

Amélioration de l'aptitude à la coagulation du lait cameline (*Camelus dromedarius*) : utilisation d'extraits enzymatiques coagulants gastriques de dromadaires

Oumelkheir Siboukeur¹
Abderahmane Mati²
Brahim Hesses¹

¹ Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi-arides, Équipe « Écodéveloppement camelin », Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur, Université de Ouargla, BP 511, Route de Ghardaia, 30000 Ouargla, Algérie
<oum_siboukeur@yahoo.com>

² Laboratoire de biochimie appliquée, Institut des sciences de la nature, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Algérie
<abdermati@yahoo.com>

Résumé

La transformation du lait de chamelle en fromage présente des difficultés ayant pour origine une teneur réduite en caséine Kappa et une aptitude très limitée à l'acidification et à la coagulation enzymatique. Parmi les adaptations technologiques proposées par les auteurs, figure la possibilité de substituer des enzymes gastriques camelines à la présure. Dans le présent travail, nous avons étudié les activités, coagulante et protéolytique, d'extraits enzymatiques coagulants issus de caillettes de dromadaires jeunes et âgés vivant en élevage extensif dans la région d'Ouargla, située dans le Sud-Est algérien, dans le but de remédier au retard à la coagulation du lait camelin. Les résultats obtenus montrent que les activités coagulante et protéolytique de ces extraits enzymatiques sont influencées par l'âge des animaux dont ils proviennent et que la substitution de la présure commerciale par l'extrait enzymatique coagulant provenant de l'abomasum de sujets âgés permet une amélioration du temps de floculation du lait camelin. Par ailleurs, l'ajustement de la température du lait à 42 °C et du pH à 6,3 permet l'optimisation de ce temps.

Mots clés : productions animales ; technologies agroalimentaires ; transformation, commercialisation.

Abstract

Improving the coagulability of camel's milk's by using gastric enzyme coagulation extracts (*Camelus dromedarius*).

Transformation of camel's milk into cheese presents difficulties related to this milk's low levels of Kappa casein and very limited ability to acidify or enzymatically coagulate. One technological adaptation proposed by the authors involves the use of camel gastric enzyme extracts rather than bovine rennet. In this work, we studied the activity of gastric enzymes extracted from the abomasum of young and old camels, widely raised in the region of Ouargla in southeastern Algeria, for remedying the slowness of camel milk coagulation. The results show that the coagulatory and proteolytic activities of these enzymatic extracts are influenced by the age of the animal they come from and that replacing commercial rennet by enzyme extracts from the abomasum of old camels improves the flocculation time of camel's milk. Moreover, adjusting the milk's temperature to 42°C and its pH to 6.3 optimize this time.

Key words: livestock farming; agro-food technologies; processing, marketing.

Le dromadaire (*Camelus dromedarius*) est l'animal adapté par excellence aux parcours des zones arides qui ne cessent de s'élargir sous l'effet de l'avancement du désert. Dans les régions désertiques, la production laitière de la chamelle est maintenue en quantité et en qualité acceptables au moment où

les autres ruminants cessent toute production et ne parviennent pas à survivre. Désormais, ce lait, qui a contribué, dans le temps à la survie des populations autochtones des régions sahariennes, est appelé à se développer et à être confronté à des procédés technologiques visant une diversification de son utilisation.

Tirés à part : O. Siboukeur

tion. Bien que présentant des aptitudes technologiques plus limitées, ce lait a été testé avec succès dans la fabrication de plusieurs produits dérivés (fromage, laits fermentés, beurre, crèmes glacées...), ce qui laisse augurer de réelles possibilités d'utilisation de ce produit par les populations du sud du pays sous des formes variées. Les essais menés pour la valorisation de ce produit *via* sa transformation ont montré sa faible aptitude à la coagulation par la présure. Cette caractéristique assignée à la composition quantitative et qualitative de ce lait se traduit par des temps de floculation et de coagulation plus longs et par une faible consistance des gels obtenus. Dans le but de remédier au retard à la coagulation du lait de chamelle, des adaptations technologiques ont été proposées par divers auteurs. Les corrections recommandées reposent généralement sur l'amélioration de la teneur en matière sèche et de l'équilibre salin de ce lait [1-3]. Toutefois, le choix des enzymes coagulants à employer demeure le facteur déterminant des temps de floculation et de coagulation du lait. En effet, des travaux antécédents ont révélé le statut privilégié de la pepsine bovine qui se concrétise par des temps de floculation plus faibles lors de la coagulation enzymatique du lait de chamelle [3]. Dans ce contexte, Wangoh *et al.* [4] préconisent l'utilisation des enzymes coagulants issus des estomacs de dromadaires, dans le but d'améliorer le temps de floculation du lait camelin, et donc sa capacité à coaguler. L'objectif de la présente étude consiste à étudier cette opportunité, du fait de la disponibilité des caillottes camelines, notamment de celles issues de sujets adultes, dans la région de Ouargla.

