiné Fromage affiné aux moisissures Fromage non affiné/frais En saumure

et les vitamines A, D et E. Il contient également des acides aminés et des peptides bioactifs, ainsi que des bactéries lactiques (Kongo & Malcata, 2016 ; Król, *et al.*, 2020). De plus, le fromage est une source de calcium, qui est nécessaire pour la santé des os et des dents (Walther *et al.*, 2008). Le fromage contient des protéines plus faciles à digérer et une teneur en lactose plus faible que le lait, ce qui en fait un choix optimal pour les personnes souffrant d'intolérance au lactose (Blažić *et al.*, 2017). En outre, la consommation de fromage est négativement corrélée aux maladies cardiovasculaires (Hu

et al., 2022). Par ailleurs, les peptides bioactifs contenus dans le fromage possèdent d'importantes propriétés antioxydantes, qui renforcent les mécanismes de défense de l'organisme contre le stress oxydatif et réduisent le risque de maladies chroniques (Silva *et al.*, 2012).

■ 2.2. Technologie de fabrication du fromage au lait de chamelle

Les études menées sur la transformation du lait de chamelle en fromage se sont principalement

concentrées sur l'optimisation des différents paramètres de transformation, notamment la température, la durée de maturation, la nature des agents coagulants, dans le but de développer un protocole standardisé permettant la production d'un fromage au lait de chamelle de qualité (Ramet, 2001 ; Baig *et al.*, 2022 ; Omrani *et al.*, 2024).

Plusieurs essais ont été menés pour résoudre les difficultés rencontrées dans la transformation du fromage à pâte molle à partir de lait de chamelle, notamment l'ajustement des paramètres de coagulation, qui visent à améliorer la texture et la fermeté du fromage final (Omrani *et al.*, 2024). Par exemple, la combinaison de lait de chamelle et de lait de vache a permis d'augmenter le rendement fromager du lait de chamelle tout en améliorant la texture du fromage, notamment en termes de consistance et de fermeté (Siddig *et al.*, 2016). Par ailleurs, l'ajout de CaCl_2 et de bactéries lactiques en tant que culture starter a permis d'augmenter le rendement fromager tout en réduisant le temps de coagulation (Khan *et al.*, 2004). La coagulation du lait de chamelle a été améliorée en utilisant des extraits d'enzymes de l'estomac de dromadaire au lieu de la chymosine commerciale (Haroun *et al.*, 2012). Par ailleurs, l'agent coagulant le plus couramment utilisé dans l'industrie fromagère pour le lait de chamelle est la chymosine recombinante (Chy-Max M1000, Chr. Hansen®, 2970 Horsholm, Denmark), désormais largement privilégiée pour son efficacité dans la coagulation du lait de chamelle (Konuspayeva *et al.*, 2017 ; Konuspayeva & Faye, 2021).

Par ailleurs, l'utilisation de 2-3 mL d'acide acétique 60 % pour la coagulation directe du lait de chamelle a permis d'obtenir un fromage à pâte molle présentant des attributs de qualité supérieure (Mohamed *et al.*, 2013). Cependant, une étude réalisée par Mbye *et al.* (2020) a montré que l'utilisation d'une concentration d'acide acétique de 30 % pour la coagulation a entraîné l'apparition d'une odeur indésirable et d'un goût aigre dans le produit final.

■ 2.3. Paramètres influençant le rendement fromager

Le rendement fromager est défini comme la quantité de fromage (en kg) produite à partir de 100 kg de lait pour un type de fromage donné. Néanmoins, dans certaines laiteries, il peut également être quantifié en déterminant le volume de lait nécessaire pour produire 1 000 kg de fromage (Lucey & Kelly, 1994). L'un des principaux défis liés à l'utilisation du lait de chamelle pour la production du fromage est le faible rendement fromager et le défaut de qualité du produit obtenu (Arain *et al.*, 2024). Mehaia (2002) a rapporté que la production de fromage à partir d'un kg de lait de vache est d'environ 250 g, tandis que le rendement correspondant pour un kg de lait de chamelle est d'environ 120 g. En effet, ce faible rendement fromager peut être attribué à l'impact de plusieurs facteurs, dont des facteurs liés au lait et d'autres liés aux procédés de transformation (Lucey & Kelly, 1994).

a. Facteurs liés au lait

La composition du lait est l'un des principaux facteurs influençant le rendement fromager. En effet, la concentration élevée en matières grasses et en protéines dans le lait est déterminante pour le rendement fromager, car ces composants sont mieux retenus dans le caillé, ce qui permet une meilleure extraction du fromage (Brito *et al.*, 2002 ; Abd El-Gawad & Ahmed, 2011). De plus, la composition en minéraux, notamment le calcium, joue un rôle clé dans le processus de coagulation et affecte directement la texture du fromage (Khan *et al.*, 2004). Aussi, la qualité du lait a un impact majeur sur le rendement fromager. Cependant, la présence d'un nombre élevé de bactéries ou de cellules somatiques dans le lait peut entraîner une diminution du rendement fromager. Cette diminution est principalement due à l'augmentation de la protéolyse et du passage des produits solubles issus de la protéolyse de la caséine vers la phase liquide (Othmane *et al.*, 2002). Il est donc crucial de contrôler la qualité microbiologique du lait afin de minimiser les pertes et d'optimiser la fabrication fromagère.

En outre, la race, le stade de lactation, la présence de mammites, l'alimentation, les fluctuations saisonnières et l'âge de l'animal influent sur la composition du lait et, par conséquent, sur le rendement fromager (Abd El-Gawad & Ahmed, 2011 ; Ayadi *et al.*, 2018).

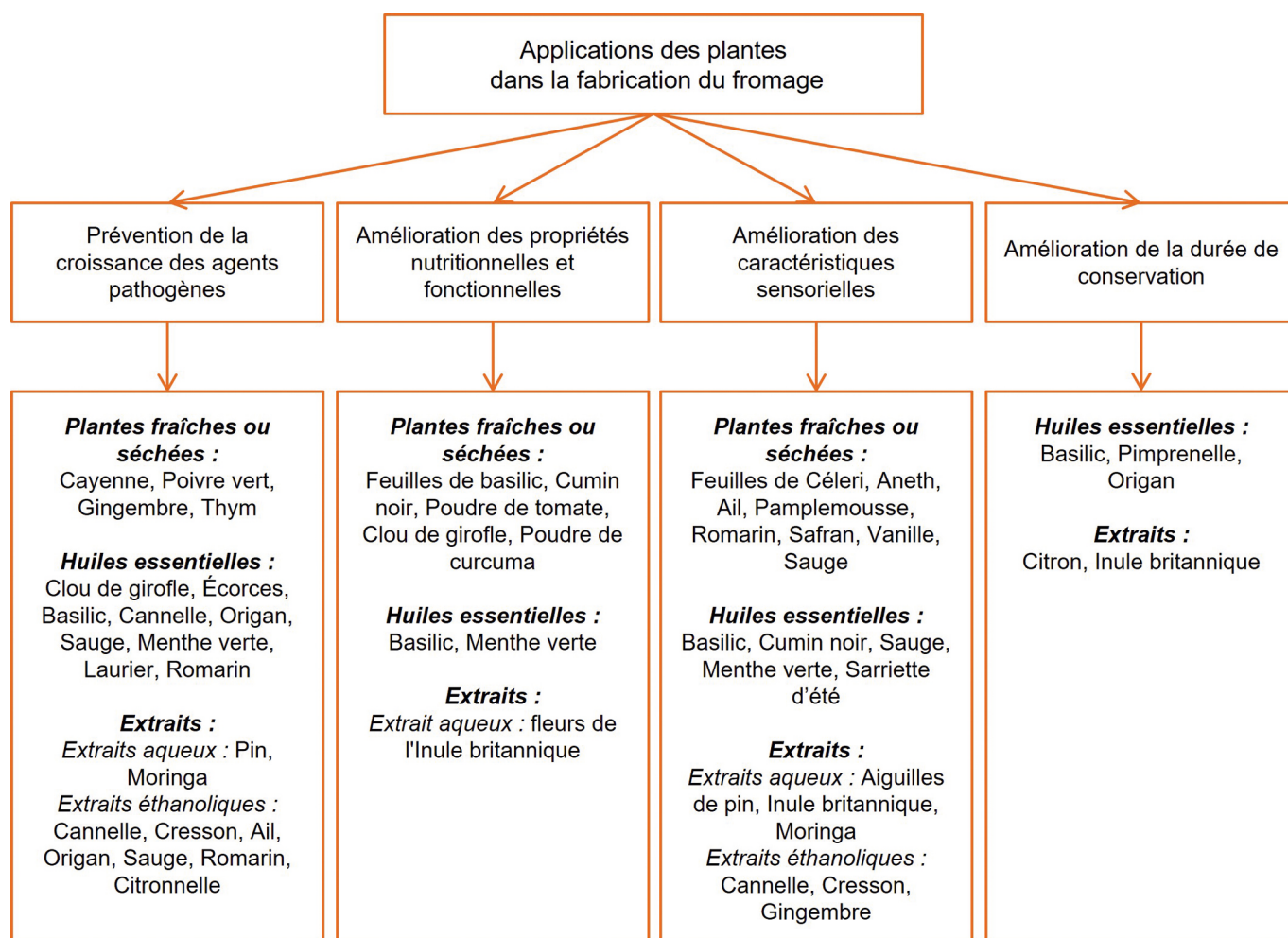
En conclusion, le rendement fromager et la qualité des fromages au lait de chamelle dépendent d'une interaction complexe entre la composition du lait, la qualité microbiologique, les paramètres biologiques des animaux et les conditions environnementales. La maîtrise de ces facteurs est cruciale pour optimiser le processus de fabrication du fromage et produire des produits de haute qualité.

