

Qualité du kéfir camelin issu du système d'élevage extensif en Tunisie

Samira ARROUM^{1,2}, Amel SBOUI², Imen FGUIRI², Naziha AYEB^{2,3}, Mohamed HAMMADI², Touhami KHORCHANI²

(Reçu le 30/05/2023; Accepté le 17/07/2023)

Résumé

L'objectif de ce travail est de transformer le lait de chamelle élevée dans un système extensif en Kéfir. La pasteurisation (63°C pendant 30 min) du lait, l'incubation avec trois doses des grains de kéfir (2, 5 et 10%) et à différents temps d'incubations (18; 20 et 24 h) ont été évalués lors de la transformation. Les caractéristiques physico-chimiques des laits, grains du kéfir, kéfirs camelins et la composition chimique de l'alimentation des chameles rencontrée sur parcours ont été mesurées. Les résultats ont montré que le lait camelin se caractérise par une valeur neutre du pH (6,9 ± 0,11) et une teneur en matière sèche importante (114 ± 0,11 g/l). Les grains des kéfirs ont un pH acide (3,9) et leur teneur en matières grasses est négligeable (0,02 g/kg). La composition chimique des espèces pastorales a montré que la teneur en NDF a été de 33,9 à 81,1% et la teneur en ADF a été de 22,5% à 61,7%. La dose des grains du kéfir (2,5 et 10 %) a eu un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité du kéfir obtenu pour les différents temps d'incubation (18, 20 et 24 h). Par conséquent, le lait camelin a une aptitude à la transformation au kéfir conforme aux normes législatives.

Mots clés: Lait camelin, grains de kéfir, plantes pastorales et les caractéristiques chimiques

Quality of kefir from camel raised in an the extensive system in Tunisia

Abstract

The aim of this study is to transform milk of camel, raised in an extensive system, into kefir. The pasteurization (63°C for 30 min) of the milk, the incubation with three rates of kefir grains (2,5 and 10%) and different incubation times (18; 20 and 24 h) were evaluated during the transformation. The physicochemical characteristics of milk, kefir grains, camel kefirs and the chemical composition of the diet of the camels were measured. The results showed that camel milk is characterized by a neutral pH value (6.9 ± 0.11) and a high dry matter (DM) content of 114.2 ± 0.11 g/l. Kefir grains have an acid pH (3.9) and their fat content is very low (0.02 g/kg). The chemical composition of pastoral species showed an NDF content of 33.9 to 81.1% and an ADF content of 22.5% to 61.7%. Varying the rate of kefir grains from 2,5 to 10% had a significant effect on the pH, acidity and viscosity of the kefir obtained for the different incubation times (18, 20 and 24 h). Consequently, camel milk was suitable for transformation into kefir in accordance with legislative standards.

Keywords: Camel milk, kefir grains, pastoral plants and chemical characteristics

INTRODUCTION

L'élevage camelin est une tradition ancestrale en Tunisie. Généralement, il est mieux adapté dans le système d'élevage extensif. Le dromadaire broute ses besoins alimentaires du parcours couvert d'une végétation rejetée par les autres ruminants (Longo *et al.*, 2007). Il est capable de procurer du lait de très bonne qualité nutritionnelle en valorisant le maigre pâturage des régions difficiles, contrairement aux autres animaux laitiers (Boudjenah, 2012). Le lait de chamelle est extrêmement important pour les habitants des régions arides. Il occupe une place stratégique dans l'alimentation quotidienne des nomades grâce à sa composition équilibrée en nutriment de base (protéines, glucides et lipides). Actuellement, il est apprécié pour ses propriétés anti-infectieuses (Jrad *et al.*, 2013) et anti-diabétiques (Sbouï *et al.*, 2009).

De nos jours, les besoins en lait camelin sont de plus en plus importants, du fait que ce produit recèle suffisamment de nutriments essentiels (El Hatmi *et al.*, 2000), peut être consommé à l'état frais, pasteurisé ou fermenté (Fguiri *et al.*, 2016) pour prolonger sa durée de conservation. Parmi les produits fermentés, on cite le kéfir, d'origine caucasienne, qui reçoit sa particularité et son goût spécifique d'une association de bactéries lactiques et de levures (Arslan, 2015). Ce produit possède les qualités nutritionnelles des autres

laits fermentés dont une meilleure digestibilité suite à la fermentation et adéquat aux individus intolérants au lactose (Zourari *et al.*, 1988). La boisson au kéfir se répand maintenant dans le monde entier, de plus en plus demandé par les consommateurs en raison de ses propriétés potentiellement associées à la santé (Leite *et al.*, 2015; Kesenkaset *et al.*, 2017; Hamida *et al.*, 2021; Arroum *et al.*, 2022).

Le kéfir peut être préparé en utilisant différent type du lait. L'utilisation du lait de chamelle reste limitée, malgré ses propriétés nutritionnelles et thérapeutiques. Ceci étant dû à sa disponibilité et à la faible aptitude à la transformation du lait camelin (Ramet, 2004). Le type de lait utilisé, le mode d'élevage, les grains de kéfir et les conditions de fermentation (dose, durée et température) doivent être surveillés pendant la production, car des modifications de ces variables peuvent affecter la composition chimique du kéfir (Beghedadi et Bouzrara, 2022).

C'est dans ce cadre que nous avons abordé ce travail de recherche qui a pour objectif la caractérisation d'un lait fermenté de type kéfir à base du lait camelin issu du système extensif à différent condition de fermentation. Cette étude se focalise également sur la caractérisation des plantes pastorales broutées par les chameles laitières ainsi que la qualité du leur Kéfir saharien produit à différents doses de grains de kéfir et différents temps d'incubation.

¹ Institut Supérieur Agronomique de Chott-Meriem, Université Sousse, Tunisie

² Laboratoire d'élevage et de faune sauvage, Institut des Régions Arides, Médenine, Tunisie

³ Centre Régional des Recherches Agricoles Sidi Bouzid, Tunisie

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a été réalisée au Sud-Est Tunisien dans le Laboratoire d'Élevage et de la Faune Sauvage à l'Institut des Régions Arides (IRA) de Médenine.

Matériel biologique

Les grains de kéfir

Les grains de Kéfir sous forme de chou-fleur ont été collectés de chez des utilisateurs privés. Avant chaque utilisation, ils ont été lavés à l'eau distillée, tamisés (2, 5 et 10%) et par la suite inoculés au lait de chamelle provenant du système d'élevage extensif (18, 20 et 24 heures) à une température de 25°C.

Collecte du lait et des aliments

L'échantillonnage du lait de chamelle (*Camelus dromedarius*) et de leur alimentation correspondante ont été collectés sur une période de 5 mois (février jusqu'à juin 2020) et sont issus du système d'élevage extensifs du gouvernorat de Médenine (Sidi Makhloof, Gataayet Chih et Halg Ejmel) où pâturent les chamelles laitières. A partir du parcours étudié, 17 espèces pastorales ont été collectés des trois sites mentionnés, en trois répétitions. Le lait a été collecté dans la même période de la collecte des plantes pastorales. Il s'agit d'un mélange provenant de la traite totale de dix chamelles portantes, saines, multipares et en mi-lactation. Le prélèvement est répété trois fois pour chaque site.