Matériel et méthode

Des caillottes issues de dromadaires jeunes (2 ans) et de dromadaires âgés (8 ans) ont été prélevées au niveau de l'abattoir communal de Ouargla, puis transportées au laboratoire où elles ont été lavées à l'eau du robinet, dégraissées, découpées en lanières puis conservées à -18 °C.

Du lait de mélange, prélevé tôt le matin, à partir de chamelles de la population sahraoui, localisées principalement dans la région de Ouargla, en bon état de santé, vivant en élevage extensif, a servi à cette étude.

Le lait de vache utilisé comme référence est un lait de mélange issu de la traite du

matin de vaches en stabulation dans une palmeraie située à proximité du laboratoire.

Du lait reconstitué à partir d'une poudre de lait type *low beat* reconnue de bonne qualité fromagère est utilisé comme substrat standard afin de pallier une variabilité possible des résultats liés à une hétérogénéité de l'aptitude coagulante des laits frais [5].

Les caséines camelines lyophilisées ont été isolées à partir du lait frais, conformément à la procédure décrite par Shamet *et al.* [6].

La présure bovine commerciale (comportant 80 % de chymosine et 20 % de pepsine) fabriquée par le groupe Texel-Poulenc (France) est utilisée à raison de 0,4 g dans 100 mL d'eau distillée [6].

Les extraits coagulants, dénommés ECD2 et ECD8 respectivement pour les animaux âgés de 2 et 8 ans, sont obtenus selon une procédure expérimentale inspirée de la méthode d'extraction proposée par Valles et Furet [7]. Après clarification et ajustement du pH à 5,5, les ECD sont stockés à +4 °C dans des flacons préalablement stérilisés, dans lesquels on rajoute une solution de NaCl à 10 % (P/V) à raison de 10 % (V/V). Quelques grains de thymol y sont adjoints pour la conservation. La caractérisation de l'activité des ECD consiste en la mesure de leur activité coagulante et de leur activité protéolytique [5].

L'activité coagulante est mesurée selon la méthode de Berridge (1945), modifiée par Collin *et al.* [6]. Elle est réalisée sur le substrat standard. La technique consiste à ajouter 1 mL d'extrait coagulant brut (ECD2, ECD8) à 10 mL de substrat, puis à noter le temps de coagulation à 30 °C. Le substrat standard est préparé par dissolution de la poudre de lait type *low beat* à 10 % (P/V) dans une solution de CaCl₂ (0,01 M) et ajustement du pH à 6,5 à l'aide d'une solution de NaOH 0,1 N. Une unité d'activité enzymatique ou unité présure (UP) correspond, selon la formule de Berridge, au nombre d'unités de poids ou de volumes de lait qui peuvent être coagulés par 1 mL de préparation coagulante en 100 secondes et à 30 °C [6].

$$UP = \frac{10 \times V}{Tc \times Q}$$

Où :

UP = unité présure ;

V = volume de substrat standard utilisé ;

Q = volume d'extrait coagulant ;

Tc = temps de coagulation.

L'activité coagulante des ECD peut être également exprimée en « force coagulante de SOXHLET » (F), selon la relation suivante :

$$F = UP/0,0045 [8].$$

La mesure de l'activité protéolytique des ECD est fondée sur l'intensité de la protéolyse des caséines camelines en solution sous l'action enzymatique de ces extraits [9]. L'hydrolyse enzymatique des caséines aboutit à la libération de peptides de faibles poids moléculaires qui sont séparés des caséines non dégradées par addition d'acide trichloroacétique (TCA) à 12 %. À cette concentration, le TCA permet la défécation de tous les peptides en ne laissant en solution que ceux de faible poids moléculaire [6]. Après filtration, la mesure de l'absorption à 280 nm permet d'apprécier la richesse en peptides du filtrat obtenu, celle-ci étant proportionnelle à l'activité protéolytique. Le substrat est obtenu par une solubilisation à 2 % (P/V) dans l'eau distillée des caséines camelines lyophilisées. La détermination de l'activité protéolytique des extraits gastriques comporte cinq étapes :

- ajustement de l'activité coagulante qui consiste en la dilution des extraits coagulants avec de l'eau distillée jusqu'au niveau qui permet d'obtenir un temps de coagulation fixé à 15 minutes ;
- hydrolyse enzymatique réalisée par l'incubation à 35 °C pendant 60 minutes d'un volume de 1 mL de substrat caséinique additionné de 1 mL d'extrait coagulant de dromadaire dilué ;
- blocage de la réaction enzymatique obtenu après 60 minutes par addition de 5 mL de TCA à 12 % (P/V) ;
- mesure de la protéolyse effectuée après un repos de 15 minutes à la température ambiante du mélange filtré ;
- détermination de l'absorbance à 280 nm.

