REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE FRERES MENTOURI CONSTANTINE1
INSTITUT DE LA NUTRITION, DE L'ALIMENTATION
ET DES TECHNOLOGIES AGRO-ALIMENTAIRES (I.N.A.T.A.A.)

Département : Technologie Alimentaire

N° d'ordre :38/DS/23

N° de série :01/IN/23

Thèse de Doctorat en Sciences

Spécialité : Sciences Alimentaires

Thème :

Formulation, fabrication et caractérisation de fromages frais aux laits de dromadaire et de chèvre

---

Présentée par : Mme BOURAS Biya

Présentée le : 18/06/2023

Devant le Jury composé de :

Président :	Mr ZIDOUNE Mohammed Nassereddine	Professeur	(I.N.A.T.A-A, U.F.M.C.1)
Rapporteur :	Mme AISSAOUI ZITOUN-Hammama Ouarda	M.C.A	(I.N.A.T.A-A, U.F.M.C.1)
Examinateurs :	Mme BOUDJENAH-HAROUN Saliha	Professeur	(Université Kasdi Merbah, Ouargla)
	Mme MANSOUR Lynda-Maya	M.C.A	(Université Ferhat Abbas, Sétif)
	Mme BENYAHIA KRID-Férial.Aziza	M.C.A	(I.N.A.T.A-A, U.F.M.C.1)

REMERCIEMENTS

E*n premier lieu, je remercie Dieu, le tout puissant de m'avoir donné le privilège et la chance d'étudier, et qui m'a guidée avec la béédiction de mes parants dans la voir de la lumiére de la science et du savoir pour réaliser cette thése.*

C*e travail a été réalisé sous la direction de* ***Madame AISSAOUI-ZITOUN Ouarda****, maître de conférence à l'INATAA, université Frères Mentouri Constantine 1, à qui j'adresse mes plus sincéres remerciements d'avoir encadré mon travail. Recevez, ma professeur, ma grande reconnaissance pour votre disponibilité, votre aide, votre rigueur scientifique et vos précieux conseils qui ont fait progresser ce travail me félicitant grandement la tache et me permettant d'aboutir à la production de ce manuscript.*

A' Monsieur ZIDOUNE M. N*, professeur à l'INATAA, université Frères Mentouri Constantine 1, je suis très sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant de presider le jury. Soyez assurer de mon plus profound respect.*

A' Madame **BENYAHIA Férial-Aziza**, *maître de conference à l'INATAA, université Frères Mentouri Constantine 1, je suis touchée de l'éstime et de l'honneur que vous me faites en acceptant d'examiner cette these. Soyez assurer de tout mon respect et de ma profonde gratitude.*

Aux Mesdames BOUDJENAH-HAROUN Saliha et MANSOUR Lynda-Maya; je vous exprime toute ma reconnaissance d'avoir bien voulu me faire l'honneur de participer au jury et de contribuer à l'examination de ce travil. Soyez assurer de mon plus profound respect.

D*es remerciements distinctifs et particuliers s'adressent à mon très cher époux et à mes très chers fils qui ont me supporter, me soutenir et m'aider jusqu'à*

REMERCIEMENTS

la mise du point final. Trouvez ici mes sincères respects et ma profonde reconnaissance.

***U**n grand merci à ma très chère mère, à mon trés cher père, à mes très chers soeur et frères qui m'ont accompagné le long de la réalisation de ce travail par leurs prières et leurs grands souhaits pour un bon et joyeux couronnement. Permettez-moi de m'incliner devant vous pour exprimer mes profondes considérations.*

Je n'oublie pas de remercier particuliérement l'équipe du CRAPC BOUSMAIL qui m'ont acceuillie aimablement et ils m'ont réalisé la microstructure et la composition en acides amines des différentes formulations des fromages frais.

Je remercie encore tous mes chers collégues de l'université d'El Oued et l'équipe des ingénieurs des laboratoires pédagogiques.

Je tiens à remercier et exprimer ma reconnaissance à mon amie ***Madame MEHELLOU Zineb***, qui m'a beaucoup aidé et encouragé dans des moments délicats.

Je remercie toute autre personne qui m'a encouragé et soutenu durant mon curcus d'étude.

Merci encore pour plusieurs fois

Dédicaces

A tous ceux qui me sont très chers,
je dédie ce travail.

Abstract

This study aims to improve the coagulation of camel milk for the production of fresh cheese by using goat's milk and various rennet substitutes. First, we studied the raw materials used, including the raw composition of camel and goat milk and the characteristics of camel rennet, goat rennet and chicken pepsin. Then, we studied the optimization of flocculation and coagulation parameters mainly pH and temperature with milk alone and camel-goat milk mixed with different formulations using response surface methodology (RSM). The optimum points obtained will be used for the manufacture of fresh cheese with enzymatic coagulation and with mixed coagulation by adding mesophilic lactic bacteria.

The chemical and mineral analysis of camel milk and goat milk showed the specificity of the composition of camel milk in comparison with cow milk mainly in terms of protein, fat and total solids, lactose and even in chloride, sodium and copper. On the other hand, the characterization of the enzymatic extracts of camel rennet, goat rennet and chicken pepsin revealed variable protein contents and coagulant activities and good coagulant strength, respectively 1/4166.67, 1/2531.64, 1/6153.85.

The optimization of the flocculation and coagulation time made it possible to highlight the specific optimum points according to the enzymatic extract used, the type of milk and the formulation tested. It appears that each enzyme acts differently on the coagulation of milk depending on the pH and the temperature, and even when we are under the same conditions, each enzyme gives a specific coagulum. Overall, the pH ranges from 5 to 6.7 and the temperature from 30°C to 42°C.

At the level of the manufacture of fresh cheese, twelve formulations were produced and characterized, according to the proportions of camel and goat milk (75/25, 50/50, 25/75) and the type of enzyme. The best cheese yields of enzymatically coagulated fresh cheeses are those of camel rennet cheese with 19.3±0.9% of the FD25, goat rennet cheese with 13.45±0.5% of the FC25, chicken pepsin cheese with 16.65± 1.0% of FP25 and microbial coagulating agent cheese with 18.3±0.4% of FM50. Most of the cheeses obtained can be classified according to the food codex as soft and semi-fat. In rheological terms, the cheeses produced are quite firm. Cheese gel with camel rennet behaves like a dilating coagulum while those produced with chicken pepsin behave like a pseudoplastic coagulum. Whereas, cheeses produced with goat rennet and microbial coagulant behave as a dilating and pseudoplastic coagulum. This clearly shows the effect of the type of enzyme on the coagulation of the camel-goat milk mixture. In addition, electron microscope observations showed the specificity of each coagulum according to the enzymatic extract tested and according to the proportion of goat milk added to camel milk. The difference is noted in the number and diameter of the pores and the appearance of their compactness. Moreover, the statistical analysis of the amino acid concentration results revealed a significant difference ($P<0.05$) between most of the different formulations with the dominance in the cheeses of histidine. Finally, the best enzymatically coagulated cheeses according to sensory tests are the FD50, FC75, FP50 and FM25 formulations with an overall acceptability score on a score of 15 from 7.85±2.34 (FM25) to 10.05±3.81 (FC75).

Finally, the physico-chemical characterization of the best four mixed coagulation formulations (FD50B, FC75B, FP50B and FM25B) gave cheeses with a total solids content of 25.66±0.5% to 43.55±1.2% and Fat/TS of 30.47±2.7 to 49.85±0.16 with a significant difference ($P <0.05$) for all parameters analyzed. From a sensory point of view, it should be noted that the addition of ferment has clearly resulted in more characteristic and more appreciated cheeses.

The results obtained tend and converge towards the possibility of using camel rennet, goat rennet and chicken pepsin in cheese processing based on camel milk mixed with goat milk, taking into account the specific optimum points for each enzyme and each formulation.

Keywords: Camel milk, goat milk, coagulation, RSM, rennet substitutes, fresh cheese

Résumé

Cette étude a pour objectif d'améliorer la coagulation du lait de dromadaire pour la fabrication d'un fromage frais en valorisant le lait de chèvre et différents substituts de la présure. D'abord, nous avons étudier les matières premières utilisées dont la composition brute du lait de dromadaire et chèvre et encore les caractéristiques de la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet. Ensuite, nous avons étudier l'optimisation des paramètres de la floculation et de la coagulation principalement le pH et la température avec des laits seuls et du lait dromadaire-chèvre en mélange avec différentes formulations en utilisant la méthodologie des surfaces de réponse (MSR). Les points optimums obtenus seront utilisés pour la fabrication du fromage frais à coagulation enzymatique et à coagulation mixte avec des bactéries lactiques mésophiles

L'analyse chimique et minérale du lait de dromadaire et du lait de chèvre a montré la spécificité de la composition du lait de dromadaire en comparaison avec le lait bovin, principalement au niveau des teneurs en protéines, en matière grasse et en matière sèche, en lactose et même en chlorure, sodium et cuivre. D'autre part, la caractérisation des extraits enzymatiques de la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet a révélé des teneurs en protéines et des activités coagulantes variables et une bonne force coagulante soit respectivement de 1/4166.67, 1/2531.64, 1/6153.85.

L'optimisation du temps de la floculation et de la coagulation ont permis de faire ressortir les points optimums spécifiques selon l'extrait enzymatique utilisé, le type de lait et la formulation testée. Il ressort que chaque enzyme agit différemment sur la coagulation du lait selon le pH et la température, et même lorsqu'on opère dans les mêmes conditions, chaque enzyme donne un coagulum spécifique. Globalement, le pH varient de 5 à 6.7 et la température de 30°C à 42°C.

Au niveau de la fabrication du fromage frais, douze formulations ont été réalisées et caractérisées, selon les proportions en lait de dromadaire et chèvre (75/25, 50/50, 25/75) et le type d'enzyme. Les meilleurs rendements fromagers des fromages frais à coagulation enzymatique sont ceux du fromage à la présure cameline avec 19.3±0.9% du FD25, le fromage à la présure caprine avec 13.45±0.5% du FC25, le fromage à la pepsine de poulet avec 16.65±1.0% du FP25 et le fromage à l'agent coagulant microbien avec 18.3±0.4% du FM50. La plupart des fromages obtenus peuvent être classés selon le codex alimentaire en pâte molle et mi-gras. En ce qui concerne la caractérisation rhéologique, les fromages produits sont assez ferme. Le gel du fromage avec la présure cameline se comporte comme un coagulum dilatant alors que ceux produits avec la pepsine de poulet se comportent comme un coagulum pseudoplastique. Alors que, les fromages produits avec la présure caprine et l'agent coagulant microbien se comportent comme un coagulum dilatant et pseudoplastique. Ceci montre bien l'effet du type d'enzyme sur la coagulation du mélange lait de dromadaire-chèvre. En plus, les observations au microscope électronique ont montré la spécificité de chaque coagulum selon l'extrait enzymatique testé et selon la proportion du lait de chèvre ajouté au lait de dromadaire. La différence est notée dans le nombre et le diamètre des pores et l'aspect de leur compacité. De plus, l'analyse statistique des résultats de la concentration des acides aminés a décelé une différence significative (P<0.05) entre la plupart des différentes formulations avec la dominance dans les fromages de l'histidine. En dernier, les meilleurs fromages à coagulation enzymatique sont les formulations FD50, FC75, FP50 et FM25 avec un score d'acceptabilité globale sur une note de 15 de 7.85±2.34 (FM25) à 10.05±3.81 (FC75).

En dernier, la caractérisation physico-chimique des meilleures quatre formulations à coagulation mixte ($FD50^B$, $FC75^B$, $FP50^B$ et $FM25^B$) a donné des fromages avec une teneur en matière sèche de 25.66±0.5% à 43.55±1.2 % et en Gras/Sec de 30.47±2.7 à 49.85±0.16 avec une différence significative (P <0.05) pour tous les paramètres analysés. Sur le plan sensoriel, il faut noter que l'ajout du ferment a clairement abouti à l'obtention de fromages plus caractéristiques et plus appréciés.

Les résultats obtenus tendent et convergent vers la possibilité d'utiliser la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet dans la transformation fromagère à base du lait de dromadaire en mélange avec le lait de chèvre en tenant compte des points optimums spécifiques pour chaque enzyme et chaque formulation.

Mots clé : Lait de dromadaire, lait de chèvre, coagulation, MSR, substituts de présure, fromage frais

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحسين تخثر حليب الإبل لإنتاج الجبن الطازج باستخدام حليب الماعز وبدائل المنفحة المختلفة. أولاً ، درسنا المواد الخام المستخدمة ، بما في ذلك التركيب الخام لحليب الإبل والماعز وخصائص منفحة الإبل ، ومنفحة الماعز ، وبيبسين الدجاج. بعد ذلك ، درسنا تحسين معاملات التلبد والتخثر بشكل رئيسي الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة مع الحليب وحده وحليب الإبل والماعز الممزوج بتركيبات مختلفة باستخدام منهجية سطح الاستجابة (RSM). سيتم استخدام النقاط المثلى التي تم الحصول عليها لتصنيع الجبن الطازج مع التخثر الأنزيمي ومع التخثر المختلط عن طريق إضافة البكتيريا اللبنية.

أظهر التحليل الكيميائي والمعدني لحليب الإبل او حليب الماعز خصوصية تركيبة حليب الإبل مقارنة بحليب البقر بشكل رئيسي من حيث البروتين والدهون والمواد الصلبة الكلية واللاكتوز وحتى في الكلوريد والصوديوم والنحاس. من ناحية أخرى ، أظهر توصيف المستخلصات الأنزيمية لمخثرة الإبل ، ومنفحة الماعز ، وبيبسين الدجاج محتوى متغير من البروتين و نشاط وقوه التخثر على التوالي 1 / 4166.67 ، 1 / 2531.64 ، 1 / 6153.85.

جعل تحسين وقت التلبد والتخثر من الممكن تسليط الضوء على النقاط المثلى المحددة وفقًا للمستخلص الأنزيمي المستخدم ونوع الحليب والصيغة التي تم اختبارها. يبدو أن كل إنزيم يعمل بشكل مختلف على تخثر الحليب اعتمادًا على درجة الحموضة ودرجة الحرارة ، وحتى عندما نكون تحت نفس الظروف ، فإن كل إنزيم يعطي تخثرا محددًا. بشكل عام ، يتراوح الأس الهيدروجيني من 5 إلى 6.7 ودرجة الحرارة من 30 درجة مئوية إلى 42 درجة مئوية.

على مستوى صناعة الجبن الطازج تم إنتاج وتمييز اثنتي عشرة تركيبة حسب نسب حليب الإبل والماعز (25/75 ، 50/50 ، 75/25) ونوع الإنزيم. أفضل إنتاجات الجبن الطازج المتخثر إنزيميًا هي جبنة منفحة الإبل بنسبة 19.3 ± 0.9٪ (FD25) ، وجبن منفحة الماعز مع 13.45 ± 0.5٪ (FC25) ، وجبن البيبسين الدجاج مع 16.65 ± 1.0٪ (FP25) و جبن عامل التخثر الميكروبي 18.3 ± 0.4٪ (FM50) .يمكن تصنيف معظم الجبن التي تم الحصول عليها وفقًا لمدونة الغذاء على أنها طرية وشبه دهنية. من الناحية الريولوجية ، فإن الأجبان المنتجة صلبة تمامًا. جل الجبن مع منفحة الإبل يتصرف مثل ماده متمدده بينما تتصرف تلك المنتجة مع بيبسين الدجاج مثل ماده بلاستيكيه كاذبه. في حين أن الجبن المنتج من منفحة الماعز والمخثر الميكروبي يتصرف مثل ماده متمدده و بلاستيكيه كاذبه. يوضح هذا بوضوح تأثير نوع الإنزيم على تخثر خليط حليب الإبل والماعز. بالإضافة إلى ذلك ، أظهرت ملاحظات المجهر الإلكتروني خصوصية التخثر وفقًا للمستخلص الإنزيمي الذي تم اختباره ووفقًا لنسبة حليب الماعز المضاف إلى حليب الإبل. يلاحظ الفرق في عدد وقطر المسام وظهور انضغاطها. علاوة على ذلك ، أظهر التحليل الإحصائي لنتائج تركيز الأحماض الأمينية وجود فرق معنوي ($P < 0.05$) بين معظم التراكيب المختلفة مع السيادة في حمض الهيستيدين. أخيرًا ، أفضل أنواع الجبن المتخثر إنزيميًا وفقًا للاختبارات الحسية هي تركيبات FD50 و FC75 و FP50 و FM25 مع درجة قبول إجمالية على درجة 15 من 7.85 ± 2.34 (FM25) إلى 10.05 ± 3.81 (FC75).

أخيرًا ، أعطى التوصيف الفيزيائي والكيميائي لأفضل أربع تركيبات تخثر مختلطة (FD50B و FC75B و FP50B و FM25B) بمحتوى إجمالي من المواد الصلبة يبلغ 25.66 ± 0.5٪ إلى 43.55 ± 1.2٪ ودهون / TS من 30.47 ± 2.7 إلى 49.85 ± 0.16 مع اختلاف معنوي ($P < 0.05$) لجميع المقاسات التي تم تحليلها. من وجهة نظر حسية ، تجدر الإشارة إلى أن إضافة التخمير قد أدى بوضوح إلى المزيد من الجبن المميزة وأكثر تقديرًا.

النتائج التي تم الحصول عليها تتجه نحو إمكانية استخدام منفحة الإبل ، ومنفحة الماعز ، وبيبسين الدجاج في تصنيع الجبن على أساس حليب الإبل الممزوج بحليب الماعز ، مع مراعاة النقاط المثلى المحددة لكل إنزيم ولكل تركيبة.

الكلمات المفتاحية: حليب الإبل ، حليب الماعز ، التخثر ،RSM ، بدائل المنفحة ، الجبن الطازج

Liste des abréviations

ACM: Agent coagulant microbien

CN: Caséines

FC: Formulation (fromage) à la présure caprine

FD: Formulation (fromage) à la présure cameline

FM: Formulation (fromage) à l'agent coagulant microbien

FP: Formulation (fromage) à la pepsine de poulet

PCP: Présure caprine

PD: Présure cameline

PP: Pepsine de poulet

R: Rendement fromager

TEFD: Teneur Eau dans le Fromage Dégraissé

UAC: Unité d'Activité Coagulante

US: Unité Soxhlet

Liste des figures

Synthèse bibliographique

Page

Figure 01 : Résumé des deux étapes impliquées dans la coagulation enzymatique du lait **10**

Figure 02 : Séquence d'acides aminés de la κ-caséine montrant le site de clivage de la chymosine **11**

Figure 03 : Classification des fromages **16**

Figure 04 : La diversité des fromages **17**

Figure 05 :Viscosité apparente d'un fromage frais produit à base du lait de dromadaire et du lait de chèvre **19**

Figure 06 : Exemple d'une micrographe d'un fromage frais au lait de dromadaire **20**

Matériel et méthodes

Figure 07 : Diagramme expérimentale de l'étude **22**

Figure 08 : Estomac de dromadaire (A) avec image de la caillette cameline ouverte (B) **24**

Figure 09 : Photos de l'échantillon de la caillette ouverte de chevreau **24**

Figure 10 : Photos de l'échantillon du proventricule ouverte de poulet **25**

Figure 11 : Diagramme d'extraction de la présure cameline et caprine **30**

Figure 12 : Diagramme d'extraction de la pepsine de poulet **32**

Figure 13 : Diagramme adopté de fabrication du fromage frais à coagulation enzymatique avec les différents extraits enzymatiques **39**

Figure 14 : Photos des différentes formulations des fromages frais avec la présure cameline **40**

Figure 15 : Photos des différentes formulations des fromages frais avec la présure caprine **40**

Figure 16 : Photos des différentes formulations des fromages frais avec la pepsine de poulet **41**

Figure 17 : Photos des différentes formulations des fromages frais avec l'agent coagulant microbien **41**

Figure 18 : Etapes de la fabrication du fromage frais à coagulation mixte **44**

Figure 19 : Photos des différentes formulations des fromages frais à coagulation mixte **45**

Résultats et discussion

Figure 20 : Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de dromadaire avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **57**

Figure 21: Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de chèvre avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **61**

Figure 22: Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de vache avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **65**

Figure 23: Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F75LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **69**

Figure 24: Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F50LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **72**

Figure 25: Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F25LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **76**

Figure 26: Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de dromadaire avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **80**

Figure 27: Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de chèvre avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **84**

Figure 28: Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de vache avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **87**

Figure 29 : Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F75LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **91**

Figure 30 : Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F50LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **95**

Figure 31 : Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F25LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D) **98**

Figure 32 : Profil sensoriel du fromage frais FD75, FD50 et FD25 **110**

Figure 33 : Profil sensoriel du fromage frais FC75, FC50 et FC25 **112**

Figure 34 : Profil sensoriel du fromage frais FP75, FP50 et FP25 **114**

Figure 35 : Profil sensoriel du fromage frais FM75, FM50 et FM25 **116**

Figure 36 : Micrographes des différentes formulations des fromages frais avec la présure cameline (FD75, FD50 et FD25) **121**

Figure 37 : Micrographes des différentes formulations des fromages frais avec la présure caprine (FC75, FC50 et FC25) **123**

Figure 38 : Micrographes des différentes formulations des fromages frais avec la pepsine de poulet (FP75, FP50 et FP25) **124**

Figure 39 : Micrographes des différentes formulations des fromages frais avec l'agent coagulant microbien (FM75, FM50 et FM25) **126**

Figure 40 : Représentation de la concentration en acides aminés des différentes formulations des fromages frais à coagulation enzymatique **129**

Figure 41 : Profil sensoriel du fromage frais $FD50^{B}$, $FC75^{B}$, $FP50^{B}$ et $FM25^{B}$ **135**

Liste des tableaux

Synthèse bibliographique

Page

Tableau 01: Evolution du cheptel camelin dans la Wilaya d'El Oued **5**

Tableau 02 : Evolution du cheptel caprin dans la Wilaya d'El Oued **7**

Tableau 03 : Principales caractéristiques de la composition brute du lait de dromadaire et du lait de chèvre **8**

Tableau 04 : Présure et agents coagulants les plus couramment utilisés et leurs enzymes **14**

Matériel et méthodes

Tableau 05 : Formulations du mélange lait de dromadaire-lait de chèvre de l'optimisation avec les enzymes coagulantes **35**

Tableau 06 : Facteurs, codes et niveaux du plan d'expérience pour les paramètres de T° (de 30 à 42°C) et de pH (de 5 à 6,7) **36**

Tableau 07 : Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux facteurs **36**

Tableau 08 : Formulations des fromages frais produits avec les enzymes coagulantes **38**

Tableau 09 : Formulations des fromages frais à coagulation mixte **44**

Résultats et discussion

Tableau 10 : Paramètres physico-chimiques du lait de dromadaire et lait de chèvre **46**

Tableau 11 : Qualité microbiologique du lait de dromadaire et lait de chèvre **51**

Tableau 12 : Principales caractéristiques des extraits enzymatiques **52**

Tableau 13 : Performance des extraits enzymatiques à la coagulation **52**

Tableau 14 : Temps de floculation du lait de dromadaire avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **55**

Tableau 15 : Régression et équation des réponses de la floculation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes **56**

Tableau 16 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes **56**

Tableau 17 : Temps de floculation du lait de chèvre avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **59**

Tableau 18 : Régression et équation des réponses de la floculation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes **60**

Tableau 19 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes **60**

Tableau 20 : Temps de floculation du lait de vache avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **62**

Tableau 21 : Régression et équation des réponses de la floculation du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes **63**

Tableau 22 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes **64**

Tableau 23 : Temps de floculation de la formulation F75LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **66**

Tableau 24 : Régression et équation des réponses de la floculation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes **67**

Tableau 25 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes **68**

Tableau 26 : Temps de floculation de la formulation F50LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **70**

Tableau 27 : Régression et équation des réponses de la floculation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes **71**

Tableau 28 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes **71**

Tableau 29 : Temps de floculation de la formulation F25LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **73**

Tableau 30 : Régression et équation des réponses de la floculation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes **74**

Tableau 31 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes **75**

Tableau 32 : Temps de la coagulation du lait de dromadaire avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **78**

Tableau 33 : Régression et équation des réponses de la coagulation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes **79**

Tableau 34 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes **79**

Tableau 35 : Temps de la coagulation du lait de chèvre avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **81**

Tableau 36 : Régression et équation des réponses de la coagulation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes **82**

Tableau 37 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes **83**

Tableau 38 : Temps de la coagulation du lait de vache avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **85**

Tableau 39 : Régression et équation des réponses de la coagulation du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes **86**

Tableau 40 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes **86**

Tableau 41 : Temps de la coagulation de la formulation F75LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **88**

Tableau 42 : Régression et équation des réponses de la coagulation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes **89**

Tableau 43 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes **90**

Tableau 44 : Temps de la coagulation de la formulation F50LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **92**

Tableau 45 : Régression et équation des réponses de la coagulation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes **93**

Tableau 46 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes **94**

Tableau 47 : Temps de la coagulation de la formulation F25LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien **96**

Tableau 48 : Régression et équation des réponses de la coagulation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes **97**

Tableau 49 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes **97**

Tableau 50 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation enzymatique avec la présure cameline **101**

Tableau 51 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation enzymatique avec la présure caprine **103**

Tableau 52 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation enzymatique avec la pepsine de poulet **104**

Tableau 53 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation enzymatique avec l'agent coagulant microbien **106**

Tableau 54 : Paramètres sensorielles des fromages frais avec la présure cameline (note/15) **108**

Tableau 55 : Paramètres sensorielles des fromages frais avec la présure caprine (note/15) **111**

Tableau 56 : Paramètres sensorielles des fromages frais avec la pepsine de poulet (note/15) **113**

Tableau 57 : Paramètres sensorielles des fromages frais avec l'agent coagulant microbien (note/15) **115**

Tableau 58 : Paramètres rhéologiques des fromages frais avec les extraits d'origine animale **117**

Tableau 59 : Paramètres rhéologiques des fromages frais avec l'agent coagulant microbien **118**

Tableau 60 : Composition an acides aminés par 100g des fromages frais à coagulation enzymatique **127**

Tableau 61 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation mixte **130**

Tableau 62 : Dénombrement de *Staphyloccocus à coagulase* + dans les fromages aux laits de chamelle et de chèvre et à coagulation mixte ($FD50^B$, $FC75^B$, $FP50^B$ et $FM25^B$) **133**

Tableau 63 : Paramètres sensorielles des fromages frais au lait de chamelle-de chèvre et à coagulation mixte (note/15) **134**

Table des matières

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux Page

Introduction **1**

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le lait de dromadaire et le lait de chèvre

I.1 Elevage camelin en Algérie **4**

I.2 Populations camelines en Algérie **5**

I.2.1 *Chaâmbi* **5**

I.2.2 *Sahraoui* **5**

I.2.3 *Berberi* **6**

I.2.4 *Chameau de la steppe* **6**

I.2.5 *Targui* (Race des Touareg du Nord) **6**

I.3 Elevage caprin en Algérie **6**

I.4 Populations caprines en Algérie **7**

I.5 Composition du lait de dromadaire et du lait de chèvre **7**

Chapitre II : Mécanismes de la coagulation du lait

II.1 Processus de la coagulation du lait **9**

II.1.1 Coagulation enzymatique du lait **9**

II.1.1.1 Phase primaire (enzymatique) **10**

II.1.1.2 Phase secondaire **11**

II.1.2 Coagulation acide **12**

II.1.3 Coagulation mixte **12**

II.2 Principaux paramètres influençant le temps de la coagulation **12**

II.2.1 Température **12**

II.2.2 pH **12**

II.2.3 Concentration de Ca^{2+} **12**

II.3 Défi de la coagulation du lait de dromadaire en fromage **13**

II.4 Types de présure et agents coagulants **14**

Chapitre III : Caractéristiques générales des fromages

III.1 Définition des fromages **15**

III.2 Classification des fromages **15**

III.3 Processus de fabrication des fromages **18**

III.4 Application de la rhéologie dans l'industrie fromager **18**

III.4.1 Test d'écoulement **19**

III.5 Microstructure des fromages **20**

Matériel et méthodes

I. Matériel **23**

I.1 Matériel biologique **23**

I.1.1 Lait de dromadaire **23**

I.1.2 Lait de chévre **23**

I.1.3 Lait de vache **23**

II. Méthodes d'analyse **25**

II.1 Etude de la matière première **25**

I1.1.1 Caractérisation physico-chimique des laits **25**

I1.1.1.1 Mesure du pH **25**

I1.1.1.2 Acidité titrable **26**

I1.1.1.3 Densité **26**

I1.1.1.4 Matière sèche **26**

I1.1.2 Caractérisation microbiologique des laits **27**

I1.1.2.1 Préparation de la solution mère et ses dilutions **27**

I1.1.2.2 Dénombrement des germes aérobies à 30°C **28**

I1.1.2.3 Dénombrement des coliformes thermotolérants à 44°C **28**

I1.1.3 Extraction des enzymes coagulantes **29**

I1.1.3.1 Présure cameline et caprine **29**

I1.1.3.2 Pepsine de poulets **31**

I1.1.3.3 Caractérisation des extraits enzymatiques **32**

I1.1.3.3.1 Activité coagulante **32**

I1.1.3.3.2 Temps de coagulation **33**

I1.1.3.3.3 Force coagulante **33**

II.2 Optimisation des conditions de coagulation par la méthode des surfaces de réponse **34**
II.2.1 Plan d'expérience **35**
II.2.2 Modélisation de la réponse **37**
II.2.3 Analyse statistique des données et représentations graphiques **37**
II.3 Formulation/fabrication des fromages frais à coagulation enzymatique et caractérisation des fromages produits **38**
II.3.1 Formulation/fabrication des fromages frais à coagulation enzymatique **38**
II.3.2 Caractérisation des fromages frais à coagulation enzymatique **41**
II.3.2.1 Analyse rhéologique des fromages frais à coagulation enzymatique **41**
II.3.2.2 Microstructure sous microscope électronique à balayage des fromages frais à coagulation enzymatique **42**
II.3.2.3 Dosage des acides aminés des fromages frais à coagulation enzymatique **43**
II.3.2.3.1 Extraction des acides aminés **43**
II.3.2.3.2 Dosage des acides aminés **43**
II.3.2.4 Analyse sensorielle des fromages frais à coagulation enzymatique **43**
II.4 Fabrication du fromage frais à coagulation mixte **44**

Résultats et discussion

Premier volet : Caractéristiques des matières premières

1.1 Caractéristiques physico-chimiques des laits **46**
1.1.1 Caractéristiques physico-chimique du lait de dromadaire **46**
1.1.2 Caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre **49**
I.2 Caractéristiques microbiologiques des laits **50**
I.3 Caractéristiques des extraits enzymatiques **52**
I.3.1 Caractéristiques de la présure cameline **52**
I.3.2 Caractéristiques de la présure caprine **53**
I.3.3 Caractéristiques de la pepsine de poulet **53**

Deuxième volet : Optimisation des paramètres de la floculation et de la coagulation par la méthodologie des surfaces de réponse

II.1 Optimisation des paramètres de la floculation **54**
II.1.1 Optimisation des paramètres de la floculation des laits seuls **54**
II.1.1.1 Optimisation des paramètres de la floculation du lait de dromadaire **54**

II.1.1.1.1 Temps de réponse de la floculation du lait de dromadaire **54**
II.1.1.1.2 Modélisation statistique du temps de la floculation du lait de dromadaire **55**
II.1.1.1.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de dromadaire **57**
II.1.1.2 Optimisation des paramètres de la floculation du lait de chèvre **58**
II.1.1.2.1 Temps de réponse de la floculation du lait de chèvre **58**
II.1.1.2.2 Modélisation statistique du temps de la floculation du lait de chèvre **59**
II.1.1.2.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de chèvre **61**
II.1.1.3 Optimisation des paramètres de la floculation du lait de vache **62**
II.1.1.3.1 Temps de réponse de la floculation du lait de vache **62**
II.1.1.3.2 Modélisation statistique du temps de la floculation du lait de vache **63**
II.1.1.3.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de vache **64**
II.1.2 Optimisation des paramètres de la floculation du mélange des laits **66**
II.1.2.1 Optimisation des paramètres de la floculation de la formulation F75LD **66**
II.1.2.1.1 Temps de réponse de la floculation de la formulation F75LD **66**
II.1.2.1.2 Modélisation statistique du temps de la floculation de la formulation F75LD **67**
II.1.2.1.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F75LD **68**
II.1.2.2 Optimisation des paramètres de la floculation de la formulation F50LD **69**
II.1.2.2.1 Temps de réponse de la floculation de la formulation F50LD **69**
II.1.2.2.2 Modélisation statistique du temps de la floculation de la formulation F50LD **70**
II.1.2.2.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F50LD **72**
II.1.2.3 Optimisation des paramètres de la floculation de la formulation F25LD **73**
II.1.2.3.1 Temps de réponse de la floculation de la formulation F25LD **73**
II.1.2.3.2 Modélisation statistique du temps de la floculation de la formulation F25LD **74**
II.1.2.3.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F25LD **75**
II.2 Optimisation des paramètres de la coagulation **77**

II.2.1 Optimisation des paramètres de la coagulation des laits seuls **77**
II.2.1.1 Optimisation des paramètres de la coagulation du lait de dromadaire **77**
II.2.1.1.1 Temps de réponse de la coagulation du lait de dromadaire **77**
II.2.1.1.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation du lait de dromadaire **78**
II.2.1.1.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de dromadaire **80**
II.2.1.2 Optimisation des paramètres de la coagulation du lait de chèvre **81**
II.2.1.2.1 Temps de réponse de la coagulation du lait de chèvre **81**
II.2.2.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation du lait de chèvre **82**
II.2.2.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de chèvre **83**
II.2.1.3 Optimisation des paramètres de la coagulation du lait de vache **84**
II.2.1.3.1 Temps de réponse de la coagulation du lait de vache **84**
II.2.1.3.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation du lait de vache **85**
II.2.1.3.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de vache **87**
II.2.2 Optimisation des paramètres de la coagulation du mélange des laits **88**
II.2.2.1 Optimisation des paramètres de la coagulation de la formulation F75LD **88**
II.2.2.1.1 Temps de réponse de la coagulation de la formulation F75LD **88**
II.2.2.1.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation de la formulation F75LD **89**
II.2.2.1.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F75LD **90**
II.2.2.2 Optimisation des paramètres de la coagulation de la formulation F50LD **92**
II.2.2.2.1 Temps de réponse de la coagulation de la formulation F50LD **92**
II.2.2.2.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation de la formulation F50LD **93**
II.2.2.2.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F50LD **94**
II.2.2.3 Optimisation des paramètres de la coagulation de la formulation F25LD **95**
II.2.2.3.1 Temps de réponse de la coagulation de la formulation F25LD **95**
II.2.2.3.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation de la formulation F25LD **96**

II.2.2.3.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F25LD **98**

Troisième volet : Caractéristiques des formulations du fromage camelin-chèvre à coagulation enzymatique

III.1 Caractéristiques physico-chimiques **100**

III.1.1 Caractéristiques physico-chimiques du fromage frais coagulé avec la présure cameline **100**

III.1.2 Caractéristiques physico-chimiques du fromage frais coagulé avec la présure caprine **102**

III.1.3 Caractéristiques physico-chimiques du fromage frais coagulé avec la pepsine de poulet **104**

III.1.4 Caractéristiques physico-chimiques du fromage frais coagulé avec la présure microbienne **106**

III.2 Caractéristiques sensorielles des formulations des fromages camelin-chèvre à coagulation enzymatique **107**

III.2.1 Caractéristiques sensorielles du fromage camelin-chèvre avec la présure cameline **107**

III.2.2 Caractéristiques sensorielles du fromage camelin-chèvre avec la présure caprine **110**

III.2.3 Caractéristiques sensorielles du fromage camelin-chèvre avec la pepsine de poulet **112**

III.2.4 Caractéristiques sensorielles du fromage camelin-chèvre avec la présure microbienne **114**

III.3 Caractéristiques rhéologiques des différentes formulations des fromages frais à coagulation enzymatique **117**

III.4 Microstructure des différentes formulations des fromages frais à coagulation enzymatique **120**

III.5 Composition en acides aminés des différentes formulations des fromages frais à coagulation enzymatique **127**

Quatriéme volet: Caractéristiques des fromages frais camelin-chèvre à coagulation mixte

IV.1 Caractéristiques physico-chimiques des fromages camelin-chèvre à coagulation mixte **130**

IV.2 Qualité microbiologique des fromages frais camelin-chèvre à coagulation mixte **132**

IV.3 Caractéristiques sensorielles des fromages frais camelin-chèvre à coagulation mixte **133**

Conclusion générale **136**

Références bibliographiques **141**

Annexes

Production scientifique

Introduction Générale

Introduction

Dans les pays du sud du bassin méditerranéen, l'élevage camelin représente une activité centrale dans l'occupation de l'espace pastoral steppique et désertique et dans le maintien de l'activité agricole des systèmes oasiens, pour le développement zootechnique des zones désertiques et la lutte contre la désertification. En Algérie, l'élevage camelin est concentré dans les zones semi-arides et arides. Dix populations de dromadaires ont été identifiées dans le pays sur un total de 26 populations en Afrique et 97 dans le monde **(Harek *et al*., 2017)**. En plus de la viande cameline, le lait de dromadaire joue un rôle important dans l'alimentation des nomades et des populations du sud algérien. De ce fait, la commercialisation du lait de dromadaire s'est développée ces dernières années notamment aussi suite à l'intensification de l'élevage des dromadaires et l'introduction de fourrages et d'aliments concentrés **(Mekkai *et al*. 2022)**. D'autre coté, l'élevage caprin se situe principalement dans les régions montagneuses du nord, les steppes et les zones subdésertiques du sud, où il s'agit d'une activité économique importante. Tandis que la demande de lait et l'enthousiasme pour sa qualité, qui est plus digeste et a une durée de conservation plus longue que le lait de vache, prévoit son extension dans les zones agricoles avec intensification de son élevage, diversification de son mode de conduite et orientation de sa production **(Aissaoui *et al*., 2018)**.

Le lait de dromadaire, aussi appelé or blanc du désert, est parmi les laits que se rapproche le plus au lait humain et diffère des autres laits de ruminants par le rapport des protéines du lactosérum et aux caséines **(Young *et al*., 2017)**. Il est actuellement considéré comme une bonne alternative au lait bovin. Sa saveur peut être d'un grand intérêt pour l'élaboration de dérivés innovants dans transformation laitière. Selon **Felfoul *et al*., (2023)**, le fromage au lait de dromadaire peut concurrencer le fromage au lait de vache. Cependant, et selon sa composition, le lait de dromadaire présente des difficultés dans la coagulation, étape clé pour toute transformation fromagère. La formation du coagulum est le résultat de l'interaction des protéases (présure ou autres) avec la caséine kappa cameline (CN-κ). Cette caséine contient un site de clivage nettement différent pour les protéases aspartiques par rapport à la CN-κ bovin **(Kappeler, 1998)**. Les chercheurs, depuis des décennies, ont essayé de coaguler le lait de dromadaire par l'utilisation de différentes protéases comme la présure, principale enzyme de fromagerie, ou autres. Divers agents de coagulation sont importants comme substituts pour la présure bovine, mais ces sources ne sont pas adaptées à la qualité de la production de fromage car ils sont l'origine de l'apparition de goûts

extrêmement amers indésirables **(Neelakanta *et al*., 1999 ; Walsh et Li (2000) ; Kumar *et al*., 2006)**. La chymosine recombinante peut également être utilisée pour produire du fromage, mais son utilisation peut être limitée en raison des préoccupations des consommateurs concernant les aliments génétiquement modifiés **(Egito *et al*., 2007)**.

Pour les agents coagulant d'origine animale, il existe des études qui prouvent l'efficacité de la présure cameline **(Boudjenah-Haroun *et al*., 2011 ; Boudjenah-Haroun *et al*., 2014 ; Hattem *et al*., 2017)**, de la présure caprine **(Zhang et Wang, 2007)** et de la pepsine de poulet **(Benyahia-Krid *et al*., 2016)** dans la coagulation du lait bovin. Cependant, et concernant le lait de dromadaire, des études très limitées ont été menées sur la capacité de la présure cameline à coaguler le lait de dromadaire.

Les premières principales recherches sur la coagulation du lait de dromadaire par des extraits enzymatiques de la caillette des dromadaires ont été réalisées par **Wangoh *et al*. (1993)**, **Elagamy (2000)**, **Sibouker *et al*. (2005)**, **Boudjenah-Haroun *et al*. (2011)** et **Ramet (2011).** D'autre part, **Walle *et al*. (2017)** ont évalué l'effet de la concentration de chymosine cameline sur la coagulation du lait de dromadaire. Récemment **Felfoul *et al*., (2022)** ont discuté la coagulation du lait de dromadaire par acidification chimique alors que **Mekkaoui *et al*. (2022)** ont vérifié l'effet des systèmes d'élevage du dromadaire sur l'aptitude coagulante du lait. Toutes ces études ont montré que la coagulation du lait de dromadaire est difficile mais possible.

En parallèle, quelques autres travaux ont discuté la caractérisation et la qualité des produits de transformation du lait de dromadaire comme les fromages. **Hailu *et al*., (2014)** ont traité les propriétés rhéologiques et sensorielles et les composés aromatiques formés pendant l'affinage d'un fromage à pâte molle saumurée alors que **Shahein *et al*. (2014)** ont vérifié l'effet de la combinaison du lait de dromadaire et Buffalo dans la fabrication de fromage frais et **Derar et El Zubeir, (2016)** et aussi **Saadi *et al.* (2019)** du lait de dromadaire et du lait de brebis.

Au niveau de la littérature, les travaux de recherches qui sont menées sur l'étude de la coagulation du lait de chamelle combiné au lait de chèvre et sur la qualité du fromage obtenu sont rares. **Aissaoui Zitoun *et al.* (2018),** ont initié la fabrication d'un fromage frais au lait de dromadaire et de lait de chèvre avec l'utilisation de la pepsine de poulet alors que **Saadi *et al.***

(2019) ont étudié l'effet du mélange de lait de chamelle avec du lait de vache, de brebis et de chèvre dans différentes proportions pour seulement la production de yaourt.

Dans cette optique de recherche et sachant qu'en Algérie l'élevage camelin est parfois intégré avec l'élevage caprin, notre présente étude constitue une première contribution pour l'amélioration de la coagulation du lait de dromadaire par :

1- Le mélange avec du lait de chèvre à différentes proportions ;
2- L'utilisation des substituts de présure dont la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet ;
3- L'optimisation des principaux paramètres de coagulation soit la température et le pH des laits de dromadaire et de chèvre seule et en mélange

Le présent manuscrit est structuré en trois parties. La première, consacrée à des données bibliographiques, est articulée autour des notions de lait de dromadaire et de chèvre, mécanismes de la coagulation du lait et les caractéristiques générales des fromages. Dans la seconde partie du manuscrit, nous exposons le matériel et les méthodes mis en œuvre dans le cadre de la caractérisation des laits de dromadaire et de chèvre ainsi que des substituts d'enzymes et l'optimisation des paramètres de la floculation et de la coagulation des laits par la méthodologie des surfaces de réponse. De plus, formulation/fabrication et caractérisation des fromages frais à base du lait de mélange dromadaire-chèvre par coagulation enzymatique et mixte. La dernière partie du manuscrit traite principalement les résultats décrivant les caractéristiques physico-chimiques du lait de dromadaire et du lait de chèvre, les points optimums de la floculation et de la coagulation des laits et les propriétés physicochimiques, rhéologiques, microstructurales et sensorielles des différentes formulations des fromages frais.

Synthèse bibliographique

I.1 Elevage camelin en Algérie

Le camelin occupe une place prépondérante dans la vie économique et sociale des communautés sahariennes et steppiques, il revêt une importance particulière du fait qu'il évolue dans des milieux où l'existence d'autres alternatives d'élevages seraient aléatoires et onéreux. Cet élevage suscite donc une activité socio-économique intéressante vu qu'il représente un atout incontestable dans la sécurisation alimentaire des régions désertiques et arides. Les productions (lait, viande, laine et cuir) ont permis aux populations de ces régions où la demande est en croissance continue de s'adapter aux rigueurs du climat.

En Algérie, la population cameline compte près de 354 465 têtes soit 1% de l'effectif national et environ 17 % de la population Maghrébine cameline et se trouve confinée sur trois grandes territoires agroécologiques à savoir Sahara, Atlas Saharien et Steppe où sont relevés plusieurs types d'élevages **(Meguellati-Kanoun *et al*., 2018)**. En terme de mode d'élevage, il existe l'élevage extensif (communément suivi, pratiqué dans des parcours et des vastes superficies et qui se base sur la végétation naturelle) et l'élevage intensif (en limitations et qui se base sur l'utilisation des compléments alimentaires). A la limite de ces deux modes s'ajoute un autre système d'élevage. C'est le mode semi-intensif **(Medjour, 2014)**.

A l'échelle nationale la wilaya de Tamanrasset compte l'effectif de troupeaux le plus important soit de l'ordre de 79 mille têtes en moyenne pour la période allant de 2000 à 2015. Elle est classée au premier rang, suivie par la wilaya d'Adrar avec une dimension moyenne qui s'est stabilisée autour de 41 mille têtes pour cette même décennie. Vient en troisième rang la wilaya de Tindouf avec une moyenne de 38 mille têtes. Pour les autres wilayas du territoire Saharien telles que (Ouargla et El Oued) la taille moyenne des effectifs camelins est moindre et oscille respectivement autour 29 mille et 24 mille tètes **(Meguellati-Kanoun *et al*., 2018 ; DSA, 2019)**.

La région d'El Oued a connu un fort développement au cours de la période comprise entre 2009 et 2018 **(tableau 01)**.

Tableau 01 : Evolution du cheptel camelin dans la Wilaya d'El Oued **(DSA, 2019)**

Année	Nombre de chamelles	Cheptel total
2009	15500	27000
2010	19500	30000
2011	20000	31000
2012	21000	34000
2013	22000	37000
2014	23000	38000
2015	24000	40000
2016	25000	42000
2017	27000	45000
2018	34000	55000

I.2 Populations camelines en Algérie

Felliachi. (2003) a rapporté les populations camelines qui ont réparti en deux grands groupes génétiques : le *Chaâmbi* et le *Targui* (*Méharie*) qui comptent toutefois des sous types : *Reguibi*, *Sahraoui*, Chameau de *l'Aftouh*, *l'Adjer*, *l'Ait Kebbach*, *Ouled Sidi Echikh* et *Chameau de la steppe*.

I.2.1 *Chaâmbi*

Animal médialigne, solide, à pelage foncé mi-long, également fortement croisé avec du sang arabe. C'est un animal bien adapté aussi bien à la pierre qu'au sable. Il est rencontré dans les hauts plateaux au nord du grand erg occidental (Sud Oranais). Son élevage se trouve en déclin actuellement et est remplacé par le Sahraoui.

I.2.2 *Sahraoui*

C'est le résultat du croisement de la race Chaâmbi avec celle de l'Ouled Sidi Echikh. Animal médialigne robuste, à pelage foncé, mi-long, c'est un excellent méhari de troupe qui vit du grand erg occidental au centre du Sahara.

I.2.3 *Berberi*

Animal de forte fine, avec une arrière main musclée, rencontré surtout entre la zone Saharienne et tellienne. Il est très proche du Chaâmbi et de l'Ouled Sidi Chikh.

I.2.4 *Chameau de la steppe*

C'est un dromadaire commun, petit, bréviligne. C'est un mauvais porteur. Il est utilisé pour le nomadisme rapproché. On le rencontre dans les confins sahariens et surtout à la limite de la steppe et du Sahara. Ce type est en déclin.

I.2.5 *Targui* (Race des Touareg du Nord)

Les dromadaires targuis sont des animaux habitués aussi bien aux rudes escarpements du Tassili et du Massif central du Hoggar, qu'aux sables. C'est un animal fin avec des membres très musclés. La bosse est petite et rejetée en arrière. La queue est également petite et les plants des pieds sont fins. C'est un excellent *Mehari* pour les patrouilles aux frontières. Il a une robe claire ou pie, des poils ras et une peau très fine. C'est un animal de selle par excellence, souvent recherché au Sahara comme reproducteur. On le rencontre surtout dans le Hoggar et son pourtour ainsi qu'au Sahara central.

I.3 Elevage caprin en Algérie

L'élevage caprin en Algérie est une spéculation ancestrale. Le type familial est très répandu dans les régions sahariennes où plusieurs populations locales sont élevées pour leur lait et leur chair sous un mode traditionnel associé ou non à d'autres espèces **(Djouza et Chehma, 2018)**. Le cheptel caprin est plus concentré, comme dans le reste des pays Méditerranéens dans les zones difficiles et les régions défavorisées de l'ensemble du territoire : Steppe, région montagneuse et oasis.