L'alimentation des chamelles repose sur les apports du parcours. Donc, il est utile de mener une étude des plantes palatables par les chamelles sur le parcours utilisé dont le but de reconnaître le type de plante consommé par les chamelles durant cette période. La composition floristique des espèces collectées et leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1: Nomenclature des quelques plantes consommées par les troupeaux des camélidés sur parcours

Espèces	Cycle de vie	Famille
<i>Suaeda mollis</i>	a	Chenopodiaceae
<i>Reaumaria vermicullata</i>	p	Tamaricacées
<i>Launaea glomerata</i>	a	Astéracées
<i>Retama raetam</i>	p	Fabaceae
<i>Stipa tenacissima</i>	P	Poaceae
<i>Limoniastrum gynianum</i>	p	Plumbaginaceae
<i>Atriplex halimus</i>	p	Chénopodiacées
<i>Traganum nudatum</i>	p	Amaranthacées
<i>Nitraria retusa</i>	p	Nitrariaceae
<i>Tamarix gallica</i>	p	<u>Tamaricaceae</u>
<i>Salsola tetrandra</i>	p	Amaranthacées
<i>Aeluropus littoradis</i>	p	Poaceae
<i>Zygophyllum album</i>	p	Zygophyllaceae
<i>Frankinia thymofolia</i>	p	Frankeniaceae
<i>Astragalus armatus</i>	p	Fabacées
<i>Deverra tortuosa</i>	p	Apiaceae
<i>Halocnemum strobilacum</i>	p	Amaranthaceae

a: annuelle, p: pérenne

Analyses chimiques des aliments

Les espèces pastorales ont été divisées en deux fractions: la première est destinée à la détermination de la matière sèche (MS) par séchage dans une étuve à 105°C pendant 24 heures (AOAC, 1990) et la deuxième est séchée dans une étuve ventilée à 60°C et broyée en utilisant un broyeur électrique muni d'un tamis de 1 mm de diamètre.

Les poudres issues du broyage ont été utilisées pour déterminer la composition chimique des espèces végétales broyées par les chamelles dans le système extensif (% MS): Matière minérale (MM), Matière azotée totale (MAT), les résidus des fibres aux détergents neutres (NDF), les fibres aux détergents acides (ADF) et lignine insolubles dans les détergents acides (ADL)

La composition chimique des échantillons a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre infrarouge (SPIR) dont la base des données des plantes pastorales du Sud Tunisien est étalonnée par Ben Rejeb (2021). C'est une technique analytique basée sur l'absorption des rayonnements par la matière organique avec des longueurs d'onde entre 800 et 2500 nm.

Le résultat du scan infrarouge est un spectre, qui est une série de mesures d'absorption de la lumière aux différentes longueurs d'onde du proche infrarouge. La SPIR est une technique rapide, peu coûteuse et très utilisée pour caractériser les matières premières et les produits finis (Bastianelli et al., 2015).

Protocole de fabrication de kéfir

Après la collecte des échantillons des laits, ils sont stockés à 4°C et transformés en Kéfir selon ce processus (Figure 1). Le kéfir a été préparé selon le protocole traditionnel de Otlis et Cagindi (2003).

Détermination des caractéristiques physico-chimiques de lait camelin, du Kéfir et des Grains du Kéfir

pH et acidité titrable

Les valeurs de pH du lait frais, du kéfir et du Grain du Kéfir ont été mesurées à l'aide d'un pH-mètre (Jenway 3510). L'acidité titrable est déterminée selon les méthodes normalisées par un dosage avec du NaOH (0,1 N) en présence de phénol phtaléine (AFNOR, 1993). Elle est exprimée en degré Dornic par la formule suivante: Acidité (°D) = n * 9 Avec «n» la valeur indiquée sur la burette graduée pour le lait et le Kéfir.

Densité et la Viscosité

La détermination de la densité du lait de chamelle a été effectuée à l'aide d'un thermo-lactodensimètre à 20 °C. La viscosité a été mesurée à l'aide d'un viscosimètre numérique (Brookfield DV-E) de précision ± 1% de la gamme à l'aide du mobile S₅ pour les kéfirs et S₁ pour les laits. La vitesse de tours est 100 rpm.

Extrait sec total (MS)

La teneur en matière sèche d'un échantillon est calculée après pesée de l'échantillon humide et de son résidu sec après passage à l'étuve à 100 ± 1°C pendant 24 h (AFNOR, 1993).

Taux en cendres (MM)

Le taux en cendres est déterminé par incinération des matières sèches pendant 4 h à 550°C (AFNOR, 1993).

Matière grasse (MG)

Méthode Gerber

Les teneurs en matières grasses du lait ont été déterminées par la méthode Neusal (Wang et Farah, 1998). Cette méthode repose sur la lecture directe sur un butyromètre de la quantité de matière grasse contenue dans 9,7 ml d'échantillon après dissolution des protéines par 12 ml de solution Neusal.

Méthode de Soxhlet

Cette méthode (ISO 1443, 2010) détermine la quantité de la matière grasse (MG) chez les grains du Kéfir en présence de l'acide chlorhydrique. A l'ébullition, on ajoute de l'eau distillée à ce mélange. Après filtration de ce dernier par un papier filtre (contenant une couche de matière grasse), on le met dans une étuve à une température de 105°C pendant une heure et on l'insère dans la cartouche d'extraction qui sera fermée par un coton imbibé dans le n-hexane. Le ballon d'extraction a été chauffé sur une plaque pendant 4 h jusqu'à ce que la matière grasse passe du papier filtre au ballon d'extraction. A la fin de cycle d'extraction, le solvant (n-hexane) a été évaporé sous vide dans un évaporateur rotatif à 40°C. Puis, le ballon d'extraction a été séché pendant une heure dans l'étuve à 105°C. Après dessiccation on pèse le ballon. Le

taux de matière grasse est calculé selon la formule suivante:

$$(m_2 - m_1) * 100 / m_0$$

Avec: m_0 = masse de prise d'essai en gramme, m_1 = masse de ballon d'extraction vide et m_2 = masse de ballon d'extraction après dessiccation.

Matière protéine (MAT)

Les teneurs en protéine du lait et du Kéfir ont été déterminées par la méthode de Bradford à l'aide de spectrométrie (Bradford, 1976). C'est une méthode d'analyse quantitative de la protéine. On mesure la teneur en protéine en g/l à une longueur d'onde ($\lambda=595$ nm).