b. Facteurs liés à la transformation

Les paramètres de transformation tels que le traitement thermique, la nature et la quantité de ferments lactiques, la quantité et le type de présure et l'ajout de CaCl_2 influencent le rendement du fromage en affectant la teneur en eau, protéines et matières grasses et par conséquent la formation du caillé (Skeie, 2007 ; Baig *et al.*, 2022). En effet, le traitement thermique influence la structure des protéines du lait, notamment la caséine, et détermine la répartition de l'eau dans le caillé (Hamouda *et al.*, 2022). Un chauffage optimal permet de maximiser la rétention des solides et le rendement en fromage. L'ajout de CaCl_2 améliore la coagulation en renforçant les liens entre les protéines de caséine et en optimisant la rétention des matières grasses (Khan *et al.*, 2004). En somme, une gestion fine de ces facteurs permet d'optimiser le rendement et la qualité du fromage.

■ 2.4. Contraintes relatives à la production du fromage au lait de chamelle

La production de fromage à partir du lait de chamelle impose des contraintes techniques qui rendent les méthodes, couramment utilisées pour les autres espèces laitières (vaches, brebis, chèvres...), beaucoup plus complexes et parfois inapplicables (Al haj & Al

Figure 1. Applications des plantes dans la fabrication du fromage (Ritota & Manzi, 2020).

Kanhal, 2010 ; Berhe *et al.*, 2017). Parmi ces contraintes, on peut citer :

i) Un temps de coagulation trois à cinq fois plus long que celui du lait bovin en utilisant la présure (Farah *et al.*, 1990). Ce temps de coagulation prolongé peut être notamment expliqué par la faible teneur en κ -caséine du lait de chamelle, qui ne représente que 3,5 % de la caséine totale, contre 13 % dans le lait de vache (Hailu *et al.*, 2016).

ii) La présence d'un résidu proline supplémentaire en 95^e position de la séquence d'acides aminés de la κ -caséine du lait de chamelle, dont le site d'hydrolyse se situe en Phe₉₇-Ile₉₈ (contre Phe₁₀₅-Met₁₀₆ dans le lait de vache), entrave l'activité enzymatique de la présure. En effet, le groupe imide associé à ce résidu proline agit comme un inhibiteur de protéase, limitant l'accès à la chymosine et prolongeant le processus

de coagulation (Bornaz *et al.*, 2009 ; Metwalli & Hailu, 2020).

iii) Une large taille des micelles de caséine dans le lait de chamelle offrant une surface réduite à la κ -caséine pour interagir avec la surface extérieure de la micelle, ce qui peut conduire à une hydrolyse incomplète (Kethireddipalli & Hill, 2015).

iv) Une petite taille des globules gras, caractérisés par une homogénéisation naturelle de la matière grasse, ce qui conduit à une réduction de l'élasticité et à une augmentation de la fragilité de la texture du fromage (Ho *et al.*, 2022). Au cours du processus de fabrication du fromage, la présure perturbe la structure des caséines (κ -caséine) et entraîne la formation d'un gel en emprisonnant la matière grasse dans la matrice protéique. Cependant, dans le cas du lait de chamelle, les petits globules gras échappent au réseau protéique et passent dans le petit-lait du fromage (Baig *et al.*, 2022).

■ 2.5. Utilisation de plantes dans la fabrication du fromage

L'incorporation de plantes sous diverses formes dans le processus de fabrication du fromage est une pratique ancienne qui vise principalement à enrichir le fromage en lui donnant une saveur ou un arôme particulier, à améliorer sa texture et à augmenter sa valeur nutritionnelle et sa durée de conservation.

La figure 1 illustre diverses formes d'applications de composés d'origine végétale dans la production de fromage. Selon Wahba *et al.* (2010), les extraits de piment de Cayenne et de poivre vert ont permis de réduire la population de *Staphylococcus aureus* dans le fromage égyptien Kareish. Les extraits de cannelle, d'ail, de citronnelle, de cresson, de romarin, de sauge et d'origan ont montré leur potentiel à

inhiber la croissance de *Listeria monocytogenes* dans le fromage fondu (Tayel *et al.*, 2015). Certaines substances d'origine végétale ont montré leur efficacité dans l'inhibition du développement des champignons pathogènes (Gouvea *et al.*, 2017). En outre, les herbes et les épices se présentent comme des aliments fonctionnels potentiels, en raison de la richesse en composés bioactifs qui confèrent des effets bénéfiques à la santé (Tapsell *et al.*, 2006). Solhi *et al.* (2020) ont rapporté une amélioration des propriétés sensorielles et du comportement rhéologique du fromage fondu en ajoutant de la poudre de tomate ce qui a augmenté la teneur en lycopène et l'activité antioxydante des fromages traités, même après deux mois de stockage. En outre, l'ajout d'extraits aqueux d'*Inula britannica* L. à un fromage de type Cheddar a amélioré son activité antioxydante *in vivo* (Lee *et al.*, 2016).

De même, l'utilisation des huiles essentielles, telles que l'huile de nigelle et l'huile de cumin noir, a amélioré divers aspects sensoriels du fromage, y compris la texture, la couleur, l'odeur, la saveur et l'acceptabilité globale du consommateur (Hassanien *et al.*, 2014; Ehsani *et al.*, 2016). Le fromage indien Kalari, traité par des extraits aqueux de cèdre de l'Himalaya (*Cedrus deodara* L.) en tant que conservateurs naturels, a montré une saveur, une texture et une acceptabilité globale supérieures après le stockage par rapport aux échantillons de contrôle (Mahajan *et al.*, 2016).

Par ailleurs, le recouvrement du fromage à pâte mi-dure affiné avec des feuilles de romarin déshydratées a amélioré les propriétés physico-chimiques, rhéologiques et sensorielles du fromage (Marinho *et al.*, 2015). L'extrait de *Moringa oleifera* a prolongé la durée de conservation du fromage frais de quatre semaines (Mohamed *et al.*, 2018).

Enfin, plusieurs plantes sont exploitées en tant que coagulants et alternatives à la présure pour la production de fromage. En effet, l'extrait brut de caroube verte (*Ceretonia siliqua* L.) a permis de produire un fromage frais au lait de chamelle avec des propriétés sensorielles, rhéologiques et

Tableau 3. Classification des yaourts (Gahruie *et al.*, 2015 ; Bankole *et al.*, 2023).