A l'échelle nationale, selon **DSA. (2019)** la région d'El Oued a connu un développement dans l'élevage caprin **(tableau 02)**.

Tableau 02 : Evolution du cheptel caprin dans la Wilaya d'El Oued **(DSA, 2019)**

Année	Nombre de chèvres	Cheptel total
2009	289000	430000
2010	292000	470000
2011	306000	484000
2012	320000	496000
2013	342000	526000
2014	346000	532000
2015	348000	540000
2016	349000	542000
2017	288000	498000
2018	287000	496000

I.4 Populations caprines en Algérie

La majorité des populations caprines en Algérie sont soumises seulement à la sélection naturelle. Le rameau Nord-Africain gros à poils noirs se rapproche du type *Kurde* et *Nubio-syrien*, des métissages avec les races méditerranéennes existent également telles que la *Maltaise*, la *Murciana*, la *Damasquine*, la *Toggenburg* et avec l'*Alpine* et la *Saanen* plus récemment. La population locale est divisée en plusieurs sous-populations: celle dite *Sahélienne* ou *Touareg*, *Fulani*, Bariolée du Sahel et subdivisé en deux sous populations; la *Arbia* et la *Makatia*. La naine de Kabylie des montagnes de Kabylie et du Dahra. Il existe aussi la *M'zabit* (de Tougourt, M'zab) au sud du pays.

En Algérie, les études de caractérisation des ressources génétiques animales sont récentes et restent rudimentaires. Pour l'espèce caprine ; la chèvre « *Arbia* » est l'une des populations les plus importantes en matière d'effectif mais n'a pas bénéficiée d'études approfondies afin d'orienter son utilisation et d'améliorer sa production **(Djouza et Chehma, 2018)**.

I.5 Composition du lait de dromadaire et du lait de chèvre

La composition du lait de dromadaire s'est avérée moins stable que les autres espèces telles que le lait de vache. Cependant, les variations observées chez le chameau la composition du lait

pourrait être attribuée à plusieurs facteurs tels que les procédures de mesures analytiques, localisations géographiques, les conditions d'alimentation et le prélèvement d'échantillons sur différentes races, en plus d'autres facteurs, y compris le stade de lactation, l'âge et le nombre de vêlage **(Omar *et al.*, 2010)**.

Le tableau 03 présente les principales caractéristiques de la composition brute du lait de dromadaire et du lait de chèvre.

Tableau 03 : Principales caractéristiques de la composition brute du lait de dromadaire et du lait de chèvre

Paramètres	Lait de dromadaire	Lait de chèvre	Références
Caséines	-Une teneur élevée en caséines-β -Une teneur faible en caséines-k (3,47%) - un site d'hydrolyse différent de caséines-k par la chymosine par rapport au lait de vache	-Une teneur faible en caséines-αs1 - Les concentrations de caséine-αs1 dans le lait de chèvre dépendent fortement des polymorphismes génétiques	**(Omar *et al.*, 2010)** **(Colin, 2022)**
Protéines du lactosérum	-0,63 et 0,80% des protéines totales -Absence de β-lactoglobuline - L'α-lactalbumine est le composant principal	-Présence de β-lactoglobuline et lactoglobuline	**(Omar *et al.*, 2010)**
Matière grasse	- Le diamètre des globules gras varie entre 1,2-4,2 microns - Triacylglycérol, représente 96% -Beurre blanc à cause de la déficience en carotène	-3,0 et 6,0% de la matière sèche -Le gout chèvre est dû à la présence de l'acide caproïque, caprylique et caprique	**(Brezovečki *et al.*, 2015)** **(Getaneh *et al.*, 2016)**
Matière minérale	- le calcium, le phosphore, le magnésium, sodium, potassium et chlorures sont les principaux minéraux -Une teneur élevée en oligoéléments principalement le fer et le zinc	Le calcium, le phosphore, le potassium, le magnésium et chlorures sont les principaux minéraux	**(Konuspayva *et al.*, 2022)** **(Beyza, 2015)**

II.1 Processus de la coagulation du lait

La coagulation correspond à un changement d'état physique irréversible dans lequel un lait au repos, initialement liquide, passe à l'état semi-solide généralement appelé gel ou plus spécifiquement coagulum **(Alais et Linden, 1997 ; Brulé *et al*., 1997)**.

La coagulation du lait est étroitement liée à l'organisation structurale de la micelle de caséine. La micelle est formée de sous-micelles, lesquelles sont formées de caséines α_{s1}, α_{s2}, β et κ. Les sous-micelles sont liées entre elles par le phosphate de calcium. Individuellement, les caséines α et β sont sensible à la présence de calcium et précipitent, mais elles sont très peu sensibles à la chymosine. A l'opposé, la caséine κ n'est pas affectée par la présence de calcium, mais hydrolysée par la chymosine.

L'intérieur de la micelle est hydrophobe. Les minéraux ainsi que la caséine κ à la périphérie des micelles stabilisent la structure micellaire. La charge nette de la micelle, qui est négative et qui permet aux micelles de se repousser, et aussi impliquée dans la stabilité. De plus, les micelles ont une grande capacité d'absorption d'eau. Cette eau forme une enveloppe d'hydratation qui les stabilise. Provoquer la coagulation du lait revient à jouer avec les propriétés physico-chimiques des micelles de caséines et à modifier l'équilibre entre la phase soluble et la phase colloïdale **(Vuillemard, 2018)**.

II.1.1 Coagulation enzymatique du lait

La coagulation enzymatique (induite par la présure) du lait peut être divisé en deux phases : (1) hydrolyse de la protéine stabilisatrice des micelles, la κ-caséine, (2) agrégation et gélification des micelles altérées en présure, avec développement d'un gel particulaire. Le mécanisme de la phase primaire (enzymatique) a été décrit en biologie et en terme moléculaire les effets de divers facteurs environnementaux sur ceux-ci quantifiés. Agrégation des micelles altérées en présure se produit lorsque le potentiel zêta des micelles, en raison principalement à la couche superficielle de κ-caséine, a été réduite à un niveau critique **(Patrick *et al*., 2017) (figure 01)**.

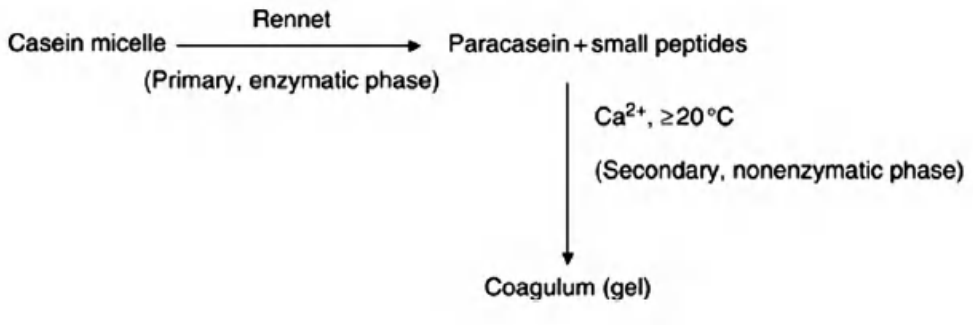


Figure 01 : Résumé des deux étapes impliquées dans la coagulation enzymatique du lait **(Gregersen and Lucey, 2016)**

Au cours de la phase primaire, la k-caséine est clivée par la présure au niveau de la liaison Phe105 – Met106 (pour former la para-k-caséine et le macropeptide), ce qui entraîne une réduction à la fois de la charge négative nette et de la répulsion stérique, de sorte que les micelles altérées par la présure deviennent sensibles à l'agrégation et, après une phase de latence, un réseau de gel tridimensionnel appelé « coagulum » se forme. L'étude de la coagulation de la présure a suscité un intérêt considérable en raison de l'importance commerciale de ce procédé en tant que première étape de la fabrication du fromage.

II.1.1.1 Phase primaire (enzymatique)

Dans la phase primaire de la coagulation de la présure, la partie C-terminale hydrophile (résidus 106 à 169) de la molécule de k-caséine est hydrolysée et diffuse de la micelle dans la phase sérique **(figure 02)**. Ce macropeptide est appelé caséinomacropeptide ou s'il est fortement glycosylé, c'est-à-dire qu'il contient des résidus glucidiques, tels que l'acide N-acétylneuramique, il est appelé glycomacropeptide. Il existe plusieurs niveaux différents de glycosylation de la k-caséine, et ceux-ci peuvent être distingués par leur solubilité dans l'acide trichloroacétique. Apparemment, tous les principaux types de présure hydrolysent la même liaison Phe105–Met106 (à l'exception du coagulant de *Cryphonectria parasitica*, qui hydrolyse la liaison Ser104–Phe105).

La séquence peptidique His98–Lys111 est la section importante de la molécule de k-caséine affectant la capacité de la chymosine à s'hydrolyser la liaison Phe105-Met106. Le site actif de la chymosine se trouve dans une fente, de sorte que le site de clivage de la k-caséine doit pouvoir s'insérer dans cette fente. La région entre les résidus Leu103 et Ile108 de la k-caséine est fortement

hydrophobe, et cette région s'associe probablement avec une région hydrophobe dans la fente de chymosine. Les résidus chargés négativement sur la chymosine interagissent probablement avec positivement résidus chargés (His98–His102 et Ile108–Lys112) dans la k-caséine **(Gregersen and Lucey, 2016)**.

Figure 02 : Séquence d'acides aminés de la κ-caséine montrant le site de clivage de la chymosine **(Patrick *et al.*, 2017)**

II.1.1.2 Phase secondaire

Lorsque le lait coagule dans des conditions normales de pH et de teneur en protéines, la viscosité n'augmente pas avant la phase enzymatique est complète à au moins 87 % et > 60 % du temps de la coagulation enzymatique (visuel). Ainsi, il y a un certain chevauchement entre l'hydrolyse et l'agrégation étapes ; l'étendue du chevauchement dépend des conditions expérimentales telles que le pH, la température et la teneur en protéines. Le haut degré de l'hydrolyse de la k-caséine nécessaire à l'agrégation peut être due à la présence d'autres caséines sur la surface micellaire qui contribuent également à la barrière répulsive qui s'oppose à l'agrégation. Lorsque la barrière répulsive est suffisamment abaissée par l'élimination des poils de k-caséine, l'agrégation peut se produire **(Gregersen and Lucey, 2016)**.

II.1.2 Coagulation acide

La coagulation acide consiste à précipiter les caséines à leur point isoélectrique (pH=4,6) par acidification biologique à l'aide de ferments lactiques qui transforment le lactose en acide lactique ou par acidification chimique (injection de CO_2, addition de glucono-lactone ou ajout de protéines sériques à pH acide. Ce type de gel de par la solubilisation du phosphate de calcium colloïdal au cours de l'acidification présente une bonne perméabilité mais une friabilité élevée ; le manque de structuration du réseau (liaisons de faibles énergies de type hydrophobe) a pour conséquences une élasticité et une plasticité pratiquement nulles et une faible résistance aux traitements mécaniques **(Mcsweeney, 2007)**.

II.1.3 Coagulation mixte

La coagulation mixte résulte de l'action conjuguée de la présure et de l'acidification. La multitude de combinaisons conduisant à différents états d'équilibre spécifiques est à l'origine de la grande diversité des fromages à pâte molle et à pâte pressée non cuite **(Jeantet *et al.*, 2007)**.

II.2 Principaux paramètres influençant le temps de la coagulation

II.2.1 Température

La température optimale pour la coagulation de la présure du lait est d'environ 40°C. La coagulation ne se produit pas à un taux appréciable <18°C en raison de l'effet température au deuxième stade de la coagulation de la présure. Tandis qu'à des températures plus élevées, la présure est dénaturée thermiquement 55°C à 60°C, selon le type de présure et le pH, empêchant ainsi le premier stade de la coagulation de la présure.

II.2.2 pH

Le taux de coagulation augmente à mesure que le pH diminue à mesure que la chymosine se rapproche de son pH optimal. L'effet du pH est donc sur le premier stade de l'action de la présure. Le lait peut ne pas coaguler si le pH est trop élevé.

II.2.3 Concentration de Ca^{2+}

Un taux élevé de Ca^{2+} dans le lait accélère la coagulation. L'effet de Ca^{2+} est principalement sur la deuxième étape de la coagulation de la présure, bien qu'il ait un léger effet (indirect) sur la première étape car l'adjonction de calcium au lait modifie l'équilibre des sels en provoquant une précipitation du phosphate de calcium colloïdal et la production de H +, qui réduit le pH. Le

chlorure de calcium ($CaCl_2$) est souvent ajouté au lait de fromage pour améliorer ses propriétés de coagulation **(Mcsweeney, 2007)**.

II.3 Défi de la coagulation du lait de dromadaire en fromage

Il y a eu plusieurs tentatives pour produire du fromage à partir de lait de dromadaire, mais la plupart de ces essais ont été infructueux et ont donné des résultats contradictoires. **Al Haj et Al Kanhal (2010)** ont rapporté les problèmes liés à la production du fromage qui comprennent :

- **Temps de coagulation longue** : le lait de dromadaire présente un double à triple temps de coagulation de la présure plus long par rapport au lait de vache. Cela a été attribué aux différences dans la taille des particules de caséine qui est principalement lié à la disponibilité de k-CN. Le coagulum de lait de dromadaire contiendrait un plus grand nombre de grosses micelles de caséine que le coagulum de lait bovin. Une telle augmentation du nombre de grandes micelles de caséine est due à la teneur réduite en k-CN, prolongeant par conséquent le temps de la coagulation ;
- **Caillé faible** : Cela est probablement dû à la faible teneur en solides totaux du coagulum, en particulier la caséine. D'autres raisons pourraient être dues à la petite taille des globules gras cameline (2,99 µm) par rapport avec celui (3,78 µm) des globules gras bovine, ou peut être due à la faible élasticité et à la grande fragilité de la texture du gel de fromage. La caséine de lait de dromdaire contient un plus grand nombre de grandes micelles (200-500 nm) que le lait de vache (220-300 nm); il en résulte la formation d'un coagulum moins ferme lors de la transformation du fromage ;
- **Action de la présure** : le coagulum obtenu à partir du lait de dromadaire par l'action de la présure bovine a montré une fragilité et hétérogénéité de la structure ;
- **Rendement du fromage** : le fromage blanc à pâte molle au lait de dromadaire a été rapporté que les procédés conventionnels donnaient jusqu'à 12 % de rendement, qui est de 50 % inférieur à celui des fromages à pâte molle produits à partir du lait de vache. Un rendement inférieur de 5 % a été signalé pour le fromage à pâte dure produit à partir du lait de camelin. Le fromage blanc à pâte molle fabriqué à partir du lait de dromadaire utilisant un procédé d'ultrafiltration a rapporté un rendement plus élevé allant jusqu'à 20% en raison d'une récupération accrue des protéines, des graisses et d'autres matières solides du lait.

II.4 Types de présure et agents coagulants

Les présures et les coagulants sont plus efficacement classés en fonction de leur source. Le tableau 04 présente les principaux types de coagulants utilisés aujourd'hui en fromagerie ainsi que leurs composants enzymatiques actifs.

Dans le groupe des produits d'origine animale, la présure de veau est considérée comme le produit enzymatique idéal pour la fabrication du fromage en raison de sa teneur élevée en chymosine, l'enzyme naturelle de coagulation du lait bovin. Dans la caillette et les extraits de ses tissus, la proportion varie entre les deux enzymes, la chymosine et la pepsine, selon l'âge de l'animal et le type d'aliment **(Law et Tamime, 2010)**.

Tableau 04 : Présure et agents coagulants les plus couramment utilisés et leurs enzymes **(Law et Tamime, 2010)**

Groupe	Source	Exemples de la présure et agents coagulants	composants enzymatiques actifs
Animal	-Estomacs de bovins	-Présure de veau, présure de bovin adulte Pâte de présure	-Chymosine bovine A, B et C, pepsine A et gastricine Le même que ci-dessus plus la lipase
	-Estomacs d'ovins -Estomacs de caprins	-Présure d'agneau, présure d'ovin -Présure de chevreau caprine, présure caprine	-Chymosine ovine et pepsine -Chymosine caprine et pepsine
Microbien	-*Rhizomucor miehei* -*Cryphonectria parasitica*	-Coagulant de *R.Miehei* Type L, TL, XL et XLG/XP -Coagulant de *C.parasitica*	-Protéinase aspartique de *R.Miehei* - Protéinase aspartique de *C.parasitica*
Végétale	-*Cynara cardunculus*	-Cardon	-Cyprosine 1.2 et 3 et/ou cardosine A et B
CPF*	-*Aspergillus niger* -*Kluyveromyces marixianus var.lactis*	-CHY-MAX™ -CHY-MAX™ M -Maxiren ®	-Chymosine bovine B -Chymosine cameline -Chymosine bovine B

*Chymosine produit de la fermentation

Le fromage est le groupe de produits laitiers le plus diversifié et est sans doute le plus académiquement intéressant et stimulant. Alors que de nombreux produits laitiers, s'ils sont correctement fabriqués et stockés, sont biologiquement, biochimiquement et chimiquement très stables, les fromages sont, en revanche, biologiquement et biochimiquement actifs et, par conséquent, subissent des changements de saveur et de texture **(Patrick *et al.*, 2017)**.

III.1 Définition des fromages

C'est une conserve de deux constituants insolubles du lait, la caséine qui en forme obligatoirement la charpente, et la matière grasse qui est présente en proportion variable (**Alais et Linden, 1997)**.

La norme **FAO/OMS** n°A6 du Codex Alimentarius (1996) définit le fromage par : « Le fromage est le produit frais ou affiné de consistance solide ou semi-solide dans lequel le rapport protéine de sérum/caséine ne dépasse pas celui du lait et obtenu :

a/ par coagulation complète ou partielle des matières premières suivantes : lait, lait écrémé, lait partiellement écrémé, crème, ou babeurre, seul ou en combinaison, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par l'égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation et/ou ;

b/ par l'emploi de technique de fabrication entrainant la coagulation du lait et ou de matière provenant du lait de façon à obtenir un produit ayant des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques similaires à celles du produit défini au paragraphe a ».

III.2 Classification des fromages

La diversité et la complexité des variétés de fromage créent des difficultés en ce qui concerne la classification et la caractérisation des fromages **(figure 03)**. La plupart des systèmes de classification classiques reposent exclusivement sur l'un des critères suivants : propriétés de texture (fermeté), type de lait, méthode de coagulation, température de cuisson, composition du fromage et agent d'affinage caractéristique. Cependant, peu de modèles de classification sont basés sur des approches intégratives qui montrent une image plus précise de la diversité du fromage et de la différenciation entre les nombreuses variétés. En outre, une évaluation internationale des systèmes de classification par familles indique également deux approches majeures mais

différentes, qui dans certains cas peuvent être une source de confusion. L'approche "européenne" (principalement utilisée en France et en Europe du Sud) utilise les processus technologiques comme critères de classification, tandis que le modèle de classification « anglo-saxon » repose principalement sur les propriétés texturales (fermeté) **Lenoir *et al*. (1983)**.

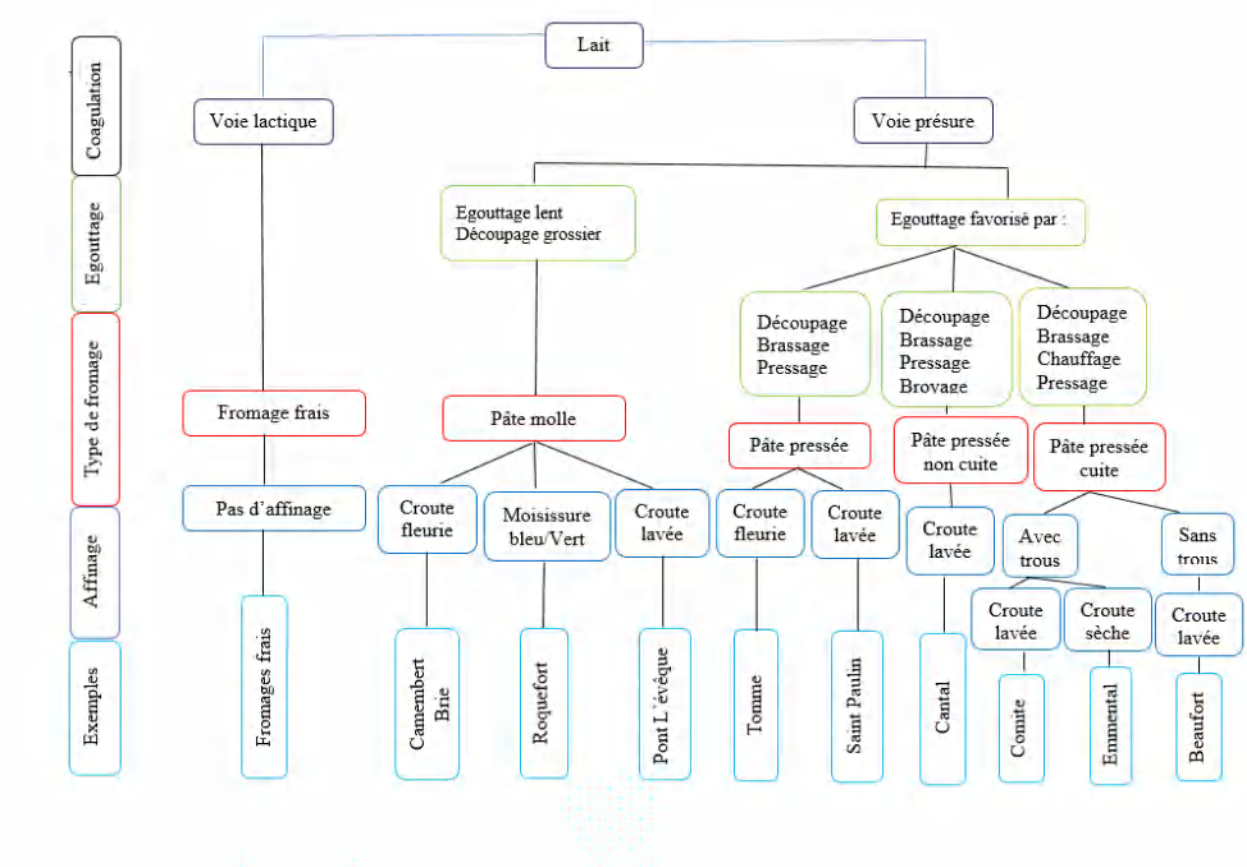


Figure 03 : Classification des fromages selon **Lenoir *et al*. (1983)**

D'autre classification de **Fox. (1993) et McSweeney *et al*. (2004)** qui ont proposé un certain nombre de "superfamilles" basées sur la méthode de coagulation du lait, dans laquelle tous les fromages peuvent être regroupés :

• Fromages coagulés à la présure : la plupart des grandes variétés de fromages internationaux

• Fromages coagulés à l'acide : par exemple, Cottage, Quarg

• Chauffage/coagulation acide : par exemple, Ricotta

• Concentration/cristallisation : par exemple, Mysost

En outre, il existe une gamme de fromages modifiés et de produits similaires au fromage, y compris fromages modifiés enzymatiquement, fromages séchés, succédanés de fromage et fromage fondu. Laissant de côté ces produits, **Fox (1993)** et **McSweeney *et al*. (2004)** ont classé tous les fromages en 13 superfamilles, bien que leur schéma de classification n'ait pas tenu compte de l'espèce d'animal laitier et donc, aussi, n'est pas complètement satisfaisant **(figure 04)**.

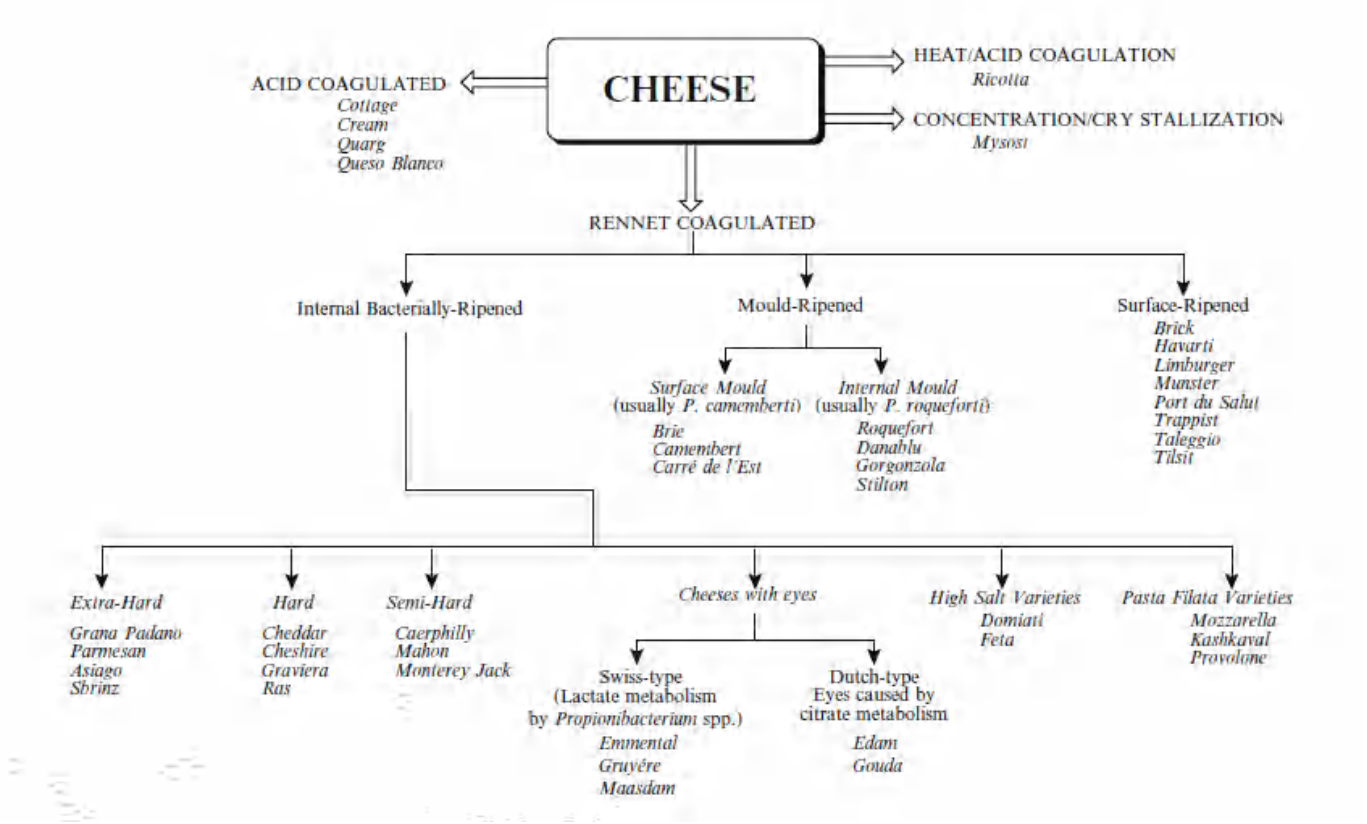


Figure 04 : La diversité des fromages. Les variétés de fromages sont classées en superfamilles en fonction de la méthode de coagulation et subdivisée en fonction de l'agent d'affinage principal et/ou de la caractéristique technologique

III.3 Processus de fabrication des fromages

La production de toutes les variétés de fromage implique un protocole généralement similaire dont différentes étapes sont modifiées pour donner un produit avec les caractéristiques désirées. Les principales étapes sont généralement :

1. Sélection, standardisation et, dans la plupart des cas, pasteurisation du lait.

2. L'acidification, généralement via la production in situ d'acide lactique par des bactéries.

3. Coagulation du lait par acidification ou protéolyse limitée.

4. Déshydratation du coagulum pour donner du caillé de fromage, par une gamme de techniques, dont certains sont spécifiques à la variété.

5. Façonnage du caillé en formes caractéristiques.

6. Pour la plupart des variétés, affinage (maturation) du caillé pendant lequel la caractéristique, la saveur et la texture du fromage se développent **(Patrick *et al*., 2017)**.

III.4 Application de la rhéologie dans l'industrie fromager

Il existe de nombreux domaines où des données rhéologiques sont nécessaires dans l'industrie fromagère, en citant :

- Détermination de la fonctionnalité d'un ingrédient : Les effets du calcium sur la rhéologie du fromage à différentes étapes de fabrication ont été évalué à l'aide d'un contrôle du stress par un rhéomètre et il a été rapporté que le calcium avait un effet significatif sur la rhéologie
- Test de la durée de conservation : L'eau est connue pour diminuer la dureté ou la fermeté de fromage et donc la propriété rhéologique est une indication de la détérioration
- Évaluation de la texture des aliments par corrélation avec les données sensorielles : Selon les enquêtes qui ont été faites sur des fromages jeunes à identifier, il avait une forte corrélation entre les propriétés sensorielles et rhéologiques utiles pour comprendre la texture du fromage **(Ahmed *et al*., 2017)**.

III.4.1 Test d'écoulement

Dans un test d'écoulement, un échantillon alimentaire fluide est soumis à différentes valeurs de taux de cisaillement γ, et les valeurs correspondantes de contrainte de cisaillement σ, sont mesurées dans une géométrie d'écoulement bien définie : cylindre concentrique, cône-plan et plan parallèle. Dans certains rhéomètres, le taux de cisaillement est mesuré pour différentes valeurs de contrainte de cisaillement. Pour les fluides newtoniens, la viscosité ne dépend pas du taux de cisaillement. Pour les fluides non newtoniens, pour indiquer la dépendance au taux de cisaillement,

La viscosité apparente η_a est définie par l'équation **(McClements, 2007)** :

$$\eta_a = \frac{\text{Taux de cisaillement}}{\text{Contrainte de cisaillement}} \qquad \gamma/\sigma$$

Il est souhaitable de décrire le taux de cisaillement par rapport aux données de contrainte de cisaillement d'un aliment en utilisant un modèle pour obtenir des informations sur ces données ou pour des applications pratiques. Plusieurs modèles ont été utilisés dans la littérature alimentaire **(Rao, 1999)**.

La première contribution à l'étude rhéologique d'un fromage frais produit à base du mélange du lait de dromadaire et du lait caprin était réalisé par **(Aissaoui *et al*., 2018) (figure 05)**. Ils ont rapporté que la viscosité du fromage fabriqué ne montre aucun comportement newtonien d'un fluide plastique standard de Bingham avec un rendement de plasticité ou de contrainte critique σ0 22320 mPa.

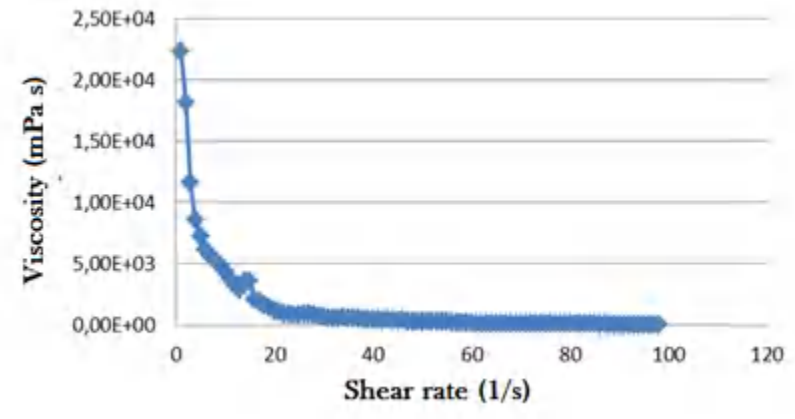


Figure 05 : Viscosité apparente d'un fromage frais produit à base du lait de dromadaire et du lait de chèvre

III.5 Microstructure des fromages

Il est très bien reconnu que la structure des aliments affecte grandement leurs diverses propriétés, notamment la texture, la fonctionnalité et l'apparence. La structure des aliments est le résultat d'interactions spécifiques qui se produisent entre les différents composants alimentaires. Dans les produits laitiers, les principaux composants structurels sont les protéines. L'examen visuel des aliments est limité à une résolution d'environ 0,2mm **(McClements, 2007)**.

La microstructure du fromage, comprenant la matrice de caséine dans laquelle les globules gras sont piégés, est couramment et le plus souvent examinée par microscopie optique (LM), microscope confocale à balayage laser (CSLM), microscopie électronique telle que la microscopie électronique à balayage (SEM) et la microscopie électronique à transmission (TEM). Le principal avantage des techniques de microscopie électronique est qu'elles permettent une imagerie à résolution beaucoup plus élevée des composants du fromage, par rapport aux techniques LM et CSLM **(El-bakry *et al*., 2014)**.

Au niveau de la littérature, la microstructure de fromage frais au lait dromadaire et coagulé avec la présure cameline était étudiée par **Boudjenah-Haroun. (2012) (figure 06)**.

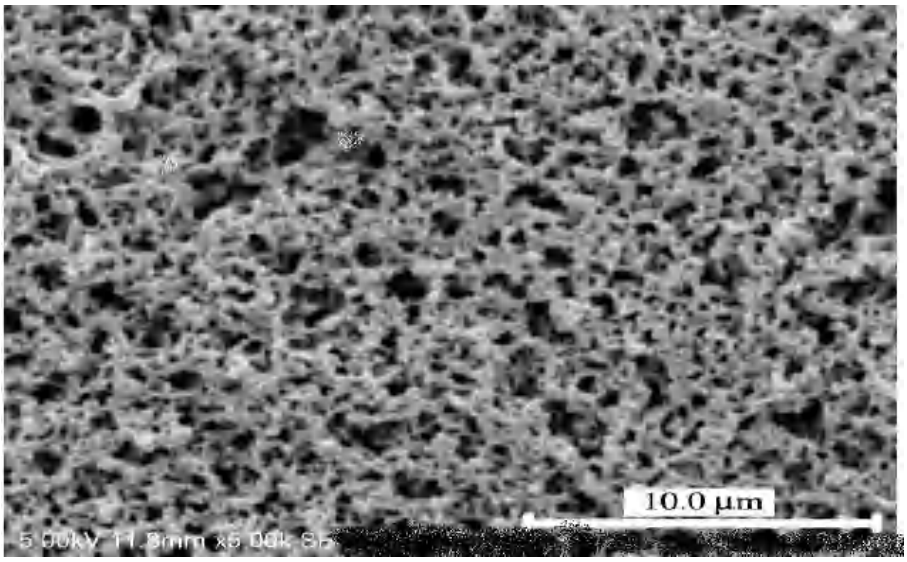


Figure 06 : Exemple d'une micrographe d'un fromage frais au lait de dromadaire

Matériel et méthodes

Ce travail a pour objectif de valoriser quelques enzymes protéolytiques d'origine animale ; présure cameline, présure caprine et pepsine de poulet en comparaison avec l'gent coagulant microbien pour formuler et fabriquer des fromages frais et les caractériser sur le plan physico-chimique, rhéologique, microstructural et sensoriel. L'étude était réalisée avec une collaboration du laboratoire GENIALL et trois autres laboratoires : Laboratoire de Nutrition et Technologies Alimentaires (LNTA) de l'université Frères Mentouri, Constantine 1, Centre de recherche scientifique et technique en analyses physico-chimiques (CRAPC) à Bousmail et le laboratoire pédagogique de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université d'El Oued. Il a été sous tendu par le matériel et les méthodes ci-après indiqués.

Cette étude est divisée en quatre volets illustrés en diagramme expérimentale dans la figure 07 :

- **Premier volet** : Etude des matières premières

-Etude physico-chimique, minérale et microbiologique du lait de dromadaire et du lait de chèvre en comparaison avec le lait de vache;

-Extraction et caractérisation des extraits enzymatiques clarifiés en comparaison avec l'agent coagulant microbien.

- **Deuxième volet** : Optimisation des paramètres de floculation et de coagulation de pH et de la température

-Optimisation du temps de floculation et du temps de coagulation des extraits enzymatiques avec le lait de dromadaire, le lait de chèvre seule et avec le lait dromadaire-chèvre en mélange.

- **Troisième volet** : Formulation/fabrication des fromages frais à coagulation enzymatique et caractérisation des fromages produits

-Caractérisation physico-chimique, rhéologique, microstructurale, sensorielle et analyse du profil sensoriel.

- **Quatrième volet** : Fabrication des fromages frais à coagulation mixte et caractérisation des fromages produits

-Caractérisation physico-chimique, microbiologique et analyse du profil sensoriel.

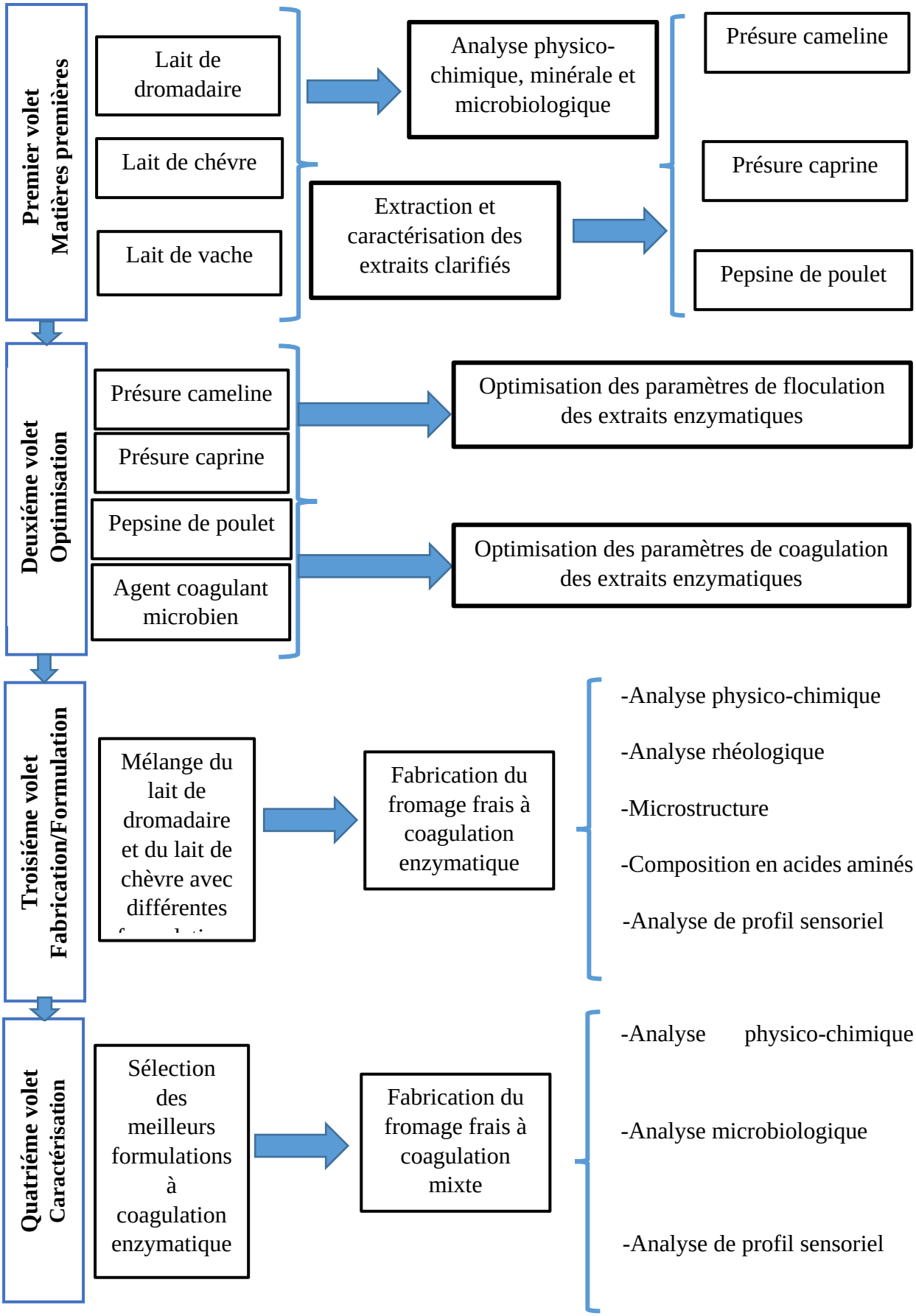


Figure 07 : Diagramme expérimentale de l'étude

I. Matériel

I.1 Matériel biologique

I.1.1 Lait de dromadaire

Il s'agit des échantillons du lait collecté à partir d'un troupeau de dromadaires (*Camelus dromedarius*) de la population *Sahraoui*. Les troupeaux sont conduit en élevage semi-extensif dans des parcours naturels de la wilaya d'El Oued, au sud-est algérien.

Dans cette région, le troupeau camelin est essentiellement constitué de la population '*Sahraoui'* (90%), très estimée dans la région du Souf **(Titaouine et *al*., 2015)**.

I.1.2 Lait de chèvre

Il s'agit des échantillons du lait collecté à partir d'un troupeau de chèvres de race *Arbia*, de la wilaya d'El Oued. Les chèvres sont conduit en élevage semi-extensif.

I.1.3 Lait de vache

Le lait de vache utilisé à titre comparatif est un mélange issu de la traite du matin récupéré directement d'une ferme située toujours dans la wilaya d'El Oued.

Les trois laits sont traits à partir d'animaux en bonne santé. Ils sont recueillis proprement et acheminés au laboratoire dans une glacière contenant des blocs réfrigérants. Ces laits sont ensuite filtrés et congelés à -18°C jusqu'à leur utilisation ultérieure.

I.1.4 Substrat de BERRIDGE

La poudre de lait écrémé nous a été fournie par la Laiterie SoufLait se trouvant dans la wilaya d'El Oued. Le substrat standard est préparé par la dissolution de 12g de la poudre dans 100ml d'une solution de calcium 0,01M **(Berridge, 1955 ; Alais, 1974)**. Le lait ainsi préparé est stocké à 4°C pendant 12h afin de permettre l'établissement de l'équilibre physico-chimique.

I.1.5 Agent coagulant microbien

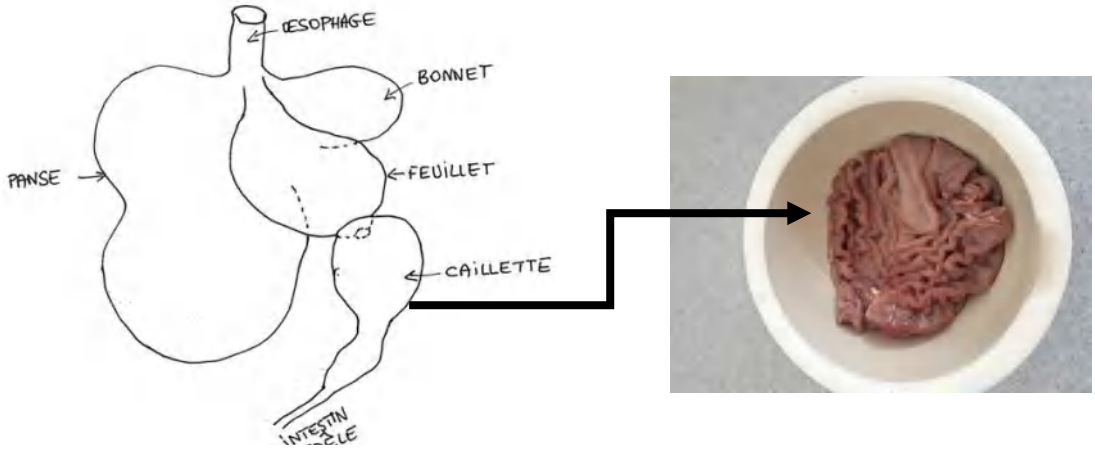
Il s'agit d'un agent coagulant microbien de commerce de la moisissure *Rhizomucor miehei* (Marzyme ^{R} 150MG). Elle possède une force coagulante de 1/5000.

I.1.6 Caillettes

I.1.6.1 Caillette de dromadaire

L'estomac du dromadaire (**figure 08**) diffère de celui des ruminants où le troisième compartiment, qui n'a pas d'équivalent chez ces derniers, est assez variable. Dans cette poche, la caillette proprement dite correspond au dernier tiers du troisième compartiment **(Jouany et**

Kayouli, 1989). La caillette qui a servi à cette étude, issue de dromadaire âgé moins d'un an, était prélevée au niveau de l'abattoir privé « Royale » d'El Oued.



(A) **(B)**

Figure 08 : Estomac de dromadaire (A) avec image de la caillette cameline ouverte (B)

I.1.6.2 Caillette de chevreau

La caillette était récupérée juste après abattage et éviscération de l'animale au niveau de l'abattoir « Royale » d'El Oued, à partir d'un chevreau âgé de 3 mois environ **(figure 09)**.

Figure 09 : Photos de l'échantillon de la caillette ouverte de chevreau

I.1.6.3 Proventricule de poulets

Les proventricules de poulets, qui sont âgées de moins de 50 jours, sont disponibles pendant toute l'année et obtenus au niveau d'une petite tuerie privée d'El Oued. Les échantillons sont récupérés **(figure 10)** dans une glacière et acheminées directement au laboratoire.

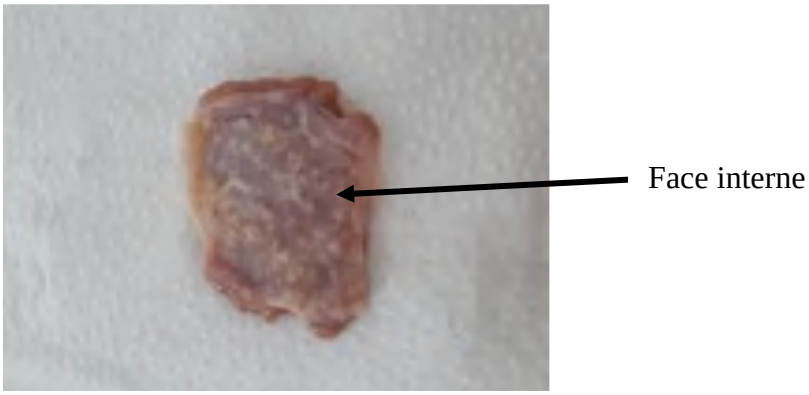


Figure 10 : Photos de l'échantillon du proventricule ouverte de poulet

I.1.6.4 Bactéries lactiques mésophiles

Le ferment utilisé pour la fabrication des fromages est un ferment mésophile aromatique, type LD. La culture est productrice d'arôme et de CO_2 d'origine *Lactococcus lactis subsp. Cremoris, leuconostoc, Lactococcus lactis subsp.lactis Lactococcus lactis subsp*. lactis biovar *diacetylactis*.

II. Méthodes d'analyse

II.1 Etude de la matière première

Les détails des techniques d'analyse physico-chimique et microbiologique étaient présentés dans l'annexe 01.

I1.1.1 Caractérisation physico-chimique des laits

Afin d'avoir une idée sur la qualité des laits collectés (lait de dromadaire, lait de chèvre et lait de vache), différents paramètres physico-chimiques étaient étudiés.

I1.1.1.1 Mesure du pH

La mesure du pH est effectuée à la température de 25°C. La valeur est lue directement sur le pH mètre après immersion de son électrode dans le lait à analyser, qui est préalablement calibré à l'aide de solutions d'étalonnage **(AFNOR 1986)**.

Pour le fromage, 5g du fromage et 30 mL d'eau distillée récemment bouillie et refroidie à 20° C étaient introduits dans une fiole conique. Le mélange était bien agité puis laissé au repos pendant 20 min avant mesure directe du pH **(Amariglin, 1986)**.

I1.1.1.2 Acidité titrable

L'acidité est mesurée en titrant 10mL de lait contenant de 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine avec la soude (NaOH 0,1N) jusqu'à apparition de la coloration rose pâle qui persistera pendant 10 secondes **(AFNOR 1986)**.

Pour le fromage, une prise d'essai de 10g de fromage était homogénéisée dans 90mL d'eau distillée préalablement chauffée à 80°C. Après refroidissement à 25°C et filtration de la suspension, on prend 10mL de la solution pour la titration avec la soude **(AFNOR 1986)**.

I1.1.1.3 Densité

La densité était effectuée en introduisant dans une éprouvette suffisamment large et profonde contenant du lait un thermo-lactodensimètre, puis on procède à une lecture directe à 25°C **(Martin et Coulon, 1995)**.

I1.1.1.4 Matière sèche

La matière sèche totale qui est le produit résultant de la dessiccation de la prise d'essai, elle est obtenue par évaporation de l'eau à l'étuve réglée à 103±2°C pendant 3h **(NF V04-207)**.