Lactose

Deux millilitres de (lait et Kéfir) ont été ajoutés à 1,5 ml d'eau distillée et ont été incubé à 60 °C pendant 10 minutes. Ensuite, 0,25 ml de solution de Carrez I (ferrocyanure de potassium aqueux 500 mM), 0,25 ml de Carrez II (acétate de zinc aqueux 500 mM) et 1 ml d'acétonitrile ont été ajoutés. Le contenu a été doucement mélangé puis maintenu au repos pendant 1 h à température ambiante. Le précipité ainsi obtenu a été éliminé par centrifugation (10 000 g, 8 min, 20 °C). Le surnageant résultant contenant les sucres extraits a ensuite été filtré à travers une membrane en nylon

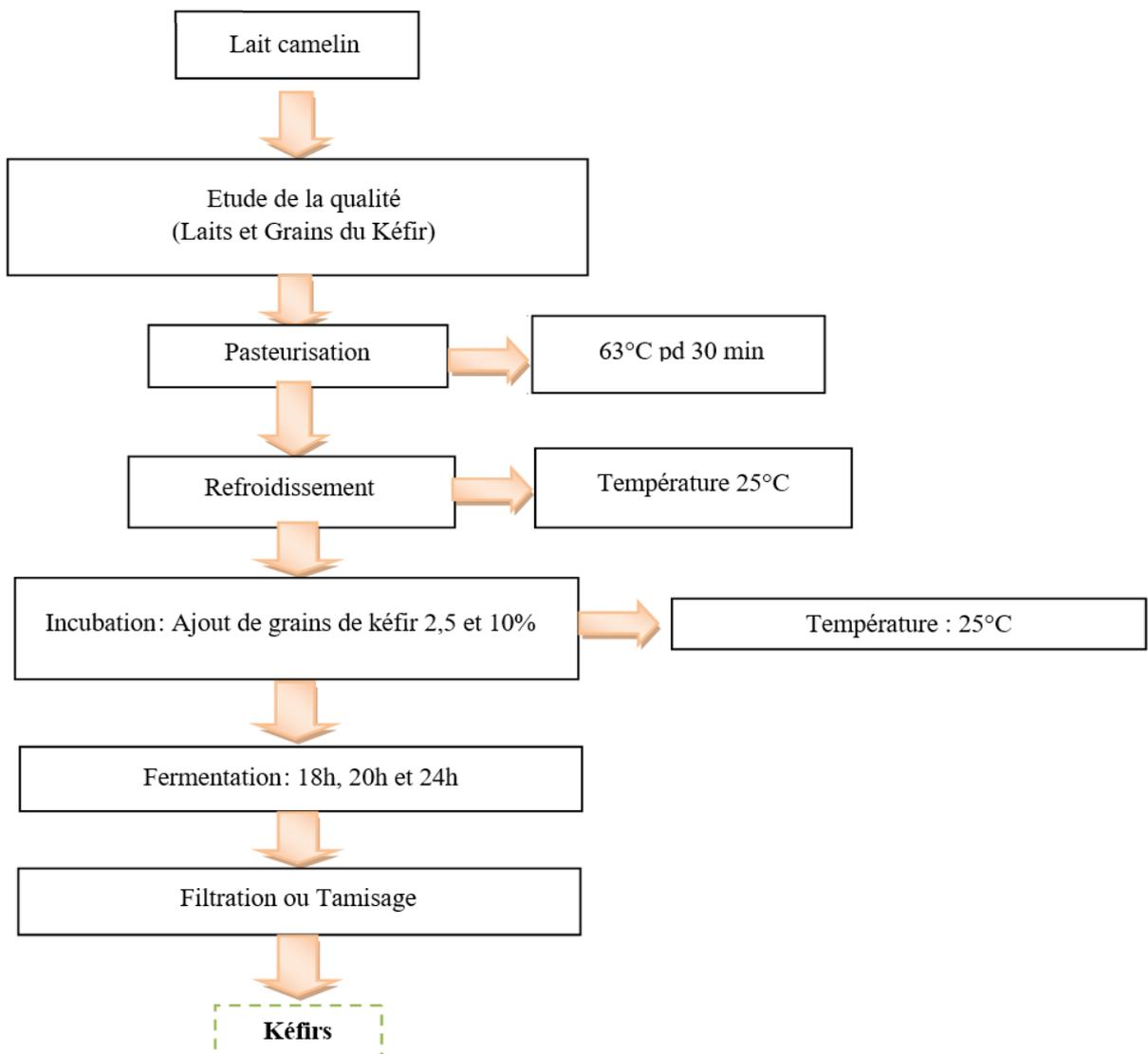


Figure 1: Processus général de préparation du Kéfir

de 0,45 μm . Un échantillon (20 μl) de cet extrait clarifié final ont été injectés dans le système HPLC pour analyse (Rajan et al., 2009).

Analyse statistique

Les analyses statistiques des données ont été réalisées par le logiciel SPSS (11.5), la composition chimique des Kéfirs ont été traité par une analyse de la variance ANOVA ($\alpha = 0,05$) à un seul facteur à 3 niveaux (effet de la dose; 2; 5 et 10%). La différence entre les moyennes a été déterminée avec le test Duncan ($P < 0,05$).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Composition chimique de la végétation des parcours

Les résultats de la composition chimique des différentes plantes broutées par les dromadaires sur parcours dans les systèmes extensifs sont présentés dans le tableau 2.

Matière sèche

La teneur en MS a été variée d'une plante à une autre. Elle a été oscillée de $16,9 \pm 0,83$ pour *Zygophyllum album* à $67,8 \pm 11,6$ pour *Aeluropus litoralis*. Ces valeurs sont similaires à celles trouvées par Ben Rejeb et al., (2020) pour *Zygophyllum album* (17,9 %). L'existence de plantes riches en eau sont d'une importance majeure pour le dromadaire sur le parcours désertique (Ben Arfa et al., 2004).

Matière minérale

Retama raetam et *Stipa tenacissima* sont caractérisées par la teneur la plus faible de MM, elles sont de $3,92 \pm 1,79$ et $2,3 \pm 0,9$ respectivement par rapport à *Halocnemum strobilacum* (30,1) et *Frankinia thymofolia* ($30,6 \pm 11,2$), valeurs les plus élevés parmi les plantes pastorales étudiées. Ces valeurs sont similaires à celles trouvées par Ben Rejeb et al., (2020) respectivement pour *Frankinia thymofolia* et *Halocnemum strobilacum* (30,2 g/l et 30,9 g/l). En effet, la composition minérale d'un fourrage résulte de l'action

combinée de plusieurs facteurs; la phase végétative de la plante, les conditions de l'environnement et les modes d'exploitation (Bouchet et Gueguen, 1981; Jarrige et al., 1995; Chehma, 2005; Chehma et Youcef, 2009).

Matière azotée totale

Pour la MAT, on remarque que toutes les espèces ont des valeurs faibles surtout *Aeluropus litoralis* et *Frankinia thymofolia* qui ont respectivement $3,4 \pm 1,31$ et $4,84 \pm 1,94$. *Stipa tenacissima* présente une faible teneur en MAT ($5,27 \pm 0,2$) qui est proche à celle trouvée par Ben Rejeb et al., (2020) qui ont confirmé que les moyennes des matières azotées des espèces pastorales varie entre 8,5 et 14,1%. Les faibles teneurs en MAT peuvent être attribuées à la stratégie d'adaptation des plantes sahariennes à la sécheresse. Andrieu et Weiss (1981) admettent que la variation en MAT est liée à la composition morphologique (rapport feuilles/tiges).

Teneur en fibres des plantes pastorales

Les-résidus des fibres aux détergents neutres (NDF)

La teneur en NDF dans la majorité des plantes est élevée, surtout chez le *Stipa tenacissima* (81,1%), *Aeluropus litoralis* (72,2%) et *Astragalus armatus* (64,7%).