Différents types de yaourts		
Selon la technologie de fabrication	Selon la teneur en matière grasse	Selon la saveur
Yaourt ferme Yaourt brassé Yaourt à boire	Yaourt au lait entier Yaourt faible en matières grasses Yaourt sans matières grasses	Yaourt nature Yaourt aromatisé Yaourt fortifié

microbiologiques améliorées, tout en enrichissant sa valeur nutritionnelle (Omriani *et al.*, 2024).

Les fleurs de chardon renferment des protéases aspartiques à forte activité coagulante du lait, ce qui permet de produire un fromage ayant une texture plus crémeuse et une saveur plus intense (Alavi & Momen, 2020). Les extraits aqueux bruts obtenus à partir des gousses vertes de caroube et des feuilles et du latex de *Pergularia tomentosa* L. ont montré une activité coagulante significative, ce qui en fait des alternatives utiles à la présure traditionnelle (Leulmi *et al.*, 2023 ; Omriani *et al.*, 2023).

3. Yaourt

■ 3.1. Définition et types de yaourts

Selon le Codex Alimentarius (2003) (norme CXS 243-2003), le yaourt est défini comme un produit laitier résultant de la coagulation du lait par fermentation lactique, causée par l'action de *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, qui sont ajoutés en quantités substantielles au lait (pasteurisé, concentré, partiellement écrémé, enrichi d'extrait sec), avec ou sans incorporation d'autres substances telles que le lait en poudre, les protéines, etc. Différents types de yaourts sont présentés dans le [tableau 3](#).

■ 3.2. Technologie de fabrication du yaourt

La production de yaourt implique la fermentation du lait provenant de diverses espèces laitières, notamment les chèvres, les brebis, les vaches et

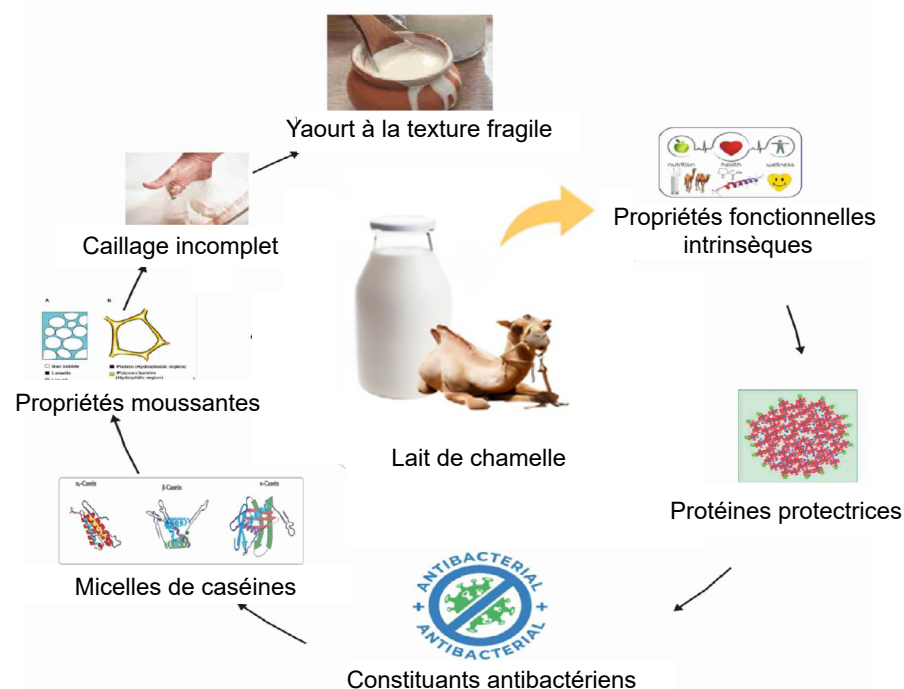
les chammelles. Cependant, le lait de chamelle n'est pas considéré comme adapté à la production commerciale de yaourt (Akanova *et al.*, 2017). Le processus de production du yaourt commence par la réception du lait et le contrôle de sa qualité, suivi par un traitement thermique (85-90 °C, 5-10 minutes). La symbiose de bactéries, y compris *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, forme les cultures de départ fondamentales pour la production de yaourt. En effet, ces bactéries jouent un rôle essentiel dans le processus de fermentation en favorisant la transformation du lactose en acide lactique, ce qui permet d'abaisser le pH au niveau requis pour le développement de la texture et de la saveur souhaitées dans le yaourt (Ifeanyi *et al.*, 2013). La fermentation doit se dérouler dans des conditions de température et d'environnement strictement contrôlées, ce qui garantit la survie et l'abondance des bactéries dans le produit fini (Meydani & Ha, 2000).

■ 3.3. Contraintes relatives à la production de yaourt au lait de chamelle

La production industrielle et la disponibilité commerciale du yaourt au lait de chamelle sont limitées en raison de certaines contraintes spécifiques liées aux propriétés physico-chimiques et fonctionnelles uniques de ce lait. Ces contraintes sont principalement liées à l'aptitude de coagulation réduite du lait de chamelle, qui se traduit par un produit final à texture fragile (Berhe *et al.*, 2017).

La [figure 2](#) illustre les limites de transformation rencontrées dans la production de yaourt au lait de chamelle. La composition unique et les propriétés

Figure 2. Contraintes liées à la transformation du lait de chamelle en yaourt (Arain *et al.*, 2024).



fonctionnelles du lait de chamelle représentent les principaux facteurs qui induisent un comportement différent de celui du lait bovin au cours de la fermentation lactique (Galeboe *et al.*, 2018).

Selon l'étude d'El Zubeir *et al.* (2012), le lait de chamelle n'a pas réussi à être entièrement fermenté après 16-18 h d'incubation à 37 °C en utilisant 2,5 % de la culture bactérienne de départ. Cette restriction entraîne un problème de texture du yaourt au lait de chamelle, caractérisé par un caillage partiel et une consistance insuffisante ce qui donne un caillé fragile et irrégulier avec des flocons dispersés (Berhe *et al.*, 2017).

Le yaourt au lait de chamelle maintient une consistance constante pendant le processus de fermentation, par rapport au lait bovin. Cette stabilité peut être attribuée à la concentration plus élevée de protéines protectrices et de composants antibactériens présents dans ce lait, prolongeant ainsi la phase de latence tout en atténuant la phase de déclin de la culture de départ au cours du processus de fermentation (Attia *et al.*, 2001 ; Jumah *et al.*, 2001). Toutefois, les propriétés moussantes du lait de chamelle influencent

négativement la formation du gel, générant une structure plus fragile et instable (Lajnaf *et al.*, 2017). Plusieurs tentatives visant à améliorer la transformation du lait de chamelle en yaourt, telles que l'enrichissement avec un autre type de lait, l'utilisation de différents types de stabilisants et d'acides organiques, l'ajout de ferments appropriés et l'optimisation des conditions de traitement, ont été déterminées comme des opportunités possibles pour surmonter les contraintes mentionnées (Habtegebriel & Admassu, 2016 ; Sobti & Kamal-Eldin, 2019 ; Mbye *et al.*, 2020). Cependant, bien que ces approches améliorent la texture et la stabilité du yaourt, elles peuvent altérer certaines propriétés fonctionnelles du lait de chamelle, ce qui soulève la nécessité d'une approche équilibrée entre innovation technologique et préservation des bénéfices nutritionnels et bioactifs (Arain *et al.*, 2023).