I1.1.1.5 Dosage de l'azote total

La méthode de **Kjeldahl** est la méthode de référence de dosage de l'azote total pour le domaine alimentaire. Elle consiste à effectuer une minéralisation complète des molécules organiques, transformant l'azote présent en ammoniaque qui peut être dosé par différentes techniques **(Guillou et *al*., 1976)**. Elle était réalisée selon la norme **ISO 8968-1.**

I1.1.16 Dosage de la matière grasse

C'est la détermination de la teneur en matière grasse du lait (Méthode de Gerber) et des fromages (Méthode de Van Gulik) par la méthode acido-butyrométrique.

Cette méthode repose sur la lecture sur un butyromètre de la quantité de matière grasse contenue dans 11mL de lait ou 3g de fromage après dissolution des protéines par l'acide sulfurique et séparation de la matière grasse par centrifugation **(ISO 2446)**.

I1.1.1.7 Dosage du lactose

Cette méthode repose sur la défécation du lait par l'hexacyanoferrate de zinc. Une solution tartro-alcaline est réduite à chaud par le filtrat obtenu. Le précipité d'oxyde cuivreux formé est dosé par le permanganate de potassium **(BERTRAND, AFNOR 1986)**.

I1.1.1.8 Caractérisation minérale des laits

La concentration des différents éléments minéraux dans le lait est déterminée par des analyses spectroscopiques : sodium (spectrométrie d'émission de flamme) ; potassium (spectrométrie d'émission optique); magnésium, Cuivre, Zinc, Fer, Plomb (spectrométrie d'absorption atomique) **(ISO 6955 : 1982)**. La détermination du calcium est faite par dosage titrimétrie **(FIL 36A)**.

I1.1.1.9 Rendement fromager frais

Le rendement fromager est exprimée par la quantité de fromage obtenu à partir d'une quantité donnée de lait (souvent 100 L ou 100 Kg). Il présente un grand intérêt en industrie fromagère, puisqu'il juge pour un type de fromage donné, si les conditions de la fabrication sont menées dans des bonnes conditions **(Ramet, 2011).**

Il est calculé par la formule suivante :

$$R = (\text{Quantité du caillé frais 'Kg'} / \text{Quantité du lait 'L'}) \times 100$$

I1.1.1.10 Teneur eau dans le fromage dégraissé (TEFD)

La teneur en eau dans le fromage dégraissé a permis de donner une idée sur la fermeté du fromage **(Codex Alimentarius, 1999)**. Elle est calculée selon la formule suivante :

$$TEFD = \frac{\text{Poids de l'eau dans le fromage}}{\text{Poids total du fromage - Matiére grasse dans le fromage}} \times 100$$

I1.1.2 Caractérisation microbiologique des laits

Pour la qualité microbiologique du lait, nous avons déterminé la qualité globale représentée par la recherche et le dénombrement de la flore totale mésophile et la qualité hygiénique qui englobe les coliformes thermotolérants ; ainsi que la qualité sanitaire qui portera sur la recherche du *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* à coagulase + et *Listeria monocytogenes* en s'appuyant sur la norme algérienne recommandée **(JORA n° 39 2017)**.

I1.1.2.1 Préparation de la solution mère et ses dilutions

Dans un flacon stérile, on ajoute 10 mL du lait à analyser avec une quantité de diluant TSE égale 9 x v (mL). La solution mère est laissée au repos pendant 15 à 30 mn pour la revivification des bactéries. Cette solution représente la dilution de 10^{-1} **(JORA n° 38 2014)**.

A partir de la solution mère (dilution 10^{-1}), des dilutions plus sont réalisées pour faciliter le dénombrement. Les dilutions successives sont obtenues en introduisant l mL de la solution précédente à l'aide d'une pipette pasteur stérile dans un tube à essai contenant 9 mL de TSE.

I1.1.2.2 Dénombrement des germes aérobies à 30°C

Le milieu PCA est le plus employé comme gélose de numération **(Guiraud, 1998)**. Pour ce faire, 1mL de la dilution, est introduit dans une boite Pétri. Ensuite, la gélose en surfusion est coulée dans la boîte (15mL). Cette dernière est ensuite homogénéisée avec des mouvements de huit et laissée solidifiée. Par la suite, on incube à 37°C pendant 72 heures **(ISO 4833-1)**.

I1.1.2.3 Dénombrement des coliformes thermotolérants à 44°C

1mL de la dilution, est introduit dans une boite Pétri stérile, ensuite, 15mL de la gélose VRBL est coulé dans la boîte avec homogénéisation. Enfin, on incube à 44°C pendant 24 heures +/- 2 h. Les coliformes présentent des colonies violacées de diamètre égal ou supérieur à 0,5 mm. On procède ensuite à quelques tests confirmatifs en citant (coloration de Gram, test d'oxydase et le test d'indole) **(JORA n°75 2017)**.

I1.1.2.4 Dénombrement d'*Escherichia coli*

1ml de la dilution, est introduit dans une boite Pétri stérile, ensuite, 15 ml de la gélose VRBL est coulé dans la boîte avec homogénéisation. Enfin, on incube à 44°C pendant 24 heures +/- 2 h. Les coliformes thermotolérants présentent des colonies violacées de diamètre égal ou supérieur à 0,5 mm. **(JORA n°75 2017)**.

On procède ensuite à quelques tests confirmatifs en citant (coloration de Gram, test d'oxydase et le test d'indole).

I1.1.2.5 Dénombrement des *Staphylococcus aureus* à coagulase +

On prélève aseptiquement 1mL de la dilution et on la dépose dans une boite pétrie ; et on coule le milieu Baird Parker RPF en surfusion. Les boites sont incubées à 37°C pendant 18h à 24h. Les colonies suspectes sont grises à noir entourée d'un halo opaque de fibrine **(JORA 2015)**.

I1.1.2.6 Recherche de *Salmonella*

La recherche des Salmonelles s'effectue en trois étapes principales **(JORA 2015)**

- **Pré-enrichissement non sélectif**

On prélève à l'aide d'une micropipette, 25mL du lait à analyser, puis, dans un flacon stérile, on complète avec 225mL de TSE. Le mélange est incubé à 37°C pendant 24h.

- **Enrichissement sélectif**

Deux milieux sont utilisés : milieu Rappaport Vassiliadis (RV) et milieu Sélénite Cystine (SC), il s'agit de transférer 0,1mL de la solution péenrichie dans un tube contenant 10 mL de milieu RV et dans un tube contenant 10mL de milieu SC. Les tubes de RV et SC sont respectivement incubés à 42°C et 37°C pendant 18 à 24 heures.

- **Isolement sélectif**

Deux milieux sont concernés : gélose XLD (Xylose-lysine-Désoxycholate) et la gélose Hektoen. Une goutte de solution enrichie prélevée à partir de la culture du milieu RV est ensemencée (étalement par stries). Une autre est ensemencée dans une boite coulée à la gélose Hektoen. La même opération est réalisée à partir de la culture du milieu SC. Les boites sont incubées ensuite à 37°C pendant 18 à 24h. Elles peuvent être réincubées si nécessaire. Les colonies suspectes sont rouges avec un précipité noir de sulfure de fer au centre sur XLD et colonies verte à centre noire sur Hektoen qui deviennent entièrement noires en fin d'incubation.

Les colonies suspectes obtenues ont subi quelques tests confirmatifs : coloration de Gram, Test d'oxydase et le test ONPG.

I1.1.2.7 Recherche de *Listeria monocytogenes*

Le nombre de *Listeria* dans le lait est généralement faible, donc leur détection nécessite un enrichissement préalable des bactéries.

-Deux enrichissements successifs à partir la solution mère, d'abord en bouillon de Fraser-Demi incubé pendant 24h ± 2h à 30°C, puis, en bouillon Fraser incubé pendant 24h ± 2h à 37°C ;

-Isolement sur un milieu sélectif Oxford pendant 48h vers 72h à 37°C.

Les colonies suspectes sont examinées par la coloration de Gram et le test de catalase **(ISO 11290-1)**.

I1.1.3 Extraction des enzymes coagulantes

I1.1.3.1 Présure cameline et caprine

L'extraction était faite selon le protocole utilisé par **Wangoh et *al.* (1993) (figure 11)**. Les caillettes de l'abomasum de chevreau ou de chameau étaient d'abord lavées rapidement à l'eau de robinet puis coupées en tranches de 1cm². Les morceaux étaient macérés par la suite

dans une solution de 6 % NaCI (1:10 poids/volume) contenant 2 % de l'acide borique sans interruption plus de 4 jours à 5°C. Le mélange était ensuite filtré et centrifugé à une force centrifuge 1500 tours/min pendant 15 mn. Le pH du surnageant était alors abaissé de 5,5 à 4,7 avec du HCI (1N) et les extraits sont tenus à 25 °C pendant 24 h pour activer les zymogènes. Le pH était à nouveau réajusté à 5,5 avec du NaOH (1N). Enfin, le mélange était centrifugé pour obtenir l'extrait final de la présure cameline ou caprine.

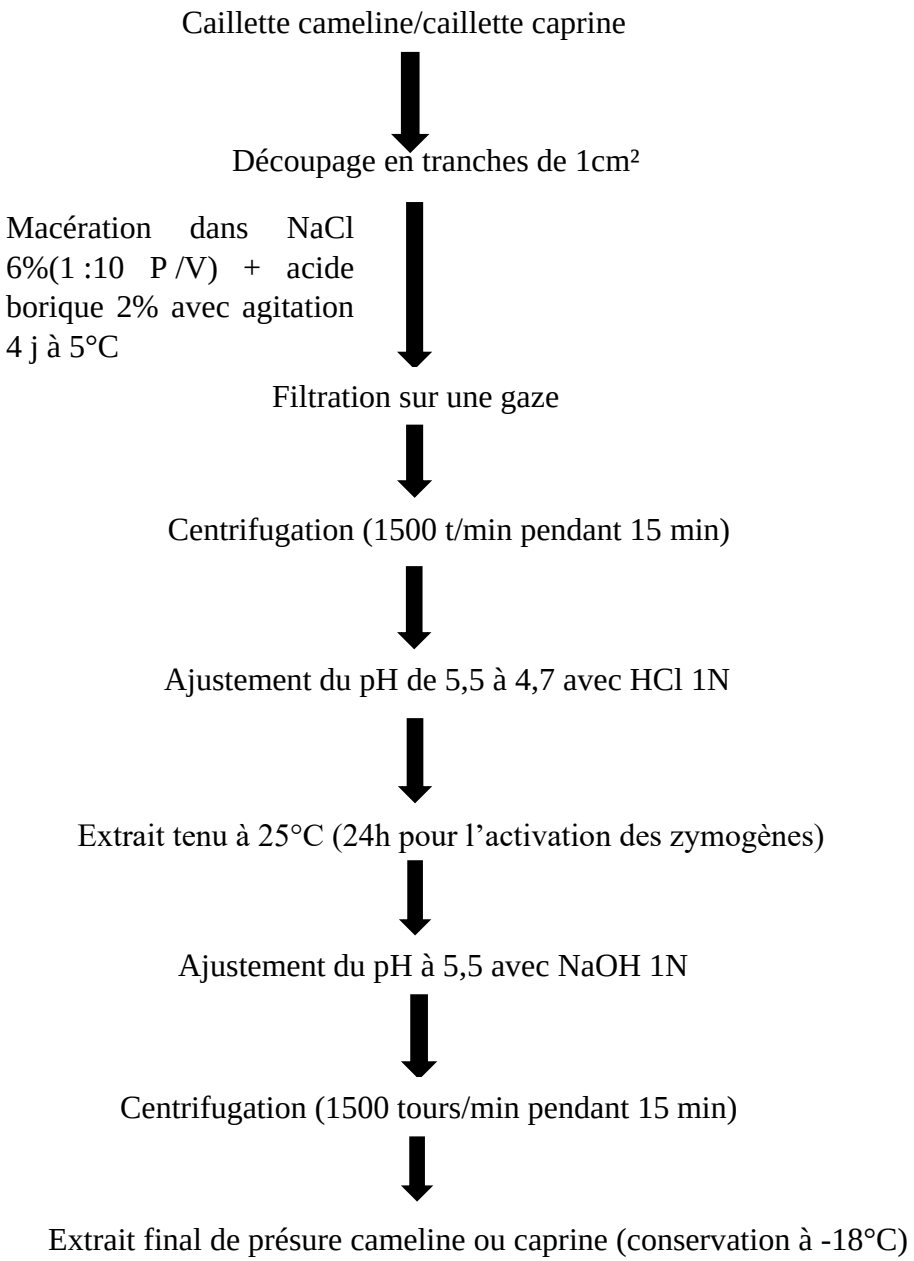


Figure 11 : Diagramme d'extraction de la présure cameline et caprine selon le protocole de **Wangon et *al.* (1993)**

I1.1.3.2 Pepsine de poulets

L'extraction de la pepsine était réalisée en suivant le protocole donné par **Bohak (1970)** cité par **Adoui (2007)**, **Nouani *et al.* (2009)**, **Benyahia-Krid *et al.* (2010)** et **Siar (2014)**. Les principales étapes sont présentées en **figure 12**.

Les morceaux de proventricules décongelées et lavées, étaient hachés à l'aide d'un hachoir ménagé à couteaux, ensuite elles étaient versées dans une solution saline de macération. Après 3h de macération sous agitation, le pepsinogène était activé par acidification à l'aide d'une solution d'HCl 3N jusqu'à pH = 2.

Le mélange est maintenu à température ambiante pendant 15 minutes, pour faciliter l'élimination ultérieure de mucilages en provoquant leur floculation ; ce qui facilitera la clarification. Ce mélange qui représente l'extrait brut de pepsine de poulet, était filtré sur une gaze et le retentât était éliminé. Le filtrat était enfin centrifugé à une force de 3200 tours/min pendant 30 min à 4°C. Le surnageant obtenu, représentant l'extrait d'enzyme clarifié était récupéré, puis ajusté à pH 6,4 par une solution de NaOH 3N et conservé à -18°C jusqu'à utilisation. Le culot qui représente le mucilage et les débris des tissus était éliminé.

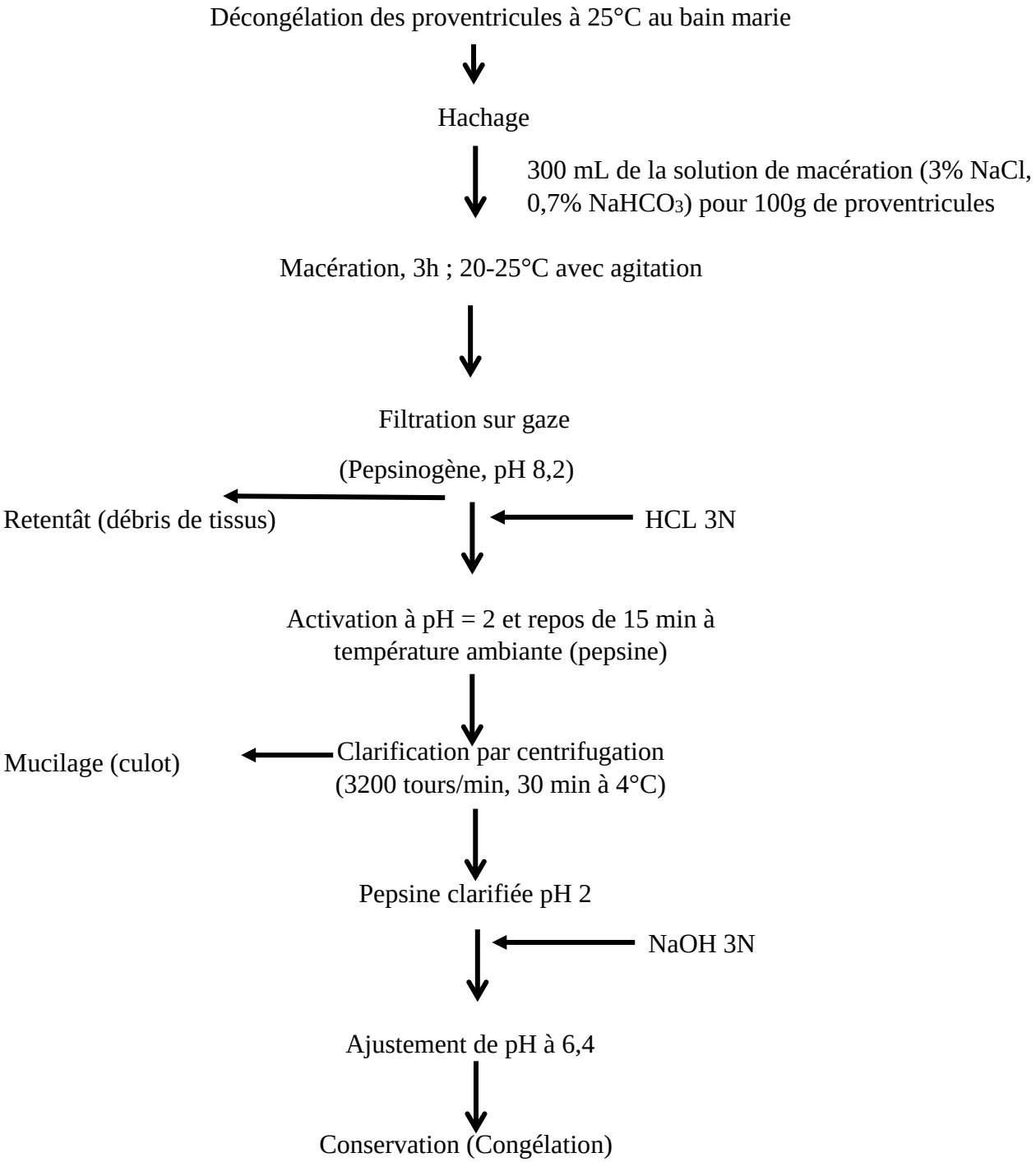


Figure 12 : Diagramme d'extraction de la pepsine de poulet **(Bohak, 1970)**

I1.1.4 Caractérisation des extraits enzymatiques

I1.1.4.1 Activité coagulante

L'activité coagulante, déterminer par le temps de floculation, était réalisée sur un lait de vache écrémé, et était mesurée selon la méthode de **Berridge (1945)**. La technique consiste à ajouter au lait chauffé à 30°C, 1mL de l'extrait enzymatique suivie par homogénéisation (3

retournements), ensuite à noter le temps qui s'écoule jusqu'au moment où des flocons de caséines visibles se forment sur les parois du tube à essai.

L'unité d'activité coagulante (U.A.C) ou l'unité présure (U.P) est définit par la quantité d'enzyme contenu dans 1mL de la solution enzymatique qui peut coaguler 10mL de substrat de BERRIDGE (100mL de lait écrémé contenant de $CaCl_2$ 0.01M) en 200 sec à 30°C **(Alais, 1974 ; Ramet, 1997 ; Mahaut *et al.*, 2003)**.

L'activité coagulante est calculée par la formule suivante :

$$U.A.C. = 10 .V / T.V'$$

V : volume du lait (en mL) ;

V' : Volume de l'extrait enzymatique (en mL) ;

T : temps de floculation (en secondes).

I1.1.4.2 Temps de coagulation

Le temps de prise est le point où apparaissent les premières gouttelettes du lactosérum sur la surface du gel, le coagulum devient rigide et ne coule plus sur les parois du tube **(ALAIS, 1974)**. Elle est réalisée directement sur le lait cru (10mL) maintenu à 35°C dans un bain marie, puis additionné 1mL de la solution enzymatique.

Dans la coagulation enzymatique, le temps de prise est entre 25 et 30 min **(FAO, 2005)**.

I1.1.4.3 Force coagulante

La force coagulante d'un extrait enzymatique ou d'une enzyme coagulante représente le volume de lait coagulé par unité de l'extrait enzymatique, en 40 minutes, à 35°C et pH 6,4 **(Nouani *et al.*, 2009)**. Elle est exprimée en Soxhlet selon la formule suivante :

$$F = 2400 .V / T.v'$$

F : force de l'enzyme ;

V : volume du lait ajusté (en mL) ;

v' : volume de la solution enzymatique (en mL) ;

T : temps de coagulation du lait (en secondes) ;

2400 = 40min × 60sec.

I1.1.4.4 Dosage de l'azote total

L'azote total est mesuré par la méthode de **Kjeldahl**, comme citée dans la partie laits en changeant le coefficient de conversion qui est de 6.25 (pour les enzymes).

I1.1.4.5 Activité spécifique des enzymes

C'est le nombre d'unités d'activité par unité de masse (U.P/mg de protéine). Elle est une mesure importante de la pureté de l'enzyme **(Foustoukos, 2015)**.

II.2 Optimisation des conditions de coagulation par la méthodologie des surfaces de réponse

Dans le but d'optimiser les meilleures conditions de pH et de T° pour la coagulation du lait de dromadaire et de la chèvre par les différentes enzymes et aussi de minimiser le nombre d'expérimentation, nous avons choisis l'utilisation de la méthode statistique du plan d'expérience. Cette méthodologie nous permet de fixer les paramètres d'expérimentation en fonction des limites des variables étudiées **(Ghanbari and Moradi, 2014)**. Les résultats étaient schématisés par la méthode des surfaces de réponse (MSR). Le MSR permet, grâce à des modèles mathématiques empiriques, de déterminer une relation d'approximation entre les réponses de sortie (résultats de l'expérience) et les variables d'entrée (paramètres des variables) pour optimiser les paramètres du procédé afin d'atteindre des réponses souhaitables.

Pratiquement, notre objectif est d'optimiser les deux paramètres (pH et température) de la floculation et de la coagulation d'un part du lait de dromadaire, du lait de chèvre et du lait de vache (comme référence) et d'autre part, du lait en mélange (lait de dromadaire-chèvre) avec différentes proportions avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien (comme référence) **(tableau 05)**.

Tableau 05 : Formulations du mélange lait de dromadaire-lait de chèvre de l'optimisation avec les enzymes coagulantes

Présure cameline (PD)	Présure caprine (PCP)	Pepsine de poulet (PP)	Agent coagulant microbien (ACM)
F75LD (75%LD/25%LC)	F75LD (75%LD/25%LC)	F75LD (75%LD/25%LC)	F75LD (75%LD/25%LC)
F50LD (50%LD/50%LC)	F50LD (50%LD/50%LC)	F50LD (50%LD/50%LC)	F50LD (50%LD/50%LC)
F25LD (25%LD/75%LC)	F25LD (25%LD/75%LC)	F25LD (25%LD/75%LC)	F25LD (25%LD/75%LC)

LD : lait de dromadaire, LC : lait de chèvre.

La méthodologie des surfaces de réponses passe par trois étapes : la construction du plan expérimental, la modélisation de la réponse et les représentations graphiques.

II.2.1 Plan d'expérience

Cette technique permet de créer un modèle statistiquement significatif d'un phénomène qui intègre les interactions entre les variables tout en optimisant le nombre d'essais. Le plan composite central (CCD) de 2 facteurs était utilisé pour étudier les effets du pH (X_1) et la température (X_2) sur le temps de floculation et de la coagulation (Y). Chaque facteur a été étudié à cinq niveaux différents ($-\alpha$, -1, 0, +1, $+\alpha$) **(tableau 04)**. Dans un plan central composite à deux facteurs, on donne aux variables les valeurs codées suivantes :(+1, +1), (+1, - 1), (-1, +1) et (-1, -1) pour les points factoriels ; (+1,414, 0), (-1,414, 0), (0, +1,414) et (0, -1,414) pour les points radicaux ; (0,0) pour le point au centre **(Ducauze, 2014, cité par Djeghim, 2015)**. Le point central était répété 5 fois pour appuyer ce plan d'expériences, ce qui donne un total de $2^2+2^2+5=13$ essais **(tableau 06)**, -1,414 et +1,414 représente les valeurs codées minimale et maximale respectivement des facteurs, dans notre cas pH et température.

Dans ce qui suit, nous donnons les facteurs, les codes et les niveaux du plan d'expérience pour les paramètres de pH et de température.

Tableau 06 : Facteurs, codes et niveaux du plan d'expérience pour les paramètres de T° (de 30 à 42°C) et de pH (de 5 à 6,7)

	Facteurs (non codés)	
Niveaux (codés)	**pH**	**T (°C)**
Point min (-α)	5	30
Point (-1)	5,25	31,76
Point central (0)	5,85	36
Point (+1)	6,45	40,24
Point max (+α)	6,7	42

Le tableau 07 nous donnons la matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux facteurs pour les 13 essais.

Tableau 07 : Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux facteurs

	Valeurs codés		Valeurs non codés	
Essai	**A**	**B**	**pH**	**T**
1	**0**	**0**	5,85	36
2	**1,414**	**0**	6,7	36
3	**0**	**1,414**	5,85	42
4	**0**	**-1,414**	5,85	30
5	**-1,414**	**0**	5	36
6	**0**	**0**	5,85	36
7	**0**	**0**	5,85	36
8	**-1**	**-1**	5,25	31,76
9	**0**	**0**	5,85	36
10	**1**	**1**	6,45	40,24
11	**0**	**0**	5,85	36
12	**-1**	**1**	5,25	40,24
13	**1**	**-1**	6,45	31,76

Pour chaque point étudié, un volume de 1mL de la solution enzymatique (pepsine de poulet, présure cameline et présure caprine) était ajouté à 10mL de lait (lait de dromadaire, lait

de chèvre et lait de vache comme standard) ; et le pH était ajusté avec l'acide lactique. Après trois retournements puis déclenchement du chronomètre, le tube à essai était maintenu soit en mouvement rotatif (pour les tests de la floculation), ou soit sans rotation (pour les tests de la coagulation) dans un bain marie selon la température d'essai.

II.2.2 Modélisation de la réponse

La modélisation de la réponse était réalisée à l'aide des techniques de régression qui permettent de relier les réponses « **Y** » aux facteurs « $\mathbf{X_1}$ » et les facteurs « $\mathbf{X_2}$ » selon les relations suivantes : $\mathbf{Y = f (X_1, X_2).}$

Où f est la fonction-réponse

Le comportement des surfaces de réponse des deux formulations a été expliqué par le modèle de second ordre selon l'équation suivante :

$$Y=b_0+ b_1 X_1+ b_2 X_2+ b_{11} X^2_1 +b_{22} X^2_2 +b_{12} X_1 X_2$$

Ce type de modèle permet l'estimation d'une surface de réponse pour étudier les effets linéaires, les effets quadratiques et les effets d'interaction :

- Y représente la fonction de réponse,

- b_0 est une constante qui exprime l'effet moyen général

- b_1 et b_2 sont les coefficients des effets linéaires

- b_{11}, et b_{22} sont les coefficients des effets quadratiques

- b_{12}, est le coefficient des effets interaction

- X_1 et X_2 représentent les variables codées indépendantes.

II.2.3 Analyse statistique des données et représentations graphiques

L'analyse statistique était effectuée par Excel 2013, les résultats sont exprimés en tant que moyenne ± écart type. La comparaison entre plusieurs moyennes était effectuée par l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur. Le logiciel MINITAB 19 était utilisé pour déterminer les coefficients pour chaque réponse. Le degré de signification des coefficients était déterminé à l'aide de la valeur de *p*, le seuil de significativité était fixé à 0,05, le d entre 0,7 et 1 et le R^2 entre 50% et 100%.

Après l'étape de la modélisation, nous représentons le modèle graphique à l'aide des courbes des surfaces de réponse et graphiques de contour qui permettent d'observer le comportement des réponses en fonction des paramètres (pH et Température) afin d'optimiser le temps de floculation et de coagulation.

La représentation graphique de ces équations était effectuée, en utilisant le logiciel statistique MINITAB 19. Elles permettent d'illustrer les effets linéaires, quadratiques et interactifs sur chaque variable de sortie. Dans notre étude, nous avons fixé les valeurs cibles de 200s pour la floculation, c'est le temps pour nécessaire pour calculer l'activité coagulante **(Alais, 1974 ; Mahaut *et al.*, 2003 ; Ramet, 1997) e**t de 15 min (900s) pour la coagulation; en fromagerie, on préconise un temps de coagulation de 12 à 15 min.

II.3 Formulation/fabrication des fromages frais à coagulation enzymatique et caractérisation des fromages produits

Les détails de la fabrication et de la caractérisation des différentes formulations du fromage frais étaient présentés dans l'annexe 02.

II.3.1 Formulation/fabrication des fromages frais à coagulation enzymatique

Les formulations des mélanges de lait de dromadaire et de lait de chèvre adoptées pour la fabrication de fromage frais sont en nombre de trois avec utilisation les trois enzymes de coagulation (pepsine de poulet, présure cameline et présure caprine) et l'agent coagulant microbien à titre comparatif. En finalité, douze formules pour la fabrication de fromages ont fait l'objet La totalité des fromages fabriqués était produits par douze (12) formulations **(tableau 08)**.

Tableau 08 : Formulations des fromages frais produits avec les enzymes coagulantes

Pepsine de poulet	Présure cameline	Présure caprine	Agent coagulant microbien
FP75 (75%LD/25%LC)	FD75 (75%LD/25%LC)	FC75 (75%LD/25%LC)	FM75 (75%LD/25%LC)
FP50 (50%LD/50%LC)	FD50 (50%LD/50%LC)	FC50 (50%LD/50%LC)	FM50 (50%LD/50%LC)
FP25 (25%LD/75%LC)	FD25 (25%LD/75%LC)	FC25 (25%LD/75%LC)	FM25 (25%LD/75%LC)

LD : lait de dromadaire, LC : lait de chèvre.

Tout d'abord, avant de mélanger le lait, il faut tester la fraîcheur du lait en mesurant le pH du lait de dromadaire et du lait de chèvre. Après avoir réalisé la formulation souhaitée, le mélange était filtré. Ensuite, le $CaCl_2$ (0,01%-0,015%) était ajouté et laissé se stabiliser pendant environ 30 minutes. Le mélange était chauffé à la température optimale pour la coagulation et salage à raison de 5g/L et ajustement du pH optimal avec de l'acide lactique. A ces paramètres optimaux, nous ajoutons la présure. Après coagulation soit environ 45 minutes, le fromage est égoutté spontanément puis moulé. A la fin, les fromages fabriqués était mis dans des barquettes alimentaires propres et conservés au réfrigérateur à une température de 4°C **(figure 13)**.

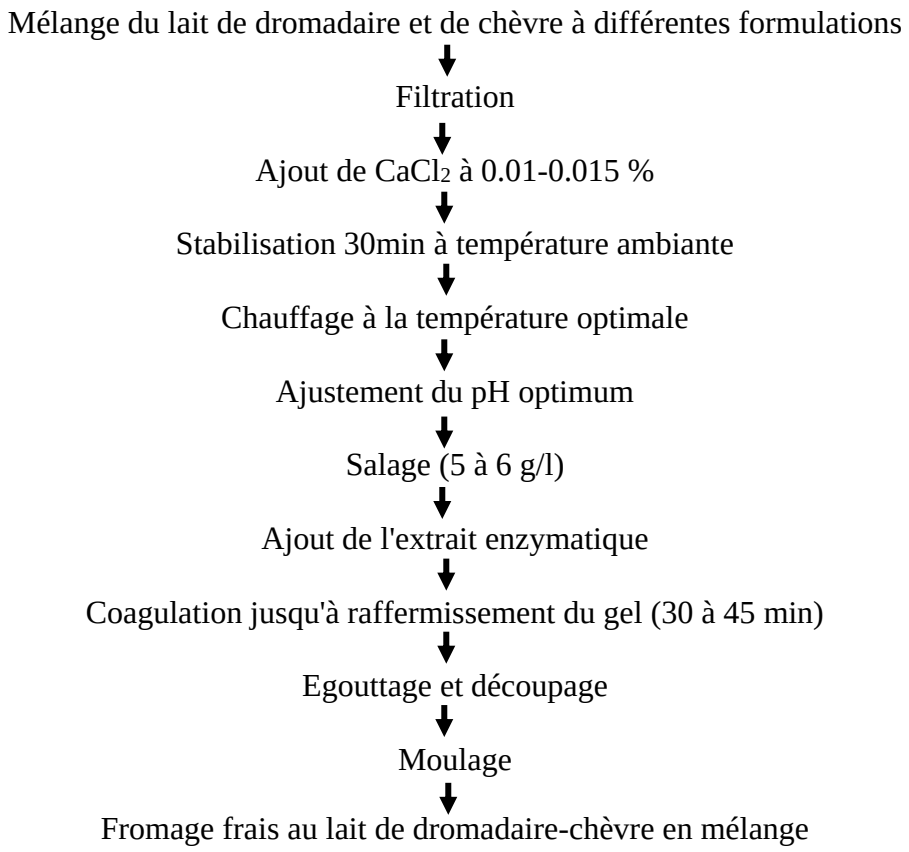


Figure 13 : Diagramme adopté de fabrication du fromage frais à coagulation enzymatique avec les différents extraits enzymatiques

Pratiquement, Les fromages produits avec des différentes proportions lait de dromadaire-lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes sont présentés dans les figures de 14 à 17.

FD75	**FD50**	**FD25**

Figure 14 : Photos des différentes formulations des fromages frais avec la présure cameline

Les formulations des fromages frais coagulées avec la présure caprine sont illustrées dans la figure 15.

FC75	**FC50**	**FC25**

Figure 15 : Photos des différentes formulations des fromages frais avec la présure caprine

Les formulations des fromages frais coagulées avec la pepsine de poulet sont illustrées dans la figure 16.

FP75	**FP50**	**¨ FP25**

Figure 16 : Photos des différentes formulations des fromages frais avec la pepsine de poulet

Les formulations des fromages frais coagulées avec l'agent coagulant microbien sont illustrées dans la figure 17.

FM75	**FM50**	**FM25**

Figure 17 : Photos des différentes formulations des fromages frais avec l'agent coagulant microbien

II.3.2 Caractérisation des fromages frais à coagulation enzymatique

II.3.2.1 Analyse rhéologique des fromages frais à coagulation enzymatique (test d'écoulement)

Le test d'écoulement était mesuré par rhéoviscosimètre (HAAKE MessTechnik Gmbh Co, Karlsruhe, Allemagne) sur les différentes formulations de fromages (FD75, FD50, et FD25), (FC75, FC50 et FC25) et (FP75, FP50 et FP25). L'objectif de cette partie est de déterminer le type du coagulum (produit fini) à base de mélange du lait de dromadaire et du lait de chèvre. Les échantillons de fromages étaient placés sur une géométrie de plaque parallèle,

le diamètre de la plaque était de 50 mm (Haake, PK 5, 0,5 grads), et les écarts entre les plaques étaient de 4,5mm avec un gradient de cisaillement initial de 0,129 1/s et final de 1000 1/s. Le cisaillement et la viscosité résultants sont mesurés et les données rhéologiques ont été analysées avec le logiciel HAAKE Rheo Win version 2.09. La température était maintenue à 20°C par un bain thermostaté avec un temps de mesure global de 180s. Le nombre de points de mesure était de 100 ; chaque test était réalisé en triple. Les conditions utilisées étaient les mêmes que l'étude de **Boughellout (2007)**.

La viscosité apparente était déterminée à l'aide du modèle de loi de faible puissance (Ostwald de Waele) : $\eta ap = K.\gamma\, n-1$

où

ηap : viscosité apparente (Pa.s) ;

γ : taux de cisaillement (s^{-1}) ;

n : indice de comportement d'écoulement ;

K : indice de consistance (Pa.sn) représente la contrainte nécessaire pour obtenir un taux de cisaillement de $1s^{-1}$.

L'analyse statistique était effectuée (test t de Student, α = 0,05) à l'aide du logiciel Minitab 19 (Minitab Inc., State College, PA).

II.3.2.2 Microstructure sous microscope électronique à balayage des fromages frais à coagulation enzymatique

Le but de cette analyse est de visualiser la microstructure des différents gels enzymatiques à base du mélange de lait de dromadaire et du lait de chèvre par observation au microscope électronique à balayage environnemental (ESEM – FEI QUANTA 250) fonctionnant sous un détecteur à grande lime (LFD) et à faible vide avec une tension d'accélération bien déterminée.

Dans un premier temps, un petit morceau de chaque fromage frais, nouvellement coagulé, était finement coupé (0,5 cm de longueur, 0,5 cm de largeur) et séché à l'air pendant 4 à 5 heures. Puis, séchage en atmosphère saturée en glutaraldéhyde pendant une nuit (12 heures). Ensuite, chaque morceau de fromage était fixé par une série d'alcool éthylique de 10° à 100°

pendant 5 minutes en solution. Par la suite, les morceaux de fromage étaient séchés à l'air libre pendant quelques heures avant de procéder à l'observation **(Attia *et al*., 1991)**.

II.3.2.3 Dosage des acides aminés des fromages frais à coagulation enzymatique

II.3.2.3.1 Extraction des acides aminés

L'extraction des acides aminés à partir tous les échantillons du fromage produits avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien était faite selon le protocole de **Fresno *et al*. (1997)**.

Il s'agit de prélever 10g de fromage et l'homogénéiser avec 40mL de $HCLO_4$ (0,6 M) dans un malaxeur à 20°C pendant 1min. Cette préparation était centrifugée à 2500xg pendant 5min. Par la suite, le surnageant est filtré par papier Wattman n°54. Le pH était ajusté à 6 par le KOH (1M) et le filtrat était refroidi dans un bain marie froid pendant 30min et filtré par une papier Wattman n°54. Le nouveau filtrat était concentré par évaporation sous vide à 40min et dissous par 20mL de $NaHCO_3$ (0,5 M), pH 8,5. Finalement, la solution obtenue était filtrée par un filtre de 0,45µm et conservée à -24°C.

II.3.2.3.2 Dosage des acides aminés

La quantification et l'identification des acides aminés était faite selon la technique de l'HPLC (model 1100, marque Agilent). La détection des acides aminés était réalisée à une longueur d'onde de 250nm.

II.3.2.4 Analyse sensorielle des fromages frais à coagulation enzymatique

L'objectif de l'analyse est de donner une description sensorielle de tous les fromages frais produits au lait de mélange en plus de l'analyse rhéologique. Il s'agit de donner à un sujet un échantillon de fromage et les caractéristiques sensorielles étaient évaluées par des observations visuelles et des dégustations. La caractérisation porte sur l'aspect et la texture ; odeur et goût avec arôme. Il était réalisé sur 20 dégustateurs « Etudiants ». Les échantillons de fromage sont découpés en petits carrés et placés dans une boîte fermée pendant une heure avant d'être testés. Le dégustateur répond aux questions de la grille d'évaluation et évalue les caractéristiques sensorielles **(Berodier *et al*., 2003)**. L'analyse statistique était effectuée (test t de Student, $\alpha = 0,05$) à l'aide du logiciel Minitab 19 (Minitab Inc., State College, PA).

II.4 Fabrication du fromage frais à coagulation mixte (Extraits enzymatiques et bactéries lactiques mésophiles)

En vue d'améliorer la qualité sensorielle (gout et arome) des fromages frais à coagulation enzymatique des trois formulations avec la présure cameline, la présure caprine, pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien, on a choisi d'inoculer les mélanges du lait avec du ferment lactique mésophile. En finalité, quatre (04) formulations étaient choisis et servent à la fabrication des fromages frais à coagulations mixte (tableau 09).

Tableau 09 : Formulations des fromages frais à coagulation mixte

Présure cameline	Présure caprine	Pepsine de poulet	Agent coagulant microbien
FD50^{B}	**FC75^{B}**	**FP50^{B}**	**FM25^{B}**

B : Bactéries lactiques mésophiles

Le diagramme de fabrication était présenté dans la figure 18. Les différents fromages produits était soumis par la suite aux analyses physico-chimiques (pH, acidité, matière sèche, protéines, matière grasse et cendres) et analyse sensorielle.

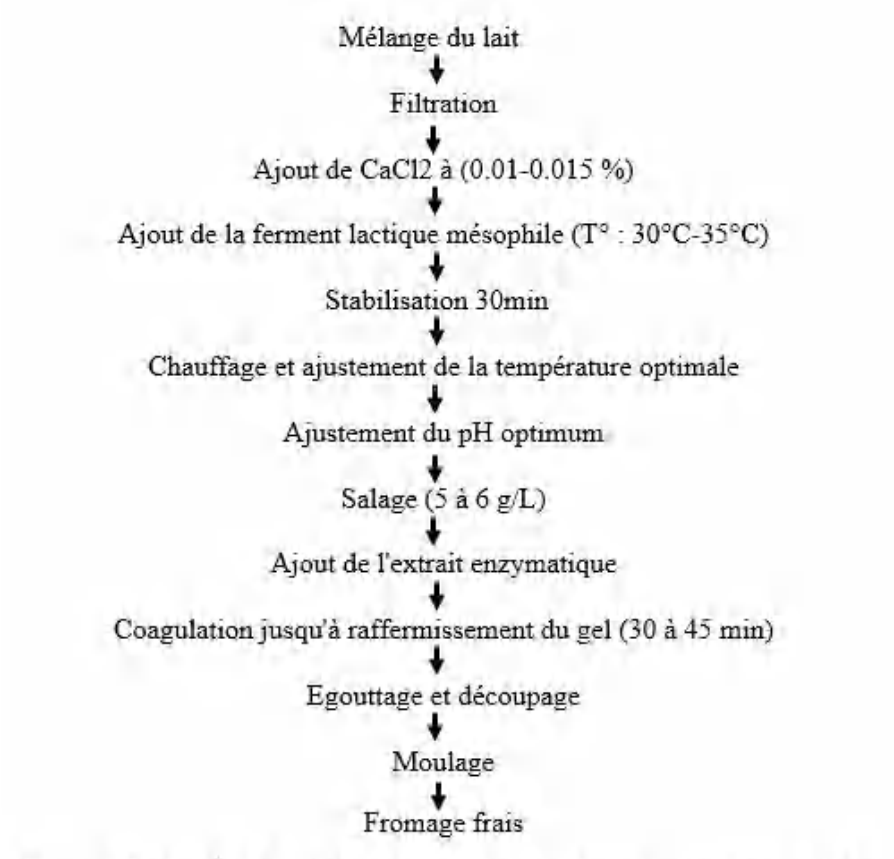


Figure 18 : Etapes de la fabrication du fromage frais à coagulation mixte

Les différents fromages produits à partir des formulations déjà sélectionnées, et coagulées à la fois par des bactéries lactiques mésophiles et des enzymes coagulantes sont présentés dans la figure 19.

FD50^{B}	**FC75^{B}**
FP50^{B}	**FM25^{B}**

Figure 19 : Photos des différentes formulations des fromages frais à coagulation mixte

Résultats et discussion

Premier volet : Caractéristiques des matières premières

I.1 Caractéristiques physico-chimiques des laits

Les caractéristiques physicochimiques du lait de dromadaire et du lait de chèvre utilisés dans cette étude sont donnés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Paramètres physico-chimiques du lait de dromadaire et lait de chèvre

Paramétres	Lait de dromadaire*	Lait de chèvre*	Lait de vache * (référence)
pH	6.56±0.34	6.76±0.04	7.15±0.05
Acidité dornique	18±1.00	20±3.00	13±0.5
Matiére grasse (g/L)	37.76±1.54	46.5±2.5	29±11.00
Lactose (g/L)	31.4±0.2	46.25±0.75	51.6±0.57
Protéines (g/L)	28.6±0.4	39.78±1.48	34±09.00
Densité à 20°C (g/cm^3)	1.029±0.001	1.033±0.00	1.028±0.00
Matiéres séches (g/L)	106.18±0.9	143.46±6.00	200±7.5
Cendres (g/L)	7.16±1.66	6.1±1.2	5.15±2.07
Chlorure (g/L)	4.46±0.3	2.67±0.7	1.9±0.3
Calcium (%)	0.09±0.00	0.12±0.02	0.7±0.01
Sodium (mg/L)	678±0.8	298±1.6	185±1.00
Potassium (mg /L)	$2.29.10^3$±0.2	$1.45.10^3$±0.2	$0.7.10^3$±0.5
Magnesium (mg/L)	1.5±0.09	1.51±0.15	1.1±0.02
Cuivre (mg/L)	0.48±0.04	0.23±0.01	0.4±0.01
Zinc (mg/L)	4.39±1.00	3.65±0.9	3.00±0.00
Fer (mg/L)	2.32±0.7	2.16±0.2	1.9 ± 0.8
Plomb (mg/L)	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.01

*moyenne de trois essais, (moyenne ± écart-type)

I.1.1 Caractéristiques physico-chimiques du lait de dromadaire

Les résultats représentés dans le tableau 10 montrent que la valeur du pH du lait de dromadaire est de 6.56±0.34, alors que celle du lait de vache est de 7.15±0.05. Le pH du lait de dromadaire est similaire à celui donnée par plusieurs auteurs **(Kamoun, 1996 ; Kappeler *et al*., 1998 ; Young *et al*., 2017)**. Dans le lait de dromadaire frais, le pH varie de 6.55 à 6.7 **(Konuspayeva *et al*., 2009)** et est légèrement inférieur à celui du lait de vache **(Al haj et Al Kanhal, 2010)**. La variation de la valeur du pH pourrait être due à des différences d'hygiène des pratiques de traite et à la numération microbienne totale du lait et elle peut être affectée par

l'alimentation et la disponibilité de l'eau **(Hadef *et al*., 2018)**. L'acidité du lait de dromadaire est plus élevée que celle du lait de vache ce qui concorde avec les conclusions de **Hadef *et al*. (2018)**.

La densité est de 1.028±0.00 pour le lait de vache et de 1.029±0.001 pour le lait de dromadaire. Cette densité est en accord avec **Pak *et al.* (2019)**. Selon **Young *et al*. (2017)** la densité du lait de dromadaire est proche de celle du lait de vache (respectivement 1.029 et 1.032). Elle dépend de la teneur en matière sèche, de la teneur en graisse, de la température et du régime alimentaire de l'animal **(Debouz *et al*., 2014)**.

En ce qui concerne la teneur en matière grasse du lait de dromadaire, nos résultats sont similaires à ceux donnés par **Alloui-Lombarkia *et al*. (2007)** (37.44±5.40g/L). Comme l'ont montré **Shuiep *et al*. (2018),** la teneur en matières grasses du lait de dromadaire est affectée par les conditions de gestion et les saisons. De plus, **Konuspayeva *et al*. (2009)** ont observé qu'il existe une grande variation de la teneur en matières grasses du lait de dromadaire à travers le monde. Ils ont également montré que les chameaux vivant en Afrique de l'Est ont une composition de lait qui contient plus de matières grasses que ceux des chameaux vivant en Afrique et en Asie occidentale. De plus, **Abdalla *et al.* (2015)** ont rapporté que le faible pourcentage de matières grasses chez les chameaux de lait reflète un manque d'alimentation dans des conditions désertiques.

La teneur en lactose est significativement plus faible dans le lait de dromadaire que dans le lait de vache. Ce résultat est en accord avec **Alloui-Lombarkia *et al*. (2007)** (34.20±9.04g/L) et inférieure à celui donné par **Young *et al*. (2017)** (45.6g/L). Selon **Brezovečki *et al* (2015)**, la quantité de lactose dans le lait de dromadaire varie de 29.1g/L à 41.2g/L, ce qui est inférieur à 51.6±0.57g/L du lait de vache. De grandes différences de teneur en lactose peuvent être conditionnées par l'alimentation animale qui dépend du type de plantes avec lesquelles les animaux sont nourris **(Alloui-Lombarkia *et al*., 2007)**.

La teneur en protéines du lait de dromadaire est inférieure à celle du lait de vache. Notre résultat concorde avec celui de **Debouz *et al*. (2014)** (28.1±0.12g/L). Cependant, il est relativement inférieur à celui rapporté par **Attia *et al*. (2000)** et **Konuspayeva *et al*. (2009)** de 35 à 45g/L. La concentration en protéines du lait varie selon la saison, le stade de lactation et le nombre de vêlages.

La teneur moyenne en matière sèche du lait de vache est de 200±7.5g/L alors que celle du lait de dromadaire est de 106.18±0.9g/L, cette valeur est presque similaire à celle donnée

par **Ismaili *et al.* (2019)** qui est de 104.2 g/L. La teneur en matière sèche du lait varie selon le stade de lactation. Ainsi, il diminue durant le mois suivant le vêlage, puis augmente suite à une augmentation du taux de graisse et d'azote **(Debouz *et al.*, 2014 ; Ismaili *et al.*, 2019)**.

Selon **Pak *et al*. (2019)**, tous les composants du lait de dromadaire ont diminué de décembre à février et ont eu tendance à augmenter de juin à août. Aussi, l'approvisionnement alimentaire joue un rôle important et peut expliquer la richesse particulière du lait de dromadaire.