En effet, la différence des valeurs entre les aliments analysés est due aux facteurs climatiques qui agissent sur la teneur et la composition des parois par l'intermédiaire de la composition morphologique, ainsi les températures élevées stimulent la lignification rapide des tissus de soutien. Assoumaya (2007), a rapporté que les variations de la composition chimique sont liées à l'environnement climatique et édaphique.

Les fibres insolubles dans les détergents acides (ADF)

Pour les fibres ADF, on note que le *Stipa tenacissima* est fortement fibreux de valeur égale à 61,7 %, valeur proche à celle trouvée par Genin et al., (2006) qui a été de 49 %. En effet, pour les fibres ADF, elles sont généralement reliées

Tableau 2: Composition des espèces végétales broutées par les chameles dans le système extensif

Plantes	MS	MM	MAT	NDF	ADF	ADL
<i>Suaeda mollis</i>	$53,2 \pm 5,31$	$18,6 \pm 2,13$	$7,88 \pm 0,03$	$60,5 \pm 0,68$	$45,8 \pm 6,55$	$15,2 \pm 1,30$
<i>Reaumaria vermiculata</i>	$44,6 \pm 0,66$	$18,0 \pm 1,22$	$9,87 \pm 2,00$	$40,0 \pm 2,40$	$23,6 \pm 0,40$	$11,2 \pm 3,90$
<i>Launaea glomerata</i>	$20,8 \pm 4,39$	$17,1 \pm 0,30$	$8,62 \pm 6,00$	$57,0 \pm 3,50$	$40,8 \pm 2,90$	$9,24 \pm 3,00$
<i>Retama raetam</i>	$43,2 \pm 6,44$	$3,92 \pm 1,79$	$10,6 \pm 4,50$	$62,5 \pm 4,24$	$47,8 \pm 4,08$	$16,9 \pm 1,30$
<i>Stipa tenacissima</i>	$59,2 \pm 7,94$	$2,31 \pm 0,90$	$5,27 \pm 0,20$	$81,1 \pm 1,20$	$61,7 \pm 1,05$	$13,4 \pm 0,03$
<i>Limoniastrum gynianum</i>	$40,0 \pm 5,69$	$29,6 \pm 3,50$	$8,73 \pm 1,24$	$48,1 \pm 3,20$	$31,4 \pm 3,02$	$18,3 \pm 1,62$
<i>Halocnemum strobilacum</i>	$18,8 \pm 5,11$	$30,1 \pm 3,00$	$6,92 \pm 1,20$	$48,1 \pm 2,20$	$29,1 \pm 1,50$	$10,3 \pm 0,50$
<i>Atriplex halimus</i>	$45,2 \pm 7,33$	$17,4 \pm 8,90$	$9,31 \pm 2,65$	$57,7 \pm 8,74$	$37,6 \pm 8,10$	$12,5 \pm 2,90$
<i>Traganum nudatum</i>	$38,7 \pm 8,67$	$24,6 \pm 4,50$	$9,07 \pm 2,00$	$49,1 \pm 3,20$	$28,9 \pm 0,36$	$6,59 \pm 3,00$
<i>Nitraria retusa</i>	$51,0 \pm 10,3$	$26,8 \pm 2,30$	$19,8 \pm 4,20$	$38,5 \pm 1,20$	$22,5 \pm 1,00$	$8,9 \pm 5,70$
<i>Tamarix gallica</i>	$36,5 \pm 7,22$	$16,7 \pm 2,47$	$13,8 \pm 4,60$	$45,0 \pm 1,51$	$25,1 \pm 0,90$	$14,0 \pm 1,70$
<i>Salsola tetrandra</i>	$27,1 \pm 7,33$	$27,7 \pm 3,43$	$8,81 \pm 2,11$	$43,0 \pm 4,40$	$25,1 \pm 3,75$	$6,58 \pm 1,74$
<i>Aeluropus litoralis</i>	$67,8 \pm 11,6$	$5,14 \pm 3,24$	$3,40 \pm 1,31$	$72,2 \pm 5,31$	$53,1 \pm 5,73$	$13,5 \pm 2,36$
<i>Zygophyllum album</i>	$16,9 \pm 0,83$	$27,3 \pm 4,82$	$10,3 \pm 1,20$	$33,9 \pm 5,73$	$19,7 \pm 1,10$	$4,94 \pm 2,65$
<i>Frankinia thymofolia</i>	$49,1 \pm 12,5$	$30,6 \pm 11,2$	$4,84 \pm 1,94$	$41,7 \pm 1,60$	$26,9 \pm 2,72$	$12,1 \pm 0,40$
<i>Astragalus armatus</i>	$63,8 \pm 7,61$	$9,48 \pm 1,38$	$9,39 \pm 2,58$	$64,7 \pm 5,46$	$49,4 \pm 5,46$	$13,3 \pm 3,02$
<i>Deverra tortuosa</i>	$34,9 \pm 11,1$	$9,73 \pm 1,30$	$8,01 \pm 2,30$	$61,5 \pm 4,00$	$43,4 \pm 0,70$	$11,4 \pm 2,00$

(MS: Matière sèche par rapport à la matière brute, MM: Matière minérale, MAT: Matière azotée totale (% MS), NDF: Les résidus des fibres aux détergents neutres, ADF: Les fibres insolubles dans les détergents acides; ADL: Lignine insolubles dans les détergents acides (% MS). (n = 9 pour chaque plante)

à la digestibilité et à la valeur énergétique du fourrage. Plus il y a de fibres ADF dans le fourrage, plus la digestibilité et le contenu énergétique sont faibles (Arab *et al.*, 2009).

Les valeurs des fibres ADF et NDF sont les premiers facteurs qui influent sur la digestibilité, plus leur valeur a été diminuée plus la valeur de digestibilité est grande.

Lignine insolubles dans les détergents acides (ADL)

Les teneurs en ADL sont généralement importants dans les différentes plantes récoltées. *Retama raetam* possède la valeur la plus élevée 16,9 % alors que *Zygophyllum album* possède la valeur la plus faible 4,94 %. Ozenda (1991) rapporte que les plantes sahariennes forment des cuticules épaisses pour diminuer leur vitesse d'évaporation. Denium et Driven (1975), Jarrige (1981) et Demarquilly (1982) soulignent également que l'augmentation de la température stimule la lignification des tissus de soutien.

Caractéristiques physico-chimiques du lait de chamelle et des Grains du Kéfir

Les caractéristiques physiques du lait de la chamelle et des Grains du Kéfir utilisés au cours de ce travail sont présentés dans le tableau 3.

Caractéristiques physico-chimiques du lait de chamelle

La valeur moyenne du pH du lait de chamelle (6,87) diffère à celle déterminée par Fguiri *et al.*, (2022) qui ont trouvé des valeurs de 6,29 pour le lait camelin extensif. Le lait de chamelle présente une acidité de 17,4 °D, valeur proche à celle trouvée (17,5) par Fguiri *et al.*, (2022). L'acidité s'explique par l'alimentation et la richesse des laits en vitamine C (Haddadin *et al.*, 2007). Les dromadaires dans le parcours broutent des espèces pastorales halophytes salées riches en Vit C (Merchaoui *et al.*, 2018). La viscosité du lait camelin a été de 2,56 Cp, par contre, Fguiri *et al.*, (2022) a mentionné que la viscosité du lait camelin extensif a été de 4,62 Cp. Ces variations peuvent être due à la variabilité de leurs teneurs en matière sèche totale ainsi que leurs teneurs en protéine (Jumah *et al.*, 2001). La densité du lait camelin est de 1,024. Ce résultat est similaire à celui trouvé par Sboui *et al.*, (2009) avec $d=1,027$.