■ 3.4. Utilisation de plantes dans la fabrication du yaourt

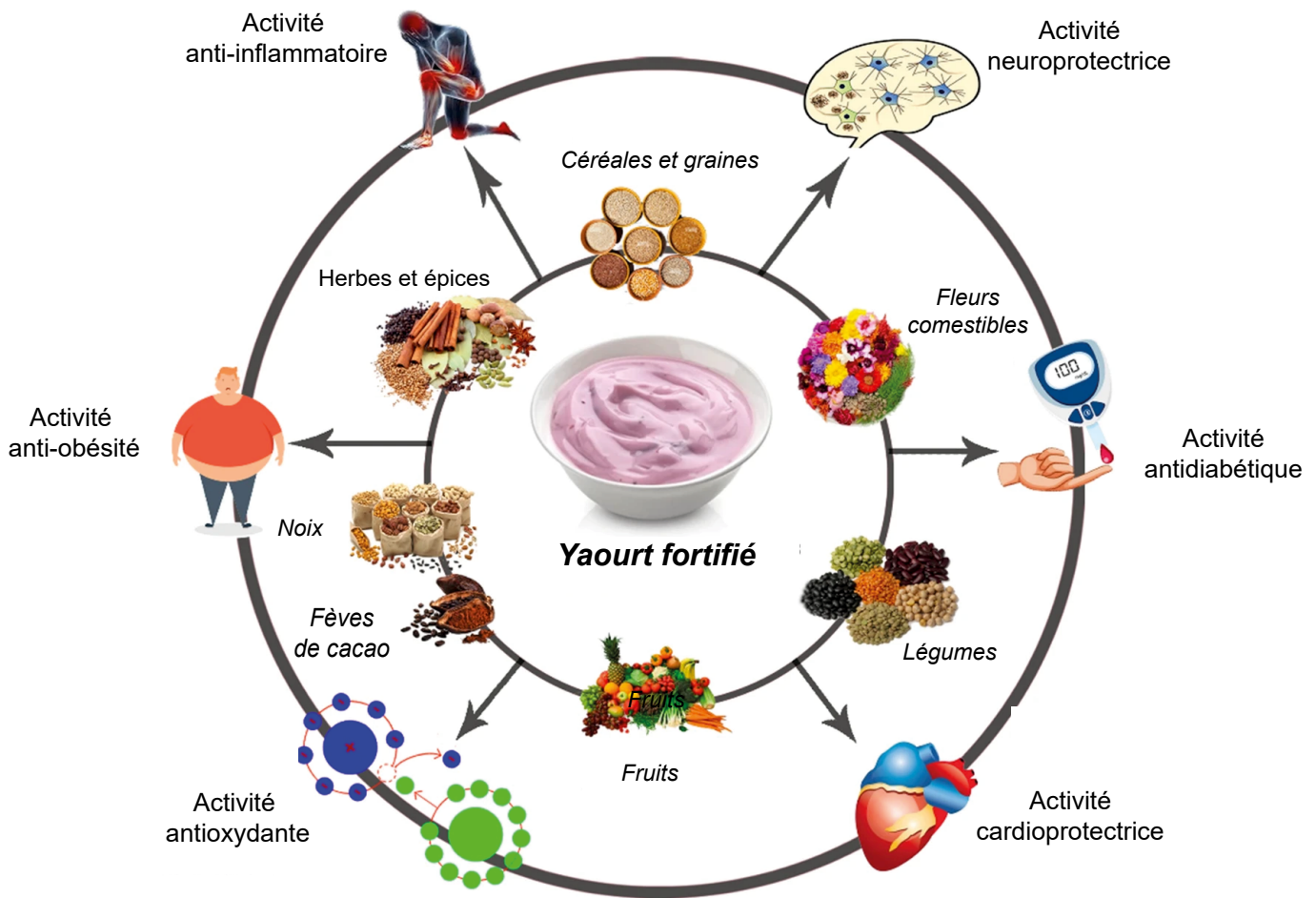
a. Avantages nutritionnels et sensoriels

La fortification des produits laitiers tels que le yaourt avec des végétaux (fruits et légumes) sous différentes

formes (frais, poudre, jus, extrait et purée) constitue une méthode efficace pour améliorer la qualité nutritionnelle et la fonctionnalité de ces produits en agissant sur leurs propriétés rhéologiques, physico-chimiques et sensorielles (Ariza *et al.*, 2016 ; Bakirci *et al.*, 2017). En effet, bien que le yaourt soit riche en protéines, acides gras, minéraux (Ca et K) et vitamines B (B1, B2, B6), il se caractérise par une faible teneur en fibres alimentaires et en carotènes (Gahruie *et al.*, 2015 ; Caleja *et al.*, 2016). Les plantes sont considérées comme des sources riches en vitamines, polyphénols et caroténoïdes, qui pourraient offrir une meilleure qualité sensorielle, nutritionnelle et antioxydante par rapport aux additifs artificiels utilisés dans les produits laitiers (Caleja *et al.*, 2016). À cet égard, la combinaison entre les plantes et les yaourts peut renforcer leurs caractéristiques nutritionnelles et fonctionnelles. Ainsi, l'ajout de carotte à la formulation du yaourt a amélioré ses caractéristiques nutritionnelles, fonctionnelles et sensorielles (Puvanenthiran *et al.*, 2014) en raison de sa richesse en β -carotène, acide ascorbique, vitamine B, glucides et minéraux (Aly *et al.*, 2004 ; Ergun & Süslüoğlu, 2018). Par ailleurs, la purée ou la poudre de citrouille sont utilisées dans la fabrication de yaourt pour améliorer leur saveur et leur valeur nutritionnelle (Bakirci *et al.*, 2017 ; Barakat & Hassan, 2017) grâce à sa richesse en β -carotène, minéraux (K, P, Mg, Fe et Se), vitamines (A, E, B1, B2, B6 et C) et fibres alimentaires (Salehi & Aghajanzadeh, 2020). Les fibres de citrouille ont amélioré le comportement rhéologique et la texture du yaourt écrémé (Bakirci *et al.*, 2017). Le yaourt aromatisé à la fraise est l'un des yaourts les plus consommés en raison de son goût sucré, de sa couleur et de son arôme, qui sont appréciés, ainsi que de ses qualités nutritionnelles, notamment la présence de composés bioactifs tels que la vitamine C, le β -carotène, les anthocyanes et les composés phénoliques (Ariza *et al.*, 2016).

b. Bénéfices pour la santé

L'incorporation d'ingrédients fonctionnels naturels, y compris les plantes, dans le yaourt a renforcé de manière significative diverses activités

Figure 3. Activités biologiques observées dans le yaourt fortifié en ingrédients fonctionnels (Rashwan et al., 2023).

biologiques, conférant ainsi divers bénéfices pour la santé. La **figure 3** illustre les activités biologiques observées dans le yaourt fortifié avec des ingrédients fonctionnels. Les yaourts enrichis d'ingrédients fonctionnels naturels tels que les polyphénols, les polysaccharides, les acides aminés et les vitamines se sont révélés capables d'agir comme des antioxydants, réduisant le stress oxydatif et l'inflammation dans l'organisme (Lorusso et al., 2018 ; Abdel-Hamid et al., 2020 ; Kowaleski et al., 2020).

Le yaourt enrichi au fruit du moine et à la poudre de patate douce violette a démontré une activité anti-obésité et antidiabète et une protection contre les maladies cardiovasculaires, tout en réduisant de manière significative les taux sanguins de cholestérol total, de LDL et de triglycérides, ainsi qu'en modulant le taux de glycémie et en maintenant une valeur significativement plus basse de résistance à l'insuline

(Lin et al., 2012 ; Ban et al., 2020 ; Khairani et al., 2020 ; Saini et al., 2021). En outre, selon Wijesekara et al. (2022), l'incorporation d'un extrait aqueux de curcumine dans un yaourt brassé a entraîné une diminution du nombre de cellules probiotiques viables. Cet effet peut être attribué aux propriétés antimicrobiennes inhérentes au curcuma. Par ailleurs, le yaourt brassé enrichi de 15 % de sirop de caroube a montré une activité antimicrobienne importante contre *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Shigella* spp. et *Salmonella typhi* (Shalabi, 2022). Le yaourt supplémenté avec 0,5 % d'extrait de pépins de raisin a montré une activité cytotoxique élevée contre les lignées cellulaires cancéreuses MCF-7 et HCT-116, entraînant respectivement une mort cellulaire de 62,47 % et 70,36 %. La présence de composés phénoliques dans l'extrait de pépins de raisin a joué un rôle important dans cette activité anticancéreuse (Tami et al., 2022).