De ces résultats, il ressort que la teneur en minéraux du lait de dromadaire est de 7.16±1.66g/L. Cette valeur est supérieure à celle du lait de vache qui est de 5.15±2.07g/L. La valeur du lait de dromadaire en cendres est en accord avec **Brezovečki *et al*. (2015)** qui ont rapporté des valeurs de 6g/L à 9g/L. En effet, la teneur en cendres du lait de dromadaire est sujette à la race, à la nutrition et à la consommation d'eau. Cette richesse en sel est en raison des plantes consommés par les chameaux, tels que *l'AtriPlex* et *l'Acacia* **(Brezovečki *et al.*, 2015)**.

Récemment, la méta-analyse de **Konuspayeva *et al*. (2022)** a déduit que la teneur en minéraux du lait de dromadaire varie d'une manière importante selon la région, la population du dromadaire et la procédure analytique utilisée. La teneur moyenne rapportée en minéraux est de 0.58–2.48 g/L. A titre comparatif, cette teneur est très faible de notre résultat, ce qui explique que le lait de dromadaire de la région d'El Oued est assez riche en minéraux.

Par rapport à la composition du lait de dromadaire en minéraux majeurs, l'analyse des données de **Konuspayeva *et al*. (2022)** a révélé des différences en comparaison avec le lait de vache :

-Chlorure : le comportement alimentaire du dromadaire dans le désert, à la recherche des plantes halophyte est la principale explication des concentrations plus élevées de chlorure par rapport au lait de vache ;

-Calcium : le lait de dromadaire est considéré comme une source importante de calcium mais la teneur en ce minéral n'est pas exceptionnelle par rapport à une autre origine laitière ;

-Sodium : le lait de dromadaire contient plus de sodium, environs deux fois plus grand que le lait de vache ;

-Potassium : le lait de dromadaire contient significativement plus de potassium que le lait de vache ;

-Magnésium : le lait de vache contient plus de magnésium que le lait de dromadaire.

En termes de minéraux en traces, le lait de dromadaire semble riche en zinc et pauvre en fer comparativement au lait de vache. Cependant, cette conclusion dépend du contexte environnemental et des comparaisons interspécifiques sont souvent à partir d'échantillons de lait provenant de différentes régions **Konuspayeva *et al*. (2022)**.

I.1.2 Caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre

Selon le tableau 10, la valeur moyenne du pH du lait de chèvre est de 6.76±0.04, cette valeur est inférieure au pH du lait de vache et est en accord avec les données de **Remeuf *et al*. (1993 ; 2000)**, qui affirment que le pH du lait de chèvre est généralement compris entre 6.45 et 6.9 avec une moyenne globale de 6.7. Selon **Boumendjel *et al*. (2017)**, la variation du pH du lait peut résulter de l'infection de la mamelle, mais aussi de facteurs génétiques qui ont une grande influence sur les variations du pH du lait de chèvre.

L'acidité dornique du lait de chèvre est de 20±3.00, qui est supérieure à celle du lait de vache. **Jouza et Chehma (2018)** ont donné une teneur de 18.2±3.3˚D du lait de chèvre de la même race *Arbia*. Selon la **FAO (1990),** l'acidité du lait de chèvre doit être entre 14-18°D. Notre résultat ne s'inscrit pas dans cette fourchette et dépasse la limite d'acceptation. Cette résultat peut être justifié par l'effet de chaleur de la région d'El Oued (Sud-algérien). L'augmentation de l'acidité est un indicateur de la qualité de conservation du lait et ne peut résulter que d'un développement conséquent de la flore lactique influencé par le jeu combiné de l'augmentation de la température ainsi que de la durée de conservation du lait **(Cassinelloc et Pereira, 2001)**.

La densité du lait de chèvre est de 1.033±0.00 qui est légèrement inférieure à celle déterminée pour le lait de vache. Cette valeur est conforme à la norme de densité dans la fourchette 1.028 à 1.033 **(Boubezarim, 2010)** et avec la norme du **FAO (1990)** du lait de chèvre qui oscille entre 1.027 et 1.035.

Le lait de chèvre contient une teneur de matière grasse plus élevée que le lait de vache qui sont respectivement de 46.5±2.5g/L et 29±11.00g/L. **Zantar *et al*. (2016)** ont montré que

le taux en matière grasse du lait de chèvre augmente significativement avec l'avancement de la lactation.

Le résultat du dosage des protéines montre que la teneur en protéines du lait de chèvre est supérieure par rapport au lait de vache qui est respectivement 39.78±1.48g/L et 34±09.00g/L. Par contre, **Sylvain (2004) et Rai *et al*. (2022)** ont rapporté que la teneur en protéines du lait de chèvre et du lait de vache est comparable. Cette variation en protéines est très influencée par la différence génétique de races, d'espèces, de rations, d'influences de stade de lactation, mammite et climat.

La teneur en lactose est faible pour le lait de chèvre comparativement avec le lait de vache qui est respectivement 46.25±0.75g/L et 51.6±0.57g/L. Ce résultat est en accord avec **Sylvain (2004)** et **Tilahun *et al*. (2014)**.

D'après les résultats, Il apparait que la teneur en minéraux du lait de chèvre (6.1±1.2g/L) est supérieure par rapport au lait de vache (5.15±2.07g/L). Ces résultats sont en accord avec **Rai *et al*. (2022)**. De plus, **Mahmood et Usman (2010)** ont rapporté que la teneur moyenne en minéraux est de 5.6g/L à 9.g/L, alors que **Syd Jaafar et *al.* (2018)** ont donnée des valeurs moyennes entre 6.7g/L jusqu'à 8.6g/L. Selon **Rai *et al*. (2022)**, cette variation dépend de différents facteurs comme la race, l'âge de la chèvre, période de lactation, alimentation et santé de la chèvre. **Saikia *et al*. (2022)** ont rapporté des teneurs en chlorure, calcium, sodium, potassium et magnésium du lait de chèvre qui sont respectivement de 0.15g/L, 134mg/L, 41mg/L, 181mg/L et de 16mg/L. A titre comparatif, le lait de chèvre de la région d'El Oued semble encore riche en minéraux.

I.2 Caractéristiques microbiologiques des laits

Les résultats microbiologiques du lait de dromadaire et du lait de chèvre sont représentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Qualité microbiologique du lait de dromadaire et lait de chèvre

Flores recherchées	Lait de dromadaire	Lait de chèvre	Limite		Référence
			m	M	
Germes aérobies à 30°C (UFC/1ml)	7.10^5	4.10^3	3.10^5	3.10^6	JORA 2017 N°39
Coliformes thermotolérants (UFC/1ml)	04	10	5.10^2	5.10^3	
Staphylococcus aureus (UFC/1ml)	10	90	10^2	10^3	
Salmonella sp dans 25 ml	Absence	Absence	Absence/25ml		
Listeria monocytogenes dans 25 ml	Absence	Absence	100		

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne.

Il convient de mentionner qu'il n'y a pas de normes microbiologiques spécifiques au lait de dromadaire et caprin. Les valeurs du lait de vache étaient utilisées pour évaluer la qualité du lait de dromadaire et du lait de chèvre.

D'après les résultats microbiologiques de la matière première utilisée, le lait de dromadaire présente une charge acceptable qui est inférieure à la limite maximale. Alors celle du lait de chèvre contient une charge microbienne de germes aérobies mésophiles inférieure à la limite minimale. **Ismaili et *al*. (2019)** rapportent une moyenne de $5,6.10^3$ à $1,8.10^9$ UFC/ml.

Le nombre des coliformes thermotolérants dans le lait de dromadaire et le lait de chèvre est conforme à la norme recommandée. L'existence de bactéries coliformes dans le lait peut indiquer une contamination fécale directe du lait ou même les mauvaises pratiques sanitaires pendant la traite et les processus de manipulation ultérieurs **(El-Ziney et Al-Turki, 2007)**.

Les résultats microbiologiques montrent aussi une faible charge de *Staphylococcus aureus* dans le lait de dromadaire et le lait de chèvre, inférieure à 10^2 UFC/ml.

Les échantillons de lait sont dépourvus de *Salmonella sp* et *Listeria monocytogenes*, ceci est expliqué par la bonne pratique de la traite et l'absence de contamination. D'après **Rhea (2009),** la contamination par *Salmonella* et *Listeria monocytogenes* est originaire des différents matériaux, y compris la terre, la litière, les fèces et les résidus d'ensilages et d'autres aliments. L'élevage efficace avec le nettoyage et la désinfection des mamelles avant la traite sont importants pour minimiser cette contamination.

I.3 Caractéristiques des extraits enzymatiques

Les résultats des principales caractéristiques de la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Principales caractéristiques des extraits enzymatiques

Enzyme	Protéines (mg/ml)	Activité coagulante ($UP.ml^{-1}$)	Activité spécifique ($UP.mg^{-1}$)	Force coagulante (US)
PD	15.4±0.00	111.12±1.23	7.21± 0.03	1/4166.67
PCP	8.8±0.00	1.52±0.01	0.172±0.00	1/2531.64
PP	20±0.00	1.98±0.02	0.1±0.01	1/6153.85

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet

Aussi, la performance des différents extraits enzymatiques testés à la coagulation du lait de dromadaire, du lait de chèvre et du lait de vache, est établie dans le tableau 13.

Tableau 13 : Performance des extraits enzymatiques à la coagulation

	Temps de coagulation (s)		
Enzyme	**Lait de dromadaire**	**Lait de chévre**	**Lait de vache (référence)**
PD	181±1.00	98.13±0.87	61.27±0.73
PCP	294.97±5.33	59.87±0.73	59.93±1.27
PP	119.4±0.6	105±2.4	88.2±4.2

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet

I.3.1 Caractéristiques de la présure cameline

L'extrait enzymatique de la présure cameline obtenu selon le protocole décrit par **Wangoh *et al* (1993)** a une texture liquide et une couleur marron clair. Il se caractérise par une teneur en protéines de 15.4±0.00 mg/mL (tableau 10). Cette valeur est supérieure à celle trouvée par **Boudjenah-Haroun (2012)** qui est de 1.54 mg/mL. L'activité coagulante de la présure cameline est de 111.12±1.23 $UP.mL^{-1}$. Ce résultat est supérieur aux valeurs de **Siboukeur *et al*. (2005)** (0.155 $UP.mL^{-1}$), **Mahboub (2009)** (0.081±0.003 $UP.mL^{-1}$) et **Boudjenah-Haroun**

(2012) (0.360±0.02 UP.mL^{-1}). L'activité spécifique et la force coagulante sont respectivement de 7.21±0.03 UP.mg^{-1} et 1/4166,67 US.

Selon **Siboukeur *et al*. (2005)** et **Boudjenah-Haroun *et al*. (2011)**, l'activité coagulante des extraits enzymatiques de dromadaire est influencée par l'âge des animaux. Cependant, le régime alimentaire de l'animal a une influence sur le contenu enzymatique de la caillette du dromadaire comme mentionné par **Boudjenah-Haroun *et al*. (2013)**. D'autre part, **Mahboub *et al*. (2012)** ont étudié l'influence de la température de stockage sur l'activité coagulante des extraits enzymatiques de dromadaire et montrent que la congélation à -20°C et la réfrigération à +4°C sont recommandées dans la production fromagère. Concernant le temps de coagulation (tableau 11), il apparaît que la présure cameline réagit mieux avec le lait de vache (61.27±0.73s) qu'avec le lait de chèvre et le lait de dromadaire (98.13±0.87s, 181±1.00 respectivement).

I.3.2 Caractéristiques de la présure caprine

L'extrait liquide de la présure caprine préparé est de couleur marron clair, avec une teneur en protéines de 8.8±0.00 mg/mL. Cette valeur est supérieure à celle rapportée par **Boumediene (2013)** (1.53 mg/mL). Il se caractérise par une activité coagulante de 1.52±0.01 UP.mL^{-1} et une force coagulante de 1/2531.64 US. La présure caprine coagule le lait de vache et le lait de chèvre en un temps Plus court (59.93± 1.27s, 59.87±0.73s respectivement) que celui trouvé pour le lait de dromadaire (294.97±5.33s).

I.3.3 Caractéristiques de la pepsine de poulet

La pepsine de poulet, extraite selon le protocole de **Bohak (1970)**, est un liquide jaunâtre. La teneur en protéines est de 20±0.00 mg/mL ; ce qui est en accord avec **Siar (2014)** (20.10±0.73 mg/mL) ; il est supérieur à ceux rapportés par **Adoui (2007)** et **Aïssaoui-Zitoun *et al*. (2017)** (8.77±0.41 mg/mL, 3.20±0.60 mg/mL respectivement) et inférieur à celui rapporté par **Benyahia-Krid (2013)** (35.4±0.40 mg/ml). L'activité coagulante est de 1.98±0.02 UP.mL^{-1} ; elle est plus faible que celle mentionnée par **Aïssaoui-Zitoun *et al*. (2017)** qui est de 10.2±1.10 UP.mL^{-1}. La pepsine de poulet a un pouvoir coagulant de 1/6153.85 US. Il réagit mieux avec le lait de vache (88.2±4.2s) qu'avec le lait de chèvre ou camelin dont les valeurs sont respectivement de 105±2.4s et de 119.4±0.6s.

Deuxième volet : Optimisation des paramètres de la floculation et de la coagulation par la méthodologie des surfaces de réponse

La méthodologie des surfaces de réponse est utilisée pour étudier l'influence des variations de pH et de température sur la coagulation du lait de chamelle et du lait de chèvre. Pour cela, nous avons opté à la mesure du temps de floculation et du temps de coagulation selon les différentes combinaisons du couple [pH, T°]. Cette méthodologie nous a permis de déterminer une relation d'approximation entre les variables d'entrée (pH et T°) et la réponse de sortie (temps de floculation et temps de coagulation) des 13 tests.

II.1 Optimisation des paramètres de la floculation

Cette partie est consacrée à l'étude de l'optimisation du pH et de la température de la floculation en utilisant la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien (référence) pour :

- Chaque type de lait seul (lait de dromadaire, lait de chèvre et lait de vache) ;
- Les mélanges de laits (dromadaire et chèvre) avec des différentes proportions.

II.1.1 Optimisation des paramètres de la floculation des laits seuls

L'optimisation de la floculation des laits seuls est présentée par ordre avec le lait de dromadaire, le lait de chèvre et le lait de vache.

II.1.1.1 Optimisation des paramètres de la floculation du lait de dromadaire

II.1.1.1.1 Temps de réponse de la floculation du lait de dromadaire

Le tableau 14 affiche le temps de floculation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes à savoir la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Selon les résultats donnés en tableau 14, nous avons constaté que le temps de floculation du lait de dromadaire change en fonction du type d'enzyme utilisé et du couple de pH et de température du lait. A ce couple [pH : 5 ; T : 36°C], le temps de floculation était minime avec la présure cameline (3.6±0.00s), la présure caprine (5.4±0.00s), la pepsine de poulet (7±0.04s) et l'agent coagulant microbien (6.6±0.04s). Cependant, les temps de floculation maximaux avec la présure cameline ou la pepsine de poulet étaient de 76±0.02s et 73±0.04s, obtenus au même pH de 6.7 et à la même température du lait soit à 36°C.

Tableau 14 : Temps de floculation du lait de dromadaire avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			Lait de dromadaire			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps de floculation (s)			
01	5.85	36	38±0.04	26.4±0.00	25±0.02	12.6±0.01
02	6.7	36	**76±0.02**	58±0.04	**73±0.04**	14.9±0.01
03	5.85	42	38±0.00	42±0.04	12±0.00	11.3±0.02
04	5.85	30	26±0.04	29±0.04	32±0.04	20.1±0.03
05	5	36	**3.6±0.00**	**5.4±0.00**	**7±0.04**	**6.6±0.04**
06	5.85	36	13±0.04	48±0.00	39±0.03	17.7±0.01
07	5.85	36	9±0.04	46±0.02	37±0.04	14.5±0.03
08	5.25	31.76	33±0.04	7±0.02	16±0.04	9.3±0.03
09	5.85	36	12±0.00	16±0.04	31±0.00	11.2±0.00
10	6.45	40.24	58±0.04	**114±0.00**	45±0.00	12.1±0.01
11	5.85	36	37±0.02	43±0.04	34±0.04	12.9±0.04
12	5.25	40.24	6±0.01	**4±0.02**	10±0.02	14.3±0.01
13	6.45	31.76	57±0.01	27±0.04	20±0.03	**22.6±0.00**

T° : température**,** PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Par contre, nous avons noté une différence assez importante en utilisant la présure caprine et l'agent coagulant microbien. Le temps de floculation maximal du lait de dromadaire a marqué 114±0.00s à pH 6.45 et 40.24°C avec la présure caprine et 22.6±0.00s et à pH 6.45 et 31.76°C avec l'agent coagulant microbien.

Comme préconisé par **Ramet (1997)** pour la coagulation du lait de vache, il faut choisir l'extrait d'enzyme qui donne un temps de floculation de 200s. Ceci est vérifié par les résultats obtenus lors de cette étude où le temps de floculation n'a pas dépassé 200s pour toutes les enzymes protéolytiques testées.

II.1.1.1.2 Modélisation statistique du temps de floculation du lait de dromadaire

Le tableau 15 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec le lait de dromadaire ainsi que leur régression (R^2).

Tableau 15 : Régression et équation des réponses de la floculation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Floculation	PD	81.07%	Y=1723-375**pH**	0.99
Lait de dromadaire	PCP	83.03%	Y=1512-244**pH**+8.84**pHxT**	1
	PP	76.16%	Y=99-126**pH**	1
	ACM	78.53%	**Y=**-343+97.5**pH**+3.81**T**-1.534 **pHxT**	1

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R^2 : régression, d : désirabilité.

Les résultats ont clairement montré l'aptitude du lait de dromadaire à la floculation avec les différentes enzymes coagulantes. Nous remarquons que le lait de dromadaire a mieux réagit avec la présure caprine (R^2 = 83.03%) et la présure cameline (R^2 = 81.07%) comparativement avec la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien. Nous pouvons ainsi conclure que la présure cameline et la présure caprine possèdent un pouvoir floculant assez important sur le lait de dromadaire que celui de la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Le tableau 16 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* correspondants du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes.

Tableau 16 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes

	-*P*- lait de dromadaire			
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
$\mathbf{b_0}$	0.08	0.013	0.038	0.027
$\mathbf{b_1}$	**0.002**	**0.003**	**0.004**	**0.027**
$\mathbf{b_2}$	0.812	0.056	0.781	**0.044**
$\mathbf{b_{11}}$	0.089	0.873	0.764	0.283
$\mathbf{b_{22}}$	0.277	0.884	0.119	0.272
$\mathbf{b_{12}}$	0.313	**0.025**	0.215	**0.017**

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Les résultats montrent que la floculation du lait de dromadaire est sensible à la variation de pH (effet linéaire) ($p<0.05$) avec la présure cameline et la pepsine de poulet. Par contre, la floculation avec la présure caprine et l'agent coagulant microbien est influencée par le pH et par l'effet combiné entre le pH et la température (effet linéaire et effet interactif) ($p<0.05$). En effet, l'effet linéaire de la température est observé seulement avec l'agent coagulant microbien ($p<0.05$).

II.1.1.1.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de dromadaire

Les graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 20.

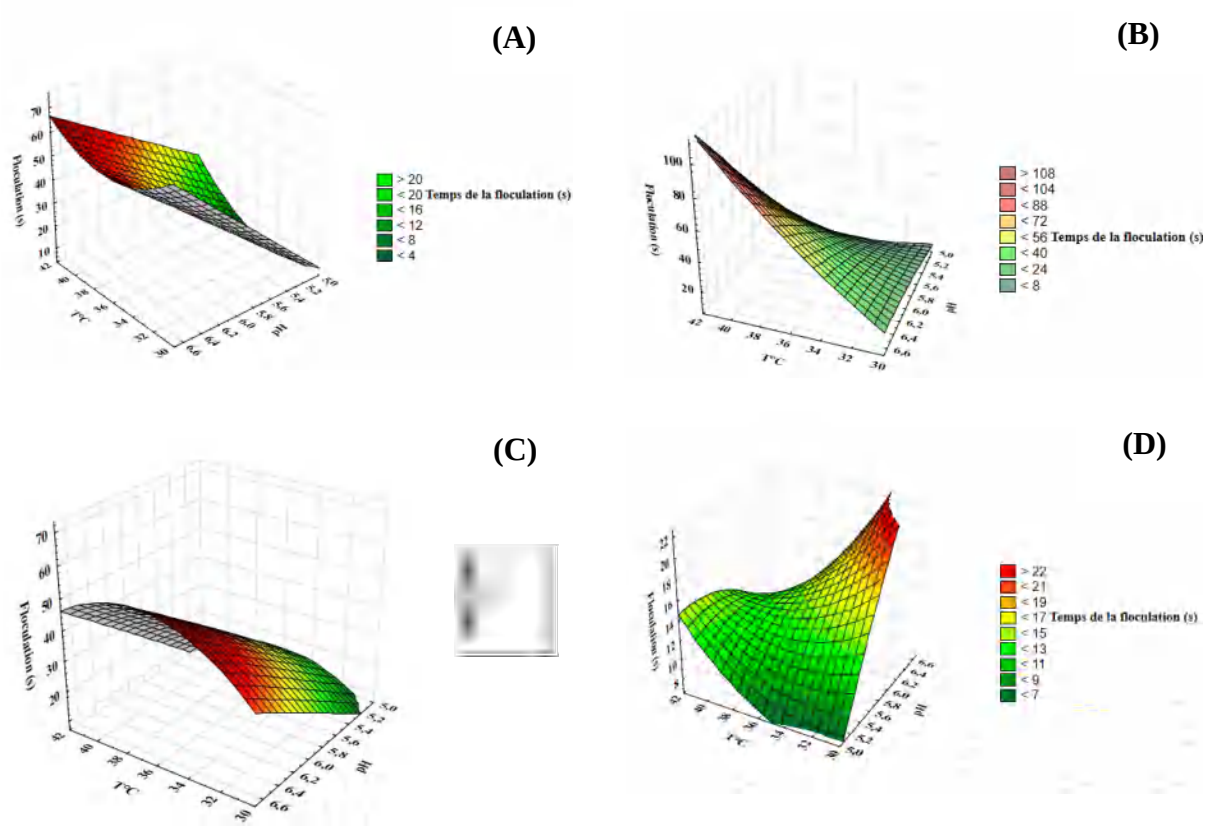


Figure 20 : Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de dromadaire avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

Selon la figure 20 et sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 20 et tableau 14), un temps de floculation du lait de dromadaire est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=5, X2=40.06°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=5, X2=42°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=5, X2=42°C]** pour la pepsine de poulet
- **[X1=5, X2=30°C]** pour l'agent coagulant microbien.

D'après ces résultats d'optimisation, nous remarquons que le lait de dromadaire s'apprête mieux à la floculation lorsque son pH est acide quel que soit le type d'enzyme utilisé (pH 5) d'un côté, et d'autre coté, parmi ces enzymes qui sont d'origine animale, un léger chauffage à une température entre 40°C et 42°C.

Dans la littérature, l'étude de l'optimisation du pH de la floculation du lait de dromadaire avec différents extraits enzymatique bruts de la caillette cameline des dromadaires âgés, était rapporté par **Boudjenah-Haroun. (2012)**, qui a rapporté un pH optimum de floculation de 5.8. Cette valeur est légèrement supérieure à nos résultats. A notre avis, cette variation est peut-être dû à la différence de :

- L'âge du dromadaire : ce qui conduit à la différence de la composition enzymatique de l'extrait (extrait à dominance pepsine ou à dominance chymosine),
- La nature de l'extrait : brut ou clarifié,
- La méthode de l'optimisation recommandée.

II.1.1.2 Optimisation des paramètres de la floculation du lait de chèvre

III.1.1.2.1 Temps de réponse de la floculation du lait de chèvre

Le tableau 17 affiche le temps de floculation du lait de chèvre avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

D'après les résultats enregistrés, le temps de floculation du lait de chèvre était minime avec la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet, au niveau les couples de pH et T° [5 ; 36°C] et [5.25 ; 40.24°C] et maximal à [6.7 ; 36]. Tandis que, l'agent coagulant microbien a réagi différemment et donné un temps minimal de floculation au niveau du couple [6.45 ; 40.24°C].

Tableau 17 : Temps de floculation du lait de chèvre avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			Lait de chèvre			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	9±0.00	28.8±0.01	2.4±0.00	13.71±0.00
02	6.7	36	**350±0.02**	**630±0.02**	**67±0.02**	**16.16**±0.01
03	5.85	42	51±0.04	11±0.04	12±0.00	**9.58±0.00**
04	5.85	30	22±0.04	13±0.04	7±0.04	10.93±0.02
05	5	36	**2±0.04**	**2±0.04**	25±0.03	11.04±0.03
06	5.85	36	22±0.02	12±0.03	12±0.00	14±0.02
07	5.85	36	15±0.00	52±0.02	19±0.02	13.37±0.04
08	5.25	31.76	3.6±0.01	4.8±0.02	11±0.04	10.39±0.04
09	5.85	36	18±0.00	63±0.00	31±0.02	13.52±0.03
10	6.45	40.24	90±0.03	200±0.01	10±0.04	**9.45±0.01**
11	5.85	36	38±0.04	52±0.02	**1±0.04**	11.5±0.00
12	5.25	40.24	**2±0.04**	**3±0.00**	**1±0.00**	12.08±0.00
13	6.45	31.76	180±0.01	190±0.03	37±0.02	10.58±0.02

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

II.1.1.2.2 Modélisation statistique du temps de floculation du lait de chèvre

Le tableau 18 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec le lait de chèvre ainsi que leur régression (R^2).

D'après le coefficient de régression, les différentes enzymes coagulantes testées étaient capables de réagir avec le lait de chèvre (R^2>50%). Dans ces conditions d'expérimentation, la présure cameline et la présure caprine sembles avoir plus d'affinité au lait de chèvre que la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Tableau 18 : Régression et équation des réponses de la floculation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Floculation	PD	90.03%	Y=3731-1750**pH**+189.8**pH²**	1
	PCP	88.41%	Y=7757-3662**pH**+335.6**pH²**	1
Lait de chèvre	PP	67.33%	Y=822-409**pH**+36.6**pH²**	1
	ACM	56.73%	Y=-165-0.0976**T²**	1

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R^2 : régression, d : désirabilité

Le tableau 19 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes.

Tableau 19 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes

	-*P*- lait de chèvre			
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
b_0	0.002	0.049	0.085	0.02
b_1	**0.000**	**0.013**	**0.042**	0.462
b_2	0.677	0.802	0.458	0.662
b_{11}	**0.003**	**0.032**	**0.036**	0.906
b_{22}	0.940	0.398	0.358	**0.028**
b_{12}	0.319	0.737	0.548	0.559

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Selon le tableau 19, la floculation du lait de chèvre était influencée par la variation du pH (effet linéaire et effet quadratique, $p<0.05$) avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet. Alors que, le facteur température semble être le seul facteur qui a affecté la floculation du lait de chèvre avec l'agent coagulant microbien (effet quadratique) dont ($p<0.05$).

II.1.1.2.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de chèvre

Les graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 21.

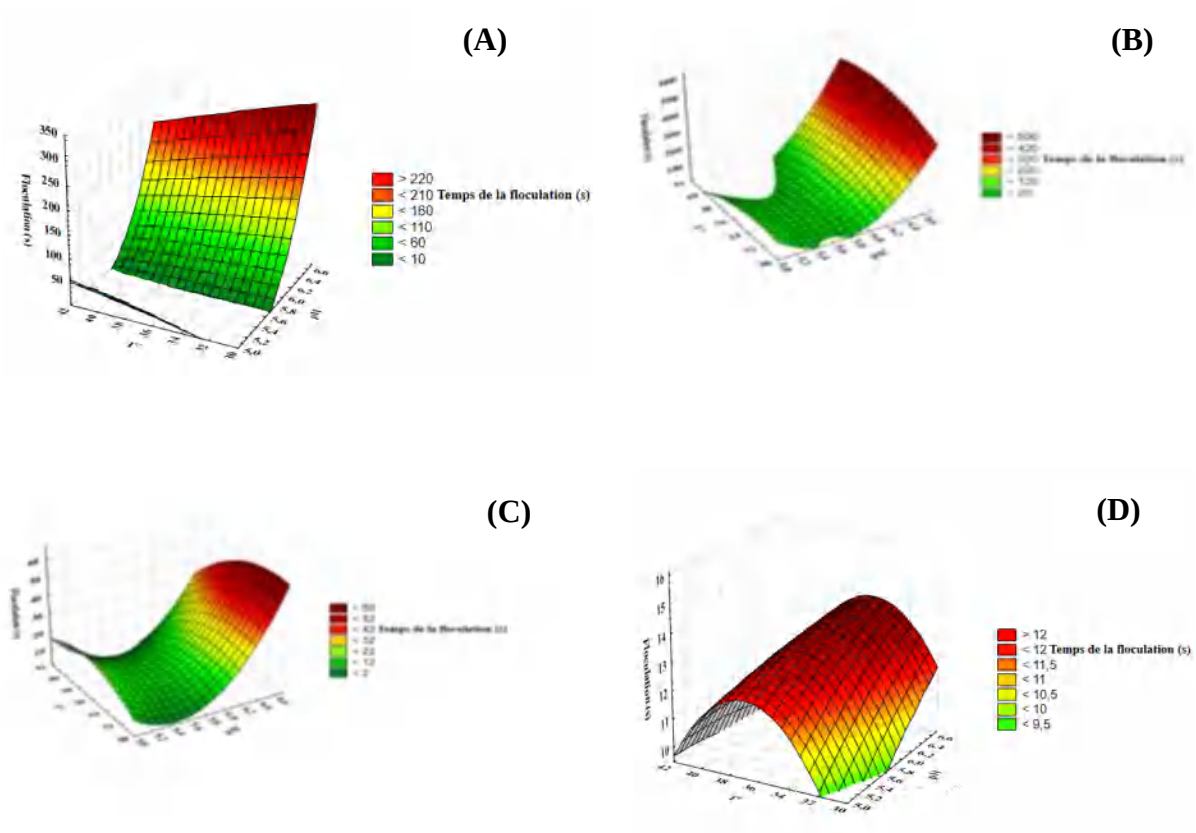


Figure 21: Graphiques de surface de réponse de la floculation du lait de chèvre avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 21 et tableau 17), un temps de floculation du lait de chèvre est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=5.29, X2=30°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=5.46, X2=30°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=5.58, X2=42°C]** pour la pepsine de poulet,
- **[X1=5.00, X2=30°C]** pour l'agent coagulant microbien.

En ce qui concerne le lait de chèvre, et dans les conditions optimales, la floculation avec l'agent coagulant microbien nécessite un pH plus faible comparativement avec les autres

enzymes coagulantes. De plus, la floculation du lait de chèvre demande une température élevée seulement la pepsine de poulet.

II.1.1.3 Optimisation des paramètres de la floculation du lait de vache

II.1.1.3.1 Temps de réponse de la floculation du lait de vache

Le tableau 20 présente le temps de floculation du lait de vache avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Tableau 20 : Temps de floculation du lait de vache avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			**Lait de vache**			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	39±0.01	10±0.00	17±0.04	9.29±0.04
02	6.7	36	**225±0.04**	**320±0.02**	**242±0.00**	19.8±0.04
03	5.85	42	41±0.02	44±0.04	19±0.00	6±0.04
04	5.85	30	60±0.00	7±0.03	41±0.02	12.67±0.04
05	5	36	**4±0.02**	27±0.03	32±0.00	**29.93±0.04**
06	5.85	36	45±0.01	15±0.00	49±0.00	8.11±0.04
07	5.85	36	49±0.02	21±0.02	**7±0.02**	12.23±0.04
08	5.25	31.76	56±0.04	6±0.01	12±0.04	6.7±0.04
09	5.85	36	50±0.04	10±0.02	**7±0.01**	8.5±0.04
10	6.45	40.24	92±0.03	190±0.01	127±0.02	7.7±0.04
11	5.85	36	52±0.01	8±0.00	**7±0.03**	11.19±0.04
12	5.25	40.24	38±0.04	**5±0.00**	**7.8±0.00**	**5.5±0.04**
13	6.45	31.76	111±0.04	150±0.04	121±0.00	14.57±0.04

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Le tableau 20 montre que les présures cameline et caprine ont un temps de floculation minimal (4±0.02s, 5±0.00), avec les couples de [pH : 5/T : 36°C] et [pH : 5.25/T : 40.24°C] respectivement. Cependant, la pepsine de poulet a réagi avec le lait de vache pendant un temps de floculation minimal de 7s à [pH : 5.85/T 36°C].

Pour le couple [pH : 6.7/T : 36°C], la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet floculent le lait de vache pendant une longue période (225±0.04s), (320±0.02s) et

(242± 0.00s) respectivement. Comparativement avec l'agent coagulant microbien, le temps maximal de floculation était (29.93±0.04) à [pH 5/ T° 36°C].

II.1.1.3.2 Modélisation statistique du temps de floculation du lait de vache

Le tableau 21 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec le lait de vache ainsi que leur régression (R^2).

Tableau 21 : Régression et équation des réponses de la floculation du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Floculation	PD	84.66%	Y=2586-940**pH**+87.8**pH²**	0.95
Lait de vache	PCP	98.49%	Y=6603-2355**pH**-11.3**T**+214.5**pH²**	1
	PP	95.58%	Y=4848-1696**pH** +154.3**pH²**	1
	ACM	58.53%	Y=234+14.89 **pH²**	1

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R^2 : régression, d : désirabilité

D'après les résultats du tableau 21, la présure caprine et la pepsine de poulet ont bien réagi avec le lait de vache et donnant des coefficients de régression respectivement de R^2 98.49%, et R^2 95.58%. Ce sont des meilleures régressions en comparaison avec celle de la présure cameline et la présure commerciale.

Dans ce qui suit, le tableau 22 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes.

Les résultats montrent que la floculation du lait de vache n'est sensible qu'à la variation de pH (effet linéaire et quadratique) avec la présure cameline et la pepsine de poulet ($p<0.05$). Pour la présure caprine, la floculation est sensible à la fois à la variation de pH (effet linéaire et quadratique) et à la variation de température (effet linéaire) ($p<0.05$). Alors que, le pH a un effet quadratique seulement ($p<0.05$) avec l'agent coagulant microbien.

Tableau 22 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes

	-*P*- lait de vache			
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
$\mathbf{b_0}$	0.009	0.000	0.000	0.02
$\mathbf{b_1}$	**0.001**	**0.000**	**0.000**	0.823
$\mathbf{b_2}$	0.443	**0.049**	0.606	0.31
$\mathbf{b_{11}}$	**0.020**	**0.000**	**0.000**	**0.043**
$\mathbf{b_{22}}$	0.979	0.521	0.769	0.257

température du mélange de laits. L'objectif de cette partie d'étude est d'optimiser les paramètres de floculation et ensuite de coagulation des mélanges de laits qui seront adoptés dans la fabrication de fromage frais au lait de dromadaire et de chèvre.

II.1.2 Optimisation des paramètres de la floculation du mélange des laits

L'optimisation de la floculation du mélange des laits est présentée par ordre avec la formulation F75LD, la formulation F50LD et la formulation F25LD.

II.1.2.1 Optimisation des paramètres de la floculation de la formulation F75LD

II.1.2.1.1 Temps de réponse de la floculation de la formulation F75LD

Le tableau 23 présente le temps de floculation de la formulation F75LD (75 % lait de dromadaire et 25 % lait de chèvre) avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Tableau 23 : Temps de floculation de la formulation F75LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			**Formulation F75LD**			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	7±0.00	**4±0.01**	**4±0.04**	9.94±0.01
02	6.7	36	**14±0.04**	**11±0.04**	**14±0.00**	**17.93±0.00**
03	5.85	42	6±0.03	5±0.03	9±0.02	9.35±0.00
04	5.85	30	7±0.03	8 ± 0,01	9±0.03	11.12±0.03
05	5	36	10±0.01	9±0.02	9±0.03	10.33±0.02
06	5.85	36	8±002	5±0.00	**4±0.02**	16.04±0.01
07	5.85	36	**4±0.00**	5±000	5±0.04	10.78±0.01
08	5.25	31.76	11±0.00	6±0.04	7±0.02	9.93±0.01
09	5.85	36	5±0.02	5±004	5±0.03	15.86±0.00
10	6.45	40.24	6±0.01	5±0.04	5±0.04	8.39±0.04
11	5.85	36	7±0.04	**4±0.02**	6±0.02	12.41±0.04
12	5.25	40.24	8±0.03	8±0.03	5±0.04	**6.11±0.03**
13	6.45	31.76	10±0.02	8±0.03	13±0.01	15.44±0.02

F75LD : formulation 75% lait de dromadaire et 25% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Selon les résultats, toutes les enzymes coagulantes testées floculent la formulation F75LD au même couple de [pH 6.7/ T° 36°C] et dans un temps maximal variable selon le type d'enzyme. Le temps de floculation maximal était de 14±0.04s pour la présure cameline, de 11±0.04s pour la présure caprine, de 14±0.00s pour la pepsine de poulet et de 17.93±0.00s pour l'agent coagulant microbien. En ce qui concerne le temps minimal de la floculation, toutes les enzymes coagulantes ont réagi différemment et le temps est entre 4s et 6s.

II.1.2.1.2 Modélisation statistique du temps de floculation de la formulation F75LD

Le tableau 24 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec la formulation F75LD ainsi que leur régression (R^2).

Tableau 24 : Régression et équation des réponses de la floculation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Floculation	PD	72.39%	Y= 256+7.69**pH²**	0.92
Formulation F75LD	PCP	84.6%	Y=166.7+6.45**pH²**	0.94
	PP	76.71%	Y= 230+7,39**pH²**	0.95
	ACM	68.14%	Y= 200+16.7**pH**	1

F75LD : formulation 50% lait de dromadaire et 50% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R^2 : régression, d : désirabilité

Dans la formulation F75LD, il apparait que la présure caprine a réagi mieux avec un R^2 84.6% que les autres enzymes coagulantes testées.

Le tableau 25 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes.

Pour toutes les enzymes coagulantes, la floculation de la formulation F75LD est influencée par la variation de pH, dont on a enregistré un effet quadratique ($p<0.05$) avec la présure cameline, la présure caprine et pepsine de poulet et un effet linéaire ($p<0.05$) avec l'agent coagulant microbien.

Tableau 25 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes

	-*P*- Formulation F75LD			
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
$\mathbf{b_0}$	0.060	0.009	0.035	0.093
$\mathbf{b_1}$	0.630	0.581	0.062	**0.034**
$\mathbf{b_2}$	0.156	0.142	0.134	0.090
$\mathbf{b_{11}}$	**0.006**	**0.001**	**0.012**	0.906
$\mathbf{b_{22}}$	0.970	0.216	0.116	0.077
$\mathbf{b_{12}}$	0.797	0.061	0.194	0.628

F75LD : formulation 75% lait de dromadaire et 25% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM: agent coagulant microbien

II.1.2.1.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F75LD

Les graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 23.

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 23 et tableau 23), un temps de floculation de la formulation F75LD est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=5.85, X2=42°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=5.92, X2=38.96°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=5.72, X2=37.39°C]** pour la pepsine de poulet,
- **[X1=5, X2= 42°C]** pour l'agent coagulant microbien.

D'après l'optimisation des paramètres de la floculation du lait en mélange à forte proportion de lait de dromadaire, nous remarquons que la formulation F75LD demande un pH optimum supérieure à 5 et une température optimale supérieure à 37°C pour la plupart des enzymes coagulantes testées.

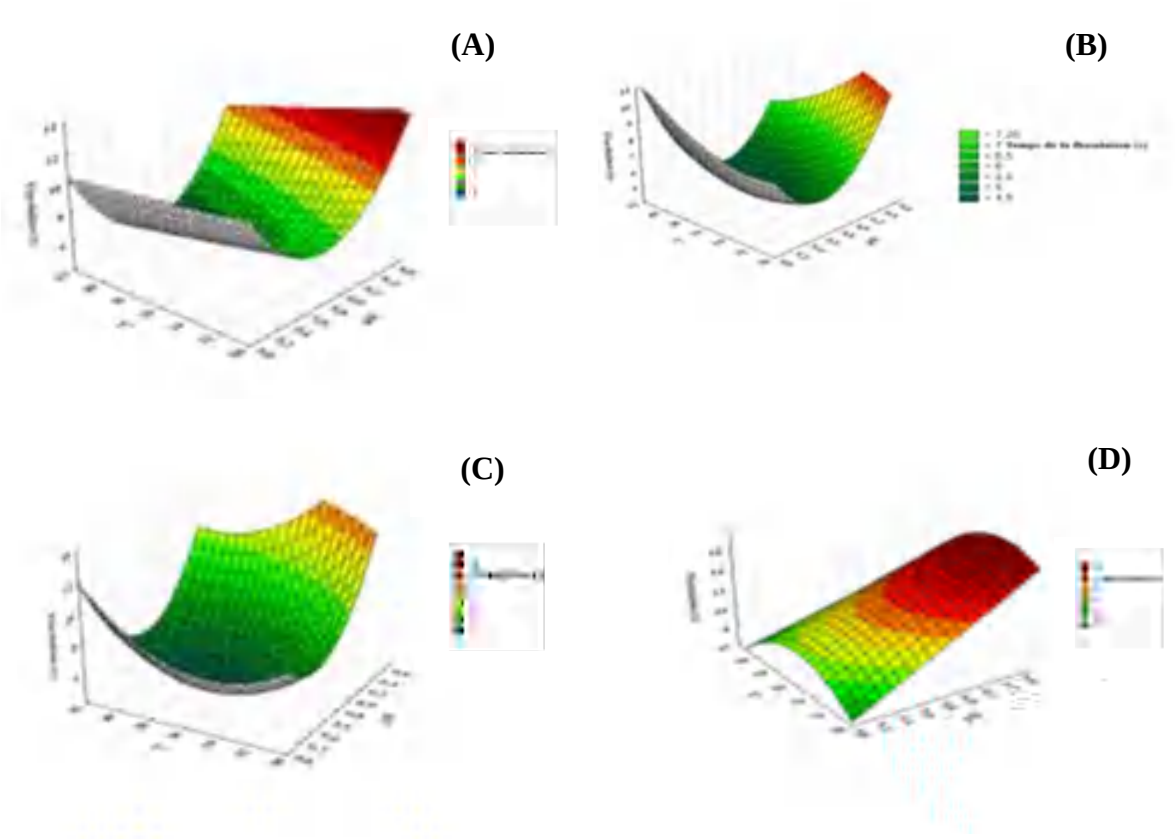


Figure 23: Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F75LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

II.1.2.2 Optimisation des paramètres de la floculation de la formulation F50LD

II.1.2.2.1 Temps de réponse de la floculation de la formulation F50LD

Le tableau 26 présente le temps de floculation de la formulation F50LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Les résultats montrent que la floculation du mélange lait de dromadaire/lait de chèvre (F50LD) avec la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet a pris un temps maximal de 19±0.04s, 16±0.01s et 15±0.01s respectivement au même couple [pH 6.7 /T° 36°C]. Alors que, l'agent coagulant microbien a réagi avec la formulation F50LD dans un temps maximal de 16.57±0.00s à un couple différent (pH 6.45/ T° 31.76°C). En ce qui concerne le temps minimal de la floculation, les résultats montrent qu'il est entre 4 et 5 s selon les enzymes coagulantes pour la formulation F50LD.

Tableau 26 : Temps de floculation de la formulation F50LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			Formulation F50LD			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	**5±0.01**	6±0.04	6±0.00	9.5±0.02
02	6.7	36	**19±0.04**	**16±0.01**	**15±0.01**	9.06±0.03
03	5.85	42	6±0.03	5±0.02	9±0.02	8.52±0.01
04	5.85	30	11±0.01	8±0.00	7±0.00	12.45±0.03
05	5	36	8±0.02	8±0.00	7±0.04	**4.11±0.02**
06	5.85	36	6±0.02	6±0.03	**5±0.02**	6.95±0.01
07	5.85	36	7±0.00	6±0.04	6±0.01	8.26±0.03
08	5.25	31.76	8±0.00	9±0.04	7±0.04	8.73±0.00
09	5.85	36	**5±0.04**	6±0.02	8±0.00	7.2±0.04
10	6.45	40.24	10±0.04	6±0.01	12±0.00	7.59±0.00
11	5.85	36	**5±0.03**	6±0.01	8±0.03	7.77±0.00
12	5.25	40.24	8±0.02	**4±0.00**	8±0.04	5.61±0.01
13	6.45	31.76	16±0.02	10±0.04	9±0.02	**16.57±0.00**

F50LD : formulation 50% lait de dromadaire et 50% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

II.1.2.2.2 Modélisation statistique du temps de floculation de la formulation F50LD

Le tableau 27 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec la formulation F50LD ainsi que leur régression (R^2).

Les résultats montrent la capacité de la formulation F50LD à la floculation avec les enzymes coagulantes testées. Nous observons que la formulation F50LD flocule mieux avec la présure cameline (meilleure régression : R^2 96.62%) qu'avec la pepsine de poulet, la présure caprine et l'agent coagulant microbien.

Tableau 27 : Régression et équation des réponses de la floculation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Floculation	PD	96.62%	Y=322.6-97.5**pH**-2.25**T**+10.6**pH²** +0.0738**T²**-0.590**pHxT**	1
Formulation F50LD	PCP	82.64%	Y=222.1-78.1**pH** +0.60**T**+6.93**pH²**	1
	PP	86.83%	Y=258-70.8**pH**+5,.5**pH²**	0.91
	ACM	86.2%	Y=-64.3+40.9**pH** -2.67**T**+0.0806 **T²**	1

F50LD : formulation 50% lait de dromadaire et 50% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R² : régression, d : désirabilité

Le tableau 28 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes.

Tableau 28 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes

	-*P*- Formulation F50LD			
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
b_0	0.000	0.013	0.005	0.006
b_1	**0.000**	**0.019**	**0.002**	**0.006**
b_2	**0.003**	**0.026**	0.100	**0.005**
b_{11}	**0.000**	**0.005**	**0.004**	0.445
b_{22}	**0.012**	0.707	0.271	**0.035**
b_{12}	**0.024**	0.773	0.458	0.063

F50LD : formulation 50% lait de dromadaire et 50% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Selon le tableau 28, le temps de floculation de la formulation F50LD avec la présure cameline est sensible à la variation du pH (effet linéaire et quadratique, $p<0.05$) et à la variation de la température (effet linéaire et quadratique) et aussi à l'interaction entre le pH et la température ($p<0.05$).

En ce qui concerne la présure caprine, la floculation est influencée par le pH (effet linéaire et quadratique) ($p<0.05$) et par la température (effet linéaire) ($p<0.05$). De plus, la floculation avec la pepsine de poulet présente un effet seulement avec le pH (effet linéaire et quadratique). Pour l'agent coagulant microbien, il y a un effet linéaire du pH et un effet linéaire et quadratique de la température ($p<0.05$).

II.1.2.2.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F50LD

Les graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 24.