Le taux de la MG du lait camelin (Tableau 3) est proche de celui trouvé par Arroum *et al.*, (2015) qui est de l'ordre de 42,9 g/l pour les chamelles élevées dans le système extensif. Fguiri *et al.*, (2022) a trouvé que le système extensif présente le lait camelin le plus gras.

Le lait camelin se caractérise par une MS importante de 114,2 g/l, elle a été proche à celle trouvée par Fguiri *et al.*, (2022) qui est 116,3 g/l. Selon Zhang *et al.*, (2005), la matière sèche dépend de la quantité d'eau abreuée par le dromadaire qui est limitée dans le parcours. Par conséquent, l'existence de plantes riches en eau est d'une importance majeure pour le dromadaire sur le parcours désertique (Ben Arfa *et al.*, 2004) en citant *Zygophyllum album*, *Launaea glomerata*, *Halocnemum strobilacum*, *Salsola tetrandra* et *Deverra tortuosa* déterminés dans cette étude (Tableau 2).

La teneur en MM du lait des chamelles élevées en système extensif est de 8,92 g/l. Sa variabilité peut être due aux divers facteurs comme la nature de l'élevage, l'alimentation et les procédés d'analyse (Mehaia *et al.* 1995). Dans cette étude la teneur en MM est liée à l'ingestion des chamelles d'espèces végétales halophytes (*Frankinia thymofolia*, *Halocnemum strobilacum*, *Limoniastrum gynianum*, *Zygophyllum album*, *Nitraria retusa* et *Straganum nudatum*) dont le contenu de la cendre peut atteindre 30% de la matière sèche (khorchani, 1995).

La teneur en protéine chez le lait camelin issu du système d'élevage extensif est de 37,8 g/l, valeur proche de 43,6 g/l trouvés par Fguiri *et al.*, (2022).

Les résultats figurant dans le tableau 3 montrent que la teneur moyenne en lactose des échantillons du lait de chamelle analysés est égale à 41,3 g/l. Cette teneur est comparable à celle retrouvée par Sboui *et al.*, (2016) pour les échantillons du lait camelin (42,8 g/l).

Caractéristiques physico-chimiques des grains de kéfir

Les grains des Kéfir ont présenté des pH acide (3,9). Garrote *et al.*, (2001). ont trouvé un pH de 3,5 et 4,0. La teneur en matières grasses des grains de kéfir est négligeable (0,02 g/kg). Ces résultats sont en accord avec ceux de Piechocka *et al.*, (1977) qui ont montré une valeur de MG allant de 0,06% et 2% du poids du grain. La teneur en protéines a été de 44,5 g/kg. La teneur en MS et MM ont été de 122,8 et 7,9 g/kg, respectivement. La biomasse du grain de kéfir contient 86,3% d'humidité naturelle et 13,7% de MS, qui comprend 4,5% de protéines, 1,2% de cendres et 0,03 % de MG (Liutkevičius *et al.*, 2004).

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques du lait de chamelle et des grains du kéfir

Paramètres (n=5)	Lait de chamelle	Grain de Kéfir
pH	6,87 ± 0,11	3,9 ± 0,5
Acidité (°D)	17,4 ± 0,34	135 ± 1,12
Viscosité (cP)	2,56 ± 0,22	-
Densité	1,02 ± 0,03	-
MG (g /l)	41,7 ± 3,18	0,02 ± 0,01
MS (g /l)	114,2 ± 0,11	122,8 ± 0,02
MM (g /l)	8,92 ± 0,61	7,90 ± 0,81
MP (g /l)	37,8 ± 0,66	44,5 ± 0,10
Lactose (g/l)	41,3 ± 0,21	

MG: Matière grasse, MS: Matière sèche, MM: Matière minérale et MP: Matière protéique

Caractérisation des kéfirs camelins à différentes doses et à 18 heures d'incubation

Cette étude a démontré que la dose a eu un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité du kéfir camelin saharien à 18 heures d'incubation.

En effet, en augmentant la dose d'inoculation des grains du Kéfir, les kéfirs camelins préparés après 18 heures de fermentation montrent une évolution de l'acidité et la viscosité, par contre le pH diminue. L'acidité du Kéfir issu du lait camelin augmente de 83,1 pour une dose de 2% jusqu'à 106,2 pour une dose de 10%. Cette variabilité est expliquée par le rôle des micro-organismes des grains du Kéfir dans cette transformation. Le lait camelin a une aptitude à la transformation au kéfir conforme aux normes législatives (Codex Stan 243-2003). Une légère diminution non significative de la teneur en MG a été observée en augmentant la dose de 2 à 10%. Ainsi, une augmentation légère de la teneur en matière protéique a été observée. Cette diminution de la teneur en MG après la fermentation des laits est expliquée par la production de la lipase par les micro-organismes présents dans le kéfir et qui participent à l'hydrolyse de MG (Arslan, 2015). Satir et Guzel-Seydim

(2016) ont démontré que les conditions d'alimentation ont une influence significative sur la teneur en MG et la matière protéique du Kéfir caprin. Cette teneur a été de 5,7% chez le Kéfir caprin en mode extensif.

Après la période de fermentation, le kéfir présente une réduction de 30 % de la teneur en lactose par rapport au lait non fermenté, ce qui procure un plus grand confort aux personnes intolérantes au lactose. Cette diminution est liée aux enzymes libérées par les micro-organismes lysés qui peuvent faciliter la digestion du lactose dans l'intestin (Ahmed *et al.*, 2013).

Caractérisation des Kéfirs camelins à différentes doses et à 20 heures d'incubation

Les résultats des analyses statistiques ont montré que la dose a un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité de kéfir produit. De même, on note que plus on augmente la dose en grains de kéfir, plus le pH de kéfir devient faible, par contre l'acidité et la viscosité augmentent pour les Kéfirs incubés pendant 20 Heures.

Après la fermentation, le pH du kéfir diminue par rapport au pH initial du lait (Arroum *et al.*, 2018).