Conclusion

Le lait de chamelle présente des caractéristiques distinctes qui influencent sa transformation en produits laitiers tels que le fromage et le yaourt. Malgré le potentiel de cette ressource, la production demeure limitée en raison des défis technologiques liés à la coagulation et à la texture des produits. Les recherches récentes soulignent l'importance de l'incorporation de plantes, tant en tant qu'additifs que coagulants, pour surmonter ces obstacles.

En effet, l'utilisation de coagulants végétaux influence à la fois la texture et le rendement du fromage au lait de chamelle. Ces plantes ont démontré une capacité à moduler les propriétés rhéologiques du caillé et à diversifier les arômes des fromages, offrant ainsi des perspectives intéressantes pour le développement de produits fromagers innovants. En ce qui concerne le yaourt,

l'enrichissement avec des végétaux frais, en poudre ou sous forme d'extraits a conduit à une amélioration significative de sa composition nutritionnelle et de ses caractéristiques organoleptiques.

Ces innovations non seulement rehaussent les propriétés sensorielles et rhéologiques des produits, mais elles ouvrent également des perspectives prometteuses pour la diversification et

la valorisation des produits laitiers dérivés du lait de chamelle.

En particulier dans les régions arides où cette ressource est abondante, l'intégration de solutions innovantes comme l'exploitation des plantes dans la transformation du lait de chamelle en yaourt et en fromage pourrait catalyser l'expansion de ces produits sur le marché mondial, tout en répondant à une

demande croissante pour des aliments naturels et fonctionnels.

Ainsi, les résultats des études menées montrent que ces innovations ne sont pas seulement théoriques, mais qu'elles peuvent être appliquées de manière tangible dans l'industrie, contribuant à l'amélioration de la qualité et à la compétitivité des produits laitiers dérivés du lait de chamelle.

Références

- Abd El-Gawad, M. A., & Ahmed, N. S. (2011). Cheese yield as affected by some parameters review. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 10(2), 131-153. https://www.food.actapol.net/pub/1_2_2011.pdf
- Abdel-Hamid, M., Romeih, E., Huang, Z., Enomoto, T., Huang, L., & Li, L. (2020). Bioactive properties of probiotic set-yogurt supplemented with *Siraitia grosvenorii* fruit extract. *Food Chemistry*, 303, 125400. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125400>
- 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. *Annals of Food Science and Technology*, 16, 236-244. https://afst.valahia.ro/wp-content/uploads/2022/09/s03_w02_full_2015.pdf
- Akanova, A., Kikebayev, N., Shaikenova, K., Seitkazhy, Z., & Okuskhanova, E. (2017). Nutritive and biological value of mare's milk ice cream. *Pakistan Journal of Nutrition*, 16(6), 457-462. <https://doi.org/10.3923/pjn.2017.457.462>
- Al haj, O. A., & Al Kanhal, H. A. (2010). Compositional, technological, and nutritional aspects of dromedary camel milk. *International Dairy Journal*, 20(12), 811-821. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2010.04.003>
- Alavi, F., & Momen, S. (2020). Aspartic proteases from thistle flowers: Traditional coagulants used in the modern cheese industry. *International Dairy Journal*, 107, 104709. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104709>
- Aleman, R. S., Cedillos, R., Page, R., Olson, D., & Aryana, K. (2023). Physico-chemical, microbiological, and sensory characteristics of yogurt as affected by various ingredients. *Journal of Dairy Science*, 106(6), 3868-3883. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22622>
- Aly, S. A., Galal, E. A., & Elewa, N. A. (2004). Carrot yoghurt: Sensory, chemical, microbiological properties and consumer acceptance. *Pakistan Journal of Nutrition*, 3(6), 322-330. <https://doi.org/10.3923/pjn.2004.322.330>
- AlYammahi, J., Rambabu, K., Thanigaivelan, A., Hasan, S. W., Taher, H., Show, P. L., & Banat, F. (2023). Production and characterization of camel milk powder enriched with date extract. *LWT*, 179, 114636. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114636>
- Al-Zoreky, N. S., & Almathen, F. S. (2021). Using recombinant camel chymosin to make white soft cheese from camel milk. *Food Chemistry*, 337, 127994. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127994>
- Araim, M. A., Rasheed, S., Jaweria, A., Khaskheli, G. B., Barham, G. S., & Ahmed, S. (2023). A review on processing opportunities for the development of camel dairy products. *Food Science of Animal Resources*, 43(3), 383-401. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2023.e13>
- Araim, M. A., Salman, H. M., Ali, M., Khaskheli, G. B., Barham, G. S., Marghazani, I. B., & Ahmed, S. (2024). A review on camel milk composition, techno-functional properties and processing constraints. *Food Science of Animal Resources*, 44(4), 739-757. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2023.e18>
- Ariza, M. T., Reboredo-Rodríguez, P., Mazzoni, L., Forbes-Hernández, T. Y., Giampieri, F., Afrin, S., Gasparrini, M., Soria, C., Martínez-Ferri, E., Battino, M., & Mezzetti, B. (2016). Strawberry achenes are an important source of bioactive compounds for human health. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(7), 1103. <https://doi.org/10.3390/ijms17071103>
- Attia, H., Kherouatou, N., Fakhfakh, N., Khorchani, T., & Trigui, N. (2000). Dromedary milk fat: Biochemical, microscopic and rheological characteristics. *Journal of Food Lipids*, 7(2), 95-112. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2000.tb00164.x>
- Attia, H., Kherouatou, N., & Dhoub, A. (2001). Dromedary milk lactic acid fermentation: Microbiological and rheological characteristics. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 26(5), 263-270. <https://doi.org/10.1038/sj.jim.7000111>
- Atwaa, E. H., Hassan, M. A. A., & Ramadan, M. F. (2020). Production of probiotic stirred yogurt from camel milk and oat milk. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 11(9), 259-264. <https://doi.org/10.21608/jfds.2020.118366>
- Ayadi, M., Hammadi, M., Casals, R., Atigui, M., Khorchani, T., Samara, E. M., Abdoun, K. A., Al-Haidary, A. A., & Caja, G. (2018). Influence of management type and stage of lactation on the performance and milk fatty acid profile of dairy camels (*Camelus dromedarius*). *The Journal of Agricultural Science*, 156(9), 1111-1122. <https://doi.org/10.1017/S0021859618001065>
- Baig, D., Sabikhi, L., Kheta, Y., & Shelke, P. A. (2022). Technological challenges in production of camel milk cheese and ways to overcome them – A review. *International Dairy Journal*, 129, 105344. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105344>
- Bakirci, S., Dagdemir, E., Boran, O. S., & Hayaloglu, A. A. (2017). The effect of pumpkin fibre on quality and storage stability of reduced-fat set-type yogurt. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(1), 180-187. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.13264>
- Ban, Q., Cheng, J., Sun, X., Jiang, Y., Zhao, S., Song, X., & Guo, M. (2020). Effects of a synbiotic yogurt using monk fruit extract as sweetener on glucose regulation and gut microbiota in rats with type 2 diabetes mellitus. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 2956-2968. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17700>
- Bankole, A. O., Ironi, E. A., Awoyale, W., & Ajani, E. O. (2023). Application of natural and modified additives in yogurt formulation: Types, production, and rheological and nutraceutical benefits. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1257439>
- Barakat, H., & Hassan, M. F. Y. (2017). Chemical, nutritional, rheological, and organoleptical characterizations of stirred pumpkin-yogurt. *Food and Nutrition Sciences*, 8(07), 746-759. <https://doi.org/10.4236/fns.2017.87053>
- Berhe, T., Seifu, E., Ipsen, R., Kurtu, M. Y., & Hansen, E. B. (2017). Processing challenges and opportunities of camel dairy products. *International Journal of Food Science*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9061757>
- Blažić, M., Pavić, K., Zavadlav, S., & Marčac, N. (2017). The impact of traditional cheeses and whey on health. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 9(2), 198-203. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2017.9.2.11>
- Bornaz, S., Sahli, A., Attalah, A., & Attia, H. (2009). Physicochemical characteristics and renneting properties of camels' milk: A comparison with goats', ewes' and cows' milks. *International Journal of Dairy Technology*, 62(4), 505-513. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1471-0307.2009.00535.x>
- Bouazizi, A., Felfoul, I., Attia, H., & Karoui, R. (2022). Characterization of nettle leaves (*Urtica dioica*) as a novel source of protease for clotting dromedary milk by non-destructive methods. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 211, 112312. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.112312>