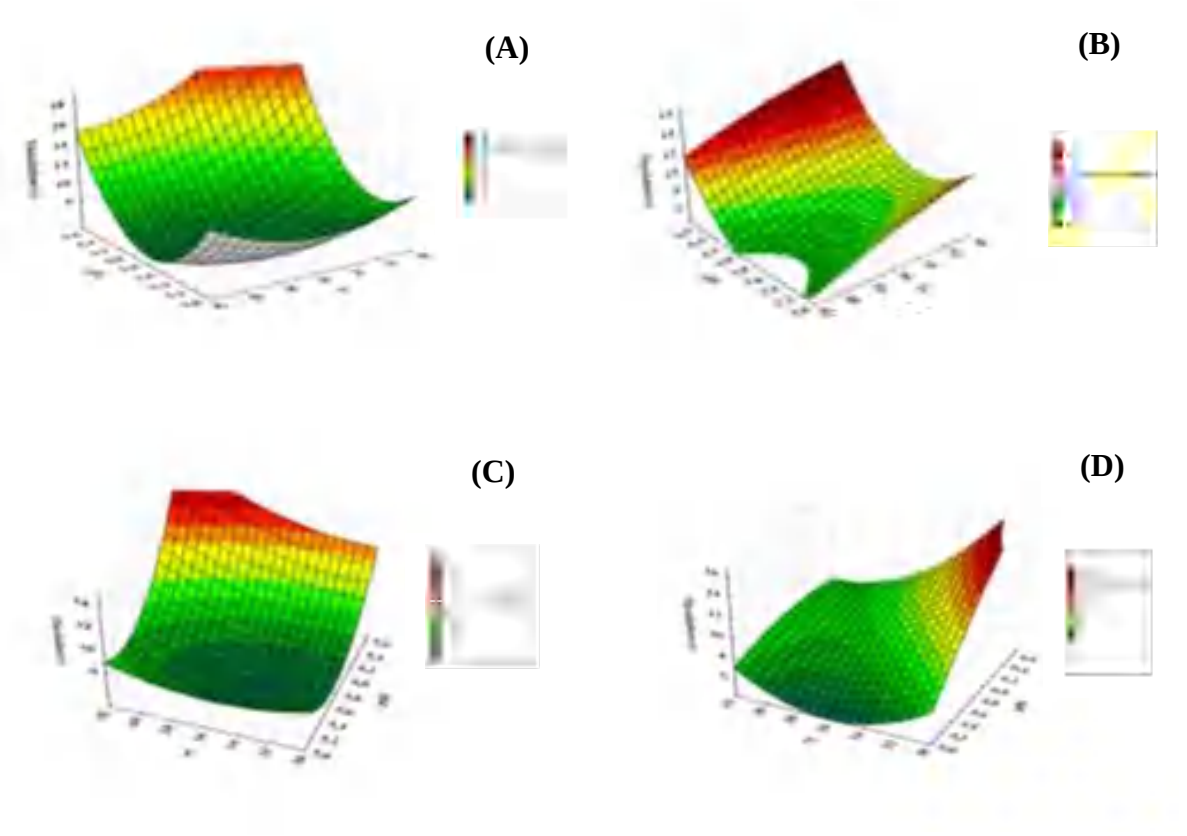


Figure 24: Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F50LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 24 et tableau 26), un temps de floculation de la formulation F50LD est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=5.65, X2=37.87°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=5.63, X2=42°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=5.56, X2=33.75°C]** pour la pepsine de poulet
- **[X1=5, X2= 35.81°C]** pour l'agent coagulant microbien.

En terme de la floculation du lait de dromadaire, nous remarquons un effet de l'ajout du lait de chèvre au lait de dromadaire en quantité égale. Dans ce sens, le pH optimum de la floculation augmente pour les enzymes coagulantes d'origine animale comparativement à celle du lait de dromadaire seule. De plus, la température change différemment entres les enzymes testées.

II.1.2.3 Optimisation des paramètres de la floculation de la formulation F25LD

II.1.2.3.1 Temps de réponse de la floculation de la formulation F25LD

Le tableau 29 présente le temps de floculation de la formulation F25LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Tableau 29 : Temps de floculation de la formulation F25LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			**Formulation F25LD**			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	6±0.02	8±0.04	6±0.04	7.85±0.00
02	6.7	36	**22±0.02**	**20±0.04**	6±0.02	16.69±0.00
03	5.85	42	5±0.03	**5±0.03**	6±0.00	**6.6±0.01**
04	5.85	30	13±0.01	10±0.02	6±0.01	16.31±0.03
05	5	36	7±0.01	8±0.04	7±0.00	7.48±0.02
06	5.85	36	8±0.04	**5±0.04**	8±0.03	9.6±0.04
07	5.85	36	**4±0.04**	7±0.02	8±0.04	9.33±0.04
08	5.25	31.76	8±0.03	**5±0.01**	**9±0.03**	13.3±0.02
09	5.85	36	8±0.03	**5±0.00**	6±0.04	9.31±0.00
10	6.45	40.24	9±0.00	8±0.00	7±0.04	6.67±0.02
11	5.85	36	7±0.02	6±0.00	6±0.04	10.01±0.02
12	5.25	40.24	6±0.04	**5±0.01**	**5±0.00**	9.89±0.03
13	6.45	31.76	18±0.03	9±0.02	6±0.03	**21.04±0.00**

F25LD : formulation 25% lait de dromadaire et 75% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

D'après le tableau 29, la présure cameline et la présure caprine floculent le lait de la formulation F25LD dans un temps maximal de 22±0.02s et de 20±0.04s respectivement au même couple [pH 6.7 ; T° 36°C]. Alors que, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

floculent à des couples différents qui sont [pH 5.25/ T° 31.76°C] et [pH 6.45/ T° 31.76°C]. Cependant, les temps minimaux de floculation enregistrés étaient de 4±0.04s pour la présure cameline, de 5±0.00s pour la présure caprine et la pepsine de poulet et de 6.6±0.01s pour l'agent coagulant microbien.

II.1.2.3.2 Modélisation statistique du temps de floculation de la formulation F25LD

Le tableau 30 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec la formulation F25LD ainsi que leur régression (R^2).

Tableau 30 : Régression et équation des réponses de la floculation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Floculation	PD	92.83%	Y=243-84.1**pH**+0.05**T**+9.91**pH²**	0.99
Formulation F25LD	PCP	71.95%	Y=215-85.6**pH** +8.05**pH²**	1
	PP	57.25%	Y=0.491**pHxT**	1
	ACM	95.18%	**Y=**30.5-6.8**pH**+0.22**T**+4.31**pH²**+0.0739**T²**-1.104 **pHxT**	1

F25LD : formulation 25% lait de dromadaire et 75% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R² : régression, d : désirabilité

D'après les résultats obtenus, l'agent coagulant microbien et la présure cameline ont bien réagi sur le lait de mélange de la formulation F25LD (R^2 95.18%) et (R^2 92.83%) respectivement. Ceci peut être expliqué par la différence de l'affinité entre les enzymes coagulantes testées et la forte proportion du lait de chèvre dans le mélange qui a une aptitude coagulante bien différente de celle de dromadaire.

Le tableau 31 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes.

Les résultats montrent que la floculation de la formulation F25LD est influencée par la variation du pH (effet linéaire et quadratique) dont ($p<0.05$) avec la présure cameline et caprine. Aussi, l'effet linéaire de la température est enregistré avec la présure cameline. Alors que, la floculation avec l'agent coagulant microbien est significativement sensible à la variation du pH, de la température et l'interaction entre les deux paramètres.

Tableau 31 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la floculation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes

	-*P*- Formulation F25LD			
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
$\mathbf{b_0}$	0.001	0.063	0.217	0.000
$\mathbf{b_1}$	**0.000**	**0.020**	0.403	**0.001**
$\mathbf{b_2}$	**0.004**	0.345	0.306	**0.000**
$\mathbf{b_{11}}$	**0.001**	**0.030**	0.946	**0.016**
$\mathbf{b_{22}}$	0.276	0.756	0.474	**0.026**
$\mathbf{b_{12}}$	0.101	0.864	**0.035**	**0.002**

F25LD : formulation 25% lait de dromadaire et 75% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

II.1.2.3.3 Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F25LD

Les graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 25.

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 30 et tableau 28), un temps de floculation de la formulation F25LD est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=5.69, X2=42°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=5.58, X2=42°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=5, X2=42°C]** pour la pepsine de poulet,
- **[X1=6.16, X2= 42°C]** pour l'agent coagulant microbien.

D'après l'optimisation des paramètres de la floculation du lait en mélange dominé par le lait de chèvre, le pH optimum varie selon la nature de l'enzyme coagulante. Concernant la température, la formulation 25LD nécessite une température élevée qui est 42°C avec toutes les enzymes coagulantes.

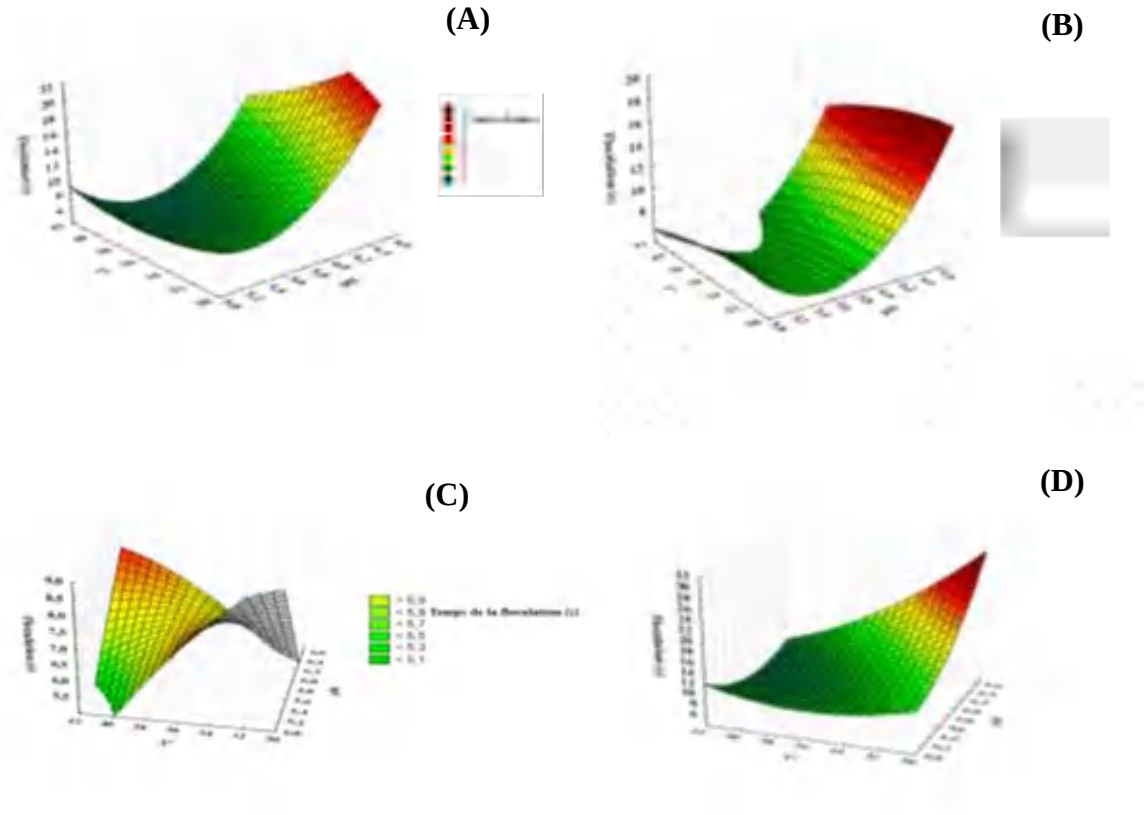


Figure 25: Graphiques de surface de réponse de la floculation de la formulation F25LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

A titre comparatif et selon l'ensemble des résultats de floculation suscités, nous pouvons conclure que :

1. Pour le paramètre pH optimum :

- La plupart des enzymes coagulantes d'origine animale testées ont besoin d'un pH supérieur à 5.5 pour la floculation des différentes formulations du lait de dromadaire et du lait de chèvre.
- Pour la formulation à forte proportion de lait de chèvre, la pepsine de poulet nécessite un pH de 5 alors que l'agent coagulant microbien demande un pH supérieur à 6.

2. Pour le paramètre de la température optimale :

- La présure cameline a réagi d'une manière très proche à celle de l'agent coagulant microbien avec les différentes formulations de mélange de lait,
- La présure caprine agit mieux sur un lait chauffé à 42 °C dans les mélanges contenant 50 à 75 % de lait de chèvre,

- La pepsine de poulet nécessite une température inférieure à 37°C pour floculer le lait contenant 75 ou 50 % de lait de dromadaire.

II.2 Optimisation des paramètres de la coagulation

Dans cette partie, nous visons l'étude de l'optimisation des paramètres de la coagulation (pH et température) des différents types de lait (lait de dromadaire, lait de chèvre, lait de vache) d'un côté, et d'autre coté, l'étude de la coagulation des différentes formulations du lait de dromadaire et du lait de chèvre en mélange.

II.2.1 Optimisation des paramètres de la coagulation des laits seuls

L'optimisation de la coagulation des laits seuls est présentée par ordre avec le lait de dromadaire, le lait de chèvre et le lait de vache.

II.2.1.1 Optimisation des paramètres de la coagulation du lait de dromadaire

II.2.1.1.1 Temps de réponse de la coagulation du lait de dromadaire

Le tableau 32 présente le temps de la coagulation du lait de dromadaire avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Les résultats montrent que la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien réagissent avec le lait de dromadaire et donnent un temps de coagulation maximal de (248±0.04s), (196±0.04s), (198±0.03s) et (61.09±0.02s) respectivement à différents couples de pH et température. D'autre part, la coagulation du lait de dromadaire était remarquablement pris un temps minimal de (11.37±0.01s) avec l'agent coagulant microbien à [pH 6.45/ T° 31.76°C].

Pour toutes les enzymes coagulantes testées, la coagulation du lait de dromadaire ne dépasse pas 15 minutes, ce qui concorde avec le seuil préconisé pour les enzymes coagulantes du lait de vache selon **Ramet (1997)**.

Tableau 32 : Temps de la coagulation du lait de dromadaire avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			Lait de dromadaire			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	159±0.00	115±0.02	112±0.02	28.12±0.02
02	6.7	36	226±0.02	**196±0.04**	**197±0.04**	36±0.00
03	5.85	42	115.8±0.00	100±0.04	85±0.02	21.27±0.03
04	5.85	30	168±0.01	124±0.04	115±0.02	25.17±0.03
05	5	36	103.8±0.00	79.8±0.00	**59±0.04**	19.38±0.02
06	5.85	36	73±0.02	86±0.04	143±0.04	36.35±0.01
07	5.85	36	88±0.02	94±0.02	107±0.04	28±0.03
08	5.25	31.76	124±0.02	120±0.00	112±0.02	**61.09±0.02**
09	5.85	36	94±0.02	93±0.03	119±0.02	32.56±0.00
10	6.45	40.24	149±0.04	156±0.00	174±0.00	32.13±0.00
11	5.85	36	121.2±0.02	**76±0.02**	132±0.00	30±0.02
12	5.25	40.24	**60±0.01**	**76±0.02**	96±0.00	31.18±0.03
13	6.45	31.76	**248±0.04**	186±0.03	**198±0.03**	**11.37±0.01**

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien.

II.2.1.1.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation du lait de dromadaire

Le tableau 33 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec le lait de dromadaire ainsi que leur régression (R^2).

Selon le tableau 33, une meilleure régression de la coagulation du lait de dromadaire est observée avec la présure caprine avec (R^2 93.64%), suivie par la pepsine de poulet, la présure cameline et l'agent coagulant microbien.

Tableau 33 : Régression et équation des réponses de la coagulation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Coagulation	PD	84.36%	Y=2826-668**pH**-48.6**T**+74.5**pH²**	0.90
Lait de dromadaire	PCP	93.64%	Y=3348-793**pH** 59.3**T**+69.1**pH²**	1
	PP	85.92%	Y=504-263**pH**	0.97
	ACM	50.31%	Y=1089+4.94**pHxT**	1

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R² : régression, d : désirabilité

Le tableau 34 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes.

Tableau 34 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes

-*P*- Lait de dromadaire				
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
$\mathbf{b_0}$	0.010	0.000	0.035	0.325
$\mathbf{b_1}$	**0.002**	**0.000**	**0.003**	0.504
$\mathbf{b_2}$	**0.024**	**0.025**	0.518	0.647
$\mathbf{b_{11}}$	**0.045**	**0.002**	0.242	0.881
$\mathbf{b_{22}}$	0.205	0.050	0.882	0.782
$\mathbf{b_{12}}$	0.566	0.617	0.451	**0.044**

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

D'après les résultats du tableau 34, on a enregistré un effet linéaire et quadratique du pH et un effet linéaire de la température avec ($p<0.05$), qui sont observés avec la présure cameline et la présure caprine. De Plus, la coagulation du lait de dromadaire est influencée seulement par le pH (effet linéaire) avec la pepsine de poulet, et par l'interaction du pH et de la température avec l'agent coagulant microbien.

II.2.1.1.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de dromadaire

Les graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de dromadaire avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 26.

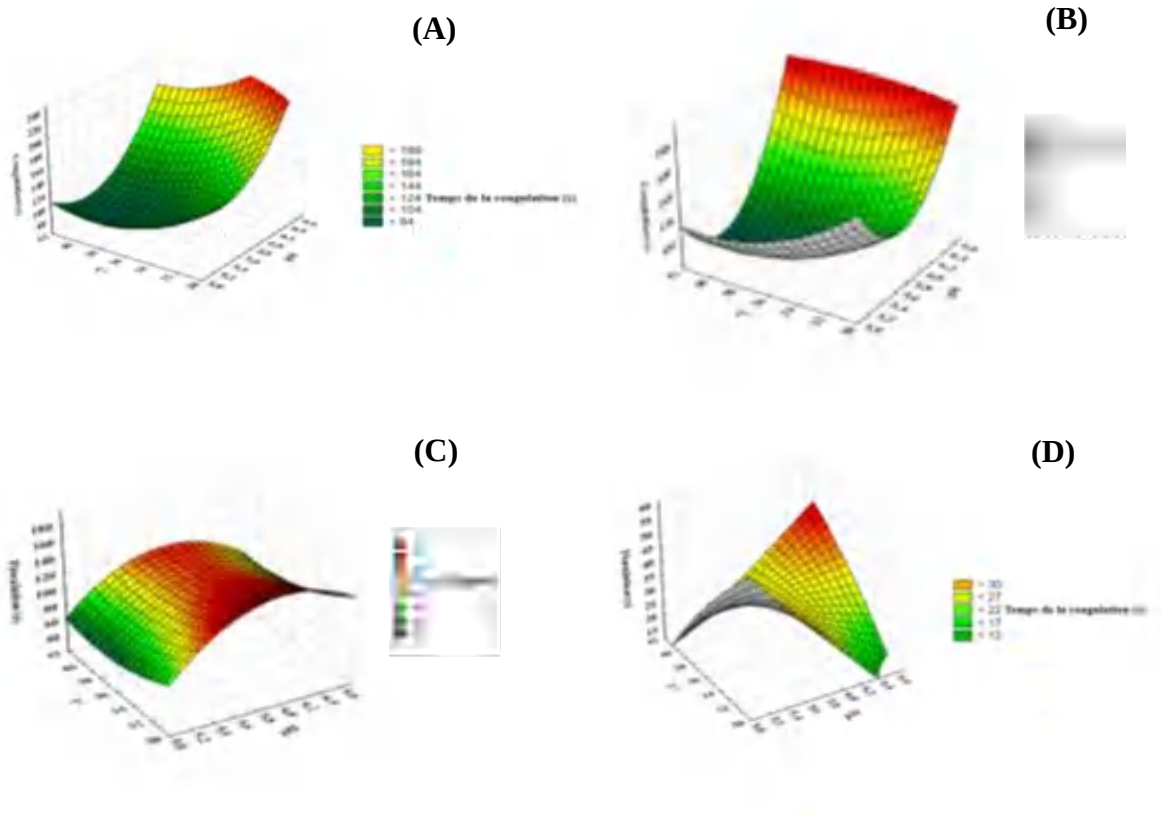


Figure 26: Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de dromadaire avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 26 et tableau 32), un temps de coagulation du lait de dromadaire est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=5.37, X2=39.09°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=5.36, X2=38.84°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=5, X2=42°C]** pour la pepsine de poulet,
- **[X1=6.7, X2= 30°C]** pour l'agent coagulant microbien.

La coagulation optimale du lait de dromadaire demande un pH faible entre 5 et 5.3 et un léger chauffage entre 38°C et 42°C avec les enzymes coagulantes d'origine animales. Alors

que, l'agent coagulant microbien nécessite un pH ne dépasse pas 6.7 et une température minimale qui est 30°C pour la coagulation.

II.2.1.2 Optimisation des paramètres de la coagulation du lait de chèvre

II.2.1.2.1 Temps de réponse de la coagulation du lait de chèvre

Le tableau 35 présente le temps de la coagulation du lait de chèvre avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Tableau 35 : Temps de la coagulation du lait de chèvre avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			**Lait de chévre**			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	66±0.04	71±0.04	54±0.03	17.82±0.00
02	6.7	36	**349±0.02**	**903±0.00**	87±0.01	22.86±0.01
03	5.85	42	70±0.02	60±0.00	36±0.02	19.03±0.01
04	5.85	30	111±0.03	178±0.02	43±0.04	14.96±0.03
05	5	36	**11±0.04**	60±0.00	30±0.00	16.82±0.02
06	5.85	36	117±0.00	118±0.02	45±0.04	13.93±0.04
07	5.85	36	105±0.04	108±0.00	24±0.00	16.96±0.03
08	5.25	31.76	90±0.00	132±0.01	43±0.02	17.18±0.00
09	5.85	36	171±0.01	127±0.02	37±0.02	16.53±0.00
10	6.45	40.24	160±0.03	336±0.00	18±0.00	**23.53±0.01**
11	5.85	36	117±0.00	112.8±0.00	**14±0.04**	21.5 ±0.03
12	5.25	40.24	63±0.01	**7±0.02**	15±0.04	**13.06±0.04**
13	6.45	31.76	222±0.00	266.4±0.00	**120±0.01**	21.74±0.04

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Selon le tableau 35, on a enregistré un temps de coagulation maximal avec la présure cameline et la présure caprine de (349±0.02s) et (903±0.00s) respectivement au même couple de pH et de température [pH 6.7 ; T° 36]. La pepsine de poulet a réagi dans un temps maximal de (120±0.01s) à [pH 6.45 ; T° 31.76]. De Plus, la coagulation du lait de dromadaire a pris un temps maximal de (23.53±0.01s) avec l'agent coagulant microbien à un couple différent. D'autre coté, on a observé un temps de coagulation du lait de dromadaire le plus minimal avec la présure caprine qui était de (7±0.02s) à [pH 5.25 ; T° 40.24].

II.2.2.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation du lait de chèvre

Le tableau 36 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec le lait de chèvre ainsi que leur régression (R^2).

Tableau 36 : Régression et équation des réponses de la coagulation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Coagulation	PD	84.71%	Y=807-767**pH**	0.97
	PCP	85.10%	Y=15742-5480**pH**+439**pH²**	1
Lait de chèvre	PP	73.91%	Y=-250-89**pH**+29**T**	1
	ACM	66.45%	Y= 216-8.1**pH**	0.96

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R^2 : régression, d : désirabilité

D'après le tableau 36, on a remarqué que le lait de chèvre a réagi bien avec la présure caprine et la présure cameline (R^2 85.10%) et (R^2 84.71%) respectivement que la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Le tableau 37 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes.

Selon les résultats, la coagulation du lait de chèvre est sensible à la variation du pH (effet linéaire) et (P<0.05) avec la présure cameline, l'agent coagulant microbien et la présure caprine (effet linéaire et quadratique). Alors que, celle de la pepsine de poulet, la coagulation est influencée par le changement de pH (effet linéaire) et de la température (effet linéaire).

Tableau 37 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes

-*P*- Lait de chèvre				
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
b_0	0.009	0.008	0.050	0.108
b_1	**0.001**	**0.002**	**0.026**	**0.015**
b_2	0.275	0.523	**0.044**	0.603
b_{11}	0.096	**0.009**	0.164	0.228
b_{22}	0.470	0.624	0.766	0.843
b_{12}	0.702	0.433	0.108	0.272

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

II.2.2.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de chèvre

Les graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de chèvre avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 27.

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 27 et tableau 35), un temps de coagulation du lait de chèvre est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=5.13, X2=42°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=5.32, X2=42°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=6.01, X2=42°C]** pour la pepsine de poulet,
- **[X1=5, X2= 42°C]** pour l'agent coagulant microbien.

Selon les résultats de l'optimisation, le pH optimum de la coagulation du lait de chèvre varie entre 5 et 6 selon l'enzyme coagulante. De plus, ces enzymes coagulantes testées demandent une température qui est 42°C pour donner un temps optimal de la coagulation du lait de chèvre.

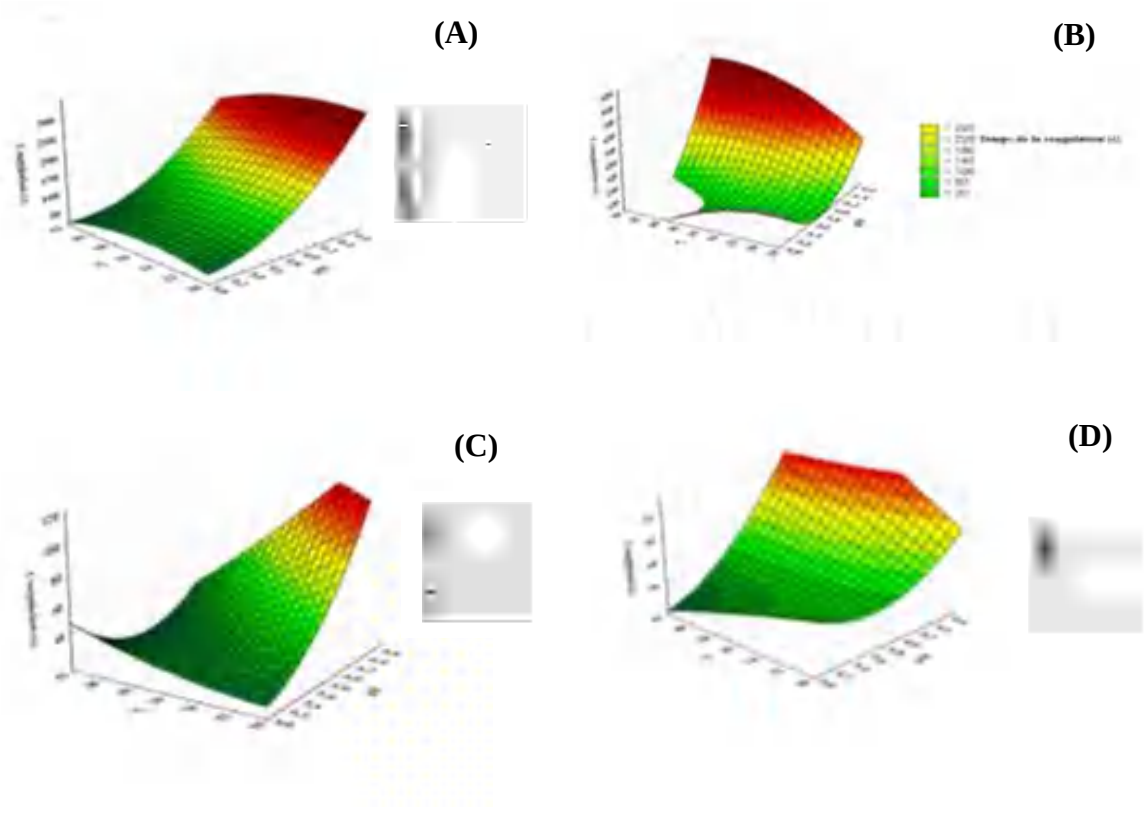


Figure 27: Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de chèvre avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

II.2.1.3 Optimisation des paramètres de la coagulation du lait de vache

II.2.1.3.1 Temps de réponse de la coagulation du lait de vache

Le tableau 38 présente le temps de la coagulation du lait de vache avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Selon les résultats obtenus, la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet ont coagulé le lait de vache dans un temps maximal avec le même couple de pH et de température qui est [pH 6.7 ; T° 36°C]. Pour l'agent coagulant microbien, le temps maximal de la coagulation est observé à un couple différent qui est [pH 6.45 ; T° 31.76°C].

En ce qui concerne le temps minimal de la coagulation, la présure cameline a pris le temps le plus élevée qui est 51s. De plus, la présure caprine et la pepsine de poulet peuvent coaguler le lait de vache dans un temps de 9s, ceci est proche de celle observé avec l'agent coagulant microbien qui est 7s.

Tableau 38 : Temps de la coagulation du lait de vache avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			Lait de vache			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	60±0.01	12±0.00	51±0.01	25.33±0.01
02	6.7	36	**313±0.02**	**603±0.01**	**348±0.01**	14±0.04
03	5.85	42	60±0.02	66±0.00	22.8±0.00	13.9±0.00
04	5.85	30	72±0.01	**9±0.01**	54±0.03	27.06±0.01
05	5	36	72±0.00	66±0.03	99±0.02	**7.98±0.02**
06	5.85	36	64±0.03	21±0.02	54±0.00	22.71±0.00
07	5.85	36	59±0.04	42±0.00	**9±0.04**	16.64±0.02
08	5.25	31.76	77±0.04	15±0.01	48±0.00	31.87±0.02
09	5.85	36	63±0.00	12±0.02	**9±0.03**	13.8±0.03
10	6.45	40.24	189±0.01	99±0.00	21±0.01	17.15±0.01
11	5.85	36	57±0.00	**9±0.03**	**9±0.02**	10.16±0.04
12	5.25	40.24	**51±0.01**	11±0.04	24.6±0.04	15.59±0.02
13	6.45	31.76	120±0.04	289±0.01	194±0.02	**34.27±0.03**

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

II.2.1.3.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation du lait de vache

Le tableau 39 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec le lait de vache ainsi que leur régression (R^2).

Selon le tableau 39, une meilleure régression est observée avec la présure cameline (R^2 93.41%), suite avec la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien respectivement.

Tableau 39 : Régression et équation des réponses de la coagulation du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Coagulation **Lait de vache**	PD	93.41%	Y=6983-2204**pH**+168.9**pH²**	1
	PCP	87.56%	Y=7109-3553**pH**+379.9**pH²**	1
	PP	84.41%	Y=3909-2086**pH**+232.3**pH²**	1
	ACM	59.10%	Y=178-15**T**	0.86

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R^2 : régression, d : désirabilité

Le tableau 40 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes.

Tableau 40 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes

-*P*- Lait de vache				
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
b_0	0.001	0.005	0.010	0.192
b_1	**0.000**	**0.001**	**0.010**	0.592
b_2	0.726	0.626	0.133	**0.034**
b_{11}	**0.000**	**0.002**	**0.003**	0.706
b_{22}	0.821	0.716	0.662	0.190
b_{12}	0.101	0.275	0.179	0.864

PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Les résultats mentionnées dans le tableau 40, montrent que la coagulation du lait de vache avec toutes les extraits enzymatiques testés sont influencés par la variation du pH seulement (effet linéaire et quadratique) avec ($p<0.05$). Concernant l'agent coagulant microbien, la coagulation du lait de vache est sensible seulement avec la variation de la température (effet linéaire).

II.2.1.3.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de vache

Les graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de vache avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 28.

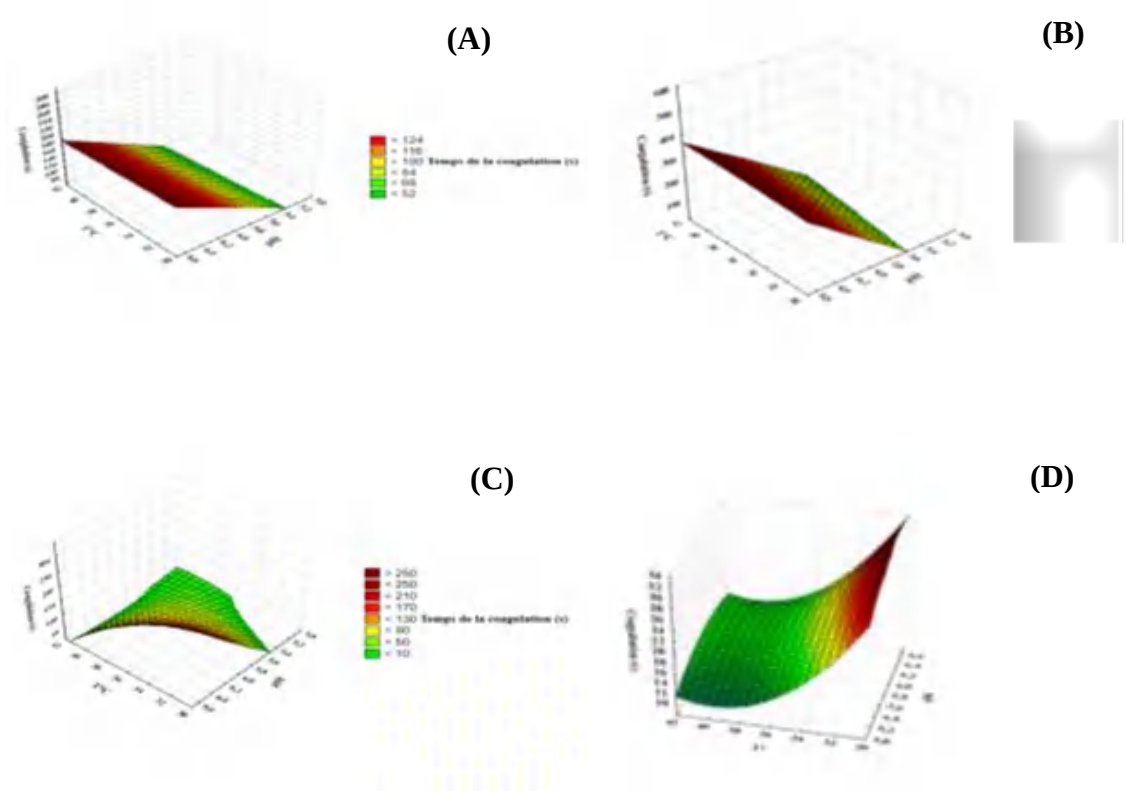


Figure 28: Graphiques de surface de réponse de la coagulation du lait de vache avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 28 et tableau 38), un temps de coagulation du lait de vache est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=5.36, X2=42°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=5.39, X2=30°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=5.82, X2=42°C]** pour la pepsine de poulet,
- **[X1=5, X2= 39.09°C]** pour l'agent coagulant microbien.

Nous remarquons que la coagulation optimale du lait de vache demande un pH entre 5 et 5.8 selon l'enzyme coagulante. Concernant la température, il apparait que la présure caprine

nécessite une température minimale du lait de vache qui est 30°C pour une meilleure coagulation.

II.2.2 Optimisation des paramètres de la coagulation du mélange des laits

L'optimisation de la coagulation du mélange des laits est présentée par ordre avec la formulation F75LD, la formulation F50LD et la formulation F25LD.

II.2.2.1 Optimisation des paramètres de la coagulation de la formulation F75LD

II.2.2.1.1 Temps de réponse de la coagulation de la formulation F75LD

Le tableau 41 présente le temps de la coagulation de la formulation F75LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

Tableau 41 : Temps de la coagulation de la formulation F75LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			**Formulation F75LD**			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	82±0.04	52±0.00	33±0.02	16.09±0.00
02	6.7	36	86±0.00	135±0.01	120±0.01	13.98±0.01
03	5.85	42	66±0.01	43±0.00	48±0.03	14±0.00
04	5.85	30	115±0.02	80±0.03	105±0.01	32.15±0.02
05	5	36	**180±0.03**	240±0.00	155±0.02	22.54±0.03
06	5.85	36	78±0.04	**39±0.02**	33±0.04	19.22±0.01
07	5.85	36	60±0.04	60±0.03	36±0.01	21.41±0.01
08	5.25	31.76	158±0.00	**244±0.04**	**180±0.00**	29.85±0.04
09	5.85	36	65±0.00	46±0.02	35±0.01	19.26±0.04
10	6.45	40.24	**55±0.02**	64±0.01	105±0.02	14.96±0.00
11	5.85	36	74±0.01	53±0.00	**30±0.00**	**13.52±0.00**
12	5.25	40.24	162±0.03	120±0.03	135±0.01	22.28±0.02
13	6.45	31.76	108±0.00	180±0.00	104±0.02	**36.98±0.03**

F75LD : formulation 75% lait de dromadaire et 25% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Les résultats présentés dans le tableau 41 montrent que la formulation F75LD se coagule dans un temps maximal qui était de 244±0.04s enregistré avec la présure caprine, suivi par la

présure cameline et la pepsine de poulet qui était 180s. Cependant, la coagulation du lait en mélange à forte proportion en lait de dromadaire avec l'agent coagulant microbien a pris juste un temps maximal de 36.98±0.03s.

De plus, la prise du lait et la coagulation de la formulation F75LD était rapidement observée dans un temps entre 55±0.02s avec la présure cameline et 13.52±0.00s avec l'agent coagulant microbien. Ces résultats peuvent être justifiés par l'influence de la forte proportion en lait de dromadaire dans le mélange sur la plupart des enzymes coagulantes. Ces dernières ont pris beaucoup du temps dans la coagulation du lait comparativement aux résultats de la coagulation de la formulation F50LD.

II.2.2.1.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation de la formulation F75LD

Le tableau 42 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec la formulation F50LD ainsi que leur régression (R^2).

Tableau 42 : Régression et équation des réponses de la coagulation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Coagulation	PD	97.10%	Y=3322-923**pH**-17.2**T**+91**pH²**+0.646**T²**-5.60**pHxT**	1
Formulation F75LD	PCP	90.43%	Y=8934-2535**pH**-63.9**T**+160.8**pH²**	1
	PP	94.73%	Y=8796-2076**pH**-140.5**T**+209.5**pH²**+1.533**T²**	0.99
	ACM	71.52%	Y=168-8**T**+0.2177**TxT**	1

F75LD : formulation 75% lait de dromadaire et 25% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R² : régression, d : désirabilité

Selon le tableau 42, les résultats ont montré que la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet ont été bien réagies avec la formulation F75LD avec des coefficients de régression supérieurs à 90%.

Le tableau 43 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* avec les différentes enzymes coagulantes.

Tableau 43 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes

***-P-* Formulation F75LD**				
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
b_0	0.000	0.002	0.000	0.012
b_1	**0.000**	**0.016**	**0.011**	0.442
b_2	**0.003**	**0.011**	**0.027**	**0.002**
b_{11}	**0.000**	**0.000**	**0.000**	0.394
b_{22}	**0.014**	0.302	**0.003**	**0.034**
b_{12}	**0.019**	0.898	0.191	0.074

F75LD : formulation 75% lait de dromadaire et 25% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

Selon le tableau 43, la coagulation de la formulation F75LD est sensible par la variation du pH (effet linéaire et quadratique) ($P<0.05$) avec la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet, et aussi par la variation de la température (effet linéaire) avec la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet et (effet quadratique) avec la présure cameline et la pepsine de poulet. L'effet interactif du pH et de la température est observé qu'avec la présure cameline. De plus, la coagulation avec l'agent coagulant microbien est influencée qu'avec la température (effet linéaire et quadratique).

II.2.2.1.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F75LD

Les graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F75LD avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 29.

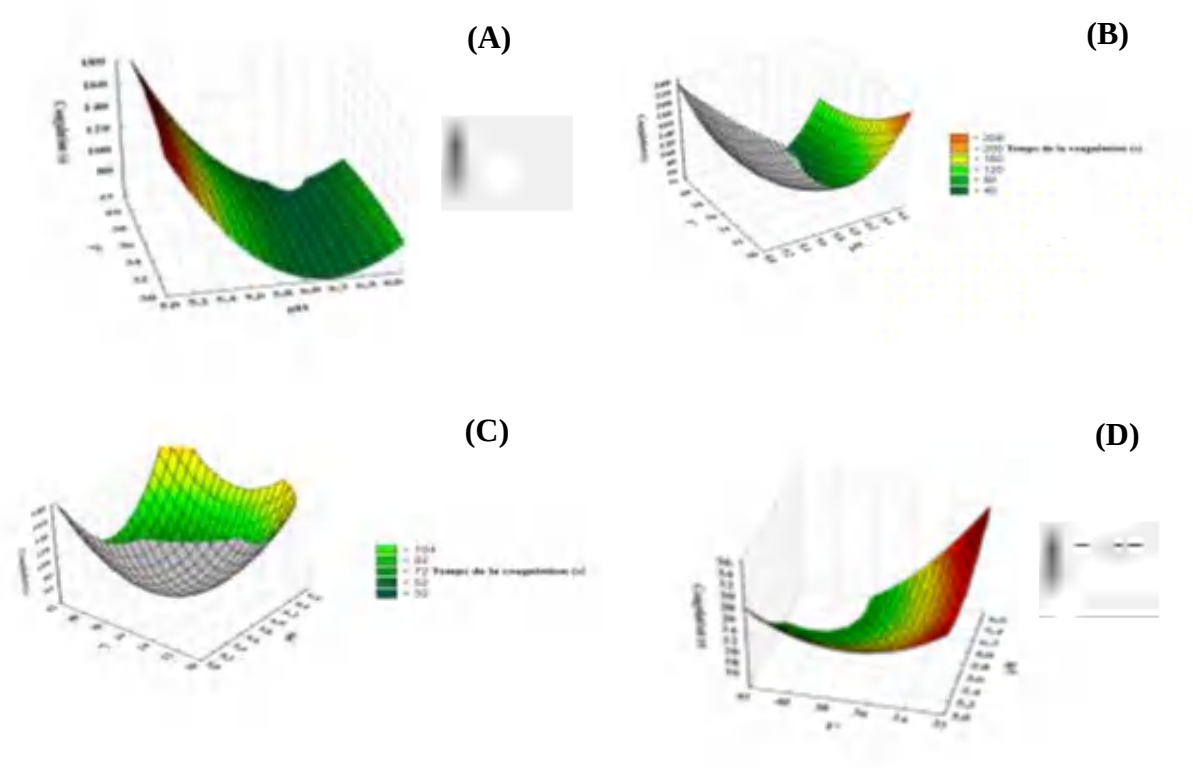


Figure 29 : Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F75LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 29 et tableau 41), un temps de coagulation de la formulation 75LD est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=6.32, X2=40.78°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=5.97, X2=42°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=5.94, X2=37.03°C]** pour la pepsine de poulet,
- **[X1=6.7, X2= 42°C]** pour l'agent coagulant microbien.

D'après les résultats de l'optimisation, En ce qui concerne le pH, nous remarquons que le lait en mélange à forte proportion en lait de dromadaire demande un pH entre 5.9 et 6.3 avec les enzymes coagulantes d'origine animale, alors que la coagulation de la formulation F75LD exige un pH 6.7 avec l'agent coagulant microbien, c'est-à-dire son acidification du lait. Pour la température, la coagulation de cette formulation prend un temps optimal à condition de faire un léger chauffage du lait à 37°c avec la pepsine de poulet, à 40°C avec la présure cameline et à 42°C avec la présure caprine et l'agent coagulant microbien.

II.2.2.2 Optimisation des paramètres de la coagulation de la formulation F50LD

II.2.2.2.1 Temps de réponse de la coagulation de la formulation F50LD

Le tableau 44 présente le temps de la coagulation de la formulation F50LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Tableau 44 : Temps de la coagulation de la formulation F50LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			**Formulation F50LD**			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	43±0.00	15±0.00	60±0.04	21.6±0.02
02	6.7	36	59±0.00	38±0.04	84±0.04	20.7±0.01
03	5.85	42	50±0.03	**13±0.01**	**13±0.01**	18.92±0.04
04	5.85	30	97±0.04	109±0.00	94±0.03	21.25±0.00
05	5	36	120±0.04	**120±0.02**	59±0.00	**13.01±0.01**
06	5.85	36	19±0.01	23±0.00	50±0.01	23.16±0.00
07	5.85	36	**15±0.00**	14±0.00	58±0.01	23±0.03
08	5.25	31.76	**180±0.03**	87±0.01	87±0.02	**31.9±0.01**
09	5.85	36	57±0.02	28±0.00	93±0.00	19.5±0.03
10	6.45	40.24	42±0.02	35±0.04	84±0.02	18.64±0.02
11	5.85	36	49±0.01	24±0.01	51±0.00	20.5±0.00
12	5.25	40.24	159±0.00	63±0.03	60±0.00	14.88±0.02
13	6.45	31.76	105±0.00	72±0.03	**95±0.01**	16.84±0.01

F50LD : formulation 50% lait de dromadaire et 50% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

D'après le tableau 44, la coagulation de la formulation F50LD était respectivement plus longue avec la présure cameline (180±0.03s), la présure caprine (120±0.02s), la pepsine de poulet (95±0.01s) et l'agent coagulant microbien (31.9±0.01s). Nous avons encore enregistré que le temps maximal de la coagulation observé avec l'agent coagulant microbien et la présure cameline étaient au même couple de pH et de température [pH 5.25 ; T° 31.76°C].

Concernant le temps minimal de la coagulation, nous avons noté que toutes les enzymes coagulantes testées ont réagi avec le mélange du lait de dromadaire en quantité égale avec le lait de chèvre dans un temps qui était entre 13s et 15s.

II.2.2.2.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation de la formulation F50LD

Le tableau 45 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec la formulation F50LD ainsi que leur régression (R^2).

Tableau 45 : Régression et équation des réponses de la coagulation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Coagulation	PD	81.19%	Y=5169-1090**pH**+100.9**pH²**+1.582**T²**	0.95
Formulation F50LD	PCP	90.51%	Y=4124-884**pH**-73.1**T**+76.7**pH²**+1.039**T²**	1
	PP	60.54%	Y=1375-14.9**T**	0.78
	ACM	75.84%	Y=174-5.69 **T**+1.392**pHxT**	1

F50LD : formulation 50% lait de dromadaire et 50% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R² : régression, d : désirabilité

Selon les résultats, une meilleure régression de la coagulation de la formulation F50LD est observé avec la présure caprine (R^2 90.51%), suivie par la présure cameline, l'agent coagulant microbien et la pepsine de poulet.

Le tableau 46 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* avec les différentes enzymes coagulantes.

Les résultats du tableau 46 montrent que la coagulation de la formulation F50LD est influencée par le pH et la température (effet linéaire et quadratique du pH et effet quadratique de la température) où (P<0.05) avec la présure cameline. Pour la présure caprine, la coagulation du lait est sensible par le changement du pH et de la température (effet linaire et quadratique du pH et de la température). Concernant la pepsine de poulet, la coagulation du lait avec cette enzyme est influencée seulement avec la température (effet linéaire). L'agent coagulant microbien est sensible par la température (effet linéaire) et l'interaction entre le pH et de la température pour la coagulation du la formulation F50LD.

Tableau 46 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes

***-P-* Formulation F50LD**				
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
$\mathbf{b_0}$	0.018	0.002	0.174	0.039
$\mathbf{b_1}$	**0.012**	**0.007**	0.265	0.586
$\mathbf{b_2}$	0.113	**0.002**	**0.029**	**0.048**
$\mathbf{b_{11}}$	**0.014**	**0.002**	0.253	0.195
$\mathbf{b_{22}}$	**0.038**	**0.013**	0.969	0.384
$\mathbf{b_{12}}$	0.498	0.677	0.696	**0.09**

F50LD : formulation 50% lait de dromadaire et 50% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

II.2.2.2.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F50LD

Les graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F50LD avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 30.

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 30 et tableau 44), un temps de coagulation de la formulation 50LD est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=6.16, X2=37.75°C]** pour la présure cameline,
- **[X1=6.09, X2=38.96°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=5.39, X2=42°C]** pour la pepsine de poulet,
- **[X1=5, X2= 42°C]** pour l'agent coagulant microbien.

D'après l'optimisation du temps de la coagulation de la formulation F50LD, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien coagule le lait en mélange en quantité égale avec un pH légèrement acide et une température maximale qui est 42°C. Tandis que, la présure cameline et la présure caprine s'activent à un pH 6 avec un léger chauffage de 37°C ou 38°C.

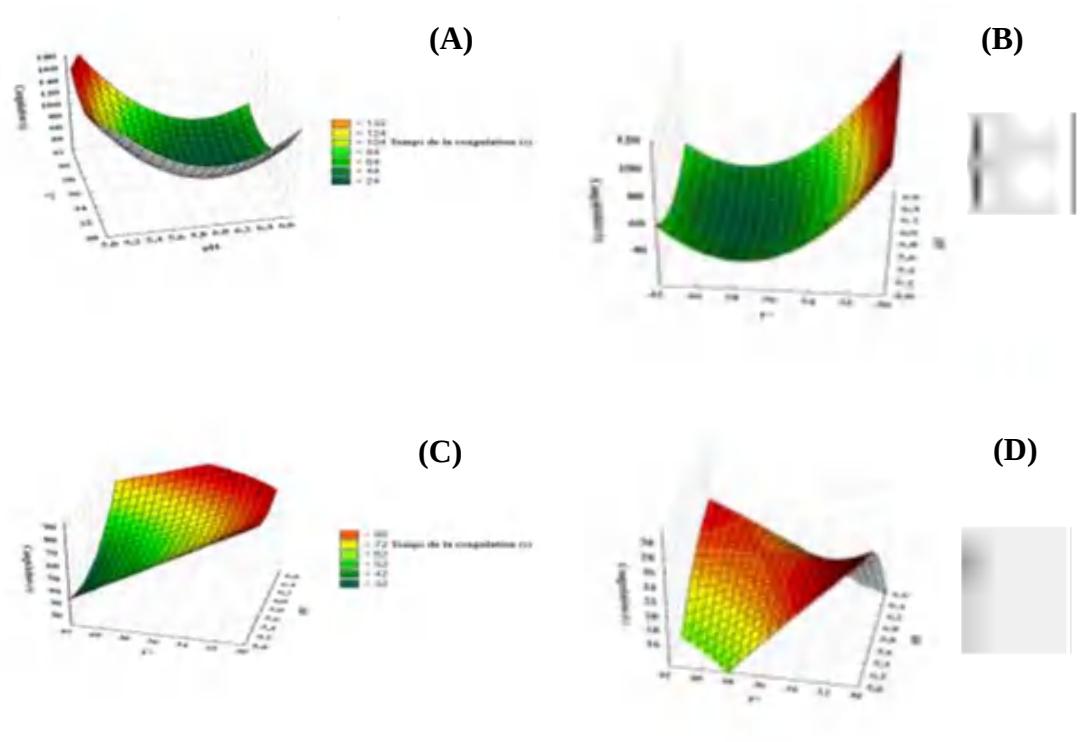


Figure 30 : Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F50LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

II.2.2.3 Optimisation des paramètres de la coagulation de la formulation F25LD

II.2.2.3.1 Temps de réponse de la coagulation de la formulation F25LD

Le tableau 47 présente le temps de la coagulation de la formulation F25LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien.