L'hydrolyse des caséines camelines par la présure bovine commerciale dans les mêmes conditions servira de comparaison. La coagulation enzymatique du lait de chamelle peut être appréhendée à travers le temps de floculation [8]. En fromagerie, le temps de floculation est la grandeur appelée « temps de prise » ou temps de Berridge. Il s'agit du temps écoulé depuis l'emprésurage jusqu'à l'apparition des premiers flocons visibles à l'œil [9]. Lors de la coagulation enzymatique du lait, c'est l'état floconneux qui évolue selon une vitesse appelée « vitesse de durcissement », pour aboutir au coagulum ferme. Dans le présent travail, nous avons adopté la méthode de Berridge modifiée

par Collin *et al.* [6]. La méthode consiste en la mesure du temps nécessaire à l'apparition des premiers flocons (tf) dans le lait préalablement porté à 30 °C pendant 15 minutes, dans un bain-marie, puis additionné de 10 % (V/V) de préparation coagulante.

L'affinité des ECD pour les caséines camelines est appréciée par la comparaison des temps de floculation obtenus par action des ECD sur les laits camelin et bovin à ceux obtenus par action de la présure bovine sur les laits des mêmes espèces. Pour une meilleure exploitation de nos résultats, nous avons calculé les rapports temps de floculation du lait de vache/temps de floculation du lait de chamelle (tfv/tfc) pour les deux préparations coagulantes, aux pH 6 ; 6,3 ; et 6,6 et à la température de 30 °C [3].

Étant donné que toute préparation utilisée pour coaguler du lait comporte des protéases à caractère acide [10] et que le temps de floculation du lait est fortement influencé par le pH de celui-ci [3, 9, 11], nous avons parallèlement essayé de rechercher le pH qui permet d'optimiser le temps de floculation du lait camelin par les ECD.

La moyenne de trois répétitions a permis d'obtenir un temps de floculation moyen pour chaque préparation coagulante (ECD et présure) et pour chaque pH.

L'expérimentation est conduite en dispositif expérimental de type carré latin [12]. Il s'agit de comparer entre trois unités expérimentales répétées trois fois. Ces unités expérimentales renfermant le lait de chamelle à la même température ne diffèrent entre elles que par la valeur du pH du lait.

La température est un autre paramètre qui influence fortement l'activité enzymatique [11].

Afin de faire ressortir la température optimale, nous avons procédé dans cette étude à l'ajustement de la température du lait de chamelle aux valeurs égales à 30, 37, 42 et 45 °C. Les temps de floculation sont alors mesurés pour chaque température et pour chaque ECD. La moyenne de trois répétitions a permis d'obtenir un temps de floculation moyen pour chaque préparation coagulante (ECD et présure) et pour chaque température. L'expérimentation est conduite en bloc. Ainsi, trois blocs représentant les trois répétitions sont confectionnés. Ils comportent chacun quatre unités expérimentales représentant du lait de chamelle dans les mêmes conditions de pH, mais se distin-

Tableau 1. Activité (UP) et force coagulante (F) des différentes préparations enzymatiques

Table 1. Activity (UP) and clotting power (F) of different enzymatic preparations.

Préparation enzymatique	Unité présure (UP)	Force coagulante (F)
E	0,174	38,66
ECD2	0,155	34,44
PBC	0,149	33,11

ECD2 : extrait coagulant gastrique de dromadaire âgé de 2 ans ; PBC : présure bovine commerciale.

quant par la valeur de la température adoptée [12-14].

L'analyse de la variance est effectuée à l'aide du logiciel Stat-ITCF.

Résultats et discussions

Caractérisation de l'extrait coagulant de dromadaire

L'activité coagulante, exprimée par le nombre d'unités présure (UP) et la force coagulante (F) correspondante, varie d'une préparation coagulante à l'autre (tableau 1). L'extrait coagulant stomacal provenant du dromadaire âgé de 8 ans (ECD8) comporte un nombre d'unités présure plus élevé, suivi de celui du dromadaire âgé de 2 ans (ECD2) puis de celui de la présure bovine commerciale (PBC). De même, la force coagulante (F) de l'ECD8 est plus élevée en comparaison avec celle de l'ECD2 ; la force coagulante de la PBC est la plus faible.