- Brito, C., Niklitschek, L., Molina, L. H., & Molina, I. (2002). Evaluation of mathematical equations to predict the theoretical yield of Chilean Gouda cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 55(1), 32-39. <https://doi.org/10.1046/j.1364-727X.2001.00035.x>
- Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Caroch, M., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Fortification of yogurts with different antioxidant preservatives: A comparative study between natural and synthetic additives. *Food Chemistry*, 210, 262-268. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.114>
- Codex Alimentarius. (1978). Norme générale pour le fromage (CXS 283-1978 amendée 2022).
- Codex Alimentarius. (2003). Milk and milk products. Codex standard for fermented milks (CXS 243-2003).
- Deshwal, G. K., Singh, A. K., Kumar, D., & Sharma, H. (2020). Effect of spray and freeze drying on physico-chemical, functional, moisture sorption and morphological characteristics of camel milk powder. *LWT*, 134, 110117. <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110117>
- Ehsani, A., Hashemi, M., Naghibi, S. S., Mohammadi, S., & Khalili Sadaghiani, S. (2016). Properties of Bunium persicum essential oil and its application in Iranian white cheese against *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157: H7. *Journal of Food Safety*, 36(4), 563-570. <https://doi.org/10.1111/jfs.12277>
- El Hatmi, H., Jrad, Z., Mkaem, W., Chahbani, A., Oussaief, O., Zid, M. B., Nouha, M., Zaidi, S., Khorchani, S., Belguith, K., & Mihoubi, N. B. (2020). Fortification of soft cheese made from ultrafiltered dromedary milk with *Allium roseum* powder: Effects on textural, radical scavenging, phenolic profile and sensory characteristics. *LWT*, 132, 109885. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109885>
- El-Zeini, H. M. (2006). Microstructure, rheological and geometrical properties of fat globules of milk from different animal species. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 56(2), 147-154. <https://journal.pan.olsztyn.pl/Issue-2-2006.6550>
- El Zubeir, I. E. M., Basher, M. A. E., Alameen, M. H., Mohammed, M. A. S., & Shuipe, E. S. (2012). The processing properties, chemical characteristics and acceptability of yoghurt made from non-bovine milks. *Livestock Research for Rural Development*, 24(3). <http://www.lrrd.org/lrrd24/3/zube24050.htm>
- Ergun, M., & Süslüoğlu, Z. (2018). Evaluating carrot as a functional food. *Middle East Journal of Science*, 4(2), 113-119. <https://dergipark.org.tr/en/pub/mejs/issue/41457/492136>
- FAO. (2023). FAOSTAT (Food and Agriculture Data). FAO Statistics Division 2023, <http://faostat.fao.org>. Consulté le 12/02/2025.
- Farah, Z., & Ruegg, M. W. (1989). The size distribution of casein micelles in camel milk. *Food Structure*, 8(2), 6. <https://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure/vol8/iss2/6>
- Farah, Z., Streiff, T., & Bachmann, M. R. (1990). Preparation and consumer acceptability tests of fermented camel milk in Kenya. *Journal of Dairy Research*, 57(2), 281-283. <https://doi.org/10.1017/S002202990002690X>
- Fguiri, I., Atigui, M., Sboui, A., Samira, A., Marzougui, C., Dbara, M., Hammadi, M., & Khorchani, T. (2021). Camel milk-clotting using plant extracts as a substitute for commercial rennet. *Journal of Chemistry*, 2021, 6680246. <https://doi.org/10.1155/2021/6680246>
- Gahruie, H. H., Eskandari, M. H., Mesbahi, G., & Hanifpour, M. A. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>
- Galeboe, O., Seifu, E., & Sekwati-Monang, B. (2018). Production of camel milk yoghurt: Physicochemical and microbiological quality and consumer acceptability. *International Journal of Food Studies*, 7(2), 51-63. <https://doi.org/10.7455/ijfs/7.2.2018.a5>
- Gouvea, F. dos S., Rosenthal, A., & Ferreira, E. H. da R. (2017). Plant extract and essential oils added as antimicrobials to cheeses: A review. *Ciência Rural*, 47(8). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160908>
- Habtegebriel, H., & Admassu, S. (2016). Optimization of the production process of soft cheese from camel milk using linear programming technique. *Food Science and Quality Management*, 49, 35-41. <https://iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/29587>
- Haddadin, M. S., Gammoh, S. I., & Robinson, R. K. (2008). Seasonal variations in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of Dairy Research*, 75(1), 8-12. <https://doi.org/10.1017/S0022029907002750>
- Hailu, Y., Hansen, E. B., Seifu, E., Eshetu, M., & Ipsen, R. (2016). Factors influencing the gelation and rennetability of camel milk using camel chymosin. *International Dairy Journal*, 60, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.01.013>
- Hajian, N., Salami, M., Mohammadian, M., Moghadam, M., & Emam-Djomeh, Z. (2020). Production of low-fat camel milk functional ice creams fortified with camel milk casein and its antioxidant hydrolysates. *Applied Food Biotechnology*, 7(2), 95-102. <https://doi.org/10.22037/afb.v7i2.27779>
- Hamouda, M., Sboui, A., Omrani, A., Dbara, M., Zaidi, S., Hammadi, M., & Khorchani, T. (2022). Effect of thermal treatments on the fatty acids composition, antioxidant and anti-inflammatory properties of camel milk. *Journal of Food Engineering and Technology*, 11(2), 55-61. <https://doi.org/10.32732/jfet.2022.11.2.55>
- Haroun, B., Laleye, S., Chahra, L. C. S., Farida, M.-M., Saliha, S. A., & Abderrahmane, M. (2012). Coagulation of camel milk using dromedary gastric enzymes as a substitute for commercial rennet. *American Journal of Food Technology*, 7(7), 409-419. <https://doi.org/10.3923/ajft.2012.409.419>
- Hashim, I. B., Khalil, A. H., & Habib, H. (2009). Quality and acceptability of a set-type yogurt made from camel milk. *Journal of Dairy Science*, 92(3), 857-862. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1408>
- Hassanien, M. F. R., Mahgoub, S. A., & El-Zahar, K. M. (2014). Soft cheese supplemented with black cumin oil: Impact on food borne pathogens and quality during storage. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 21(3), 280-288. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.10.005>
- Ho, T. M., Zou, Z., & Bansal, N. (2022). Camel milk: A review of its nutritional value, heat stability, and potential food products. *Food Research International*, 153, 110870. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110870>
- Hu, M.-J., Tan, J.-S., Gao, X.-J., Yang, J.-G., & Yang, Y.-J. (2022). Effect of cheese intake on cardiovascular diseases and cardiovascular biomarkers. *Nutrients*, 14(14), 2936. <https://doi.org/10.3390/nu14142936>
- Ifeanyi, V. O., Ihesiaba, E. O., Muomaife, O. M., & Ikenga, C. (2013). Assessment of microbiological quality of yogurt sold by street vendors in Onitsha metropolis, Anambra state, Nigeria. *British Microbiology Research Journal*, 3(2), 198-205. <https://doi.org/10.9734/BMRJ/2013/1801>
- Jumah, R. Y., Shaker, R. R., & Abu-Jdayil, B. (2001). Effect of milk source on the rheological properties of yogurt during the gelation process. *International Journal of Dairy Technology*, 54(3), 89-93. <https://doi.org/10.1046/j.1364-727x.2001.00012.x>
- Kethireddipalli, P., & Hill, A. R. (2015). Rennet coagulation and cheesemaking properties of thermally processed milk: Overview and recent developments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(43), 9389-9403. <https://doi.org/10.1021/jf504167v>
- Khairani, A. F., Islami, U., Syamsunarno, M. R. A., & Lantika, U. A. (2020). Synbiotic purple sweet potato yogurt ameliorates lipid metabolism in high-fat diet mice model. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 13(1), 175-184. <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/1874>
- Khan, H. A., Athar, I. H., & Aslam, M. U. (2004). Evaluation of cheese prepared by processing camel milk. *Pakistan Journal of Zoology*, 36(4), 323-326. <https://zsp.com.pk/pdf36/PJZ-12403.pdf>
- Kongo, J. M., & Malcata, F. X. (2016). Cheese: types of cheeses-soft. In B. Caballero, P. M. Finglas, F. Toldrá (Eds), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (pp. 768-773). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00132-X>
- 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. *International Journal of Dairy Technology*, 70(1), 92-101. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12319>
- Konuspayeva, G., & Faye, B. (2021). Recent advances in camel milk processing. *Animals*, 11(4), 1045. <https://doi.org/10.3390/ani11041045>
- Kowaleski, J., Quast, L. B., Steffens, J., Lovato, F., Rodrigues dos Santos, L., Zambiazzi da Silva, S., Maschio de Souza, D., & Felicetti, M. A. (2020). Functional yogurt with strawberries and chia seeds. *Food Bioscience*, 37, 100726. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100726>