Caractérisation des Kéfirs camelins à 18 heures

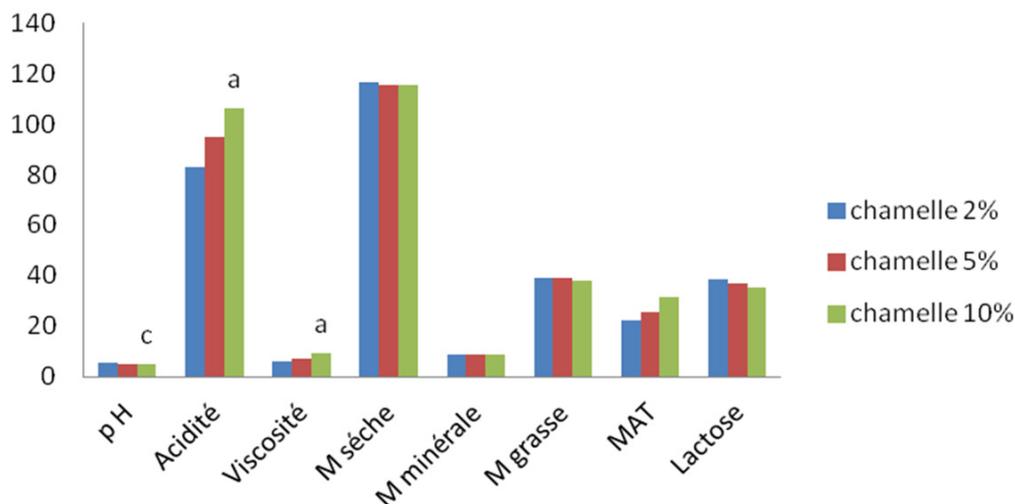


Figure 2: Caractérisation physico-chimiques des Kéfirs camelins obtenus à 18 Heures d'incubation

Caractérisation des Kéfirs camelins 20 h

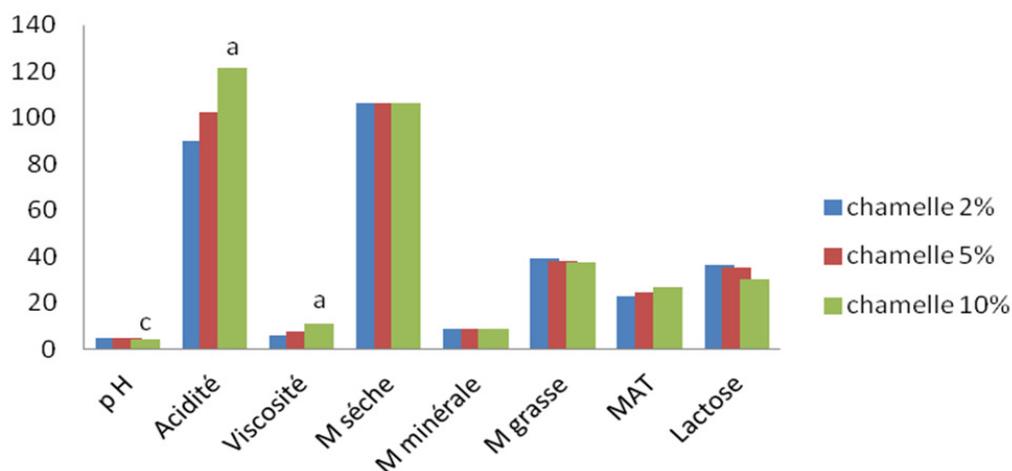


Figure 3: Caractérisation des Kéfirs camelins à différentes doses à 20 heures

(M sèche: Matière sèche, M minérale: Matière minérale, M grasse: Matière grasse; MAT: Matière azotée totale; Ces résultats sont obtenus avec une répétition n=5)

En passant d'une dose de 2% à une dose de 10%, la viscosité a augmenté d'environ 5 points, de 6,24 à 11,3. Cette augmentation affectera les caractéristiques organoleptiques des kéfirs. Pour les Kéfirs préparés après un temps d'incubation de 20 Heures, il a été enregistré qu'en augmentant la dose des grains, la teneur en MM est restée stable pour tous les types des kéfirs obtenus.

Après la période de fermentation, le kéfir présente une réduction de la teneur en lactose. Hertzler et Clancy (2003) ont montré que la consommation de kéfir pouvait améliorer la digestion et la tolérance au lactose chez les adultes en bonne santé.

Caractérisation des Kéfirs camelins à différentes doses et à 24 heures d'incubation

La dose a eu un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité de kéfir produit après 24 h d'inoculation du grains du Kéfir. Le pH du kéfir camelin après une incubation de 18 h est de 5,47. Il a diminué à 4,86 durant une incubation de 24 h. Ces résultats sont en accord avec ceux de Thoreux et Schmucker (2001) qui ont montré une diminution de valeur de pH de 6,61 à 4,42 après une incubation des grains de kéfir brésiliens pendant 24 h dans le lait entier pasteurisé. Cette diminution est due principalement à la production de certains acides organiques, l'éthanol, le CO₂ et d'autres composés volatiles (Athanasiadis *et al.*, 2004; Guzel–Seydim *et al.*, 2000). De même, plus on augmente la dose des grains, plus l'acidité augmente. Ces valeurs sont proches de 93 °D rapportés par Magalhães *et al.*, (2011). Selon Jacquet et Thevenot (1961), cette augmentation d'acidité est due essentiellement à la production d'acide lactique.

Pour la viscosité du kéfir, les résultats montrent que plus la dose est importante, plus la viscosité augmente et on obtient ainsi un produit plus visqueux.

En effet, plus que les grains de kéfir restent incubés pendant des temps longs dans le lait (24 h), plus il y a migration des bactéries hors des grains, d'où l'augmentation de la charge

microbienne de lait, ce qui provoque l'augmentation de la dégradation des protéines, des matières grasses et du lactose et la libération des acides. Étant donné les effets néfastes de la consommation du sucre sur la santé et les préoccupations particulières liées à la surconsommation de boissons sucrées qui doit être faible, par conséquent la consommation du Kéfir devient alors adaptée aux personnes souffrant d'intolérance au lactose. Il retarde la décharge gastrique et aide à la digestion du lactose (Rosa *et al.*, 2017).

CONCLUSION

En Tunisie, le parcours est un milieu fragile. Le dromadaire est adapté aux conditions écologiques désertiques, marquées par la faible valeur azotée de la ration. La composition chimique des aliments étudiés dans ce travail montrent que les espèces sahariennes sont caractérisées par une teneur en MAT qui oscille de 4,84% à 19,8% et une richesse en composés pariétaux; la paroi totale (NDF) (33,9% à 81,1%), en cellulose brute et l'hémicellulose (ADF) (de 22,5% à 61,7%).

Ce travail est une approche pour fabriquer et caractériser le Kéfir camelin saharien. Il a permis de confirmer que le lait camelin saharien a une aptitude à la transformation au kéfir conforme aux normes législatives. Aussi, la dose des grains a un effet significatif sur le pH, l'acidité et la viscosité du Kéfir obtenu.

Donc, la consommation du kéfir pourrait être une alternative intéressante en tant que source d'éléments essentiels. En outre, il est facilement produit à la maison et avec un faible coût de production. En plus, il peut être incorporé dans l'alimentation de la population à faible revenu.

Le Kéfir est également efficace contre plusieurs désordres et problèmes de santé, ce qui nous impose de populariser cette boisson probiotique à l'échelle commerciale et le mettre à la portée pour profiter de ses bénéfices sur la santé.