L'activité protéolytique des trois préparations coagulantes est représentée par la figure 1.

Il en ressort que l'ECD2 possède l'activité protéolytique la plus élevée, suivie d'ECD8, puis de la présure bovine commerciale (PBC).

Les deux ECD sont préparés dans les mêmes conditions ; la différence ne réside que dans l'âge des dromadaires dont ils proviennent, donc dans la nature de la protéase. La présure bovine extraite à partir de la caillette de veaux renferme 80 % de chymosine (E.C.3.4.23.3). La sécrétion de la chymosine diminue au cours de la croissance de l'animal (toutes espèces confondues) au profit de la pepsine (E.C.3.4.23.1) et s'arrête presque totalement après sevrage. Récemment, des auteurs [1, 4] ont préconisé l'emploi de la pepsine, plus efficace pour la coagulation du lait camelin que la chymosine.

En industrie fromagère, on cherche toujours à ce que les enzymes coagulants utilisés aient une activité coagulante élevée et une activité protéolytique faible. L'ECD8 semble par conséquent le mieux

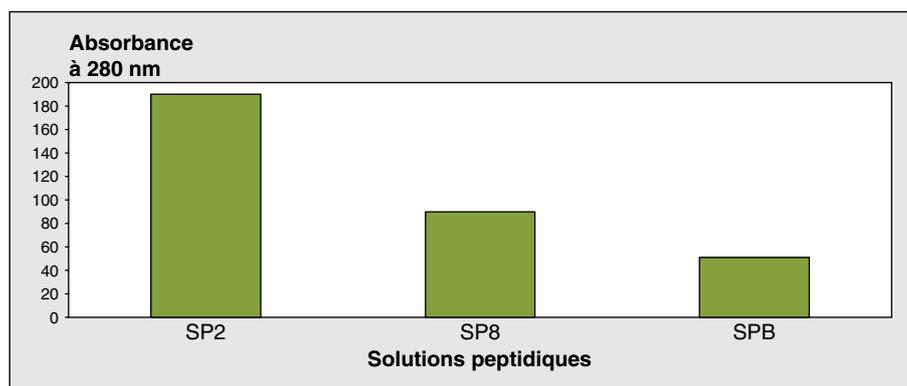


Figure 1. Activité protéolytique des extraits coagulants gastriques de dromadaires en comparaison avec la présure bovine commerciale.

Figure 1. Proteolytic activity of dromedary clotting gastric extracts compared to that of bovine rennet.

- SP2 : solution peptidique obtenue avec l'extrait gastrique coagulant de dromadaire âgé de 2 ans.
- SP8 : solution peptidique obtenue avec l'extrait gastrique coagulant de dromadaire âgé de 8 ans.
- SPB : solution peptidique obtenue avec la présure bovine commerciale.

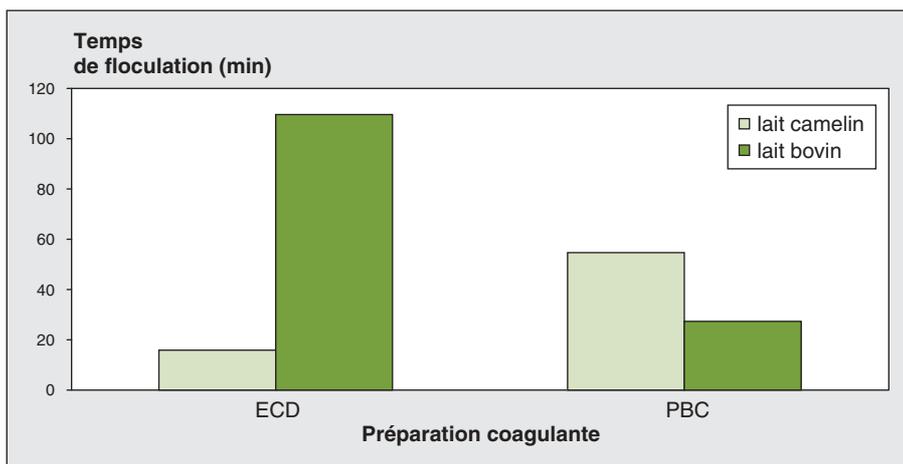


Figure 2. Temps de floculation (min) des laits camelin et bovin mesurés avec l'extrait coagulant gastrique de dromadaires (ECD) et avec la présure bovine commerciale (PBC).

Figure 2. Clotting time (min) of both camel and bovine milks measured with ECD and PCB.

- Conditions d'utilisation : n = 03 ; température = 30 °C ; pH = 6,0.
- Dose des préparations coagulantes : 10 % (v/v).

indiqué par rapport à l'ECD2 et à la présure commerciale bovine habituellement utilisée dans l'industrie fromagère.