- Król, J., Wawryniuk, A., Brodziak, A., Barłowska, J., & Kuczyńska, B. (2020). The effect of selected factors on the content of fat-soluble vitamins and macro-elements in raw milk from Holstein-Friesian and Simmental cows and acid curd cheese (Tvarog). *Animals*, 10(10), 1800. <https://doi.org/10.3390/ani10101800>
- Lajnaf, R., Picart-Palmade, L., Attia, H., Marchesseau, S., & Ayadi, M. A. (2017). Foaming and adsorption behavior of bovine and camel proteins mixed layers at the air/water interface. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 151, 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.12.010>
- Lee, N. K., Jeewanthi, R. K. C., Park, E. H., & Paik, H. D. (2016). Physicochemical and antioxidant properties of Cheddar-type cheese fortified with *Inula britannica* extract. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 83-88. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9935>
- Leulmi, I., Zidoune, M. N., Hafid, K., Djeghim, F., Bourekoua, H., Dziki, D., & Różyło, R. (2023). New coagulant proteases for cheesemaking from leaves and latex of the spontaneous plant *Pergularia tomentosa*: Biochemical characterization of coagulants and sensorial evaluation of cheese. *Foods*, 12(13), 2467. <https://doi.org/10.3390/foods12132467>
- Lin, P.-P., Hsieh, Y.-M., Kuo, W.-W., Lin, C.-C., Tsai, F.-J., Tsai, C.-H., Huang, C.-Y., & Tsai, C.-C. (2012). Inhibition of cardiac hypertrophy by probiotic-fermented purple sweet potato yogurt in spontaneously hypertensive rat hearts. *International Journal of Molecular Medicine*, 30(6), 1365-1375. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2012.1154>
- Lorusso, A., Coda, R., Montemurro, M., & Rizzello, C. G. (2018). Use of selected lactic acid bacteria and quinoa flour for manufacturing novel yogurt-like beverages. *Foods*, 7(4), 51. <https://doi.org/10.3390/foods7040051>
- Lucey, J., & Kelly, J. (1994). Cheese yield. *International Journal of Dairy Technology*, 47(1), 1-14. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1994.tb01264.x>
- Mahajan, D., Bhat, Z. F., & Kumar, S. (2016). Pine needles (*Cedrus deodara* (Roxb.) Loud.) extract as a novel preservative in cheese. *Food Packaging and Shelf Life*, 7, 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.01.001>
- Marinho, M. T., Zielinski, A. A. F., Demiate, I. M., do Santos Bersot, L., Granato, D., & Nogueira, A. (2015). Ripened semihard cheese covered with lard and dehydrated rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) leaves: Processing, characterization, and quality traits. *Journal of Food Science*, 80(9), 2045-2054. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12988>
- Mbye, M., Sobti, B., Al Nuami, M. K., Al Shamsi, Y., Al Khateri, L., Al Saedi, R., Saeed, M., Ramachandran, T., Hamed, F., & Kamal-Eldin, A. (2020). Physicochemical properties, sensory quality, and coagulation behavior of camel versus bovine milk soft unripened cheeses. *NFS Journal*, 20, 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.06.003>
- Mehaia, M. A. (2002). Manufacture of fresh soft white cheese (Domiat-type) from ultrafiltered goats' milk. *Food Chemistry*, 79(4), 445-452. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00195-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00195-4)
- Metwalli, A. A. & Hailu, Y. (2020). Effects of Industrial Processing Methods on Camel Milk Composition, Nutritional Value, and Health Properties. In O. Alhaj, B. Faye, & R. Agrawal (Eds.), *Handbook of Research on Health and Environmental Benefits of Camel Products* (pp. 197-239). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1604-1.ch010>
- Meydani, S. N., & Ha, W.-K. (2000). Immunologic effects of yogurt. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(4), 861-872. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.4.861>
- Mohamed, A. E., Babiker, I. A., & Mohamed, T. E. (2013). Preparation of fresh soft cheese from dromedary camel milk using acid and heat method. *Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences*, 3(9), 289-292. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20133314426>
- Mohamed, F. A. E. F., Salama, H. H., El-Sayed, S. M., El-Sayed, H. S., & Zahran, H. A. (2018). Utilization of natural antimicrobial and antioxidant of *Moringa oleifera* leaves extract in manufacture of cream cheese. *Journal of Biological Sciences*, 18(2), 92-106. <https://doi.org/10.3923/jbs.2018.92.106>
- Mohsin, A. Z., Norsah, E., Marzlan, A. A., Abd Rahim, M. H., & Meor Hussin, A. S. (2024). Exploring the applications of plant-based coagulants in cheese production: A review. *International Dairy Journal*, 148, 105792. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105792>
- Mourad, K., & Nour-Eddine, K. (2006). Physicochemical and microbiological study of "shmen", a traditional butter made from camel milk in the Sahara (Algeria): Isolation and identification of lactic acid bacteria and yeasts. *Grasas y Aceites*, 57(2), 198-204. <https://doi.org/10.3989/gya.2006.v57.i2.37>
- Muthukumaran, M. S., Mudgil, P., Baba, W. N., Ayoub, M. A., & Maqsood, S. (2022). A comprehensive review on health benefits, nutritional composition and processed products of camel milk. *Food Reviews International*, 39(6), 3080-3116. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2008953>
- Omrani, A., Sboui, A., Mars, W., Hamouda, M., Dbara, M., Hammadi, M., & Khorchani, T. (2023). Improvement of camel milk-clotting: Usefulness of crude extract from green pods of carob (*Ceratonia siliqua* L.) as a substitute for commercial rennet. *Cellular and Molecular Biology*, 69(13), 89-95. <https://doi.org/10.14715/cmb/2023.69.13.14>
- Omrani, A., Sboui, A., Hannachi, H., Hamouda, M., Dbara, M., Hammadi, M., Khorchani, T., & Maqsood, S. (2024). Optimisation of soft camel cheese production coagulated with green carob extract using response surface methodology: Yield, physicochemical, microbial, sensorial, and rheological properties. *International Journal of Dairy Technology*, 77(4), 1159-1170. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13118>
- Omrani, A., Sboui, A., Hamouda, M., Dbara, M., Hammadi, M., & Khorchani, T. (2025). Camel milk: Composition, properties and processing potential. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 6(2), 55-59. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15363394>
- Othmane, M. H., De La Fuente, L. F., Carriedo, J. A., & San Primitivo, F. (2002). Heritability and genetic correlations of test day milk yield and composition, individual laboratory cheese yield, and somatic cell count for dairy ewes. *Journal of Dairy Science*, 85(10), 2692-2698. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74355-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74355-5)
- Puvanenthiran, A., Stevovitch-Rykner, C., McCann, T. H., & Day, L. (2014). Synergistic effect of milk solids and carrot cell wall particles on the rheology and texture of yoghurt gels. *Food Research International*, 62, 701-708. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.023>
- Ramet, J. P. (2001). *The technology of making cheese from camel milk* (Camelus dromedarius) (No. 113). Food & Agriculture Organization. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/t0755e>
- Rashwan, A. K., Osman, A. I., & Chen, W. (2023). Natural nutraceuticals for enhancing yogurt properties: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1907-1931. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01588-0>
- Ritota, M., & Manzi, P. (2020). Natural preservatives from plants in cheese making. *Animals*, 10(4), 749. <https://doi.org/10.3390/ani10040749>
- Saini, A., Panwar, D., Panesar, P. S., & Bera, M. B. (2021). Encapsulation of functional ingredients in lipidic nanocarriers and antimicrobial applications: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1107-1134. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01109-3>
- Salehi, F., & Aghajanzadeh, S. (2020). Effect of dried fruits and vegetables powder on cakes quality: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.011>
- Sboui, A., Atig, C., Khabir, A., Hammadi, M., & Khorchani, T. (2022). Camel milk used as an adjuvant therapy to treat type 2 diabetic patients: Effects on blood glucose, HbA1c, cholesterol, and TG levels. *Journal of Chemistry*, 2022, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2022/5860162>
- Shalabi, O. M. A. K. (2022). Antioxidant, antibacterial, and antitumor activities of goat's stirred yoghurt fortified with carob molasses. *Annals of Agricultural Sciences*, 67(1), 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.aas.2022.06.003>
- Siddig, S. M., Sulieman, A. M. E., Salih, Z. A., & Abdelmuhsin, A. A. (2016). Quality characteristics of white cheese (Jibnabeida) produced using camel milk and mixture of camel milk and cow milk. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 6(3), 49-54. <http://article.sapub.org/10.5923.j.food.20160603.01.html>
- Silva, R. A., Lima, M. S. F., Viana, J. B. M., Bezerra, V. S., Pimentel, M. C. B., Porto, A. L. F., Cavalcanti, M. T. H., & Lima Filho, J. L. (2012). Can artisanal "Coalho" cheese from Northeastern Brazil be used as a functional food? *Food Chemistry*, 135(3), 1533-1538. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.058>
- Singh, R., Mal, G., Kumar, D., Patil, N. V., & Pathak, K. M. L. (2017). Camel milk: an important natural adjuvant. *Agricultural research*, 6(4), 327-340. <https://doi.org/10.1007/s40003-017-0284-4>