D'après les résultats du tableau 47, le temps maximal de la coagulation de la formulation F25LD était de 103±0.00s avec la présure cameline et 101±0.02s avec la présure caprine. Ces valeurs sont observées au même couple de pH et de température [pH 5 ; T° 36]. Ensuite, la présure caprine et l'agent coagulant microbien ont pris un temps de 96±0.02s et 44.6±0.03s respectivement. Le temps minimal de la coagulation avec les enzymes coagulantes était entre 7s avec la pepsine de poulet et 17s avec la présure cameline. Ces résultats obtenus montrent l'effet positif de l'ajout du lait de chèvre au lait de dromadaire dans le sens de minimiser le temps de la coagulation. Cet effet est observé avec toutes les enzymes coagulantes.

Tableau 47 : Temps de la coagulation de la formulation F25LD avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien

Valeurs non codées			Formulation F25LD			
			PD	**PCP**	**PP**	**ACM**
Essai	**pH**	**T°**	Temps (s)			
01	5.85	36	18±0.03	14±0.01	15±0.00	37.56±0.00
02	6.7	36	54±0.04	54±0.03	19±0.00	37.88±0.01
03	5.85	42	44±0.01	15±0.04	**7±0.03**	17.43±0.03
04	5.85	30	57±0.02	15±0.04	16±0.02	35.89±0.03
05	5	36	**103±0.00**	**101±0.02**	87±0.02	31.36±0.04
06	5.85	36	36±0.01	11±0.03	19±0.04	37.91±0.02
07	5.85	36	38±0.02	10±0.02	20±0.00	32.82±0.02
08	5.25	31.76	110±0.02	32±0.00	75±0.00	39.98±0.02
09	5.85	36	43±0.02	**9±0.02**	23±0.01	43.35±0.01
10	6.45	40.24	110±0.02	16±0.01	18±0.00	17.54±0.00
11	5.85	36	**17±0.02**	18±0.01	17±0.00	28.25±0.00
12	5.25	40.24	60±0.01	21±0.04	**96±0.02**	**16.17±0.00**
13	6.45	31.76	53±0.01	12±0.00	15±0.01	**44.6±0.03**

F25LD : formulation 25% lait de dromadaire et 75% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

II.2.2.3.2 Modélisation statistique du temps de la coagulation de la formulation F25LD

Le tableau 48 affiche les équations de régression et la désirabilité (d) de chaque enzyme avec la formulation F25LD ainsi que leur régression (R^2).

Selon le tableau 48, la meilleure régression est observée avec la pepsine de poulet pour la coagulation de la formulation F25LD (R^2 90.05%), suivie avec la présure cameline, l'agent coagulant microbien et la présure caprine.

Tableau 48 : Régression et équation des réponses de la coagulation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes

	Enzyme	R^2	Equation	d
Coagulation	PD	84.59%	Y=6136+79.6**pH²**-0.820**T²**+10.51**pHxT**	0.86
Formulation F25LD	PCP	79.74%	Y=2542+72.2**pH²**	1
	PP	90.05%	Y=2059-691**pH**+60.3**pH²**	0.98
	ACM	81.20%	Y=-384+18.45**T**	1

F25LD : formulation 25% lait de dromadaire et 75% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien, R² : régression, d : désirabilité

Le tableau 49 résume les coefficients de régression et les valeurs de *p* avec les différentes enzymes coagulantes.

Tableau 49 : Coefficients de régression et les valeurs de *p* de la coagulation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes

-*P*- Formulation F25LD				
Coefficient de régression	PD	PCP	PP	ACM
b_0	0.009	0.022	0.002	0.018
b_1	0.141	0.071	**0.000**	0.406
b_2	0.812	0.875	0.764	**0.002**
b_{11}	**0.002**	**0.003**	**0.003**	0.676
b_{22}	**0.048**	0.400	0.835	0.051
b_{12}	**0.013**	0.637	0.503	0.827

F25LD : formulation 25% lait de dromadaire et 75% lait de chèvre, PD : présure cameline, PCP : présure caprine, PP : pepsine de poulet, ACM : agent coagulant microbien

La coagulation de la formulation à forte proportion en lait de chèvre est sensible à la variation du pH (effet linéaire) avec la pepsine de poulet et (effet quadratique) avec la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet (P<0.05). L'effet linéaire de la température et l'effet interactif du pH de la température sont observés qu'avec la présure cameline. Comparativement à l'agent coagulant microbien. Cette enzyme est sensible juste par la variation de la température (effet linaire) dans la coagulation du lait en mélange dominé par le lait de chèvre.

II.2.2.3.3 Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F25LD

Les graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F25LD avec les différentes enzymes coagulantes sont illustrés dans la figure 31.

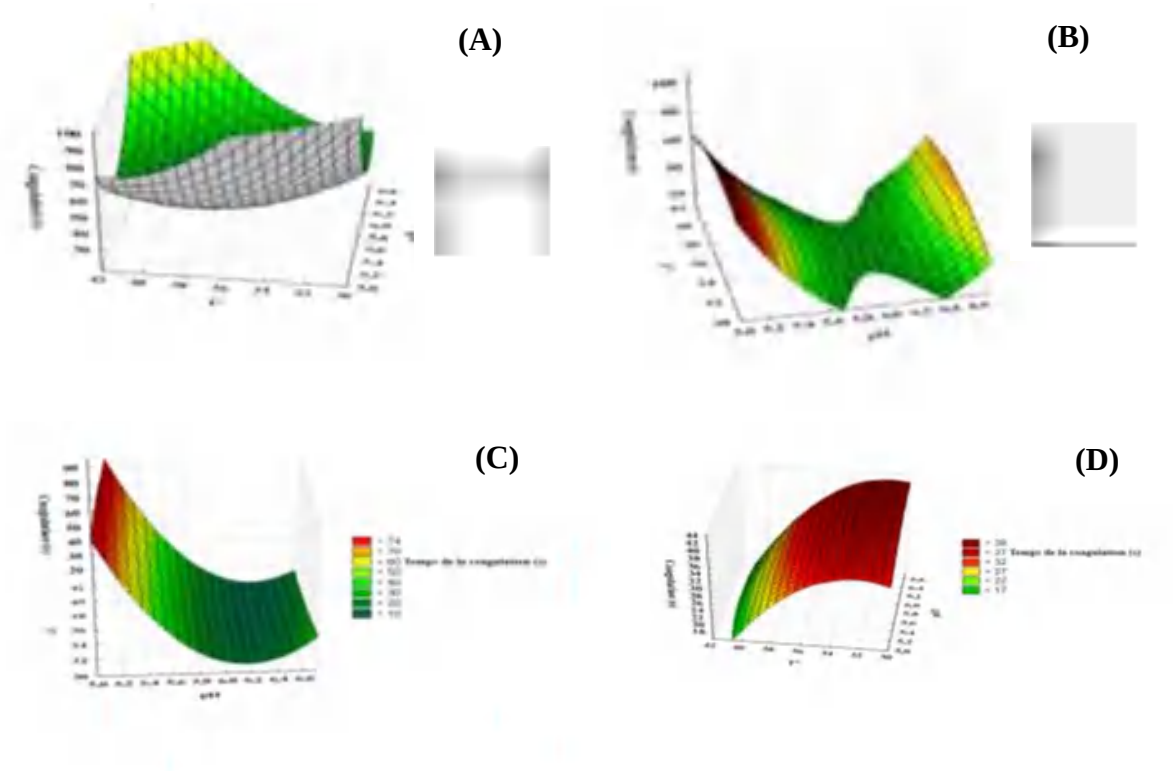


Figure 31 : Graphiques de surface de réponse de la coagulation de la formulation F25LD avec PD (A), PCP (B), PP (C) et ACM (D)

Sur la base de l'analyse de la surface de plot et de la relation entre la réponse et les variables (figure 31 et tableau 47), un temps de coagulation de la formulation F25LD est optimal en supposant ces paires de pH et de température pour les différentes enzymes :

- **[X1=5.99, X2=35.21°C]** pour la présure cameline,

- **[X1=5.92, X2=42°C]** pour la présure caprine,
- **[X1=6.32, X2=40.3°C]** pour la pepsine de poulet,
- **[X1=5, X2= 42°C]** pour l'agent coagulant microbien.

D'après les résultats de l'optimisation, En ce qui concerne le pH, nous avons noté que le lait en mélange à forte proportion en lait de chèvre demande un pH entre 5.9 et 6.3 avec les enzymes coagulantes d'origine animale, alors que la coagulation de la formulation F25LD exige un pH 5 avec l'agent coagulant microbien, c'est-à-dire une acidification du lait. Pour la température, la coagulation de cette formulation prend un temps optimal à condition de faire un léger chauffage du lait à 35°C avec la présure cameline, à 40°C avec la pepsine de poulet et à 42°C avec la présure caprine et l'agent coagulant microbien.

En résumé, la fabrication du fromage frais à base du lait de dromadaire et lait de chèvre nécessite l'optimisation du pH et de la température de la coagulation. Selon notre étude, nous pouvons proposer des recommandations lorsque nous utilisons des agents coagulants d'origine animale comme la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet ou bien l'agent coagulant microbien (commerciale) :

1. **Présure cameline**

- Elle nécessite un pH aux alentours de 6 (lait légèrement acide) pour toutes les formulations étudiées,
- Elle nécessite une température élevée (au minimum 40°C) avec la formulation dominante par le lait de dromadaire.

2. **Présure caprine**

- Elle nécessite un pH aux alentours de 6 (lait légèrement acide) pour toutes les formulations étudiées ;
- Elle nécessite une température élevée (au maximum 42°C) avec la formulation dominante par le lait de dromadaire et la formulation dominante par le lait de chèvre.

3. **Pepsine de poulet**

- Elle nécessite un pH aux alentours de 6 avec la formulation dominante par le lait de dromadaire et la formulation dominante par le lait de chèvre. Pour la formulation en quantité égale des deux types de lait, la pepsine de poulet agit mieux lorsque le pH est Plus acide et ne dépasse pas 5.4 ;

- Elle nécessite une température moyenne de 37°C avec la formulation dominante par le lait de dromadaire. Alors que, pour les autres formulations la température préconisée est entre 40°C et 42°C.

4. **Agent coagulant microbien**

- Elle nécessite un pH qui ne dépasse pas 6.7 avec la formulation dominante par le lait de dromadaire. Pour les autres formulations, le pH préconisé est de 5 ;
- Elle nécessite une température élevée et maximale qui est 42°C pour toutes les formulations étudiées.

Troisième volet : Caractéristiques des formulations du fromage camelin-chèvre à coagulation enzymatique

Les différentes formulations du fromage frais étaient caractérisées selon les propriétés physico-chimiques (pH, acidité lactique, matière sèche, matière grasse, protéines et cendre) avec détermination du rendement fromager. Aussi, nous avons réalisé une caractérisation microstructurale, rhéologique et sensorielle. En dernier, nous avons complété l'analyse de ces fromages de fromage par la détermination de la composition en acides aminés.

III.1 Caractéristiques physico-chimiques

Dans cette partie de résultats nous discuterons les caractéristiques physico-chimiques des fromages fabriqués au lait de mélange camelin-chèvre selon les différentes formulations en utilisant la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet, et en dernier l'agent coagulant microbien.

III.1.1 Caractéristiques physico-chimiques du fromage frais coagulé avec la présure cameline

Les caractéristiques physicochimiques des fromages au lait mixte camelin-chèvre des trois formulations selon les proportions (v/v) :75/25 (FD75), 50/50 (FD50) et 25/75 (FD25), sont illustrées dans le tableau 50. Ces trois formulations sont coagulées avec la présure cameline.

Tableau 50 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation enzymatique avec la présure cameline

Paramètres	**FD75**	**FD50**	**FD25**
pH	6.13±0.03 **a**	6.48±0.01 **b**	5.88±0.07 **c**
Acidité lactique (%)	0.49±0.06 **a**	0.51±0.02 **a**	0.55±0.02 **b**
Matière sèche (MS) (%)	26.73±1.4 **a**	26.74±2.1 **a**	55.63±0.7 **b**
Protéines (Pr) (%)	12±2.7 **a**	11.1±1.5 **a**	18±0.5 **b**
Pr/MS (%)	44.89±1.92 **a**	41.51±0.71 **b**	32.35±0.7 **c**
Matière grasse (MG) (%)	3.57±2.1**a**	9.7±0.4 **b**	10.5±0.9 **b**
MG/MS (%)	13.35±1.5 **a**	36.27±0.19 **b**	18.87±1.28 **c**
TEFD (%)	75.98±0.9 **a**	79.47±1.2 **b**	49.57±0.4 **c**
Cendres (%)	4.52±1.0 **ab**	6.81±0.5 **a**	3.8±0.8 **b**
Rendement (%)	15±1.2 **a**	17±1.8 **ab**	19.3±0.9 **b**

FD (75, 50, 25) : Fromages coagulés à la présure cameline selon les proportions 75 %, 50% et 25% en mélange avec le lait de chèvre ; a, b et c : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

Selon le tableau 50, les fromages fabriqués aux laits camelin-chèvre en utilisant la présure de dromadaire présentent un pH légèrement doux entre 6.48 et 5.9 avec une teneur en acide lactique assez faible (0.5 à 0.55%). Ces valeurs du pH des fromages produits sont proches au pH optimum du lait des différentes formulations, ce qui explique que la coagulation avec la présure cameline n'a pas conduit à une rétention de l'acide lactique dans le coagulum. Cependant et concernant la teneur en matières sèche, grasse et protéique nous avons une variabilité assez importante entre les fromages. A titre d'exemple, la matière sèche des fromages contenant plus de lait de dromadaire (FD75 et FD 50, soit de 26.7 %) est beaucoup plus faible par rapport au fromage contenant le plus de lait de chèvre (FD25) qui avait un taux de 55.6 %. D'autre part, les fromages FD75 et FD 50 contiennent le taux le plus élevé en protéines.

Selon **Hailu *et al*. (2014)**, plusieurs facteurs peuvent intervenir dans la variation de la matière sèche des fromages, parmi lesquels, la nature des ingrédients ajoutés lors de la fabrication du fromage, la teneur en matière sèche de la matière première et l'ajout de sel qui peut augmenter la matière sèche du fromage.

Selon **le codex *alimentarius* (1999)** et en se basant sur le TEFD et le rapport en MG/MS, nous pouvons classer les fromages fabriqués en fromage à pâte molle et Mi-gras pour FD75, en fromage à pâte molle et partiellement écrémé pour FD50 et en fromage à pâte dure et partiellement écrémé pour FD25. Au niveau de la teneur en cendres, les différents fromages semblent avoir des teneurs différentes en minéraux ; la concentration la plus élevée est enregistrée avec la formulation FD50. En ce qui concerne le rendement fromager, nous avons trouvé des proportions entre 15±1.2% et 19.3±0.9% avec un rendement moyen de 17% du fromage FD50. Ces résultats sont justifiés par la différence de la proportion en lait de dromadaire dans les formulations et le pouvoir coagulant de la présure cameline.

Au niveau de la littérature, la coagulation du lait de dromadaire avec différentes enzymes coagulantes comme le camifloc, l'extrait de la présure cameline, la chymosine cameline recombinante était étudiée par plusieurs auteurs en citant **El Zubeir et Jabreel. (2008)**, **Boudjenah Haroun. (2012), Hailu *et al*., 2014**, **Bekele *et al*. (2019)** et **Al-Zoreky et Almathen (2021)**. Ils ont rapporté respectivement des rendements fromagers qui sont de 11.36%, 17%, 11.4±0.36%, (9.43±1.85 et 13.44±0.09) et 3.34±1.14%. En terme du lait en mélange, **Derar et El Zubeir (2016)** ont donné des rendements des fromages coagulés avec du Camifloc, à base d'un mélange du lait de dromadaire et du lait de brebis à différentes proportions (13.76±1.67% pour 75% lait de dromadaire), (21.33±4.49% pour 50% lait de dromadaire) et (26.2± 5.37 % pour 25% lait de dromadaire).

D'après nos résultats, nous pouvons dire que nous avons réussi dans la fabrication des fromages frais à différentes proportions en lait de dromadaire coagulés avec la présure cameline. Ces fromages sont riches en protéines et en minéraux et présentent des rendements acceptables d'où l'importance de l'optimisation du pH et de la température de la coagulation du lait.

III.1.2 Caractérisation physico-chimique du fromage frais coagulé avec la présure caprine

Le tableau 51 présente les différents paramètres physico-chimiques des fromages frais coagulés avec la présure cameline.

Tableau 51 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation enzymatique avec la présure caprine

Paramètres	**FC75**	**FC50**	**FC25**
pH	6.38±0.05 [a]	6.42±0.03 [a]	6.23±0.00 [b]
Acidité lactique (%)	0.52±0.00 [a]	0.48±0.06 [a]	0.52±0.04 [a]
Matière sèche (MS) (%)	46.95±0.9 [a]	41.35±2.03 [b]	36.79±0.1 [c]
Protéines (Pr) (%)	20±2.0 [a]	19±1.4 [a]	17.7±0.9 [a]
Pr/MS (%)	42.59±2.1 [a]	45.94±0.68 [ab]	48.11±1.3 [b]
Matière grasse (MG) (%)	12.5±1.1 [a, b]	16.66±0.7 [a]	11.33±2.5 [b]
MG/MS (%)	26.62±1.22 [a]	40.29±0.34 [b]	30.79±2.3 [c]
TEFD (%)	60.63±0.5 [a]	70.37±1.1 [b]	71.82±1.1 [b]
Cendres (%)	8.4±0.7 [a]	4.96±0.00 [b]	5.95±0.8 [b]
Rendement (%)	12.15±1.3 [ab]	10.5±0.9 [b]	13.45±0.5 [a]

FC (75, 50, 25) : Fromages coagulés à la présure caprine selon les proportions 75 %, 50% et 25% en mélange avec le lait de chèvre ; a, b et c : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

Les résultats du tableau 51 montrent que le pH des différents fromages fabriqués varie entre 6.23±0.00 et 6.42±0.03, avec une acidité faible pour tous les fromages produits. Ces valeurs sont élevées au pH optimum du lait. Ce qui explique la non rétention de l'acide lactique (ajouté dans l'optimisation du pH du lait) au cours de la coagulation enzymatique avec la présure caprine. En ce qui concerne la matière sèche, nous avons remarqué une différence significative entre les fromages, ceci est justifié par la différence en teneur de la MG entre les fromages. En terme de classification, les fromages fabriqués à différentes proportions en lait de dromadaire et coagulés avec la présure caprine sont classés en fromages à pâte molle et Mi-gras.

En terme des minéraux, il semble que les fromages fabriqués avec la présure caprine ont une teneur considérable en minéraux. Ce qui renforce que le lait de dromadaire et le lait de chèvre de la région d'El Oued sont riches en minéraux. La valeur la plus élevée est enregistré pour la formulation FC75 avec 8.4±0.7%. Selon **Bekele *et al.*, (2019)**, la teneur en cendres des fromages varie selon le sel utilisé lors de la fabrication du fromage, la nature des ingrédients ajoutés et la teneur en cendres des matières premières.

Le meilleur rendement est observé avec la formulation à forte proportion en lait de chèvre qui est de 13.45±0.5%, ce qui explique l'effet de l'ajout du lait de chèvre au lait de dromadaire et l'action coagulant de la présure caprine. Dans ce sens, nous pouvons dire que la coagulation du lait en mélange (dromadaire-chèvre) est possible et offre la possibilité d'exploiter cette présure dans la fabrication du fromage frais. Au niveau de la littérature, la valorisation de la présure caprine dans la coagulation du lait de dromadaire seule ou en mélange était peu étudiée.

A titre informatif et à l'échelle traditionnelle au niveau de la région d'El Oued, l'utilisation de la caillette caprine séchée et salée est réalisée dans seulement la coagulation du lait de chèvre pour la fabrication d'un fromage traditionnel appelée 'Douth' apprécié par sa forte odeur et goût de gras.

III.1.3 Caractérisation physico-chimique du fromage frais coagulé avec la pepsine de poulet

Le tableau 52 présente les différents paramètres physico-chimiques des fromages frais coagulés avec la pepsine de poulet.

Tableau 52 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation enzymatique avec la pepsine de poulet

Paramètres	**FP75**	**FP50**	**FP25**
pH	5.74±0.00 [a]	6.11±0.00 [b]	5.74±0.05 [a]
Acidité lactique (%)	0.54±0.01 [a]	0.5±0.02 [a]	0.52±0.01 [a]
Matière sèche (MS) (%)	44.96±1.01 [a]	33.15±0.7 [b]	46.62±0.9 [a]
Protéines (Pr) (%)	18.1±0.3 [a]	9.97±0.5 [b]	15.5±0.8 [c]
Pr/MS (%)	40.25±0.9 [a]	30.07±2.0 [b]	33.24±1.5 [b]
Matière grasse (MG) (%)	20.26±0.8 [a]	22.03±1.0 [a]	20.78±0.4 [a]
MG/MS (%)	45.06±0.79 [a]	70±1.42 [b]	44.57±0.44 [a]
TEFD (%)	69.02±1.0 [a]	88.3±0.2 [b]	67.38±0.7 [c]
Cendres (%)	3.68±0.03 [a]	4.37±0.00 [b]	5.09±0.01 [c]
Rendement (%)	15.1±0.6 [a]	16.15±0.8 [a]	16.65±1.0 [a]

FP (75, 50, 25) : Fromages coagulés à la pepsine de poulet selon les proportions 75 %, 50% et 25% en mélange avec le lait de chèvre ; a, b et c : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

Les résultats du tableau 52 montrent que le pH des fromages fabriqués varie entre 5.7 et 6.11, avec une acidité lactique maximale qui est de 0.54±0.1% enregistré avec la formulation FP75. Dans ce sens, nous remarquons que la valeur du pH de la FP75 est proche de celui du pH optimum du lait, alors que pour la FP50 et FP25, nous avons noté respectivement une évacuation de l'acide lactique et une diminution du pH.

Pour la matière sèche, tous les fromages fabriqués semblent avoir une teneur considérable en MS, la valeur minimale est enregistrée avec la formulation FP50 qui est de 33.15±0.7%. Ce fromage a la teneur en protéines la plus faible avec 9.97±0.5% et la teneur en MG la plus élevée avec 70±1.42%. Cependant, en se basant sur la TEFD et le rapport du MG/MS, nous pouvons classer les fromages fabriqués en fromage à pâte molle et extra-gras pour FP50. Alors que celle du FP75 et FP25 sont considéré comme fromages à pâte molle et Mi-gras.

La teneur en cendres se varie significativement selon le type de la formulation du fromage. La valeur maximale en minéraux est enregistrée pour la formulation FP25 avec 5.09±0.01%.

Au niveau du rendement, nous avons observé qu'il n'y a pas une différence significative entre le rendement fromager des différents fromages fabriqués. Ces résultats peuvent expliquent le pouvoir coagulant de la pepsine de poulet dans toutes les formulations à proportions différentes en lait de dromadaire. Dans ce sens, nous pouvons dire que nous avons encore réussi dans la fabrication des fromages coagulés avec la pepsine de poulet même à proportion élevée en lait de dromadaire.

Au niveau de la littérature, la coagulation du lait de chèvre en utilisant la pepsine de poulet était étudiée par **Ait Amer Meziane (2008)**. Tandis que, la valorisation de cette enzyme dans le lait de dromadaire était mal ciblée. En terme du lait en mélange dromadaire-chèvre, **Aissaoui *et al*. (2018)** ont rapporté un pH de 6.09±0.05, une MS de 42.74±2.60%, une MG/MS de 48.1± 4.58%, une teneur en protéines de 21.45% et un rendement fromager de 19.05±1.06%.

III.1.4 Caractérisation physico-chimique du fromage frais coagulé avec l'agent coagulant microbien

Le tableau 53 présente les différents paramètres physico-chimiques des fromages frais coagulés avec l'agent coagulant microbien.

Tableau 53 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation enzymatique avec l'agent coagulant microbien

Paramètres	**FM75**	**FM50**	**FM25**
pH	5.72±0.01 [a]	6.28±0.01 [b]	5.63±0.02 [c]
Acidité lactique (%)	0.54±0.00 [a]	0.5±0.02 [a]	0.51±0.05 [a]
Matière sèche (MS) (%)	58.1±1.5 [a]	45.27±0.9 [b]	49.63±1.34 [c]
Protéines (Pr) (%)	25.5±1.7 [a]	23±0.7 [b]	21±0.6 [b]
Pr/MS (%)	43.88±0.9 [a]	50.8±0.5 [b]	42.31±0.3 [a]
Matière grasse (MG) (%)	22.5±0.87 [a]	10.7±1.25 [b]	14.2±0.9 [c]
MG/MS (%)	38.72±0.58 [a]	23.6±1.38 [b]	28.6±0.69 [c]
TEFD (%)	54.06±1.2 [a]	61.3±1.0 [b]	58.7±0.8 [b]
Cendres (%)	5.06±0.6 [a]	9.29±1.09 [b]	7.29±0.54 [ab]
Rendement (%)	11.5±1.1 [a]	18.3±0.4 [b]	12.9±0.9 [a]

FM (75, 50, 25) : Fromages coagulés à l'agent coagulant microbien selon les proportions 75 %, 50% et 25% en mélange avec le lait de chèvre ; a, b et c : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

Les résultats du tableau 53 montrent que le pH des différents fromages fabriqués et coagulés avec l'agent coagulant microbien varie selon la formulation. Les valeurs du pH se varient entre 5.63±0.02 et 6.28±0.01. Comparativement au pH optimum du lait, nous avons remarqué une diminution du pH avec la formulation FM75. Alors que, pour les formulations FM50 et FM25, il y a une évacuation de l'acide lactique au cours de l'égouttage, ce qui explique une élévation du pH des fromages.

Concernant la matière sèche, il parait qu'il y a une différence significative entre la MS des fromages. Nous avons noté une valeur maximale pour la formulation FM75 avec

58.1±1.5%. Ce qui explique le pouvoir coagulant de l'agent microbien même dans une formulation à forte proportion en lait de dromadaire.

Nous avons remarqué que le fromage FM50 semble avoir la valeur la plus élevée en protéines avec 50.8±0.5%, en minéraux avec 9.29±1.09% avec un meilleur rendement fromager qui est 18.3±0.4%. Ces résultats expliquent que l'agent coagulant microbien a donné un bon coagulum (bonne rétention des protéines) avec la formulation qui contient le lait de dromadaire et le lait de chèvre en quantité égale. Ces données ont justifié l'effet positif de l'ajout du lait de chèvre au lait de dromadaire.

Au niveau de la littérature, l'utilisation de la présure commerciale dans la coagulation du lait de dromadaire était étudiée depuis longtemps, en citant **Kamoun (1995)** qu'il a rapporté un rendement fromager de 12.1%. D'autre coté, la coagulation du lait de chèvre par la présure commerciale était étudiée par **Ait Amer Meziane (2008)**.

En se basant sur la fermeté de la pâte fromagère et le rapport de la MG/MS, les fromages fabriqués à différentes formulations sont classés en fromages à pâte dure et Mi-gras pour FM75, en fromage à pâte ferme ou semi-dure et Mi-gras pour FM50 et FM25.

III.2 Caractéristiques sensorielles des formulations des fromages camelin-chèvre à coagulation enzymatique

En complément à la caractérisation de la composition physicochimique, le profil sensoriel des 12 fromages fabriqués au lait mixte de dromadaire-chèvre sont donnés dans cette partie de résultats. L'analyse sensorielle de chaque fromage a concerné l'aspect et la texture générale de la pâte fromagère, les saveurs ainsi que la description des familles d'odeurs-arôme et leur intensité.

III.2.1 Caractéristiques sensorielles du fromage camelin-chèvre avec la présure cameline

Le score des différents attributs sensorielles des fromages frais selon les formulations (v/v) : 75/50 (FD75), 50/50 (FD50) et 25/75 (FD25), est représenté dans le tableau 54.

Tableau 54 : Paramètres sensorielles des fromages frais avec la présure cameline (note/15)

Paramètres	FD75	FD50	FD25
Aspect et texture			
Lisse	0.4±0.1 [a]	4.25±1.64 [b]	5.5±1.4 [b]
Rugueuse	10.8±4.22 [a]	4.6±0.72 [b]	3.9±0.69 [b]
Sableuse	5.1±1.37 [a]	2.4±0.78 [b]	2.65±0.11 [b]
Tartinable	8.75±2.16 [a]	9.2±2.66 [a]	1.2±0.73 [b]
Crémeuse	7.85±1.82 [a]	6.3±0.14 [a]	0.6±0.2 [b]
Pâteuse	1.7±0.27 [a]	2.85±0.99 [a]	10.05±3.31 [b]
Odeur			
Odeur lactique	6.85±1.62 [a]	1.65±0.98 [b]	2.95±0.25 [b]
Odeur animale	5.95±1.43 [a]	2.6±0.91 [b]	1.3±0.43 [b]
Odeur d'herbe	0.35±0.04 [a]	1.9±0.75 [b]	0.35±0.09 [a]
Goût			
Acide	0.75±0.01 [a]	1.6±0.23 [a]	1.7±0.97 [a]
Salé	2.75±0.8 [a]	6.1±1.19 [b]	4.7±0.61 [ab]
Doux	7.85±2.57 [a]	6.95±1.22 [a]	1.7±0.97 [b]
Amer	2.8±0.57 [a]	1.5±0.18 [ab]	2.05±0.36 [b]
Goût du beurre	6.1±2.05 [a]	2.8±0.36 [b]	2.15±0.79 [b]
Acceptation générale	7.05±2.56 [a]	9.1±2.53 [a]	8.55±1.72 [a]
Richesse en arome	70% (Oui)	50% (Oui)	55% (Oui)
Intensité d'arome	65% (Forte)	60% (Forte)	25% (Forte)
Préférence	25% (75% texture)	**55%** (80% texture)	20% (25% goût)

FD (75, 50, 25) : Fromages coagulés à la présure cameline selon les proportions 75 %, 50% et 25% en mélange avec le lait de chèvre ; a et b : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

Selon l'analyse statistique des scores pour les formulations des fromages frais produits avec la présure cameline, il y a une différence significative entre la plupart des attributs sensoriels étudiés (P<0.05). Le fromage FD25 avait des caractéristiques sensorielles bien différentes et spécifiques. Il a la texture pâteuse la plus ferme avec aspect lisse avec une note moyenne de 10.05±3.3/15 et 5.5±1.4/15. Le fromage a une odeur lactique avec un goût de beurre moyennement faible. De plus, nous avons remarqué que le fromage à forte proportion en lait de dromadaire est une pâte assez rugueuse (note de 10.8±4.22/15). L'appréciation d'une certaine rugosité de la texture du fromage frais au lait de chamelle était encore observée dans l'étude de **Ramet (2001)** qui était justifiée par la diminution de la teneur en matière grasse du lait de chamelle. En effet, il a le goût de gras le moins prononcé par rapport au fromage FD75. Selon **El Zubeir et Jabreel (2008),** les fromages camelins à faible contenu en gras sont avantageux pour la santé du consommateur.

D’autre part, le profil sensoriel des formulations FD75 et FD50 est assez proche pour la plupart des attributs. Ces deux fromages sont caractérisés par une texture moyennement tartinable (8.75±2.16, 9.2±2.66) et crémeuse (7.85±1.82, 6.3±0.14) ; avec un goût moyennement doux. Selon **Hailu *et al*. (2014)**, l’apparence du fromage est en fonction de la couleur et de la texture du fromage, et le type de l’agent coagulant.

Au niveau du goût, il faut signaler que bien que le taux de sel ajouter au lait est le même, cependant nous avons noté que la salinité des fromages était différente. Le goût salé était apprécié moyenne pour la formulation FD50 et FD25 alors qu’elle est assez faible dans le FD75.

Il faut noter que les trois fromages sont bien acceptés par les dégustateurs avec des scores allant de 7/15 à 9/15. **Benkerroum *et al*. (2011)** ont rapporté des scores sensoriels de 4.15/5, 4.25/5 et 4.50/5 pour la texture, la saveur et l'acceptabilité du fromage frais produit avec la chymosine cameline comme agent coagulant. D’autres part, les fromages contenant 75 et 50% de lait de dromadaire ont l’intensité d’arômes la plus importante soit 60 et 65%. Ces résultats sont encourageants pour la fabrication de ce type de fromage et la valorisation du lait de dromadaire et de chèvre.

En terme de préférence, nous avons noté que 55% des dégustateurs ont préféré le fromage FD50 qui contient une quantité égale du lait dromadaire-chèvre dont 80% ils ont apprécié une texture caractéristique.

Notre étude a confirmé que l'optimisation du pH et de la température de la coagulation du lait d'une part, et l'ajout du lait de chèvre d'autre part, ont amélioré l’aptitude à la transformation fromagère du lait de dromadaire et ont permis de donner des fromages frais avec des propriétés sensorielles spécifiques. La figure 32 montre assez bien ces profils sensoriels des principales caractéristiques des fromages frais au lait de dromadaire-chèvre coagulé avec la présure cameline.

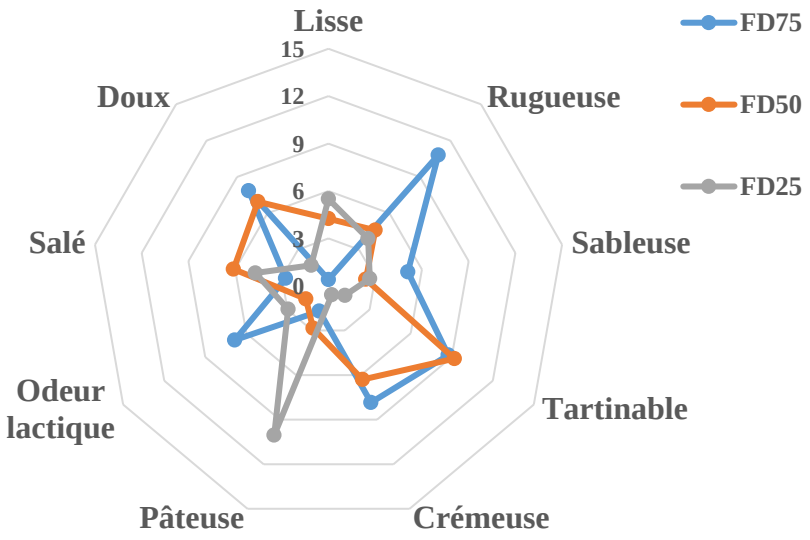


Figure 32 : Profil sensoriel du fromage frais FD75, FD50 et FD25

III.2.2 Caractéristiques sensorielles du fromage camelin-chèvre avec la présure caprine

Le score des différents attributs sensoriels des fromages frais est représenté dans le tableau 55.

Les résultats mentionnés dans le tableau 55 indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre la plupart des attributs sensorielles des différentes formulations des fromages fabriqués.

Au niveau de la texture, les fromages FC75, FC50 et FC25 semblent moyennement rugueuses avec des scores 6.55±1.55/15, 10±2.95/15 et 8.25±2.52/15 respectivement. Ces fromages sont caractérisés encore par une tartinabilité faible, qui est entre 1 et 4/15, et une texture légèrement pâteuse qui est entre 5 et 7/15.

Au niveau d'odeur, nous avons noté que les dégustateurs ont faiblement ressenti une odeur animale ou une odeur d'herbe. De plus, tous les fromages fabriqués avec la présure caprine sont caractérisés par des goûts acide et amer assez faibles. Pour la salinité, elle est moyennement appréciée avec la formulation qui contient la proportion la plus élevée en lait de dromadaire.

Tableau 55 : Paramètres sensorielles des fromages frais avec la présure caprine (note/15)

Paramètres	FC75	FC50	FC25
Aspect et texture			
Lisse	2.9±0.91 [a]	1.3±0.71 [a]	2.7±0.95 [a]
Rugueuse	6.55±1.55 [a]	10±2.95 [a]	8.25±2.52 [a]
Sableuse	2.15±0.53 [a]	3.85±0.14 [ab]	6.15±1.82 [b]
Tartinable	4±0.4 [a]	1.65±0.53 [b]	4.4±0.17 [a]
Crémeuse	1.6±0.78 [a]	0.65±0.26 [a]	0.85±0.09 [a]
Pâteuse	7.35±1.83 [a]	7.2±1.25 [a]	5±0.9 [a]
Odeur			
Odeur lactique	5.25±0.06 [a]	5.15±0.43 [a]	4.25±0.3 [b]
Odeur animale	2.95±0.26 [a]	2.5±0.66 [a]	2.9±0.93 [a]
Odeur d'herbe	1.3±0.1 [a]	3.15±0.22 [b]	0.65±0.1 [c]
Goût			
Acide	3.6±0.4 [a]	2±0.38 [b]	2.05±0.17 [b]
Salé	7.15±2.46 [a]	4.2±0.58 [ab]	2.6±0.85 [b]
Doux	3.6±0.3 [a]	2.85±0.56 [a]	2.45±0.62 [a]
Amer	1.3±0.59 [a]	2.05±0.34 [a]	1.3±0.51 [a]
Goût du beurre	1.85±0.79 [a]	2.55±0.98 [a]	3.95±0.92 [a]
Acceptation générale	10.05±3.81 [a]	8.85±1.2 [a]	7.5±2.98 [a]
Richesse en arome	65% (Oui)	65% (Oui)	30% (Oui)
Intensité d'arome	65% (Forte)	50% (Forte)	10% (Forte)
Préférence	**50%** (60% goût)	15% (75% goût)	35% (40% arome)

FC (75, 50, 25) : Fromages coagulés à la présure caprine selon les proportions 75 %, 50% et 25% en mélange avec le lait de chèvre ; a, b et c : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

Il faut noter que les fromages fabriqués avec la présure caprine sont bien acceptés par les dégustateurs avec des scores entre 7 et 10/15. Dans ce sens, la formulation FC75 est celle du fromage le plus préféré par la moitié des dégustateurs. Ce fromage qui contient une forte proportion en lait de dromadaire, est caractérisé par une sensation d'arôme la plus intense comparativement aux autres formulations.

Nos résultats offrent la possibilité de valoriser la présure caprine dans la fabrication du fromage frais à base du lait dromadaire-chèvre. Notre étude a confirmé que le choix de la proportion en lait de dromadaire à ajouter au lait de chèvre n'a pas un effet direct sur le changement du profil sensoriel ou l'obtention d'un fromage avec des caractéristiques bien définies.

A ce jour, la bibliographie est pauvre en données comparatives surtout sur la valorisation de l'extrait enzymatique de la présure caprine dans la fabrication du fromage frais à base du lait de dromadaire. L'étude de **Boumediene (2013)**, qui a valorisé l'extrait enzymatique brut de la

caillette caprine dans le lait de chèvre pour la fabrication du fromage *Kamaria*, en comparaissant avec celle de la présure commerciale, a montré qu'il n'y a pas une différence significative entre les deux fromages produits à l'échelle sensorielle.

Nous pouvons résumer le profil sensoriel des différentes formulations des fromages frais coagulés avec la présure caprine dans la figure 33.

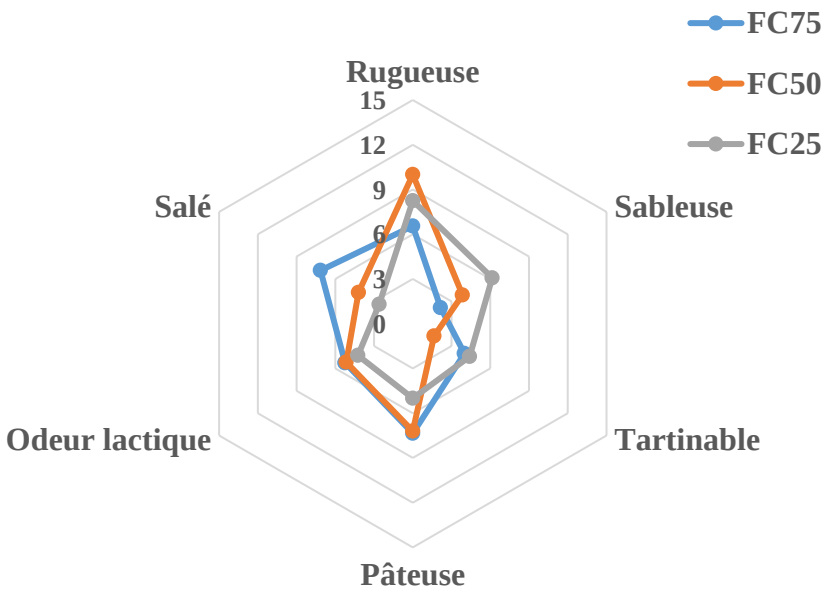


Figure 33 : Profil sensoriel du fromage frais FC75, FC50 et FC25

III.2.3 Caractéristiques sensorielles du fromage camelin-chèvre avec la pepsine de poulet

Le score des différents attributs sensoriels des fromages frais est représenté dans le tableau 56.

Le tableau 54 montre qu'il y a une différence significative entre les différents fromages fabriqués avec la pepsine de poulet, spécifiquement au niveau de la texture et du goût.

Nous avons remarqué que la formulation FP50 se caractérise par une texture plus lisse (7.05±1.15), plus tartinable (9.55±2.11) et plus crémeuse (7.2±1.89) comparativement aux autres formulations du fromage. De plus, nous avons souvent noté que la formulation qui contient le plus de lait de dromadaire se caractérise par une texture moyennement rugueuse avec un score de 8/15. D'autre coté, les fromages FP75 et FP25 semble avoir une texture moyennement pâteuse avec 9.65±2.18 et 8.25±2.35 respectivement.

Tableau 56 : Paramètres sensorielles des fromages frais avec la pepsine de poulet (note/15)

Paramètres	FP75	FP50	FP25
Aspect et texture			
Lisse	2.75±0.5 [a]	7.05±1.15 [b]	4.75±0.5 [a]
Rugueuse	8.95±1.08 [a]	3.25±0.67 [b]	5.05±0.63 [b]
Sableuse	4.35±0.46 [a]	4.2±0.41 [a]	3.25±0.41 [a]
Tartinable	1.95±0.3 [a]	9.55±2.11 [b]	2.95±0.61 [a]
Crémeuse	1.3±0.24 [a]	7.2±1.89 [b]	1.45±0.87 [a]
Pâteuse	9.65±2.18 [a]	2.7±0.21 [b]	8.25±2.35 [a]
Odeur			
Odeur lactique	5.2±1.77 [a]	4.05±0.81 [a]	2.8±0.3 [a]
Odeur animale	7±1.83 [a]	4.15±0.97 [ab]	1.55±0.54 [b]
Odeur d'herbe	1.7±0.6 [a]	2.15±0.1 [a]	2.2±0.72 [a]
Goût			
Acide	2.55±0.41 [ab]	3.55±0.76 [a]	1.75±0.38 [b]
Salé	2.75±0.75 [a]	4.45±1.58 [a]	2.35±0.45 [a]
Doux	3.5±0.5 [a]	7.3±1.58 [b]	4.45±1.00 [ab]
Amer	1.3±0.45 [a]	1.7±0.43 [a]	1.05±0.25 [a]
Goût du beurre	3.05±0.73 [a]	3±0.49 [a]	2.45±0.33 [a]
Acceptation générale	7.2±2.6 [a]	8.4±2.45 [a]	7.9±2.91 [a]
Richesse en arome	45% (Oui)	45% (Oui)	30% (Oui)
Intensité d'arome	35% (Forte)	50% (Forte)	25% (Forte)
Préférence	20% (40% arome)	**50%** (55% goût)	30% (45% goût)

FP (75, 50, 25) : Fromages coagulés à la pepsine de poulet selon les proportions 75 %, 50% et 25% en mélange avec le lait de chèvre ; a et b : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

Pour l'odeur, les dégustateurs n'ont pas noté une odeur lactique, animale ou d'herbe pour les fromages fabriqués. Dans ce sens, il faut signaler qu'il y a une sensation légère d'odeur animale pour la formulation FP75.

En ce qui concerne le goût, le fromage FP50 était plus doux avec un score de 7/15. Cependant, avec une légère sensation d'amertume a été signalée dans tous les fromages fabriqués à la pepsine de poulet.

En terme d'acceptation, il n'a y pas une différence significative entre le score d'acceptabilité générale entre les fromages produits. De plus, la moitié des dégustateurs ont préféré la formulation FP50 à cause du goût caractéristique dont l'appréciation de l'intensité d'arôme était enregistrée avec 50% des dégustateurs.

D'après ces résultats, nous pouvons dire que nous avons réussi dans la fabrication des différentes formulations du fromage frais coagulé avec la pepsine de poulet. Le fromage qui

contient une quantité égale du lait de dromadaire et du lait de chèvre était la formulation la plus caractéristique à l'échelle sensorielle.

Au niveau de la littérature des fromages à base de lait de mélange, **Aissaoui *et al*. (2018)** ont rapporté une texture rugueuse avec (5.95±3.79), tartinable (3.3±2.67) et pâteuse (6.2±3.57). Ces résultats étaient différents de notre formulation FP50 où nous avons obtenu un fromage moins rugueux, plus tartinable et moins pâteux. Ceci peut être justifié par la différence dans la composition chimique de la matière première utilisée et /ou la variation dans les paramètres de la coagulation du fromage.

Nous pouvons résumer le profil sensoriel des différentes formulations des fromages frais coagulés avec la pepsine de poulet dans la figure 34.

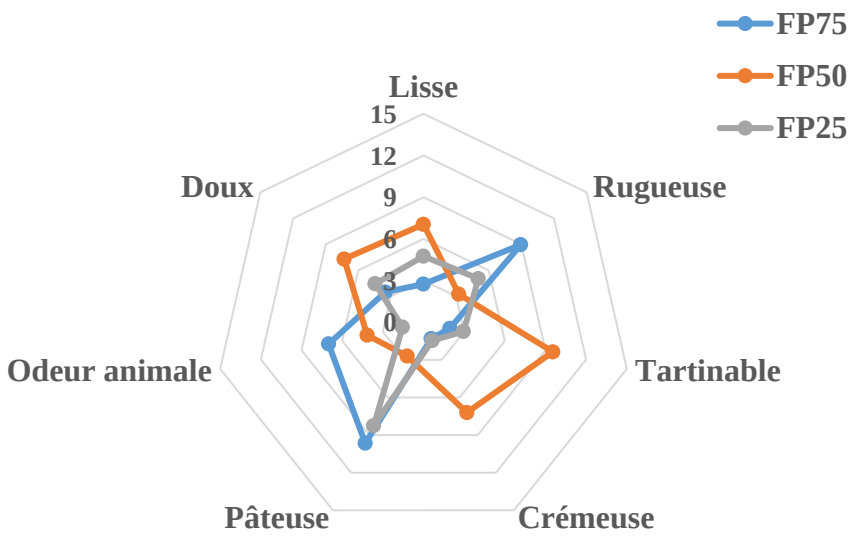


Figure 34 : Profil sensoriel du fromage frais FP75, FP50 et FP25

III.2.4 Caractéristiques sensorielles du fromage camelin-chèvre avec l'agent coagulant microbien

Le score des différents attributs sensoriels des fromages frais est représenté dans le tableau 57.