Coagulation enzymatique du lait de chamelle : utilisation des ECD

La possibilité d'utiliser l'extrait coagulant gastrique de dromadaire (ECD) dans le but de coaguler le lait de chamelle est confirmée à travers la présente étude, puisque nous avons pu obtenir un coagulum qui a permis l'obtention, après égouttage, d'un caillé de bonne consistance. Le lactosérum recueilli présente une coloration blanchâtre, ce qui est probablement dû à sa charge plus élevée en constituants biochimiques non retenus dans le caillé. En effet, la faible teneur du lactosérum camelin, en riboflavine, conjuguée à sa richesse plus élevée en globules gras et en agrégats micellaires lui confère une coloration blanchâtre [3].

Dans les mêmes conditions d'utilisation, l'ECD8 permet d'obtenir un temps de floculation du lait de chamelle environ 7 fois plus faible que celui obtenu avec le lait de vache (figure 2). En revanche, pour la même dose de présure bovine commerciale, les temps de floculation les plus courts sont ceux enregistrés pour le lait de vache. Ces derniers sont environ 2 fois plus élevés avec le lait de chamelle. Dans la pratique, le temps de floculation est une partie du temps de coagulation total. Ce dernier désigne le temps qui s'écoule depuis l'addition d'enzyme co-

gulant jusqu'au moment de tranchage du coagulum formé. La durée du temps de floculation influence celle de la coagulation qui influence, à son tour, la durée totale du processus de transformation du lait. De ce fait, l'amélioration de ce paramètre peut aboutir à l'amélioration de toute la durée de transformation du lait.

Vu son activité coagulante plus intéressante, l'ECD8 a été retenu pour la suite de nos investigations. Le suivi des rapports entre les temps de floculation du lait de vache et ceux du lait de chamelle (tfv/tfc) par l'extrait coagulant de dromadaire (ECD8) en fonction du pH (figure 3) montre que ces rapports sont supérieurs à 1, quelle que soit la valeur du pH.

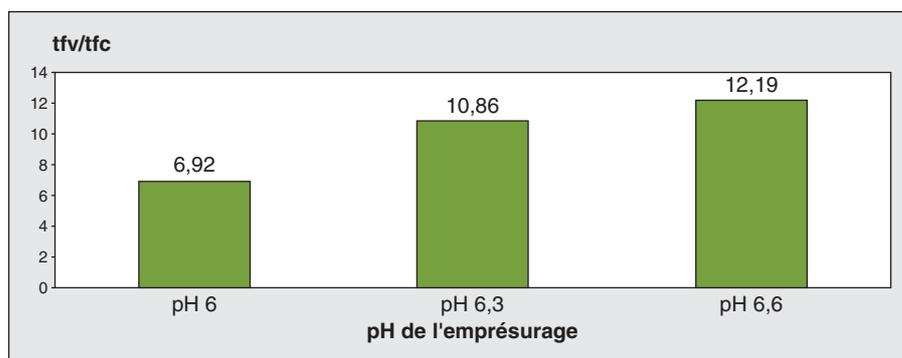


Figure 3. Rapports tfv/tfc (temps de floculation du lait de vache/temps de floculation du lait de chamelle) observés avec l'extrait coagulant gastrique de dromadaire (ECD) en fonction du pH de l'emprésurage.

Figure 3. Ratios of camel and bovine milks clotting times observed with ECD according to pH.

Conditions de l'essai : température = 30 °C ; n = 03 ; CV = 8,05 %.
Dose d'ECD = 10 % (v/v).

L'influence du pH du lait sur ces rapports est hautement significative ($p < 0,01$) (tableau 2).

Le même suivi est réalisé pour la présure bovine commerciale (figure 4). Les rapports tfv/tfc pour la même dose de présure bovine commerciale sont inférieurs à 1 quel que soit le pH considéré. L'influence du pH du lait sur ces rapports est hautement significative ($p < 0,01$) (tableau 2).

Les temps de floculation enregistrés pour la même dose d'extrait coagulant de dromadaire (ECD8) sont plus faibles pour le lait camelin que pour le lait bovin. La vitesse de floculation du lait de chamelle est par conséquent plus élevée que celle du lait de vache, lorsque l'extrait coagulant de dromadaire est utilisé comme préparation coagulante.

L'utilisation de la présure bovine commerciale aboutit en revanche à des temps de floculation plus élevés sur le lait de chamelle que sur le lait de vache.