Caractérisation des Kéfirs camelins 24 h

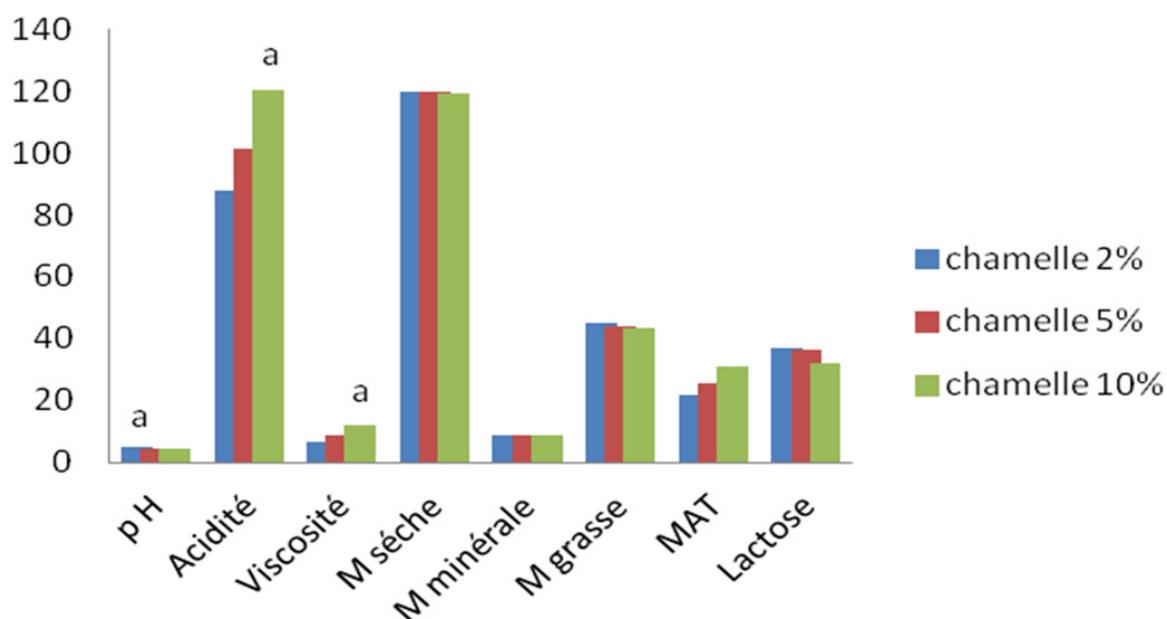


Figure 4: Caractérisation des Kéfirs camelins à différentes doses, à 24 heures

(M sèche : Matière sèche, M minérale : Matière minérale, M grasse: Matière grasse; MAT : Matière azotée totale ; Ces résultats sont obtenus avec une répétition n=5).

RÉFÉRENCES

- AFNOR (1993). Contrôles de la qualité des produits alimentaires. Lait et produits laitiers, Afnor (Éd), Paris, France.
- Ahmed Z., Wang Y., Ahmad A., Khan S.T., Nisa M., Ahmad H., Afreen. A (2013). Kefir and health: a contemporary perspective. *Crit. Rev. Food Sci.*, 53: 422–434.
- Andrieu J., Weiss P. (1981). Prédiction de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages verts de graminées et de légumineuses. In "Prédiction de la valeur nutritive des aliments des ruminants", éd. INRA Publications, Versailles, 60-79.
- AOAC (1990). Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, 15th ed, Arlington, USA.
- Arab H., Haddi M.L., Mehennaoui S. (2009). Évaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones aride et semi-aride en Algérie. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 50-58.
- Arroum S., Sboui A., Fguiri I., Ayeb N., Hammadi M., Khorchani T. (2022). Milk Kefir: Manufacture, composition and Therapeutic virtues. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 86: 5002-5013.
- Arroum S. (2018). Kéfir du lait de chamelle: Isolement des bactéries lactiques et étude de leurs activités technologiques, Master de recherche, AUF/INAT, p. 88.
- Arroum S., Zmouli K., Gaddour A., Fguiri I., Naziha A., Khorchani T. (2015). Étude comparative des caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du lait camelin en fonction du mode d'élevage, Journées Scientifiques de l'INAT. Article 4 HITS: 4648.
- Arslan S. (2015). A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir. *CyTA-Journal of Food*, 13: 340-345.
- Assoumaya C., Sauvant D., Archimède H. (2007). Étude comparative de l'ingestion et de la digestion des fourrages tropicaux et tempérés, *INRA Prod. Anim.*, 20: 383-392.
- Athanasiadis I., Paraskevopoulou A., Blekas G., Kiosseoglou V. (2004). Development of a novel whey beverage by fermentation with kefir granules. Effect of various treatments. *Biotechnology Progress*, 20: 1091–1095.
- Bastianelli D., Bonnal L., Barre P., Nabeneza S., Salgado P., Andueza D. (2015). La spectrométrie dans le proche infrarouge pour la caractérisation des ressources alimentaires, *INRA Prod. Anim.*, 31: 237-254.
- Beghedadi M., Bouzrara M. (2022). Technologie de fabrication du kéfir. Mémoire bibliographique (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Ben Arfa A., Khorchani T., Hammadi M., Chammem M., El Hatmi H., El Jeni H., Abdouli H., Cheniti T.L. (2004). Digestibilité et ingestion de la végétation d'un parcours d'halophytes par le dromadaire dans le Sud tunisien. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 62:301-305.
- Ben Rejeb M., Ayeb N., Dbara M., Daddi K., Khorchani T. (2020). Caractéristiques chimiques et nutritionnelles de quelques espèces pastorales broutées par les dromadaires dans les régions arides tunisiennes. *Fourrages*, 241: 79-85.
- Ben Rejeb M. (2021). Caractérisation et digestibilité des ressources pastorales dans le sud tunisien et estimation de l'ingestion sur parcours des espèces pastorales chez les dromadaires. Thèse de Doctorat, 128 p.
- Bouchet J.P., Gueguen L. (1981). Constituants minéraux majeurs des fourrages et des aliments concentrés. In: Prédiction de la valeur nutritive des aliments des ruminants, Ed. INRA publications, Versailles, 580.
- Boudjnah-H.S. (2012). Aptitude à la transformation du lait de chamelle en produit dérivés: effet des enzymes coagulantes extraites de caillettes de dromadaires. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques Option: Biochimie, 99 p.
- Chehma A. (2005). Étude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara septentrional algérien: Cas de la région d'Ouargla et Ghardaïa. Thèse doctorat, université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 178 p.
- Chehma A., Youcef F. (2009). Variations saisonnières des caractéristiques floristiques et de la composition chimique des parcours sahariens du sud est algérien. *Sécheresse*, 20: 373-381.
- Codex Standard for Fermented Milks Codex STAN 243-2003 (2003). Milk and milk products (2nd Edition). Revision 2008, 2010.
- Demarquilly C. (1982). Influence des facteurs climatiques sur la composition et la valeur nutritive de l'herbe. INRA, Actions du climat sur l'animal au pâturage, Séminaire de Theix, INRA, Versailles, 49-63.
- Denium B., Drivenj P.G. (1975). Climate, nitrogen and grass: Comparison of production and chemical composition of some temperate and tropical grass species grown at different temperatures. *Neth. J. agric. Sci.*, 24: 67-78.
- El Hatmi H., Khorchani T., Hammadi M., Abdennebi M., Attia H. (2000). Production et composition du lait de chamelle élevée dans le sud tunisien: Prospects for a Sustainable Dairy Sector in the Mediterranean. In "Les Filières Lait en Méditerranée: Enjeux pour un Futur Durable", 62.
- Fguiri I., Ziadi M., Atigui M., Ayeb N., Arroum S., Assadi M., Khorchani T. (2016). Isolation and characterisation of lactic acid bacteria strains from raw camel milk for potential use in the production of fermented Tunisian dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 69: 103-113.
- Fguiri I., Manel Z., Sboui A., Ayeb N., Atigui M., Arroum S., Hammadi M., Khorchani T. (2022). Microbiological quality and biochemical characteristics of lactic acid bacteria from camel milk as affected by the production system and stage of lactation. *Milk Protein: New Research Approaches*, 13.
- Garrote G.L., Abraham A.G., De Antoni G.L. (2001). Chemical and microbiological characterisation of kefir grains. *Journal of Dairy Research*, 68: 639-652.
- Genin D., Guillaume H., Ouessar M., Ouled Belgacem A., Sghaier M., Romagny B., Taâmallah H. (2006). La Jéffara tunisienne: Entre désertification et développement. IRD, Editions, 351 p.
- Guzel-Seydim Z. B., Seydim A.C., Grenee A.K., Bodine A.B. (2000). Determination of organic acids and volatile flavor substances in kefir during fermentation. *Journal Food Composition and Analysis*, 13: 35–43.
- Hamida R.S., Shami A., Ali M.A., Almohawes Z.N., Mohammed A.E., Bin-Meferij M.M. (2021). Kefir: A protective dietary supplementation against viral infection. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 133: 110974.
- Haddadin M.S.Y., Gammoh S.I., Robinson R.K. (2007). Seasonal variation in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of Dairy Research*, 10:1-5.
- Hertzler S., Clancy S. (2003). Kefir improves lactose digestion and tolerance in adults with lactose maldigestion. *J. Am. Diet. Assoc.*, 130: 582-587.
- International Standard ISO 1443 (2010). Meat and Milk products-Determination of total fat content 5, p.1-5.
- Jacquet J., Thevenot R. (1961). Le lait et le froid. J.B. Baillière, Paris, 216-218.
- Jarrige R. (1981). Les constituants glucidiques des fourrages, Prédiction de la valeur nutritive des aliments des ruminants, éd. INRA publications, Versailles, 13-40.
- Jarrige R., Ruckebush Y., Demarquilly C. (1995). Les herbivores ruminants. In: Nutrition des ruminants domestiques ingestion et digestion, Ed. INRA publications, Versailles, 905.
- Jrad Z., El Hatmi H., Fguiri I., Arroum S., Assadi M., Khorchani T. (2013). Antibacterial activity of Lactic acid bacteria isolated from Tunisian camel milk. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 7: 1002-1008.
- 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*, 54:89-93.
- Kesenkas H., Gürsoy O., Özbas H. (2017). Chapter 14- Kefir A2-Frias, Juana. In "Fermented Foods in Health and Disease Prevention", 339-361.
- Khorchani T. (1995). Ingestion sur parcours et pouvoir tampon dans le rumen des dromadaires (*Camelus dromedaries*). Thèse de doctorat, Univ. de Gent, Belgique, 190 p.