Tableau 57 : Paramètres sensorielles des fromages frais avec l'agent coagulant microbien (note/15)

Paramètres	FM75	FM50	FM25
Aspect et texture			
Lisse	1.65±0.18 [a]	1.6±0.34 [a]	4.85±0.52 [b]
Rugueuse	9.55±2.62 [a]	8.3±2.72 [a]	6.4±1.27 [a]
Sableuse	9.2±2.29 [a]	9.95±1.99 [a]	3.35±0.17 [b]
Tartinable	2.25±0.65 [a]	3.35±0.79 [a]	1.65±0.68 [a]
Crémeuse	0.7±0.1 [a]	1±0.58 [a]	0.65±0.26 [a]
Pâteuse	6.9±1.28 [a]	6.35±1.76 [a]	9.5±2.68 [a]
Odeur			
Odeur lactique	4.55±0.93 [a]	8.55±1.02 [b]	5.85±1.54 [ab]
Odeur animale	6.75±1.84 [a]	4.75±0.37 [a]	4.55±0.51 [a]
Odeur d'herbe	1.2±0.41 [a]	1.4±0.64 [a]	0.55±0.3 [a]
Goût			
Acide	1.55±0.84 [ab]	3.25±0.91 [a]	0.4±0.1 [b]
Salé	3.4±0.18 [a]	4.3±1.88 [a]	2.3±0.36 [a]
Doux	2.8±0.33 [a]	2.95±0.87 [a]	3.05±1.92 [a]
Amer	1.1±0.55 [a]	1.5±0.98 [a]	1.4 ±0.8 [a]
Goût du beurre	4.05±1.96 [a]	3.6±0.84 [a]	3.95±1.03 [a]
Acceptation générale	7.8±2.89 [a]	6.55±3.39 [a]	7.85±2.34 [a]
Richesse en arome	40% (Oui)	65% (Oui)	25% (Oui)
Intensité d'arome	25% (Forte)	65% (Forte)	25% (Forte)
Préférence	20% (45% goût)	35% (45% goût)	**45%** (45% arome)

FM (75, 50, 25) : Fromages coagulés à l'agent coagulant microbien selon les proportions 75 %, 50% et 25% en mélange avec le lait de chèvre ; a et b : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

Les résultats du tableau 53 montrent qu'il n'y a pas une différence significative entre la plupart des attributs sensorielles des différentes formulations des fromages coagulés avec l'agent coagulant microbien. Ce qui explique que l'ajout du lait de chèvre au lait de dromadaire à différentes proportions n'a pas donné des fromages bien différents à l'échelle sensorielle.

Au niveau de la texture, les fromages fabriqués se caractérisent par une texture moyennement rugueuse et pâteuse entre 6 et 9/15 et faiblement tartinable entre 1 et 3/15. De plus, nous avons remarqué que la formulation FM25 se diffère significativement par une texture moins sableuse avec 3.35±0.17 et plus lisse avec 4.85±0.52 comparativement aux FM75 et FM50.

Pour l'odeur, nous avons enregistré une sensation légère d'odeur lactique de 8/15 avec la FM50 et une odeur animale avec la FM75 de 6/15. D'autre coté, toutes les formulations des

fromages présentent un goût faiblement acide, salé et amer. Il faut à noter que nous avons enregistré un goût faiblement doux entre 2 et 3/15 avec tous les fromages.

En terme d'acceptation, les dégustateurs ont accepté les fromages testés avec des scores entre 6 et 7/15. Cependant, presque la moitié des dégustateurs ont préféré la formulation FM25 qui contient la proportion la plus élevée en lait de chèvre.

D'après ces résultats, nous pouvons dire que la valorisation de l'agent coagulant microbien dans la coagulation du lait dromadaire-chèvre a donné des fromages n'ont fortement spécifiques et préférés auprès les dégustateurs à l'échelle de la texture et du goût.

Au niveau de la littérature, la valorisation de l'agent coagulant microbien de la moisissure *Rhizomucor miehei* est étudié dans le lait de dromadaire par **Soltani *et al*. (2016 ; 2019)**, mais la qualité sensorielle du fromage produit n'a pas étudié.

Soltani *et al*. (2016) ont montré que les fromages produits à l'aide des concentrations plus élevées en chymosine cameline recevaient des scores de texture, d'odeur et de saveur plus élevés comparativement à ce coagulé par l'agent coagulant microbien de la *Rhizomucor miehei*.

Nous pouvons résumer le profil sensoriel des différentes formulations des fromages frais coagulés avec l'agent coagulant microbien dans la figure 35.

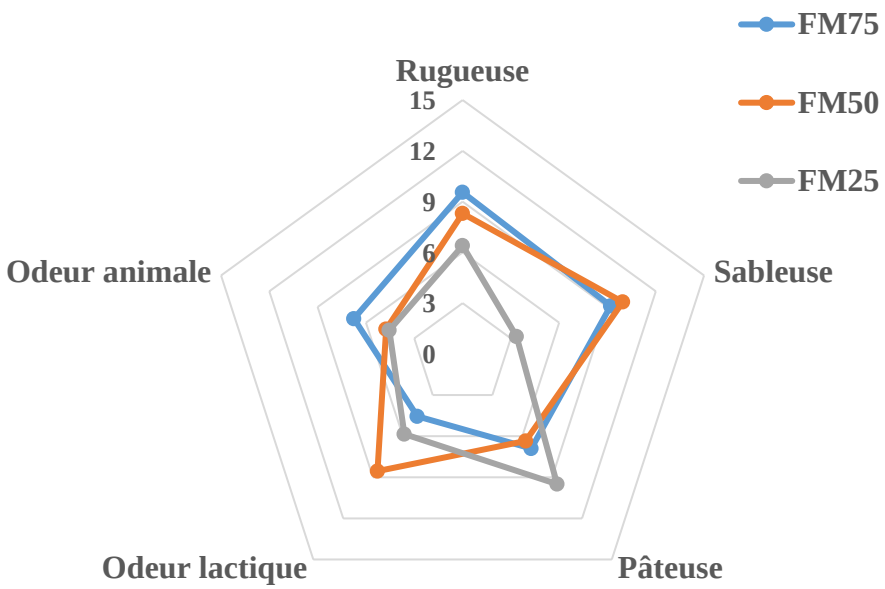


Figure 35 : Profil sensoriel du fromage frais FM75, FM50 et FM25

III.3 Caractéristiques rhéologiques des différentes formulations des fromages frais à coagulation enzymatique

La caractérisation rhéologique des fromages est réalisée en soumettant les produits à des contraintes pour observer leur comportement à la déformation. Le fromage est généralement classé comme un matériau viscoélastique car son rapport de la contrainte-déformation présente à la fois un comportement solide et liquide. Les paramètres rhéologiques donnés par le rhéoviscosimétre des différentes formulations des fromages frais au lait de dromadaire et de chèvre, coagulées avec les extraits d'origine animale et l'agent coagulant microbien, sont données respectivement dans les tableaux 58 et 59.

Tableau 58 : Paramètres rhéologiques des fromages frais avec les extraits d'origine animale

Paramètres	FD75	FD50	FD25	FC75	FC50	FC25	FP75	FP50	FP25
K (Pa.s^n)	3185.7^a ±918.6	2174^a ±226.9	297.6^b ±33.3	298.1^a ±42.4	387.9^a ±213.8	5510.3^b ±705.8	1615.3^a ±46.2	261.4^b ±5.4	1946^c ±45
n	-1.21^a ±0.5	-1.4^a ±0.48	-1.19^a ±0.87	-0.68^a ±0.1	-0.81^a ±0.03	-1.2^b ±0.23	-0.82^a ±0.36	-0.81^a ±0.03	-0.81^a ±0.49
χ^2	2.83 ±0.89	5.58 ±3.79	1.89 ±1.65	12.06 ±0.32	3.57 ±0.9	6.23 ±1.67	1.74 ±0.38	3.57 ±0.9	2.37 ±0.51
r	0.87 ±0.05	0.82 ±0.03	0.86 ±0.09	0.66 ±0.05	0.68 ±0.17	0.69 ±0.2	0.72 ±0.13	0.68 ±0.17	0.74 ±0.08

a,b et c : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

D'après les résultats du tableau 58, l'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative (P <0.05) entre les valeurs de l'indice de consistance **K** des deux formulations (FD75, FD50) et la formulation FD25. Ceci, nous permet de déduire qu'à partir d'un certain seuil d'ajout du lait de chèvre la consistance change significativement c'est-à-dire que la proportion du lait de chèvre dans le fromage peut affecter sa consistance si elle est supérieure à 50 %. Pour la valeur de n (indice d'écoulement ou indice de flux), il parait qu'il n'y a pas de différence significative. Le coefficient de régression est supérieur à 50% pour toutes les formulations coagulées avec la présure cameline.

En ce qui concerne les fromages coagulés avec la présure caprine, l'analyse statistique montre que la formulation FC25 présente une différence significative par rapport à la valeur des indices **K** et **n** comparativement aux autres formulations FC75 et FC50. Ceci explique que

la coagulation du lait en mélange avec la présure caprine à forte proportion en lait de chèvre présente encore une consistance caractéristique. De plus, le coefficient de régression est supérieur à 50% pour toutes les formulations.

Pour les formulations coagulées avec la pepsine de poulet, il parait qu'il y a une différence significative entre elles au niveau de la consistance. Cependant, l'indice d'écoulement ne présente pas de différence et le coefficient de régression est supérieur à 50% dans l'ensemble. De ce fait, nous pouvons dire que la pepsine de poulet réagit différemment avec le changement de la proportion du lait de dromadaire donnant des coagulum et fromages avec des consistances différentes.

A titre comparatif avec la formulation témoin coagulée avec l'agent coagulant microbien, nous présentons les résultats des paramètres rhéologiques des fromages frais obtenus dans le tableau 59.

Tableau 59 : Paramètres rhéologiques des fromages frais avec l'agent coagulant microbien

Paramètres	**FM75**	**FM50**	**FM25**
K (Pa.s^n)	3106±1160^a	5694±850^a	41583.33±3556^a
n	-1.17±0.36^a	-0.92±0.27^a	-1.74±0.33^a
χ2	10.44±1.65	1.48±0.50	3.58±2.97
r	0.76±0.02	0.77±0.14	0.86±0.06

a : lettre indique la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

Les résultats montrent que les valeurs du **K** et **n** ne présentent pas de différence quelques soit le type de formulation. Aussi, le coefficient de régression est supérieur à 50%. Ceci peut indiquer que l'utilisation de l'agent coagulant microbien dans la coagulation du lait de dromadaire à différentes proportions avec le lait de chèvre n'a pas donné des fromages caractéristiques selon la consistance.

Selon le modèle d'Ostwald, l'analyse statistique montre de faibles valeurs de chi carré (χ2) et des valeurs élevées de coefficient de régression (r) pour toutes les formulations des fromages frais produits avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien. L'indice de consistance (K) est un indicateur de la nature

visqueuse du système **(Koocheki *et al.* 2009)**. Notre étude a montré qu'il y a un effet de la nature de l'agent coagulant sur la consistance de la pâte fromagère. De plus, la rhéologie d'un fromage dépend de son environnement interne, comme son pH et sa température **(Giha *et al.*, 2021)**.

L'indice d'écoulement peut varier de n=1 (conduisant à la loi de Newton) à n<1 ou n>1 pour décrire le comportement d'écoulement (amincissant ou épaississant) **(Steffe, 1996 ; Fischer *et al.* 2009)**. Sur la base de la valeur n, le type du coagulum des fromages coagulés avec la présure cameline (FD75, FD50 et FD25) est un coagulum dilatant (épaississant par cisaillement) où **n>1**. Pour FC75 et FC50, il s'agit d'un coagulum pseudoplastique (rhéofluidifiant par cisaillement) où **n<1**. Alors que FC25 est un coagulum dilatant.

En ce qui concerne tous les fromages coagulés avec la pepsine de poulet (FP75, FP50 et FP25), ils semblent avoir un coagulum pseudoplastique. En comparaison avec les résultats de Aissaoui *et al.,* (2018), la courbe de viscosité d'un fromage au lait de chamelle et de chèvre (50/50) fabriqué avec la pepsine de poulet a montré un comportement d'un fluide plastique type fluide de Bingham. Ce qui a été expliqué par la présence à la fois de deux types de lait dont le comportement à la coagulation est différent donnant ainsi deux types de particules aux seins du gel qui est assez ferme par rapport à d'autres gels de fromages **(Aissaoui *et al.*, 2018)**.

Comparativement aux formulations avec l'agent coagulant microbien, le fromage de FM50 se caractérise par un coagulum pseudoplastique ; alors que les autres formulations FM75 et FM25 présentent le comportement d'un coagulum dilatant.

Selon **Couarraze et Grossiord (1991),** le comportement du coagulum rhéofluidifiant par cisaillement est interprété moléculairement comme les molécules ou unités structurelles de la substance s'alignent progressivement dans la direction de l'écoulement à mesure que le taux de cisaillement augmente, favorisant ainsi l'écoulement des différentes couches de liquide ; soit justifiée par une modification de la structure du liquide (destruction par rupture de liaisons ou défloculation de particules) en fonction du taux de cisaillement. Dans le cas du coagulum épaississant par cisaillement, ce comportement est moins fréquent que le coagulum fluidifiant ; il était interprété moléculairement par une redistribution du solvant (lubrifiant) au niveau des particules, après gonflement de la phase liquide.

Selon **Cheremisinoff (1990) et Djeghim *et al.* (2021)**, le coefficient de consistance K et l'indice d'écoulement dépendent de la température et de la formulation de la pâte. L'obtention des valeurs négatives de l'indice de flux est expliquée par certains auteurs **(Padmanabhan *et***

***al*., 1991 ; Drozdek et Faller, 2002)**. Dans notre cas, les valeurs négatives peuvent être justifiées par la présence de deux types de lait, à une dégradation moléculaire de l'échantillon, à une dispersion de la viscosité ou à la présence de glissement dans le fluide lors de l'analyse.

Nous concluons que, le type de lait et le type d'enzyme ont une influence sur le comportement rhéologique des fromages.

III.4 Microstructure des différentes formulations des fromages frais à coagulation enzymatique

Dans cette partie nous donnerons les observations plus profondes de la microstructure des fromages formulés. Les figures 36, 37, 38 et 39 illustrent les observations de la microstructure des gels fromagers des différentes formulations sous l'action de la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien. Les observations au MEB sont données avec un agrandissement de 10 µm et de 5 µm.

Nos résultats de la microstructure des fromages frais coagulés ont montré que le type de la formulation ou l'ajout du lait de chèvre au lait de dromadaire avait un effet sur la formation du réseau de caséine.

La figure 36 montre que pour les fromages coagulés avec la présure cameline, le réseau caséinique est continu comportant des pores de faibles tailles. Il a été constaté que plus le volume de lait de dromadaire augmente dans la formulation, plus le nombre de pores augmente dans le réseau. Ceci est confirmé dans l'observation du réseau protéique de la formulation FD25 qui est plus compact que celui de FD75 et FD50.

Selon **Fox *et al*. (2000)**, la présence d'espaces évidents dans le fromage est liée à la spécificité du coagulant. **Boudjenah-Haroun (2012)** a rapporté que la microstructure du fromage au lait de dromadaire produit avec des extraits enzymatiques coagulants de la caillette de dromadaires adultes, était compacte et uniforme. D'autre part, **Soltani *et al*. (2016)** ont rapporté, que dans les fromages, le type et la concentration du coagulant ont des effets importants sur la structure des pores du réseau caséinique.

Dans notre cas d'étude, nous avons montré que l'ajout du lait de chèvre au lait de dromadaire selon les différentes formulations et extrait enzymatique, nous a donné des nouvelles microstructures qui n'avaient pas de concordance dans la littérature.

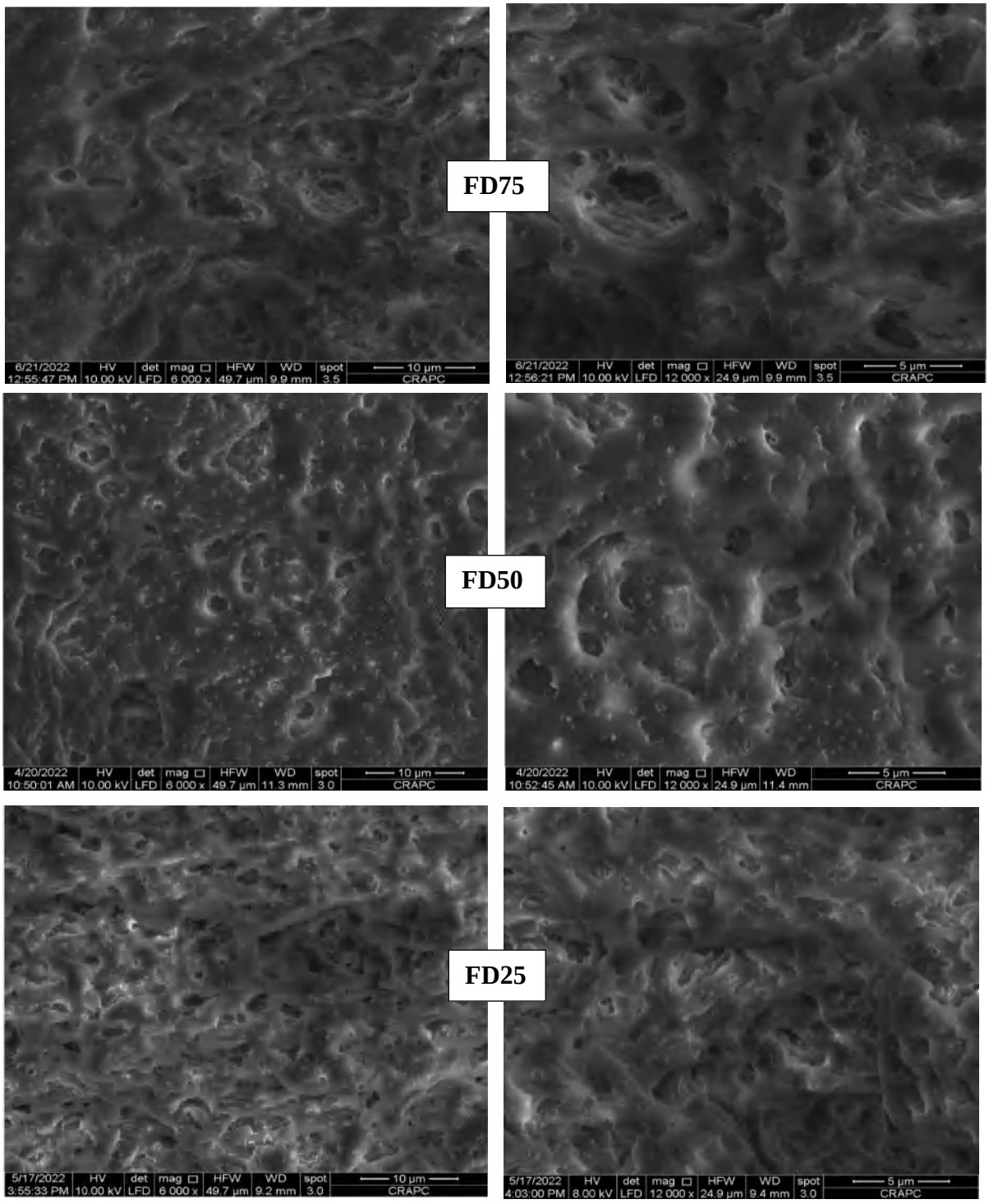


Figure 36 : Micrographes des différentes formulations des fromages frais avec la présure cameline (FD75, FD50 et FD25)

Pour les fromages coagulés avec la présure caprine et la pepsine de poulet (figures 42 et 43), les observations du MEB ont montré que les formulations, qui contiennent plus de lait de dromadaire, possèdent les plus larges pores comparativement aux autres formulations. Alors que, pour ceux qui contiennent plus de lait de chèvre, les pores plus nombreux et rétrécis, ce qui conduit à une texture plus compacte. Au niveau de la littérature, l'étude de la microstructure des fromages frais à base du lait de dromadaire ou du lait de chèvre, coagulés avec la présure caprine ou la pepsine de poulet n'est pas disponible.

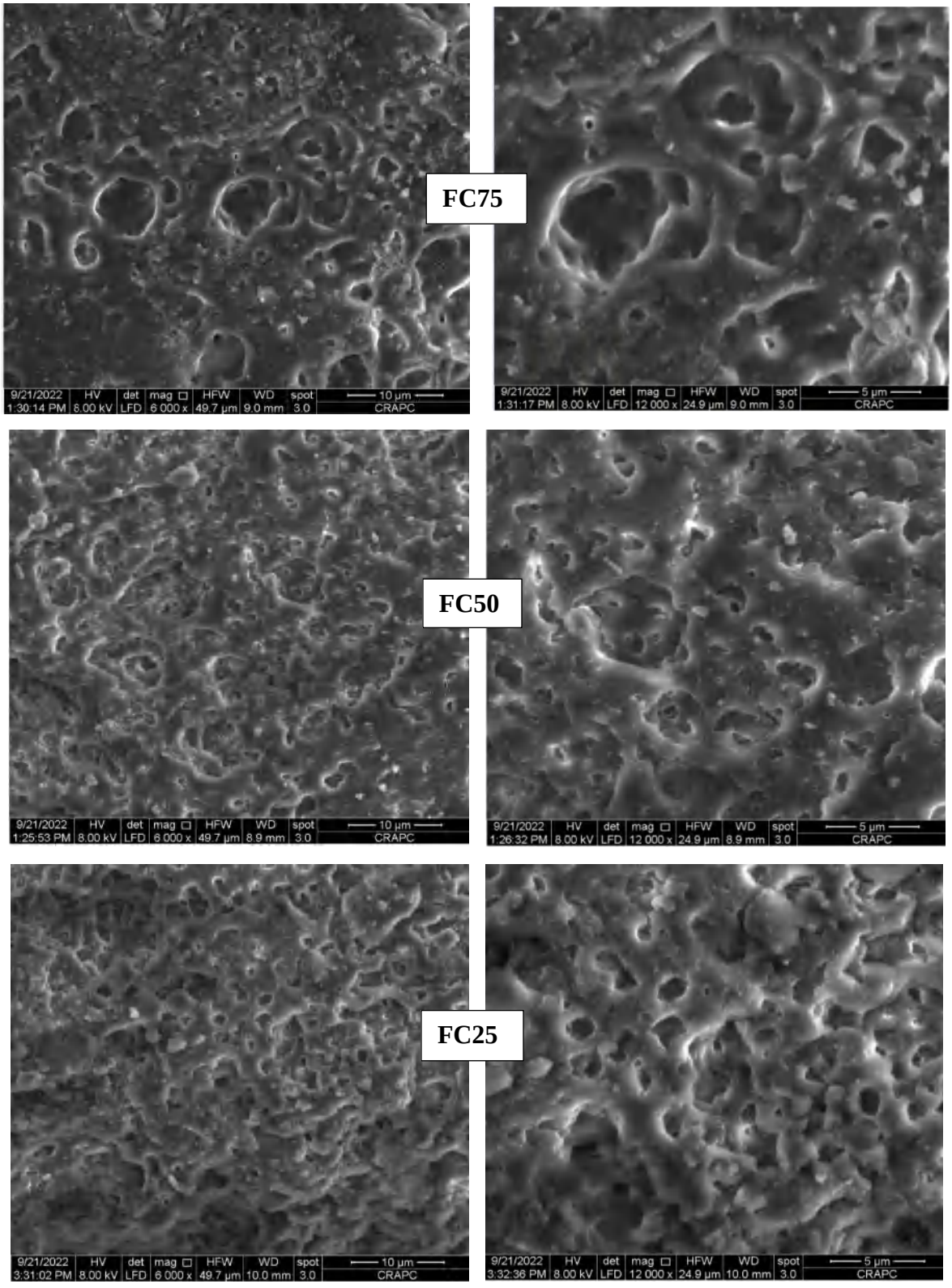


Figure 37 : Micrographes des différentes formulations des fromages frais avec la présure caprine (FC75, FC50 et FC25)

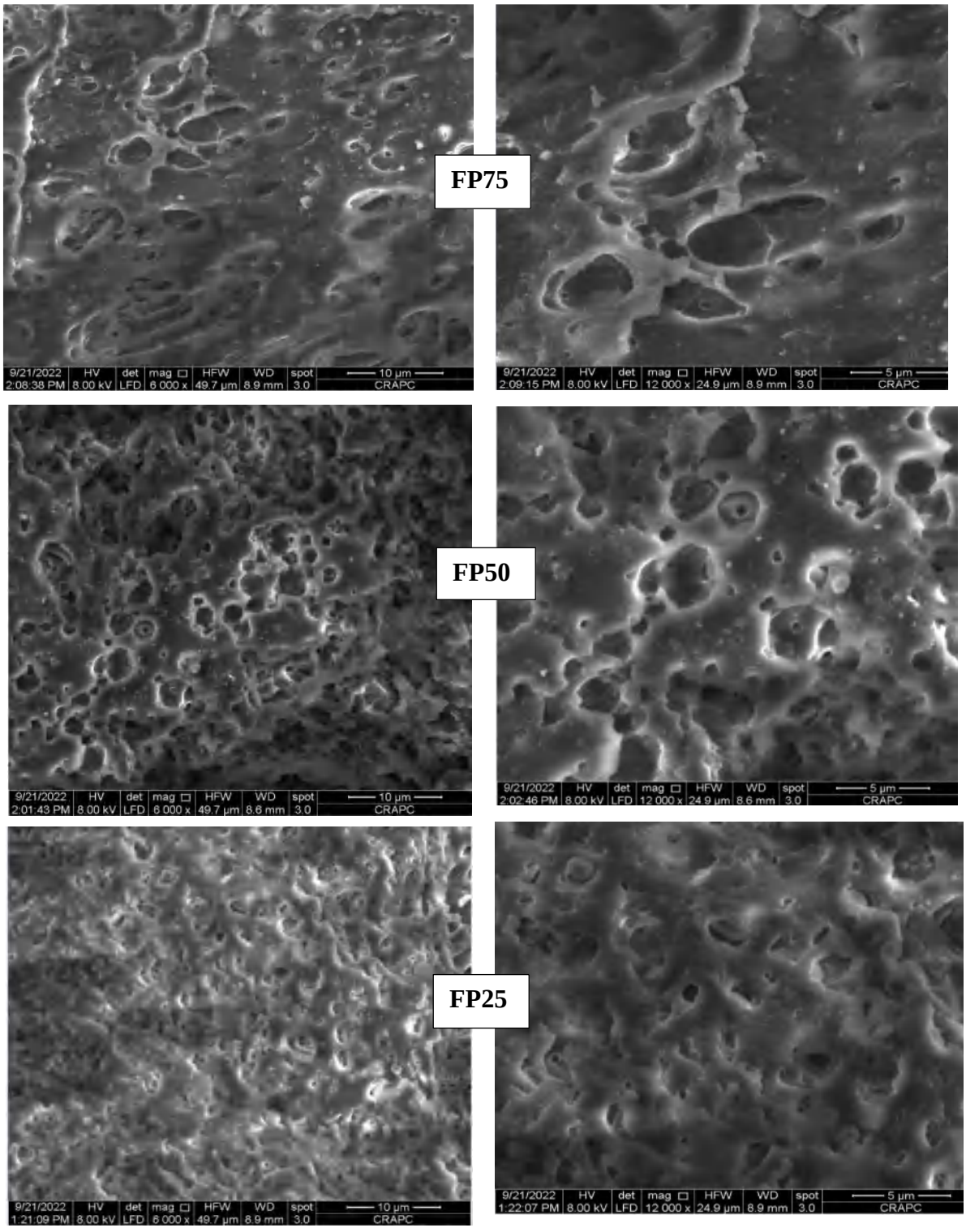


Figure 38 : Micrographes des différentes formulations des fromages frais avec la pepsine de poulet (FP75, FP50 et FP25)

En ce qui concerne les fromages coagulés avec l'agent coagulant microbien (figure 44), les espaces ou les pores étaient augmenté dans les formulations qui contiennent plus du lait de dromadaire. Donc, nous pouvons dire que la formulation FM25 semble avoir un réseau de caséine continu et plus compacte comparativement à la formulation FM75 et FM50. Ceci confirme que l'ajout du lait de chèvre au lait de dromadaire a amélioré la consistance de la pâte fromagère. Cependant, ce qui caractérise la formulation FM75 qui contient la proportion la plus élevée en lait de dromadaire, qu'elle est plus compacte comparativement à des mêmes formulations coagulées avec les extraits enzymatiques d'origine animale ; ces résultats sont compatibles avec les caractéristiques sensorielles des fromages.

En terme bibliographique, **Soltani *et al*. (2016)** ont rapporté que l'activité protéolytique réduite de l'agent coagulant peut entrainer à une moindre présence d'espaces et répartition des protéines, ce qui conduit à un réseau de protéines plus compactes. De plus, la microstructure du fromage frais coagulé avec l'agent coagulant microbien de *Rhizomucor miehei* était mal étudiée.

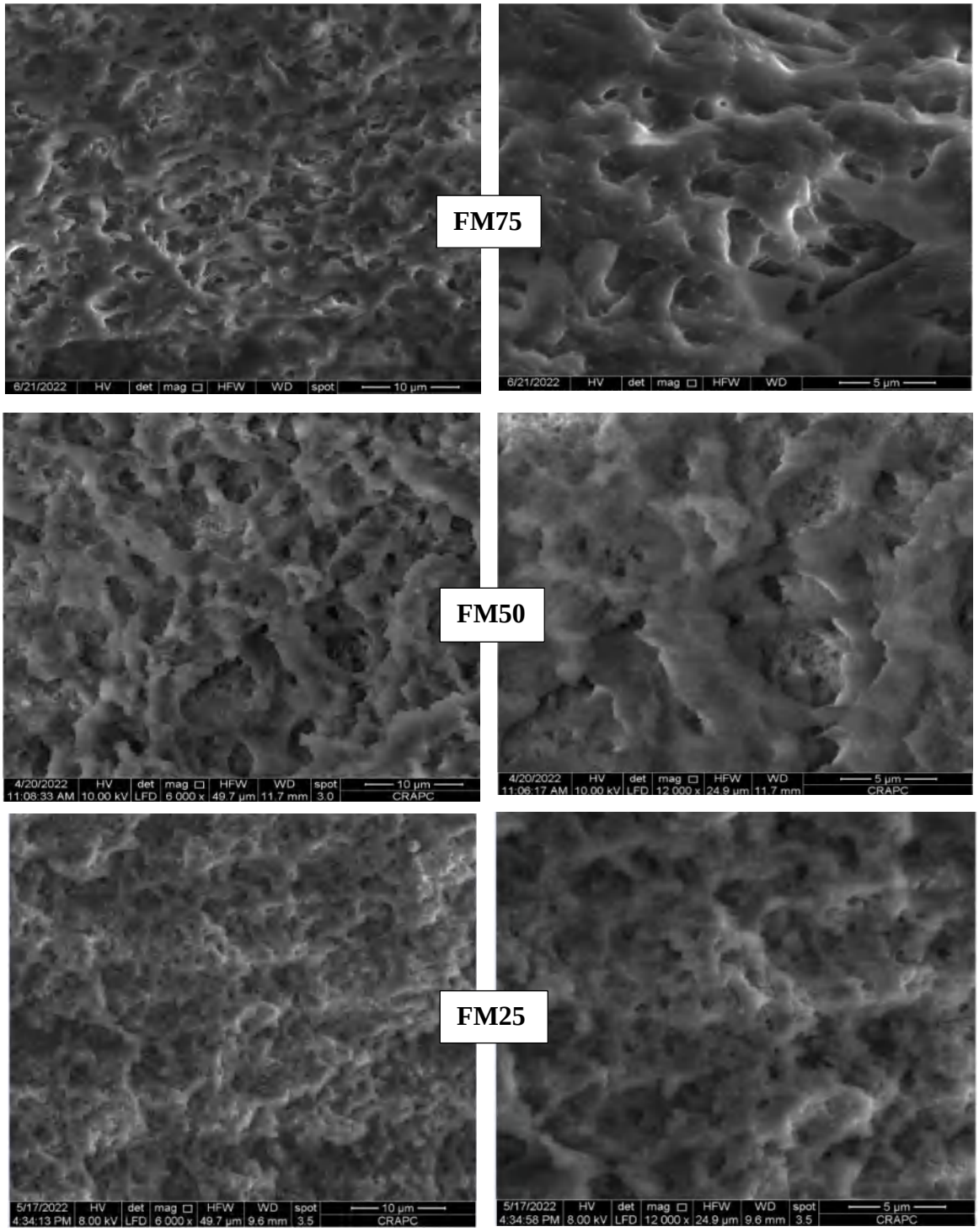


Figure 39 : Micrographes des différentes formulations des fromages frais avec l'agent coagulant microbien (FM75, FM50 et FM25)

III.5 Composition en acides aminés des différentes formulations des fromages frais à coagulation enzymatique

Les chromatogrammes des différentes formulations des fromages frais coagulés avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien sont présentées en annexe 02.

La composition en acides aminés des fromages frais coagulés avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien est présenté dans le tableau 60.

Tableau 60 : Composition an acides aminés par 100g des fromages frais à coagulation enzymatique

Fromages	Histidine (mg)	Arginine (mg)	Alanine (mg)	Leucine (mg)
FD75	33.23±0.7*	0.034±0.01^{a}	0.02±0.00^{a}	0.31±0.02^{a}
FD50	23.4±0.2*	0.005±0.00^{a}	0.014±0.00^{a}	0.66±0.00^{b}
FD25	/	0.31±0.03^{b}	0.056±0.02^{b}	0.294±0.02^{a}
FC75	32.39±0.5^{a}	0.016±0.001^{a}	0.022±0.001^{a}	0.96±0.02^{a}
FC50	43.46±0.1^{b}	0.006±0.002^{b}	0.054±0.03^{a}	0.89±0.00^{b}
FC25	25.99±0.8^{c}	0.014±0.006^{ab}	0.052±0.01^{a}	0.54±0.03^{c}
FP75	27.64±0.5*	0.012±0.00^{a}	0.012±0.00^{a}	0.61±0.01^{a}
FP50	/	0.178±0.00^{b}	0.292±0.05^{b}	0.72±0.05^{b}
FP25	25.77±0.3*	0.348±0.08^{c}	0.088±0.03^{a}	0.47±0.04^{c}
FM75	12.69±0.1^{NS}	0.192±0.05^{a}	0.292±0.01^{a}	0.86±0.00^{ab}
FM50	10.66±0.9^{NS}	0.038±0.00^{b}	0.152±0.00^{b}	0.738±0.00^{b}
FM25	/	0.292±0.04^{c}	0.21±0.00^{c}	1.84±0.7^{a}

* : P<0.05, NS : Non Significatif (test student) ; a,b et c : lettres indiquent la différence significative des moyennes dans la même colonne (P <0.05) (test de Tukey).

L'analyse statistique des résultats présentés dans le tableau 58 révèlent qu'il y a une différence significative (P<0.05) de la concentration en acides aminés entre la plupart des différentes formulations.

En ce qui concerne l'histidine, nous avons remarqué que cet acide aminé est le plus concentré dans toutes les formulations utilisées. La concentration maximale était de 43.46±0.1mg/100g dans la formulation FC50 et la concentration minimale était de 10.66±0.9 mg/100g dans la formulation FM50. A titre comparatif, nous avons noté que les valeurs les plus élevées sont observées dans les formulations coagulées avec les enzymes d'origine animale (présure cameline, présure caprine et pepsine de poulet) que les formulations coagulées avec l'agent coagulant microbien ou commerciale. Dans ce sens, ces résultats nous ont donné une idée sur la dégradation des caséines ou l'activité protéolytique de nos extraits enzymatiques étudiés.

Au niveau d'autre acides aminés, nous avons enregistré que la concentration de l'arginine pour toutes les formulations était inférieure à 0.4 mg/100g ; dont la valeur maximale était dans la formulation FP25 avec 0.348±0.08 mg/100g. Pour l'alanine et la leucine, toutes les concentrations ne dépassent pas respectivement 0.21 mg/100g et 1.84 mg/100g, ces dernières étaient observées dans la formulation FM25.

D'après ces résultats, nous pouvons déduire que la concentration finale en différents acides aminés détectés dans les fromages frais varie principalement selon la nature de l'enzyme coagulante et la proportion en lait de dromadaire dans la formulation.

Au niveau bibliographique, selon **Asif *et al*. (2022)** le processus de fabrication et les types de lait sont principalement responsable des bonnes qualités du fromage. Ils ont rapporté que la composition en acides aminés d'un fromage frais coagulé avec la présure commerciale à base du lait de bufflonne a révélé une concentration d'histidine de 0.59±0.03 mg/100g et leucine de 0.93±0.03 mg/100g. Pour l'arginine et l'alanine ne sont pas détectés.

Dans ce sens, l'étude de la composition en acides aminés libres du fromage frais à base du lait de dromadaire ou du lait en mélange est mal envisagé.

La figure 40 montre la concentration des quatre acides aminés (histidine, arginine, alanine et leucine) dans les douze formulations de fromages selon le type d'enzyme coagulante.

Selon nos résultats, l'abondance relative de ces différents acides aminés dans les fromages au lait de chamelle et de chèvre s'est révélée variable. L'histidine est l'acide aminé le plus présent dans les fromages à l'exception de trois formulations (FD25, FP50 et FM25) où il n'a pas été détecté. En effet sa concentration reste tolérable pour l'organisme et elle ne dépasse pas les limites de protection contre l'intoxication à l'histidine

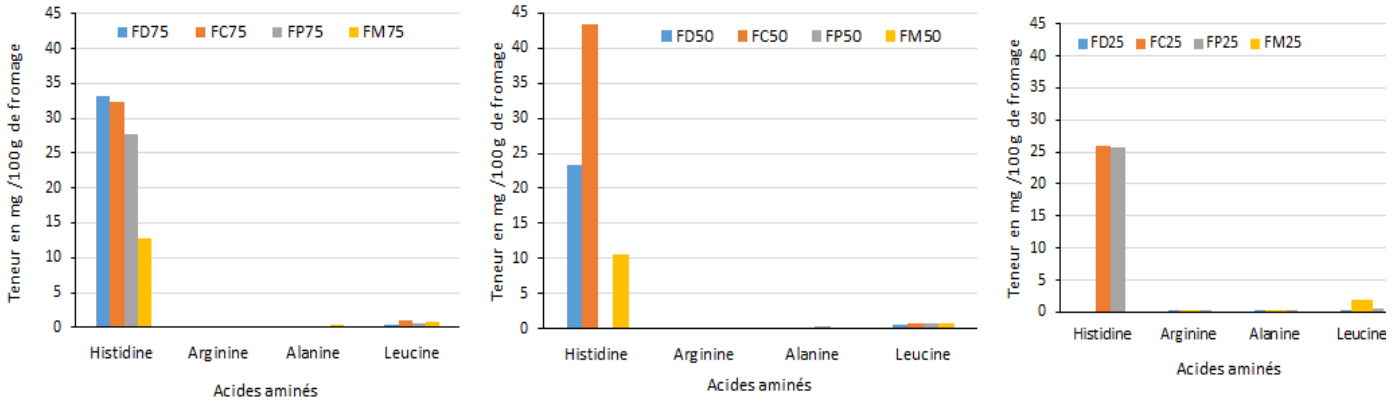


Figure 40 : Représentation de la concentration en acides aminés des différentes formulations des fromages frais à coagulation enzymatique

Selon **Sanli *et al.* (2015)** la limite de la teneur en histidine doit être inférieur à 100 mg/kg de produit. La concentration de l'histidine dans les fromages dépend de plusieurs facteurs dont le taux de maturation et de dégradation des protéines du lait et la nature de sa flore lactique **(Chang *et al.*,1985)**. Dans notre cas, les fromages sont frais, ce qui explique leur faible teneur par rapport à d'autres fromages affinés. Cependant, nous avons constaté une influence significative de l'action de l'enzyme coagulante sur la teneur en acide aminé des fromages même frais. A titre comparatif, pour la même formulation en lait de chamelle et de chèvre 50/50 %, la concentration de l'histidine est la plus importante dans le cas de l'utilisation de la présure de chèvre et elle nulle dans le cas de l'utilisation de la pepsine de poulet. Concernant la leucine sa présence est très faible dans les différentes formulations.

Il faut noter que les laits de chamelle et de chèvre présentent un équilibre satisfaisant en acides aminés essentiels, égalant ou dépassant les exigences de la FAO et de l'OMS pour chaque acide aminé ce qui favorise l'obtention d'un fromage équilibré **(FAO/OMS, 2017)**.

IV. Caractéristiques des fromages frais camelin-chèvre à coagulation mixte

En se basant sur les propriétés sensorielles des fromages frais selon les différentes formulations au lait de dromadaire-chèvre et la préférence des dégustateurs, nous avons opté à la fabrication et la caractérisation d'un deuxième type de fromage frais mais an couplant la coagulation enzymatique et la coagulation. Ceci nous permettra d'améliorer la qualité sensorielle des formulations sélectionnées. Nous avons donc, pour chaque type d'enzyme coagulante (présure cameline, présure caprine, pepsine de poulet et agent coagulant microbien),

choisi la meilleure formulation et additionnée des ferments lactiques mésophile. Les nouveaux fromages frais ont été caractérisés selon les propriétés physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles.

Quatrième volet : Caractéristiques des fromages camelin-chèvre à coagulation mixte

IV.1 Caractéristiques physico-chimiques des fromages camelin-chèvre à coagulation mixte

Le tableau 61 présente les différents paramètres physico-chimiques des fromages frais à coagulation mixte.

Tableau 61 : Caractéristiques physico-chimiques des fromages frais à coagulation mixte

Paramètres	**FD50^{B}**	**FC75^{B}**	**FP50^{B}**	**FM25^{B}**
pH	5.1±0.00^{a}	5.14±0.01^{b}	5.12±0.00^{c}	5±0.00^{d}
Acidité lactique (%)	1.36±0.2^{a}	1.51±0.1^{a}	1.47±0.1^{a}	1.53±0.4^{a}
Matière sèche (MS) (%)	36.22±1.8^{a}	25.66±0.5^{b}	43.55±1.2^{c}	31.6±0.5^{d}
Protéines (Pr) (%)	17.2±2.1^{a}	10.3±1.4^{b}	17.93±1.7^{a}	13.85±0.9 ^{ab}
Pr/MS (%)	47.48±1.5^{a}	40.14±2.0^{b}	41.17±1.1^{b}	43.82±1.3^{ab}
Matière grasse (MG) (%)	17.38±0.9^{a}	9.92±1.0^{c}	21.71±0.2^{b}	9.63±1.4^{c}
MG/MS (%)	47.98±0.5^{a}	38.65±1.9^{b}	49.85±0.16^{a}	30.47±2.7^{c}
TEFD (%)	77.19±0.9^{a}	82.52±0.1^{b}	72.1±0.4^{c}	75.68±0.2^{d}
Cendres (%)	0.98±0.03^{a}	1.14±0.07^{b}	1.24±0.02^{b}	0.99±0.06^{a}
Rendement (%)	17.1±1.7^{ab}	14±0.9^{b}	16.4±1.6^{ab}	18.2±0.3^{a}

a,b, c et d : lettre indique la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

L'analyse statistique des paramètres physico-chimiques présentés dans le tableau 58 a montré qu'il y a une différence significative entre les différents fromages produits. D'abord, nous avons remarqué que les valeurs de pH des fromages à coagulation mixte sont différentes, et varies entre 5 et 5,14. Pour l'acidité lactique, la valeur maximale est enregistrée dans la formulation FM25^{B} avec une teneur de 1.53±0.4% de fromage.

En ce qui concerne la matière sèche, nous avons enregistré une nette différence entre les fromages fabriqués ; dont la valeur maximale est de 43.55±1.2% avec FP50 ^{B} et la valeur minimale

est de 25.66±0.5% avec FC75 ^{B}. Cette variation dans la teneur en MS peut être expliquée par la différence du pouvoir coagulant entre les enzymes testées. D'autre part, la part des protéines dans la matière sèche (Pr/MS) des formulations FD50 ^{B} et FM25 ^{B} sont proches, ainsi que celle des formulations FP50^{B} et FC75^{B}. Pour la teneur en MG/MS, les formulations FD50 et FP50 ont une teneur supérieure à 45%, ce qui permet de les classés selon la classification du codex alimentaire dans la catégorie des fromages *Tout-gras*. Alors que celle de FC75^{B} et FM25^{B} sont classés dans la catégorie des fromages *Mi-gras*.

Au niveau de la fermeté de la pâte, les valeurs du TEFD sont supérieures à 67%, ce qui nous permet de classer tous les fromages fabriqués en pâtes molles. Ceci peut être expliqué par la contribution des ferments lactiques dans la texture de la pâte. Ces fromages ont une teneur en minéraux qui varie entre 0.9 et 1.2%.

Siddig *et al*. (2016) ont rapporté que le fromage Jibna-beida fabriqué au lait de chamelle et de vache (50/50) et avec coagulation microbienne et enzymatique présentait des teneurs plus élevées en protéines, en matières grasses, en extrait sec total et en eau en comparaison avec le fromage coagulé par acidification citrique.

Au niveau de la bibliographie, nous avons noté l'étude de la composition physico-chimique du fromage frais à base du lait de dromadaire ; coagulé avec la chymosine cameline et inoculé par des ferments lactiques mésophiles et est étudié par **Benkerroum *et al*. (2011)** et par **Bekele *et al*. (2018)**. Ce dernier a rapporté un pH de 5.2±0.06, une teneur en matière grasse de 18.74±0.57%, une teneur en protéines de 11.12±0.02% et 34.76±0.26% en matières sèches. De plus, les deux auteurs ont aussi rapporté un rendement fromager de 16.74% et de 9.5±0.34% respectivement.

En termes de rendement fromager, nous avons enregistré des valeurs entre 14% et 18%. Dans ce sens et pour la coagulation mixte du lait de dromadaire-chèvre, nous pouvons déduire que la présure cameline et la pepsine de poulet semble avoir le même effet que l'agent coagulant microbien. Alors que la présure caprine a donné un fromage différent. L'étude de **Benkerroum *et al*. (2011)** a montré que des meilleurs rendements obtenus ont une relation avec l'ajout de 3% de sel de table au lait de dromadaire avant fermentation. De Plus, ils ont rapporté que l'absence de sel ou l'ajout des ferments lactiques (mésophile ou thermophile), conduit à un faible rendement allant à 10%. Récemment, **Mbaye *et al*. (2020 ; 2022)** ont rapporté un rendement de 12.3±1.2% du fromage frais coagulé avec la chymosine cameline recombinante et des ferments lactiques thermophiles du Yaourt.

Nous pouvons dire que les résultats obtenus semblent importants par rapport à la qualité du fromage et au rendement selon les différentes formulations sélectionnées, d'où l'importance de l'optimisation des paramètres de la coagulation. De plus, la valorisation des différents extraits enzymatiques dans la fabrication du fromage frais en couplant l'ajout des ferments lactiques mésophiles a donné des fromages riches matière sèche et spécifiquement en protéines.

Finalement et en se basant sur les propriétés générales des fromages fabriqués, nous pouvons classer les différents extraits enzymatiques étudiés selon l'importance de l'utilisation par ordre décroissant en : présure cameline, pepsine de poulet et présure caprine.

IV.2 Qualité microbiologique des fromages frais camelin-chèvre à coagulation mixte

L'analyse microbiologique de la qualité hygiénique des quatre fromages aux laits de chamelle et de chèvre et à coagulation mixte ($FD50^{B}$ $FC7^{B}$ $FP50^{B}$ et F) a révélé l'absence totale des germes *Escherichia coli, Salmonella sp, Listeria monocytogenes.* Concernant la charge de *Staphyloccocus à coagulase +*, les résultats sont donnés dans le tableau 62.

Vue l'absence des germes pathogènes et de la faible charge de *Staphyloccocus à coagulase +*, les fromages sont considérés comme ayant ont une qualité hygiénique satisfaisante selon les directives de la norme algérienne des fromages frais à base du lait cru (lait de vache) **(JORA, 2017)**. En effet, l'activité antimicrobienne du lait de dromadaire pourrait concorder avec la nature hautement compétitive des bactéries lactiques ajoutées pour limiter la croissance des micro-organismes indésirables pendant la fermentation. Selon **Benkerroum *et al*. (2011)** le lait de chamelle est doté d'une activité antimicrobienne qui pourrait concorder avec la nature hautement compétitive des bactéries lactiques ajoutées pour limiter la croissance des micro-organismes indésirables pendant la fermentation.

Aucune autre donnée à notre connaissance sont disponibles dans la littérature concernant la qualité hygiénique du fromage frais produit à base du lait de dromadaire ou à base du lait de dromadaire en mélange à comparer à nos résultats.

Les résultats microbiologiques présentés ont indiqué que toutes les formulations des fromages frais $FD50^{B}$, $FC75^{B}$, $FP50^{B}$ et $FM25^{B}$ semblent avoir une qualité hygiénique satisfaisante comme le suggère l'absence d'*Escherichia coli,* de *Listeria monocytogenes* et de *Salmonella sp* ; selon la norme algérienne des fromages frais à base du lait cru (lait de vache).