Il semblerait donc exister une meilleure affinité lait camelin/enzymes coagulant stomacaux camelins par rapport à la présure bovine. Wangoh *et al.* [4] avaient recommandé l'utilisation des enzymes gastriques de dromadaire plutôt que ceux issus d'autres espèces, dans le processus de coagulation du lait de chamelle. Par ailleurs, les temps de floculation plus faibles du lait de chamelle par l'ECD sont probablement favorisés par la pepsine contenue à forte dose dans l'extrait gastrique coagulant de dromadaires adultes (ECD8). En effet, selon Ramet [3], l'utilisation de la pepsine bovine aboutit à des temps de floculation plus faibles du lait de chamelle, comparativement au lait de

Tableau 2. Analyse de la variance : effet du pH et de la température de l'emprésurage sur le temps de floculation du lait camelin par l'extrait coagulant gastrique de dromadaire (ECD)

Table 2. Variance Analysis: effect of milk pH and temperature during the adding to the dromedary gastric enzymatic extracts (ECD).

Nature de l'essai	F calculé	F théorique	
		1 %	5 %
Effet du pH de l'emprésurage sur le rapport tfv/tfc pour l'ECD	9,18 ^a	14,8	5,04
Effet du pH de l'emprésurage sur le rapport tfv/tfc pour la PBC	19 ^b	14,8	5,04
Effet du pH de l'emprésurage sur le temps de floculation du lait camelin par ECD	8,3 ^a	9,96	4,7
Effet de la température de l'emprésurage sur le temps de floculation du lait camelin par ECD	26,02 ^b	7,79	4,03

^a : significatif.

^b : hautement significatif.

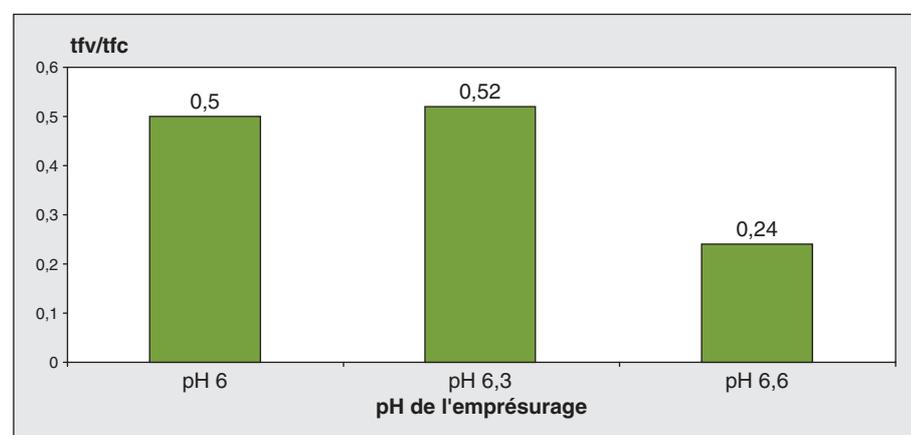


Figure 4. Rapports tfv/tfc (temps de floculation du lait de vache/temps de floculation du lait de chamelle) observés avec la présure bovine commerciale en fonction du pH de l'emprésurage.

Figure 4. Ratios of camel and bovine milks clotting times observed with bovine rennet according to pH.

Conditions de l'essai : température = 30 °C ; n = 03 ; CV = 7,71 %.
Dose de PBC = 0,4 % (p/v).

vache dont les meilleurs temps de floculation ont été observés avec l'utilisation de la présure, donc de la chymosine [3]. Parallèlement, l'influence du pH sur les rapports tfv/tfc pour les deux préparations coagulantes (ECD et PBC) montre que les laits camelin et bovin réagissent différemment face aux variations du pH, ce qui semble avoir pour origine la différence dans la composition protéinique des deux laits. À travers cette étude, nous pouvons conclure qu'il existe effectivement une affinité de l'extrait gastrique enzymatique de dromadaire pour les caséines du lait de chamelle. De ce fait, la substitution de la présure bovine commerciale par les enzymes coagulants gastriques de dromadaires âgés est envisageable en vue de l'amélioration du temps de floculation de ce lait.

Optimisation du temps de floculation

L'abaissement de pH du lait de chamelle s'accompagne de la diminution du temps de floculation de celui-ci par l'extrait coagulant de dromadaire (figure 5). Cependant, pour le même intervalle de pH (soit 0,3 unité), les chutes du temps de floculation sont d'une ampleur variable selon l'intervalle de pH considéré. En effet, cette diminution qui est de 30,2 % dans l'intervalle de pH compris entre 6,6 et 6,3 et qui est significative ($p < 0,05$) (tableau 2) n'est que de 8,65 % en passant du pH 6,3 au pH 6,0.