- Skeie, S. (2007). Characteristics in milk influencing the cheese yield and cheese quality. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 16(Suppl. 1), 130-142. <https://doi.org/10.22358/jafs/74164/2007>
- Sobti, B., & Kamal-Eldin, A. (2019). Effect of added bovine casein and whey protein on the quality of camel and bovine milk yoghurts. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 804-811. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i10.2022>
- Solanki, D., & Hati, S. (2018). Fermented camel milk: A Review on its bio-functional properties. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(4), 268-274. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i4.1661>
- Solhi, P., Azadmard-Damirchi, S., Hesari, J., & Hamishehkar, H. (2020). Production of the processed cheese containing tomato powder and evaluation of its rheological, chemical and sensory characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 2198-2205. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04256-1>
- Tami, S. H., Aly, E., Darwish, A. A., & Mohamed, E. S. (2022). Buffalo stirred yoghurt fortified with grape seed extract: New insights into its functional properties. *Food Bioscience*, 47, 101752. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101752>
- Tapsell, L. C., Hemphill, I., Cobiac, L., Sullivan, D. R., Fenech, M., Patch, C. S., Roodenrys, S., Keogh, J. B., Clifton, P. M., Williams, P. G., Fazio, V. A., & Inge, K. E. (2006). Health benefits of herbs and spices: The past, the present, the future. *Medical Journal of Australia*, 185(S4). <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2006.tb00548.x>
- Tayel, A. A., Hussein, H., Sorour, N. M., & El-Tras, W. F. (2015). Foodborne pathogens prevention and sensory attributes enhancement in processed cheese via flavoring with plant extracts. *Journal of Food Science*, 80(12), 2886-2891. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13138>
- Terefe, M. A., Kebede, A., & Kebede, M. (2017). Clotting activities of partially purified extracts of *Moringa oleifera* L. on dromedary camel milk. *East African Journal of Sciences*, 11(2), 117-128. <https://doi.org/10.20372/eajs.v11i2.407>
- Wahba, N. M., Ahmed, A. S., & Ebraheim, Z. Z. (2010). Antimicrobial effects of pepper, parsley, and dill and their roles in the microbiological quality enhancement of traditional Egyptian Kareish cheese. *Foodborne Pathogens and Disease*, 7(4), 411-418. <https://doi.org/10.1089/fpd.2009.0412>
- Walther, B., Schmid, A., Sieber, R., & Wehrmüller, K. (2008). Cheese in nutrition and health. *Dairy Science and Technology*, 88(4-5), 389-405. <https://doi.org/10.1051/dst:2008012>
- Wijesekara, A., Weerasingha, V., Jayarathna, S., & Priyashantha, H. (2022). Quality parameters of natural phenolics and its impact on physicochemical, microbiological, and sensory quality attributes of probiotic stirred yogurt during the storage. *Food Chemistry: X*, 14, 100332. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100332>
- Zhaxybayeva, E. Z., Dikhanbayeva, F. T., Dimitriev, Z. P., Imangalieva, Z. K., & Asenov, A. R. (2020). Development of a recipe and technology for the production of drinking yogurt from camel milk for gerodietetic nutrition based on the enzyme, probiotics and nutrient additive. *Eurasian Journal of Biosciences*, 14(1), 355-363.

Résumé

Le lait de chamelle possède des caractéristiques uniques qui influencent sa transformation en produits laitiers, tels que le fromage et le yaourt. Cependant, la production de ces produits reste limitée en raison des défis technologiques liés à la coagulation et à la texture. Des recherches récentes ont montré que l'incorporation de plantes, sous forme d'additifs ou de coagulants, peut contribuer à surmonter ces obstacles. En effet, les extraits végétaux et les huiles essentielles ont démontré leur potentiel à améliorer la qualité du fromage au lait de chamelle. Par ailleurs, l'enrichissement du yaourt avec des végétaux (fruits et légumes), sous différentes formes (frais, poudre, jus, extrait, purée...) se révèle être une approche efficace pour renforcer sa composition. En outre, ces végétaux offrent non seulement des avantages nutritionnels, mais améliorent également les propriétés sensorielles et rhéologiques des produits laitiers. Ces approches offrent des perspectives prometteuses pour diversifier et valoriser les produits laitiers issus du lait de chamelle, surtout dans les régions arides où cette ressource est abondante. L'innovation dans ce domaine pourrait jouer un rôle clé dans l'expansion de ces produits sur le marché mondial tout en répondant à la demande croissante pour des aliments naturels et fonctionnels.

Abstract

Potential of plants in improving the quality of camel milk cheese and yogurt

Camel milk has unique properties that affect its transformation into dairy products like cheese and yogurt. However, producing these products on a larger scale is challenging due to issues with coagulation and texture. Recent research has shown that adding plant-based ingredients, either as additives or coagulants, can help solve these problems. In fact, plant extracts and essential oils have shown potential in improving the quality of camel milk cheese. Moreover, fortifying yogurt with fruits and vegetables in different forms (fresh, powder, juice, extract, or puree) has been found to improve its nutritional value. These plant ingredients not only boost nutrition but also enhance the sensory and textural properties of camel milk products. This approach offers promising opportunities to diversify and enhance camel milk dairy products, especially in arid regions where camel milk is plentiful. Innovations in this area could also help meet the growing demand for natural and functional foods in global markets.

OMRANI, A., SBOUI, A., HAMOUDA, M., DBARA, M., HAMMADI, M., & KHORCHANI, T. (2025). Potentiels des plantes dans l'amélioration de la qualité du fromage et du yaourt au lait de chamelle. *INRAE Productions Animales*, 38(3), 8383. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2025.38.3.8383>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI en respectant les informations figurant ci-dessus.