- Leite A.M., Miguel M.A.L., Peixoto R.S., Ruas-Madiedo P., Paschoalin V.M.F., Mayo B., Delgado S. (2015). Probiotic potential of selected lactic acid bacteria strains isolated from Brazilian kefir grains. *Journal of dairy science*, 98: 3622-3632.
- Longo-Hammouda F.H., Siboukheur O.E., Chehema A. (2007). Aspects nutritionnels des pâturages les plus appréciés par *Camelus dromedarius* en Algérie. *Cahiers Agricultures*, 16:477-483.
- Liutkevicius A., Sarkinas A. (2004). Studies on the growth conditions and composition of kefir grains as a food and forage biomass. *Veterinarija ir Zootechnika*, 25: 64–70.
- Magalhães K.T., Pereira, Gilberto V de M, Campos C R D G, Schwan R F (2011). Brazilian kefir: structure, microbial communities and chemical composition. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42, 693-702.
- Bradford M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72: 248-254.
- Mehaia M.A., Hablas M.A., Abdel-Rahim K.M., Mougy S.A. (1995). Milk composition, Wada and Hamra camels in Saudi Arabia. *Food Chemistry*, 52:115-122.
- Merchaoui H., Hanana M., Ksouri R. (2018). Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Cakile maritima* Scop.
- Otles S., Cagindi O. (2003). Kefir: A Probiotic Dairy-Composition, Nutritional and Therapeutic Aspects. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2: 54-59.
- Ozenda P. (1991). Flore du Sahara (3^{ème} Edition) Ed. CNRS, Paris.
- Piechocka M., Holmen T.B., Abrahamsen R.K (1977). Varnebehandling, homogenisering og incubering af maelk med forskellige fedtprocenter til fremstilling af kefir.-Waermebehandlung, Homogenisierung und Bebruetung von Milch mit verschiedenem Fettgehalt fuer die Kefirherstellung. *Nordeuropaeisk Mejeritidsskrift*.
- Ramet J.P. (2004). Aptitude à la conservation et à la transformation fromagère du lait de chamelle. Lait de chamelle pour l’Afrique, 93.
- Sharma R., Rajput Y.S., Dogra G., Tomar S.K. (2009). Estimation of sugars in milk by HPLC and its application in detection of adulteration of milk with soymilk. *International Journal of Dairy Technology*, 62: 514-519.
- Rosa D.D., Dias M.M., Grzeškowiak Ł.M., Reis S.A., Conceição L.L., Maria do Carmo G.P. (2017). Milk kefir: nutritional, microbiological and health benefits. *Nutrition research reviews*, 30: 82-96.
- Satir G., Guzel-Seydim Z.B. (2016). How kefir fermentation can affect product composition?. *Small Ruminant Research*, 134: 1-7.
- Sboui A., Khorchani T., Djegham M., Belhadj O. (2009). Comparaison de la composition physicochimique du lait camelin et bovin du sud tunisien ; variation du pH et de l’acidité a différentes températures. *Afrique Science*, 5: 293-304.
- Sboui A., Djegham M., Belhadj O., Khorchani T. (2016). Le lait de chamelle: qualités nutritives et effet sur les variations de la glycémie. *Options Méditerranéennes*, A, 115: 487-492.
- Thoreux K., Douglas L.S. (2001). Kefir milk enhances intestinal immunity in young but not old rats. *The Journal of Nutrition*, 131: 807–812.
- Wangoh J., Farah Z., Puhan Z., (1998). Composition of milk from three camel (*Camelus dromedarius*) breeds in Kenya during lactation. *Milchwissenschaft*, 53: 136-139.
- Zhang H., Yao J., Zhao D., Liu H., Li J., Guo M. (2005). Changes in chemical composition of Alaxa Bacteria camel milk during lactation. *Journal of Dairy Science*, 88: 3402-3410.
- Zourari A., Anifantakis E.M. (1988). Le kéfir – physico-chimique, microbiologique et nutritionnel. Technologie de production. *Lait* 68: 373-392.