L'acidification progressive du lait de chamelle générant une diminution du temps de floculation de celui-ci par l'extrait coagulant de dromadaire peut être expliquée par le fait qu'elle offre des conditions plus favorables à l'activité de cet extrait. En effet, le pH d'emprésurage influe directement sur l'activité des enzymes coagulants [5, 10]. Le temps de floculation diminue davantage lorsque le pH de l'emprésurage est abaissé au-dessous de sa valeur normale dans le lait. Tous les enzymes coagulants de fromagerie sont des protéases à caractère acide. De ce fait, leur activité est généralement optimale aux valeurs de pH proches de 5,5 [3].

L'acidification du lait constitue donc une étape décisive pour l'amélioration du temps de floculation du lait de chamelle par l'extrait coagulant de dromadaire, et nous pouvons situer la valeur optimale du pH de l'emprésurage pour le lait camelin de chamelle par l'extrait coagulant de dromadaire entre 6,3 et 6,0.

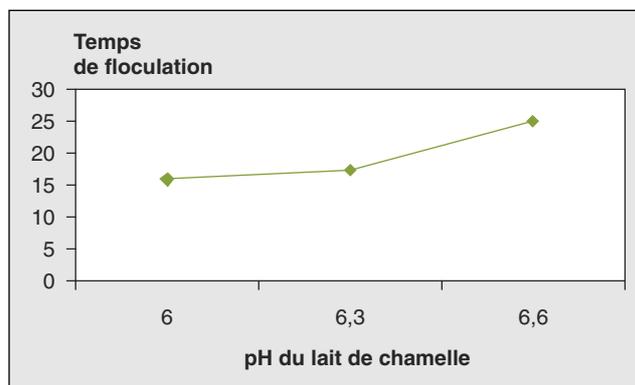


Figure 5. Évolution du temps de floculation (min) du lait de chamelle par l'extrait gastrique coagulant de dromadaire en fonction du pH de l'emprésurage.

Figure 5. Evolution of camel milk clotting time (min) by ECD, according to pH.

Conditions de l'essai : température = 30 °C ; n = 03 ; CV = 7,95 %.
Dose d'ECD = 10 % (v/v).

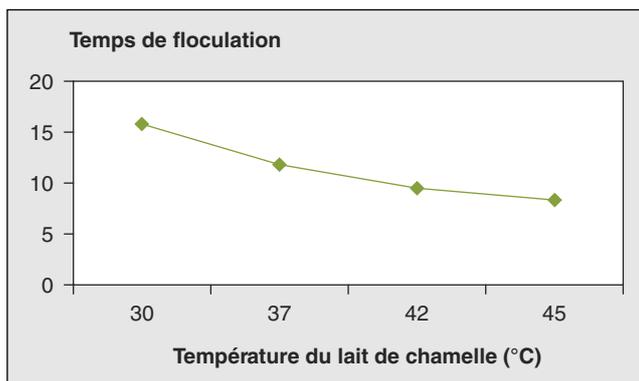


Figure 6. Évolution du temps de floculation (min) du lait de chamelle par l'extrait coagulant de dromadaire en fonction de la température.

Figure 6. Evolution of camel milk clotting time (min) by ECD, according to temperature.

Conditions de l'essai : pH = 6,0 ; n = 03 ; CV = 5,21 %.
Dose d'ECD = 10 % (v/v).

Influence de la température

L'élévation de la température s'accompagne d'une diminution du temps de floculation du lait de chamelle par l'ECD (figure 6).

En augmentant la température de 30 °C à 42 °C, le temps de floculation du lait de chamelle par l'extrait coagulant de dromadaire diminue de 39,98 %. Cette diminution est hautement significative ($p < 0,01$) (tableau 2).

Le passage de la température du lait de 42 °C à 45 °C s'accompagne d'une diminution du temps de floculation de 19,69 %. Farah et Bachman et selon Ramet [15, 16] ont montré l'existence d'une relation quasi linéaire entre la température et l'activité des préparations coagulantes, dans l'intervalle de température de 25-40 °C. Selon Desmazeaud [10] dans l'intervalle de température 40-42 °C, la vitesse de coagulation enzymatique du lait par la présure serait maximale. Celle-ci chute progressivement au-dessus de 42 °C [17]. À travers ces résultats, nous préconisons une température égale à 42 °C pour optimiser le temps de floculation du lait camelin par l'ECD.

Conclusion

La transformation du lait de chamelle en fromage présente des difficultés ayant pour origine une teneur réduite en caséine Kappa et une aptitude très limitée

à l'acidification et à la coagulation enzymatique. L'étude comparative de l'activité coagulante et protéolytique des extraits coagulants gastriques de dromadaires, jeunes (ECD2) et adultes (ECD8), et de la présure bovine commerciale (PBC) a permis de retenir ECD8. L'obtention d'un coagulum permettant d'avoir un caillé ferme après égouttage met en évidence l'opportunité de l'utilisation des enzymes coagulants gastriques de dromadaires, comme substitut de la présure bovine. L'étude du temps de floculation a permis de confirmer l'affinité de l'extrait coagulant issu de l'abomasum de dromadaires adultes pour les caséines du lait camelin. L'ajustement de la température du lait à 42 °C et de son pH à 6,3 est indispensable et permet d'optimiser ce temps.

De ce fait, la substitution de la présure bovine commerciale par les enzymes coagulants extraits de l'estomac de dromadaires adultes en vue de corriger l'aptitude fromagère du lait camelin nécessite une attention particulière de la part des acteurs du développement. Ce résultat est important si l'on considère la disponibilité des dromadaires adultes destinés à l'abattage au niveau de la région de Ouargla et dont le nombre dépasse 1 400 têtes par mois [18]. ■

Références

1. Mehaia MA. Fresh soft white cheese (Domiaty type) from camel milk ; composition, yield and sensory evaluation. *J Dairy Sci* 1993 ; 6 : 2845-55.

2. Kamoun M. La production de fromage à partir du lait de dromadaire. *Option méditerranéenne Série A (Ciheam, Zaragoza)* 1990 ; 12 : 119-24.

3. Ramet JP. Les aspects scientifiques et technologiques particuliers de la fabrication de fromage au lait de dromadaire. In : Bonnet P, ed. *Dromadaires et chameaux, animaux laitiers. Actes du colloque du 24-26 octobre 1994, Nouakchott*. Montpellier : Cirad-Emvt, 1998.

4. Wangoh J, Farah Z, Puhon Z. Extraction of rennet and its comparison with calf rennet extract. *Milchwissenschaft* 1993 ; 48 : 322-5.

5. Ramet JP. Les agents de la transformation du lait. In : Eck A, Gillis JC, eds. *Le fromage. Troisième édition*. Paris : Tec. & Doc-Lavoisier, 1997.

6. Bengana M. *Isolement, purification et caractérisation des enzymes protéolytiques (pepsine, chymosine) issues de caillettes de bovins adultes ; incorporation de ces préparations dans la fabrication du fromage à pâte molle type camembert à la laiterie de Draa Ben Khada*. Thèse de Magister, Institut national agronomique, El-Harrach, Alger, 2001.

7. Valles E, Furet JP. Étude des caillettes des bovins à l'état ruminant pour l'obtention d'extraits coagulants à base de pepsine bovine. Méthodes d'extraction. In : *Le lait*. 1977 : 601-17.

8. Bourdier JF, Luquet FM. *Dictionnaire laitier*. Paris : Tec & Doc-Lavoisier, 1981.

9. Bergere JL, Lenoir J. Les accidents de fromagerie et les défauts des fromages. In : Eck A, Gillis JC, eds. *Le fromage. Troisième édition*. Paris : Tec & Doc-Lavoisier, 1997.

10. Desmazeaud M. Les enzymes utilisées en industrie laitière. In : *Lait et produits laitiers : Vaches-Brebis-Chèvre. Deuxième édition*. Paris : Tec & Doc-Lavoisier-Apria, 1990.

11. Ramet JP, Scher J. Propriétés physiques du coagulum. In : Eck A, Gillis JC, eds. *Le fromage. Troisième édition*. Paris : Tec & Doc-Lavoisier, 1997.

12. Lenoir J, Remeuf F, Schneid N. L'aptitude du lait à la coagulation par la présure. In : Eck A, Gillis JC, eds. *Le fromage. Troisième édition*. Paris : Tec & Doc-Lavoisier, 1997.

13. Pelmont J. *Enzymes*. Alger : Office de publications universitaires, 1993.

14. Rohrmoser K, Wermke M. *Manuel sur les essais au champ dans le cadre de la coopération technique*. Wageningen : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) ; Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA), 1986.

15. Farah Z, Bachman MR. Rennet coagulation properties of camel milk. *Milchwissenschaft* 1987 ; 42 : 689-92.

16. Ramet JP. *La technologie des fromages au lait de dromadaire. Monographie. Étude FAO Production et santé animale n° 113*. Rome : FAO, 1993.

17. Thouvenot C. Le fromage et le lait. In : Eck A, Gillis JC, eds. *Le fromage. Troisième édition*. Paris : Tec & Doc-Lavoisier, 1997.

18. Division des Services agricoles de Ouargla. *Statistiques des abattages des ovins et camélins dans la wilaya de Ouargla*. Ouargla : Division des Services agricoles de Ouargla, 1996.