Tableau 62 : Dénombrement de *Staphyloccocus à coagulase +* dans les fromages aux laits de chamelle et de chèvre et à coagulation mixte ($FD50^B$, $FC75^B$, $FP50^B$ et $FM25^B$)

Paramètres	*Staphyloccocus à coagulase +*					Plan d'échantillonnage		Limites microbiologiques (UFC/mL)	
						n	c	**m**	**M**
$FD50^B$	80	100	91	75	67	5	2	10^3	10^4
$FC75^B$	34	44	48	30	39	5	2	10^3	10^4
$FP50^B$	50	52	60	58	49	5	2	10^3	10^4
$FM25^B$	20	11	27	29	17	5	2	10^3	10^4

Référence : Journal Officiel de la république Algérienne N°39 2017

Sulieman *et al*. (2018) ont rapporté que le fromage Jibna-beida fabriqué au lait de chamelle et de vache (50/50) et avec coagulation microbienne et enzymatique présentait une en *staphycococcus aureu* de 2.10^5 UFC/ml qui sont supérieure à nos résultats. D'autre part très peu d'études traitent la composition et la qualité des fromages au lait de dromadaire en mélange avec le lait des autres espèces.

IV.3 Caractéristiques sensorielles des fromages frais camelin-chèvre à coagulation mixte

Les scores des différents attributs sensoriels des fromages frais à coagulation mixte sont présentés dans le tableau 63.

L'analyse statistique des descripteurs sensoriels a montré qu'il y a une différence significative entre les différents fromages fabriqués à coagulation mixte.

Au niveau de la texture, nous avons enregistré que le fromage $FD50^B$ semble proche à celle du fromage $FP50^B$. Ils se caractérisent respectivement par une texture moyennement rugueuse (6.24±1.9, 6.2±1.1), pâteuse (6.08±1.9, 6.45±1.3). D'autre coté et en comparaison avec les autres fromages, la formulation $FC75^B$ se caractérise essentiellement par une texture plus lisse (11.78±1.4), plus tartinable (11.71±1.3) et moins pâteuse (1.23±0.3).

En terme d'odeur des fromages, les dégustateurs ont prononcé une intensité moyenne d'odeur lactique qui est entre 6 et 7/15. De plus, nous avons noté que l'odeur animale est appréciée dans la formulation $FM25^B$ avec un score de 7.92±0.5.

Selon le goût des fromages, le score d'acidité le plus faible est noté dans la formule $FD50^B$ (5.26±0.3) et le plus élevé pour $FC75^B$ (10.4±0.9). La formulation $FC75^B$ est

caractérisée par une douceur caractéristique avec un score de 11/15. De plus, il faut noter que la sensation de la salinité et de l'amertume était faible pour tous les fromages dégustés.

Tableau 63 : Paramètres sensorielles des fromages frais au lait de chamelle-de chèvre et à coagulation mixte (note/15)

Paramètres	**FD50^{B}**	**FC75^{B}**	**FP50^{B}**	**FM25^{B}**
Aspect et texture				
Lisse	4.47±0.5^{a}	11.78±1.4^{b}	4.8±0.7^{a}	8.1±2.4 ^{ab}
Rugueuse	6.24±1.9^{a}	3.19±0.8^{a}	6.2±1.1^{a}	5.12±1.3^{a}
Sableuse	6.41±2^{a}	2.33±0.2^{a}	6.2±2.5^{a}	4.01±1.6^{a}
Tartinable	3.78±0.4^{a}	11.71±1.3^{b}	4.65±1^{a}	8.83±3.9 ^{ab}
Crémeuse	1.3±0.2^{a}	13.23±0.8^{b}	2.9±0.2^{a}	6.45±1.1^{c}
Pâteuse	6.08±1.9^{a}	1.23±0.3^{b}	6.45±1.3^{a}	4.05±0.8^{ab}
Odeur				
Odeur lactique	6.84±2.1^{a}	6.5±1.9^{a}	6.3±0.9^{a}	7.65±1.9^{a}
Odeur animale	3.82±0.7^{a}	2.28±0.1^{b}	3.15±0.6^{ab}	7.92±0.5^{c}
Odeur d'herbe	0.43±0.1^{a}	0.28±0.1^{a}	00±0.00^{b}	0.53±0.2^{a}
Goût				
Acide	5.26±0.3^{a}	10.4±0.9^{b}	7.1±0.8^{ac}	7.75±1.4^{bc}
Salé	5.91±0.8^{a}	7.78±1.4^{a}	7.78±2^{a}	7.3±3.8^{a}
Doux	3.6±2.4^{a}	11.9±0.5^{b}	5.9±1.1^{a}	6.45±1.4^{a}
Amer	1.21±0.6^{a}	2±0.7^{a}	2±0.8^{a}	2±0.2^{a}
Goût du beurre	2.6±0.2^{a}	5.54±1.4^{b}	5.54±1.3^{b}	4.26±0.7^{ab}
Acceptation générale	11±2.0^{ab}	13±0.5^{a}	10±1.4^{ab}	8±0.6^{b}
Richesse en arome	80% (Oui)	95% (Oui)	83% (Oui)	75%(Oui)
Intensité d'arome	90% (Forte)	99% (Forte)	92% (Forte)	80%(Forte)
Préférence	20%	**50%**	20%	10%

a,b, c et d : lettre indique la différence significative des moyennes dans la même ligne (P <0.05) (test ANOVA : test de Tukey).

En terme d'acceptabilité, le fromage FM25^{B} est moyennement accepté (8±0.6/15), alors que les autres types des fromages ont fortement acceptés avec un score de 10-13/15. Cependant, les dégustateurs ont apprécié la richesse et l'intensité d'arôme dans la formulation FC75^{B} qui contient une forte proportion en lait de dromadaire. Dans ce sens, nous pouvons justifier la présence d'arôme par l'addition des ferments lactiques qui ont contribué à la formation des composés aromatiques spécifiques.

En terme de préférence et selon les caractéristiques sensorielles des fromages, la moitié des dégustateurs ont choisis la formulation $FC75^{B}$, suivie par la formulation $FD50^{B}$ et $FP50^{B}$ et en dernière la formulation $FM25^{B}$.

Ces résultats nous ont permis de déduire que l'inoculation du lait en mélange par des ferments lactiques mésophiles avec les différentes enzymes coagulantes étudiées (présure cameline, présure caprine, pepsine de poulet) a abouti clairement à des fromages plus caractéristiques sensorielle ment. **Siddig *et al*. (2016) et Sulieman *et al*. (2018)** ont rapporté que l'ajout de ferment lactique dans la fabrication du fromage Jibna-beida au lait de chamelle et de vache (50/50) a nettement amélioré la qualité sensorielle.

Finalement, nos résultats sensoriels des fromages produits ont abouti pour conclure que la valorisation des différents extraits enzymatiques en coopération avec des ferments lactiques mésophiles est possible. Cette valorisation sera réussie en respectant les valeurs des paramètres de la coagulation des enzymes coagulantes issues de l'optimisation et le choix de la proportion du lait de dromadaire en mélange avec le lait de chèvre.

Nous pouvons résumer le profil sensoriel des différentes formulations des fromages frais à coagulation mixte dans la figure 41.

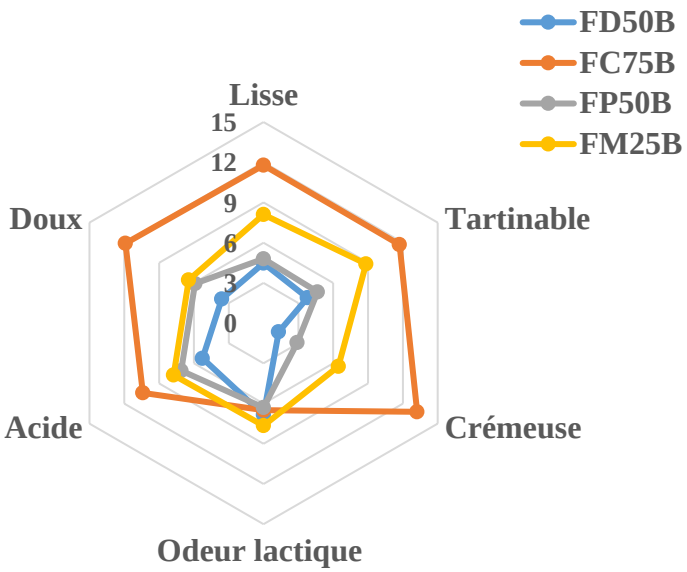


Figure 41 : Profil sensoriel du fromage frais $FD50^{B}$, $FC75^{B}$, $FP50^{B}$ et $FM25^{B}$

La figure 41 montre bien que la formulation $FC75^{B}$ présente des caractéristiques sensorielles bien distincts et assez important par rapport aux autres formulations.

Conclusion Générale

Dans le présent travail, la question de la coagulation du lait de dromadaire pour la fabrication d'un fromage frais a été abordée différemment, de ce qui est déjà signalé dans la littérature. L'approche méthodologique lancée se base sur l'amélioration de la coagulation de ce lait en ajoutant du lait de chèvre et en utilisant autres enzymes que la présure. Le choix du lait de chèvre a été fondé sur le fait que l'élevage caprin est parfois associé à l'élevage camelin et d'autre part par la bonne aptitude coagulante du lait de chèvre. Les enzymes coagulantes testés dans cette étude sont d'origine animale et concernent la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet. A l'issue de cette étude et dans le but de fabriquer un fromage frais, nous donnerons la ou les proportions du lait de chèvre testées. Pour la fabrication du fromage frais au lait de chamelle et de chèvre, il nous faudra déterminer la proportion de chaque type de lait, le type d'enzyme et les paramètres optimums de coagulation à savoir le pH et la température du lait. Dans ce contexte, l'étude a commencé par la caractérisation des laits et des extraits enzymatiques (présure cameline, présure caprine et la pepsine de poulet) suivi par l'optimisation des paramètres de coagulation « pH et de la température » spécifique au mélange de lait, puis fabrication et caractérisation des fromages frais formulés.

Les résultats de l'analyse de la composition du lait de dromadaire ont révélé qu'il se caractérise principalement par une teneur en matière grasse (37.76±1.54 g pour cent g), en lactose (31.4±0.2 g pour cent g) et en protéines (28.6±0.4 g pour cent g) inférieures comparativement au lait de chèvre. Alors que la composition minérale du lait de dromadaire est supérieure à celle de chèvre soit avec des teneurs respectives en chlorures (4.46±0.3 g/L), en sodium (678±0.8 mg/L), en potassium ($2.29.10^3$±0.2 mg/L), en cuivre (0.48±0.04 mg/L) et en zinc (4.39±1.00 mg/L). en complément, l'analyse microbiologique des laits montrent que la matière première utilisée possède une qualité microbiologique satisfaisante.

Concernant les extraits enzymatiques de la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet, les analyses effectuées ont montré qu'ils possèdent des teneurs variables en protéines soit respectivement de 15.4±0.00, 8.8±0.00, et de 20±0.00 mg/l. Ceci se reflète sur la force coagulante qui est plus importante pour la pepsine de poulet (1/6153.85) comparativement à la présure cameline (1/2531.64) et la présure caprine (1/4166.67).

Pratiquement, le temps de la coagulation noté a montré que la présure cameline a mieux agit avec le lait de vache (61.27±0.73s), alors que la présure caprine coagule le lait de vache et le lait de

chèvre en un temps plus court (59.93±1.27s, 59.87±0.73s respectivement) comparativement au lait de dromadaire. La pepsine de poulet a coagulé le lait de vache plus rapidement (88.2±4.2s) que le lait de chèvre (105±2.4s) ou camelin (119.4±0.6s).

Les temps calculé pour le contrôle de la coagulation sont le temps de floculation et le temps de coagulation pour chaque enzyme en variant le pH et la température du lait. L'étude a été porté sur le lait de dromadaire, caprin en comparaison avec le lait de vache et aussi avec le lait de dromadaire en mélange avec le lait de chèvre selon les différentes proportions (75/25, 20/50, 25/75).

Pour une floculation optimale, les principaux résultats de l'optimisation ont montré que :

- ✓ La coagulation du lait de dromadaire, avec toutes les enzymes coagulantes, est favorisée lorsque le lait est légèrement acide (pH 5) et assez chaud soit une température de 40°C à 42° C, à l'exception avec l'agent coagulant microbien ;
- ✓ Le lait de chèvre coagule avec toutes les enzymes étudiés à un pH entre 5.2 et 5.5 nécessitant une température de 30°C, à l'exception de la pepsine de poulet;
- ✓ Le lait de vache demande un pH entre 5.3 et 5.9 avec toutes les enzymes coagulantes, ces dernières nécessitent une température entre 39°C et 42°C, sauf pour la pressure caprine.
- ✓ Lorsque le lait de dromadaire est en proportion égale au lait de chèvre (formulation F50LD), il affecte les valeurs de pH en augmentant les optimales quelques soit le type enzymes coagulantes;
- ✓ La présence du lait de dromadaire en quantité dominante (F75LD) demande un pH supérieur à 5 et une température supérieure à 37°C pour la plupart des enzymes coagulantes ;
- ✓ La présence du lait de chèvre en quantité dominante (F25LD) demande un pH entre 5 et 6, et une température de 42°C avec toutes les enzymes coagulantes.

Pour une coagulation optimale, les principaux résultats de l'optimisation par la méthode des surfaces de réponse ont montré que :

- ✓ Le lait de dromadaire demande un pH entre 5 et 5.3 et une température entre 38°C et 42°C avec les enzymes coagulantes sauf avec la pressure microbienne qui demande une température minimale ;

- ✓ Le lait de chèvre demande un pH entre 5 et 6 et une température maximale de 42°C avec toutes les enzymes coagulantes ;
- ✓ Le lait de vache demande un pH entre 5 et 5.8 et une température élevée allant de 39°C avec toutes les enzymes coagulantes sauf avec la pepsine de poulet qui demande une température plus faible ;
- ✓ La présence du lait de dromadaire en quantité égale (F50LD) demande un pH légèrement acide (entre 5 et 5.3) et une température maximale avec la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien ; alors que la présure cameline et la présure caprine s'activent à un pH supérieur à 6 et à une température moyenne (entre 37°C et 38°C) ;
- ✓ La présence du lait de dromadaire en quantité dominante (F75LD) demande un pH légèrement élevé allant à 5.9 et une température de 37°C avec toutes les enzymes coagulantes;
- ✓ Dans la formulation avec une proportion dominante en lait de chèvre (F25LD), la coagulation se fait dans une marge de pH assez importante soit de 5 et 6.3 et mais à une température allant à 40°C, exception pour la présure cameline qui préfère une température moyenne de 35°C.

Suite à la valorisation des résultats précités dans la fabrication de fromage à coagulation enzymatique, les résultats révèlent des meilleurs rendements pour les formulations FD25, FC25, FP25 et FM50 qui sont respectivement de 19.3±0.9%, 13.45±0.5%, 16.65%±1.0 et 18.3±0.4%. L'analyse de la composition des différentes formulations de fromages avec la présure cameline, la présure caprine, la pepsine de poulet et de l'agent coagulant microbien montre une différence significative (P <0.05) pour la plupart des paramètres physico-chimiques. Ces fromages ont une teneur en matière sèche de 26.73±1.4% à 58.1±1.5% et de matière grasse de 3.57±2.1% à 22.5±0.87% et de protéines de 9.97±0.5% à. 25.5±1.7%.

En ce qui concerne les propriétes rhéologiques des gels des fromages et en se basant sur la valeur de l'indice d'écoulement « n », les fromages produits se comportent comme un coagulum dilatant (épaississement par cisaillement) ou un coagulum pseudoplastique (rhéofluidifiant par cisaillement). Toutes les formulations coagulées avec la présure cameline, la formulation FC25 et les formulations FM75 et FM25 se comportent comme un coagulum dilatant. Alors que le reste des formulations coagulées avec la présure caprine et toutes les formulations coagulées avec la

pepsine de poulet se comportent comme un coagulum pseudoplastique. Ceci montre bien l'effet du type d'enzyme sur le caillage du lait de dromadaire et de chèvre

A l'échelle microstructurale, les micrographes obtenus par le microscope électronique environnementale à balayage montrent que l'ajout du lait de chèvre au lait de dromadaire à différentes formulations en utilisant la présure cameline, nous donne des nouvelles microstructures qui ne sont pas en concordance au niveau de la littérature, avec celles des fromages à base seulement du lait de dromadaire. Pour les fromages coagulés avec la présure caprine, la pepsine de poulet et l'agent coagulant microbien, les formulations qui contiennent plus de lait de dromadaire, elles possèdent des pores plus larges comparativement aux autres formulations.

Sur le plan du profil sensoriel, la plupart des fromages fabriqués sont caractérisés par une texture moyennement rugueuse et tartinable et un gout faiblement doux et acide avec l'absence de sensation de l'amertume auprès les dégustateurs.

Les meilleurs fromages à coagulation enzymatique choisis auprès des dégustateurs sont FD50, FC75, FP50 et FL25 avec un score d'acceptabilité globale (9.1±2.53, 10.05±3.81, 8.4±2.45 et 7.85±2.34) respectivement. D'autre coté, l'analyse statistique des résultats de la concentration des acides aminés révèle qu'il y a une différence significative (P<0.05) entre la plupart des différentes formulations avec la dominance de l'histidine.

En dernier, la fabrication de fromages à coagulation mixte selon les meilleures formulations a encore amélioré la qualité sensorielle du produit. La caractérisation physico-chimique de ces fromages à coagulation mixte révèle une différence significative (P <0.05) entre les paramètres analysés et au niveau du rendement fromager. Le profil sensoriel des différents fromages montre que la formulation $FC75^{B}$ se caractérise essentiellement par une pâte plus tartinable, crémeuse et douce comparativement à $FD50^{B}$, $FP50^{B}$ et $FM25^{B}$.

Globalement, la valorisation de la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet semble encourageante dans la transformation ou la coagulation des produits à base du lait de dromadaire donnant des fromages assez typiques.

La thématique développée dans cette thèse sur l'étude de la coagulation enzymatique des laits de mélange avec le lait de dromadaire très peu exploitée et ouvre d'autres perspectives de recherche notamment sur :

- La protéolyse du mélange lait de dromadaire-chèvre avec la présure cameline, la présure caprine et la pepsine de poulet en comparaissant avec la présure commerciale.;
- Le mode de conservation des extraits enzymatiques étudiés et leur efficacité coagulante sur le lait de dromadaire et le lait de chèvre ;
- La composition en acides gras, vitamines et minéraux des différentes formulations des fromages frais ;
- La formulation et la fabrication d'autres types de fromages.

Références bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdalla EB, Ashmawy AEHA, Farouk MH, Salama OAR, Khalil FA and Seioudy AF. Milk production potential in Maghrebi she-camels, Small Ruminant Research. 2015; 123(1): pp 129- 135.

Abusam LMA, Shuiep ES and Ishag IA. Molecular Characterization of Genetic Polymorphisms in Kappa Casein Gene (Exon 4) Among Sudanese Desert Goat. International Journal of Genetic Engineering and Recombination. 2018;4(2): pp 14-19.

Adoui F. Extraction d'enzyme Coagulant le lait à partir de proventricules de poulet. Mémoire de magister, Université Mentouri. 2007; pp 97.

Ait Amer Meziane L. Aptitude des laits de chévre et de brebis à la coagulation par des protéases d'origine avicole Poulet (*Gallus gallus*) et aquatique : Limon (Seriola sp.). Thése de magistére, Institut National Agronomqie, El-HARRACH, Alger. 2008.

Aïssaoui-Zitoun O, Benyahia-Krid FA, Arar L, Korichi D, Boughellout H, Adoui F, Siar EH, Harkati A et Zidoune MNE. Utilisation de la Pepsine de Poulet Dans la Coagulation du lait de Chamelle: Procédure de la Douziémes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France. 5-6 Avril 2017.

Aissaoui-Zitoun O, Benyahia-Krid FA, Boughellout H, Adoui F, Derouiche M, Bentazir I, Kharchi B and Zidoune NM. Manufacturing and characterization of unripened cheese with dromedary and goat's milk mixture using chicken pepsin. The 10th Cheese Symposium, Conférences centre, Rennes, France. 4-6 April 2018.

Alais C. Principes des Techniques Laitières : Science du Lait : 3rd edition, sepec, Paris. 1974 ;pp 513.

Alais C et Linden G. Laits et produits laitiers. Abrégé de biochimie alimentaire. 4ème Edition, Masson, Paris, France. 1997; pp 167-212.

Alloui-Lombarkia O, Ghennam HE, Bacha A et Abededdaim M. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du lait de chamelle et séparation de ses protéines par électrophorèse sur gel de polyacrylamide. Renc. Rumin. 2007;14(108).

Al haj O.A., Al Kanhal H.A. Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. International Dairy Journal. 2010;20: pp 811-821.

Al-Zoreky NS and Almathen FS. Using recombinant camel chymosin to make white soft cheese from camel milk. Food chemistry. 2021; 337(127994).

Amariglio S. Contrôle de la qualité des produits laitiers :Analyses physiques et chimiques. 1986; pp 123–124.

Asif AHM, Sarker MAH, Deb GK, Habib MR, Arefin S, Bari MS, Islam MZ, Rachid MH, Siddiki MSR, Shahjadee UF, Lisa SA, Ahmed S and Islam MA. Fatty acid and amino acid profiles of cheese, butter, and ghee made from buffalo milk. Journal of advanced veterinary and animal research. 2022; 9(1): pp 144-154.

Attia H, Bennasar M and Fuente BT. Study of the fouling of inorganic membranes by acidified milks using scanning electron microscopy and electrophoresis: I. Membrane with pore diameter 0.2 μm. Journal of Dairy Research. 1991; 5: pp 39-50.

Attia H, Kherouatou N, Nasri M and Khorchani T. Characterization of the dromedary milk casein micelle and study of its changes during acidification. Lait. 2000;80: pp 503-515.

Bekele B, Hansen EB, Eshetu M, Ipsen R and Hailu Y. Effect of starter cultures on properties of soft white cheese made from camel (*Camelus dromedarius*) milk. Journal of Dairy Science. 2019; 102: pp 1–8.

Benkerroum N, Dehhaoui M, El Fayq A and Tlaiha R. The effect of concentration of chymosin on the yield and sensory properties of camel cheese and on its microbiological quality. International Journal of Dairy Technology. 2011; 64: pp 232-239.

Benyahia-Krid FA, Attia H and Zidoune MN. Comparative study of milk coagulation with chicken pepsin or rennet: Interactions and microstructure. Journal of Agriculture, Biotechnology and Ecology, 2010; 3: pp 75-86.

Benyahia-Krid FA. Extraction de la Pepsine et Utilisation dans la Coagulation du Lait en vue d'une Valorisation des Proventricules de Volailles au Profit de la Filière Lait en Algérie. Thèse Doctorat, Université Mentouri, Constantine. 2013.

Berodier F, Lavanchy P, Zannoni M, Casals J, Herrero L et Adamo C. Guide d'évaluation olfacto-gustative des fromages à pâte dure et semi-dure. LWT-Food Science and Technology. 2003 ; 30 : pp 653-664.

Berridge NJ. Purification and assay of rennin. In: G. E. Perlmann and L. Acad (Eds.), Methods in Enzymology. Vol. 2. Press Inc., New York, 1955; pp 69-77.

Bohak Z. Chicken pepsinogen and chicken pepsin. In: G. E. Perlmann and L. Acad, (Eds.), Methods in Enzymology, Proteolytic Enzymes. Press Inc., New York. 1970.

Boubezarim T. Contribution a l'étude des caractéristiques physicochimiques et mycologiques du lait chez quelques races bovines, ovines et caprines dans quelques élevages de la région de Jijel, Mémoire de magistére ,université Mentouri, faculté des sciences , Constantine, Algérie. 2010; pp 4-13-21.

Boudjenah-Haroun S, Laleye CL, Moulti-Mati F, Si Ahmed S, Mahboub N, Siboukeur O.E and Mati A. Comparative study of milk clotting activity of crude gastric enzymes extracted from camels' abomasum at different ages and commercial enzymes (rennet and pepsin) on bovine and camel milk. Emirates Journal of Food and Agriculture. 2011; 23: pp 301-310.

Boudjenah-Haroun S. Aptitudes à la Transformation du Lait de Chamelle en Produits Dérivés: Effet des Enzymes Coagulantes Extraites de Caillettes de Dromadaires. (Thèse de Doctorat), Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 2012.

Boudjenah-Haroun S, Laleye S, Louis Codjo Senoussi C, Moulti-Mati F, Si Ahmed Zennia S and Abderrahmane M. Coagulation of camel milk using dromedary gastric enzymes as a substitute of the commercial rennet. American Journal of Food Technology. 2012 ;7(7) : pp 409-419.

Boudjenah-Haroun S, Nouani A, Adamou A, Baissa B et Mati A. Influence du régime alimentaire sur le contenu enzymatique de caillettes de dromadaires. Revue Bioressources. 2013; 1: pp 58-67.

Boughellout H. Coagulation du lait par la pepsine du poulet. Thèse de magistére, institut INATAA, université Mentouri Fréres Mentouri, Constantine, Algérie. 2007.

Boumediene F. Influence de Quelques Paramètres de Production sur la Qualité du Lait de Chèvre. Aptitude à la Coagulation. Thèse de Magistère, Ecole Nationale Supérieure Agronomique. 2013.

Boumendjel M, Feknous N, Mekideche F, Dalichaouche N, Feknous I, Touafchia L, Metlaoui N et Zenki R. Caractérisation du lait de chèvre produit dans la region du Nord-Est Algérien. Essai de fabrication du fromage frais. Algerian Journal of Natural Products.2017;5(2): pp 492-506.

Brezovečki A, Čagalj M, Dermit ZF, Mikulec N, Ljoljić DB and Antunac N. Camel milk and milk products. Mljekarstvo. 2015; 65: pp 81-90.

Brulé G, Lenoir J et Remeuf F. La micelle de caséine et la coagulation du lait. Tec et Doc Lavoisier, France. 1997; pp 7-41.

Brulé G, Lenoir J and Remeuf F. The casein micelle and milk coagulation, Cheese making from science to quality assurance. Second edition, Intercept Limited. 2000.

Cassinelloc J et Pereira S. La qualité du lait et du fromage dans cinq exploitations caprines de la serra do caldeirao. CIHEAM, Options Méditerranéennes, Série A, séminaires méditerranéens. 2001; 46: pp 157-161.

Chang SF, Ayres JW and Sandine WE. Analysis of Cheese for Histamine, Tyramine, Tryptamine, Histidine, Tyrosine, and Tryptophane. Journal of Dairy Science. 1985; 68 : pp 2840-2846.

Cheremisinoff NP. Practical Fluid Mechanics for Engineers & Scientists. Boca Raton FL, USA: CRC Press. 1990.

Colin JP. Compositional and functional characteristics of goat milk and relevance as a base for infant formula. Journal of Food Science. 2022 ; 86(2).

Couarraze G and Grossiord JL. Initiation à la rhéologie : Tech & Doc Lavoisier, France. 1991; pp 56-63.

Debouz A, Guerguer L, Oudjana AH et Hadj Seyd AEK. Etude comparative de la qualité physico-chimique et microbiologique du lait de vache et du lait camelin dans la Wilaya de Ghardaïa. Revue Wahat Pour Rec. Etud. 2014;7: pp 10-17.

Derar AMA and El Zubeir IEM. Effect of fortifying camel milk with sheep milk on the processing properties, chemical composition and acceptability of cheeses. Journal of Food Science and Engineering. 2016; 6: pp 215-226.

Djeghim F. utilisation d'ameliorants de l'expansion gazeuse dans la fabrication sans gluten de pains leves traditionnels. Thése de magistére. Institut INATAA, université Fréres mentouri Constantine 1. 2015.

Djeghim F, Bourekoua H, Rózyło R, Bienczak A, Tanas W and Zidoune MN. Effect of By-Products from Selected Fruits and Vegetables on Gluten-Free Dough Rheology and Bread Properties. Applied. Sciences. 2021; 11(4605).

Djouza L and Chehma A. Production characteristics of Arbia goats in Biskra Wilayah, Algeria. Livestock Research for Rural Development. 2018; 30(7).

Drozdek KD and Faller JF. Use of a dual orifice die for on-line extruder measurement of flow behavior index in starchy foods. Journal of Food Engineering. 2002; 55: pp 79–88.

El-Bakry M and Sheehan J. Analysing cheese microstructure: A review of recent developments. Journal of food ingineering. 2014; 125: pp 84-96.

El-Ziney MG and Al-Turki AI. Microbiological quality and safety assessment of camel milk (*camelus dromedaries*) in saudi arabia (qassim region). Applied ecology and environmental research. 2007; 5(2) : pp 115-122.

El Zubeir IEM and Jabreel SO. Fresh cheese from camel milk coagulated with Camifloc. International Journal of Dairy Technology. 2008; 6: pp 90-95.

FAO/OMS. Ordonnance du DFI sur les denrées alimentaires destinées aux personnes ayant des besoins nutritionnels particuliers (OBNP). 2017.

Felfoul I, Bouazizi A, Attia H and Karoui R. Monitoring of acid-induced coagulation of dromedary and cow's milk using different complementary analytical techniques. Food control. 2022: 136(108867).

Felfoul I, Bouazizi A, Burgain J, Peroud Carole, Gaiani C, Scher J, Attia H and Petit J. Enzymatic coagulation of raw and reconstituted skim dromedary and cows' milk powders: Kinetics, rheological and morphological properties. International dairy journal. 2023: 137(105509).

Felliachi K. Comission Nationale AnGR. Rapport National sur les Ressources Génétiques Animales : Algérie. INRAA. 2003; pp 29-32.

Fischer P, Pollard M, Erni P, Marti I and Padar S. Rheological approaches to food systems. Comptes Rendus Physique. 2009; 10: pp 740–750.

Foustoukos D. Activité spécifique. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015.

Fox PF, Law J, Mcsweeney P L H, Wallace J. Biochemistry of Cheese Ripening, Cheese: Chemistry, physics and microbiology. 1993; pp 389-438.

Fox PF, Guinee TP, Cagon TM and McSweeney PLH. Fundamentals of cheese science. First Edition, Gaithersburg Maryland USA: Aspen publichers, Inc. 2000; pp 310-311.

Fox PF, Guinee TP, Cagon TM and McSweeney PLH. Fundamentals of cheese science. Second Edition, Springer, New York. 2017.

Fresno JM, Tornadijio ME, Carballo J, Bernardo A, GonZalez-Prieto G. Proteolytic and lipolytic changes during the ripening of a Spanish craft goat cheese (Armada variety). Journal of the Science of food and agriculture. 1997; 75(2).

Getaneh G, Mebrat A, Wubie A, Kendie H. Review on Goat Milk Composition and its Nutritive Value. Journal of Nutrition and Health Sciences. 2016; 3(4).

Ghanbari F and Moradi M. Application of response surface method for coagulation process in leachate treatment as pretreatment for fenton process: Biodegradability Improvement. Journal of Water Process Engineering. 2014; 4: pp 67-73.

Giha V, Ordoñez MJ and Villamil RA. How does milk fat replacement influence cheese analogue microstructure, rheology, and texture profile?. Journal of Food Science. 2021; 86: pp 2802–2815.

Gregersen VR, and Lucey JA. Cheese : rennet-induced coagulation of milk. Elsevier. Reference Module in Food Science. 2016 ; pp 1-8.

Guillou H, Pellissier JP et Grappin R. Méthodes de dosage des potéines du lait de vache. Le Lait. 1976; 66: pp 143-175

Guiraud J.P. Microbiologie alimentaire. Ed Dunod. 1998; pp 88-136

Hadef L, Aggad H Hamad I and Saeid M. Study of yield and composition of camel milk in Algeria. Sci. Study Res. 2018; 19: pp 1-11.

Hailu Y, Seifu E and Yilma Z. Physicochemical properties and consumer acceptability of soft unripened cheese made from camel milk using crude extract of ginger (*Zingiber officinale*) as coagulant. African Journal of Food Science. 2014; 8: pp 87-91.

Harek D, Ikhlef H, Bouhadad R, Sahel H, Cherifi YA, Djallout N, Khelifa Chelihi S, El Mokhefi M, Boukhtala K, Gaouar SBS and Arbouche F. Genetic diversity status of camel's resources (*Camelus Dromedarius. linnaeus*, 1758) in Algeria. Genetic and biodiversity journal. 2017; 1(1): pp 43-65.

Hattem HE, Hassabo RM, Saleh AE and Moussa MA. A study of milk clotting activity of crude gastric rennet extracted from camels' abomasum at different ages. Egyptian journal of Agricultural research. 2017; 95(3): pp 1299-1309.

Ismaili MA, Said B, Zahar M, Hamama A and Ezzaier R. Composition and microbial quality of raw camel milk produced in Morocco. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 2019; 18: pp 17-21.

Jouany JP et Kayouli C. La digestion microbienne chez les camélidés. Options Méditerranéennes. Série Séminaires N° 2. 1989; pp 89-96

Kamoun M. Options Méditérranéennes. Série B. 1996; pp 81-110.

Kappeler S. Compositional and Structural Analysis of Camel Milk Proteins with Emphasis on Protective Proteins. PhD Thesis. Swiss Federal Institute of Technology, ETH, Zuric, Switzerland. 1998.

Koocheki A, Mortazavi SA, Shahidi F, Razavi SMA and Taherian AR. Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. Journal of food ingineering. 2009; 91(3): pp 490-496.

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

Konuspayva G, Faye B and Bengoumie M. Mineral status in camel milk: a critical review. Animal Frontiers. 2022; 12(4): pp 52–60.

Law BA and Tamime AY. Technology of cheesemaking. Second Edition, Wiley-Blackwell. 2010 ; pp 99.

Lenoir J, Lamberet G, Schmidt JL. L'élaboration d'un fromage : l'exemple du camembert. Pour La Science. 1983; 69: pp 30-42.

Mahaut M, Jeantet R and Brule G. Initiation à la Technologie Fromagère. Lavoisier Tech Doc, Paris. 2003; pp 194.

Mahboub N. 2009. Contribution à L'amélioration de la Fromageabilité du Lait Camelin: Etude des Conditions de Conservation des Enzymes Gastriques Camelines (Type Présure). Thèse de Magistère, Université Kasdi Merbah, Ouargla.

Mahboub N, Slimani N, Siboukeur O et Mati A. Effet de la conservation sur l'activité enzymatique des extraits coagulants issus de caillette de dromadaires âgés préparée sans muqueuse. Bioresources. 2012; 2: pp 8-20.

Mahmood A and Usman S. A Comparative Study on the Physicochemical Parameters of Milk Samples Collected from Buffalo, Cow, Goat and Sheep of Gujrat, Pakistan. Pakistan Journal of Nutrition. 2010; 9 (12): pp 1192-1197.

Martin B et Coulon JB. Facteurs de production du lait et caractéristiques des fromages. II. Influence des caractéristiques des laits de troupeaux et des pratiques fromagères sur les caractéristiques du reblochon de Savoie fermier. Dairy science and technology. 1995; 75(2).

Mbye M, Sobti B, Al Nuami MK, Al Shamsi Y, Al Khateri L, Al Saedi R, Saeed M, Ramachandran T, Hamed F and Kamal-Eldin A. Physicochemical properdines, sensory quality, and coagulation behavior of camel versus bovine milk soft unripened cheeses. Nutrition and Food Science Journal. 2020; 20: pp 28-36.

Mbye M, Ayyash M, Abu-Jdayil B and Kamal-Eldin A. The texture of camel milk cheese: effects of milk composition, coagulants and processing conditions. Frontiers in Nutrition. 2022; 9: 868320.

Medjour MA. Etude comparative des caractéristiques physico-chimiques du lait collecté à partir de chamelles (*Camelus dromedarius*) conduites selon deux systèmes d'élevage (extensif et semi-intensif). Mémoire de magister en biologie appliquée. Université Mohammed Khider de Biskra. 2014; pp 08.

McClements DJ. Understanding and controlling the microstructure of complex foods. Elsevier. 2007.

McSweeney PLH, Otagalli G and Fox PF. Diversity of cheese varieties : An overview. Cheese : Chemistry, physics and microbiology. 2004 ;2 : pp 1-23.

Mcsweeney PLH. Cheese problems solved. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 2007; pp 51.

Meguellati-Kanoun A, Saadaoui M, Kalli S, Kanoun M, Huguenin J et Benidir M, Benmebarek A. Localisation et distribution spatiotemporelle des effectifs de dromadaires en Algérie. Institut National de la Recherche Agronomique Algérie. Livestock Research for Rural Development. 2018; 30(3).

Mekkaoui1 S, Felfoul I, Mosbah S, Djelfaoui Z, Adamou A and Boudjenah-Haroun S. Impact of camel breeding system on the composition and cheese-making ability of the produced milk. International Journal of Biosciences. 2022 ; 20(2) : pp 199-209.

Mohammed AA, Hussain S, Alamri M.S, Ibraheem M A, Qasem AAA, Alhaj OA and Alshuniaber MA. Rheological and structural properties of camel milk/sweet potato starch gel. Hindawi. Journal of Chemistry. 2019; pp12.

Morsli A. Recherche sur les activités protéasiques des extraits de *Cynara scolymus*, du latex de *Ficus carica* et du proventricule de *Gallus gallus* en vue de leur utilisation en technologie fromagère. Thèse magister. Science agronomique. Inst. Nati. Agro, El-Harrach. 1997; pp 181.

Nouani A, Dako E, Morsli A, Belhamiche N, Belbraouet S, Bellal MM and Dadie A. Characterization of the purified coagulant extracts derived from artichoke flowers (*Cynara scolymus*) and from the fig tree latex (*Ficus carica*) in light of their use in the manufacture of traditional cheeses in Algeria. Journal of Food and Technology. 2009; 7: pp 20-29.

Padmanabhan M and Bhattacharya M. Flow behavior and exit pressures of corn meal under high-shear–high-temperature extrusion conditions using a slit diea. Journal of Rheology. 1991; 35: pp 315–343.

Pak VV, Khojimatov OK, Abdiniyazova GJ and EB Magay. Composition of camel milk and evaluation of food supply for camels in Uzbekistan. J. Ethn. Foods. 2019; 6(20).

Rai DC, Rathaur A, Yadav AK, Shraddha. Nutritional and nutraceutical properties of goat milk for human health: A review. Indian Journal of Dairy Science. 2022; 75(1).

Ramet JP. L'égouttage du coagulum. Dans Le fromage (Coord. ECK A. et GILLIS J.C.). 3ème édition, Edition Tec et Doc, Lavoisier. 1997; pp 43.

Ramet JP. The technology of making cheese from camel milk (*Camelus dromedarius*): Food and Agriculture Organization of the United Nations, N°113.2001; pp 62.

Ramet JP. La Technologie des Fromages au Lait de Dromadaire (*Camelus dromedarius*). Etude FAO, Production et Sante Animales. 2011; pp 37.

Rao M and Tattiyakul J. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. Carbohydrate polymers. 1999 ; 38 : pp 123-132.

Rhea F. Micorobiology Handbook Dairy Products. 1ere edition Leatherhead Food International Ltd et Royal Society of Chemistry. 2009; pp 1-2.

Remeuf F. Influence du polymorphisme génétique de la caséine as1 caprine sur les caractéristiques physico-chimiques et technologiques du lait. Elsevier, Lait, 1993;73: pp 549-557.

Saadi A, Ali F and Jasim A. Study of the Soft Cheese Composition Produced from a Mixture of Sheep and Camel Milk at Different Storage Periods Using the Enzyme Trypsin and Calcium Chloride. Annals of Agri-Bio Research. 2019 ; (24) : pp 316-320.

Saikia D, Hassani MI, Walia A. Review: Goat milk and its nutraceutical properties. International Journal of Applied Research. 2022; 8(4): pp 119-122.

Sanli T and Senel E. Formation of Biogenic Amines in Cheese. Process. Impact Act. Compon. Food 2015; pp 223–230.

Shahein MR, Hassanein AM and Rayan AF. Evaluation of soft cheese manufactured from camel and buffalo milk. World journal of dairy and food science. 2014;9:2013-2019.

Siar EH. Utilisation de la Pepsine de Poulet et de la Ficine du Figuier Comme Agents Coagulants du Lait. Thèse de Magistère, Institut INATAA, université Fréres Mentouri, Constantine. 2014.

Siboukeur O, Mati A et Hessas B. Amélioration de l'aptitude à la coagulation du lait cameline (*Camelus dromedarius*): Utilisation d'extraits enzymatiques coagulants gastriques de dromadaires. Cahiers Agricult. 2005;5: pp 473-478.

Siddig SM, Moneim A, Sulieman E, Salih ZA and Abdelmuhsin AA. Quality Characteristics of White Cheese (Jibna-beida) Produced Using Camel Milk and Mixture of Camel Milk and Cow Milk. International Journal of Food Science and Nutrition Engineering. 2016; 6(3): pp 49-54.

Soltani M, Sahingil D, Gokce Y, Hayaloglu AA. Changes in volatile composition and sensory properties of Iranian ultrafiltered white cheese as affected by blends of *Rhizomucor miehei* protease or camel chymosin. Elsevier. Journal of dairy science. 2016; 99(10): pp 7744-7754.

Soltani M, Sahingil D, Gokce Y and Hayaloglu AA. (2019). Effect of blends of camel chymosin and microbial rennet (Rhizomucor miehei) on chemical composition, proteolysis and residual coagulant activity in Iranian Utrafiltered White Cheese. Springer. Journal of food science and technology. 2019;56: pp 589-598.

Steffe JF. Rheological Methods in Food Process Engineering. 2nd Edition, Freeman Press, East Lansing. 1996.

Sulieman AME, Siddig SM and Salih ZA. Quality assessment of white cheese produced by using camel milk and mixture of camel and cow milk. 20th International Conference on Nutrition, Food Science and Technology April 16-17, Dubai, UAE. Journal of Food Process and Technology. 2018; 9

Syd Jaafar SH, Hashim R, Hassan Z and Arifin N. A Comparative Study on Physicochemical Characteristics of Raw Goat Milk Collected from Different Farms in Malaysia. Tropical Life Sciences Research. 2019; 29(1): pp 195–212.

Sylvain N. Positionnement des produits laitiers caprins auprès des professionnels de la santé. Association Laitière de la Chèvre du Québec. 2004; pp 6.

Tilahun Z, Nejash A, Tadele K, Girma K. Review on Medicinal and Nutritional Values of Goat Milk. Academic Journal of Nutrition .2014; 3(3): pp 30-39.

Titaouine M, Mohamdi H, Deghnouche K. Diagnostic de la situation des éleveurs de dromadaire dans le Sud-Est Algérien (la Willaya d'El-Oued –Algérie), Renc. Rech. Ruminants. 2015;22: pp 364.

Vuillemard JC. Science et technologie du lait. Université Laval, Canada. 3éme édition. 218.

Walle T, Yusuf M, Ipsen R, Hailu Y and Eshetu M. Coagulation and Preparation of Soft Unripened Cheese from Camel Milk using Camel Chymosin. East African Journal of Sciences. 2017 ; 11(2) : pp 99-106.

Wangoh J, Farah Z and Z Puhan. Extraction of camel rennet and its comparison with calf rennet extract. Milchwissenchaf Milk Sci. Int. 1993;48: pp 322-325.

Young WP, George FWH and William L. Handbook of Milk of Non-bovine Mammals. 2nd edition. Wiley Blackwell, Hoboken, New Jersey 2017; pp 420-428.

Zantar S, Boujnah M, Toukour EA, Hassani ZM, Bakkali M et Laglaoui A. Caractérisation du lait de chèvre du Nord du Maroc. Options Méditerranéennes. 2016; pp 509-515.

Annexes

Annexe 01

1. Analyse physico-chimiques des laits et fromages frais

1. pH

2. Acidité titrable

- **Expression des résultats**

Résultats exprimés en grammes d'acide lactique au litre.

Acidité (g/l) : La chute x 0,9

Résultats exprimés en degré Dornique :

Acidité (°D) : La chute x 10

3. Densité

Le volume de lait minimal pour effectuer une prise de densité dans de bonnes conditions (lactodensimètre) est de 250 ml.

- **Mode opératoire**

- Verser le lait à analyser dans une éprouvette inclinée ;
- Introduire le lactodensimètre dans l'éprouvette en le tenant par l'extrémité de la tige graduée ;
- Le lait doit déborder pour éliminer les traces de mousses ;
- Laisser stabiliser 30 secondes à 1 minute avant d'effectuer la lecture de la graduation.

4. Matière sèche

- **Mode opératoire**

Pour réaliser cette analyse, une capsule en aluminium est pesée vide (M1), puis repeser après y avoir versé 1 à 5 g de lait ou 3g de fromage (M2) ; La capsule est ensuite mise dans l'étuve à 103°C pendant 3h. Après la dessiccation, il faut mettre la capsule dans un dessiccateur pendant 15 min à fin d'éviter sa réhydratation. Enfin, ressortir la capsule et la repeser encore une fois (M3)

- **Expression des résultats**

Calculer l'extrait sec total (E.S.T.) par la relation suivante :

$$E.ST = \frac{M3-M1}{M2} \times 100$$

EST : Extrait sec total

M1 : masse de la capsule vide

M2 : masse de la prise d'essai

M3 : masse de la capsule + M2 séchée

5. Dosage des protéines

- **Mode opératoire**

-Minéralisation

La minéralisation est effectuée à l'aide d'un excès d'acide sulfurique concentré, à chaud et en présence d'un mélange de catalyseur (sulfate de potassium, sulfate de cuivre et de sélénium).

En présence d'acide sulfurique concentré et chaud, le carbone, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote des composés organiques se retrouvent sous forme de CO_2, H_2O et NH_3. L'acide sulfurique étant en excès, on a :

$2NH_3 + H_2SO_4$ ----------> $2NH_4 + SO_4^{-2}$

L'azote total est donc obtenu sous la forme minérale NH_4^+ (ion ammonium). Au cours de la minéralisation, l'acide sulfurique est partiellement décomposé et réduit en SO_2 et SO_3 qui forment des fumées blanches irritantes et toxiques.

-Distillation

Pour transformer les ions ammonium du minéralisât en ammoniac (NH_4^+ en NH_3), on doit alcaliniser le minéralisât avec un large excès d'une base forte qui est la soude NaOH à 32%.

$NH_4^+ + OH^- \text{----------} > NH_3 + H_2O$

L'ammoniac est récupéré par distillation : on chauffe le minéralisât alcalinisé, le NH_3 se dégage sous forme de vapeurs que l'on condense, que l'on capte par l'acide borique à 4% et que l'on recueille pour le dosage.

$BO_3H_3 + 3NH_3 \text{----------} > H_2BO_3(NH4)^3$

-Titration

L'ammoniac fixé est titré avec l'acide chlorhydrique (0,1N) en présence d'indicateur coloré de Tashiro ou RB (mélange de rouge de méthyle et de bleue de méthylène).

$NH_3 + H^+ \text{----------} > NH_4^+$

Lorsque l'ammoniac arrive dans l'acide borique, il alcalise le milieu qui vire au vert, on verse alors la solution étalonnée d'acide fort pour ramener l'indicateur à sa teinte sensible.

- **Expression des résultats**

Azote totale = 1,40 x N x (Vi-V_0) / P

6. Matière grasse

A l'aide d'une micropipette 10ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) sont prélevés et introduits dans le butyromètre, 11ml de lait ou 3g de fromage sont introduits délicatement sans mouiller le col du butyromètre et en évitant un mélange prématuré du lait avec l'acide, 1ml ou 2 ml d'alcool iso-amylique est ensuite versé à la surface du lait en évitant de mélanger les liquides. Une homogénéisation par retournement est réalisée quinze à vingt fois, suivie d'une centrifugation.

Enlever le butyromètre du bain d'eau, le bouchon étant toujours dirigé vers le bas, et ajuster soigneusement celui-ci pour amener l'extrémité inférieure de la colonne grasse avec le

minimum de mouvement de cette colonne devant le repère le plus proche de préférence un trait - repère principal.

- **Expression des résultats**

La valeur est directement lue sur le butyromètre, la teneur en matière grasses est exprimée en% et chaque graduation du butyromètre correspond à 1% de matière grasse.

7. Dosage du lactose

- **Préparation des solutions**

N°	Solution	Composition
1	Solution aqueuse d'hexacyanoferrate (II) de potassium	(K_4Fe (CN) 6, 3 H_2O) 15 g + Eau distillée 100 ml
2	Solution aqueuse d'acétate de zinc	(Zn (CH_3COO) 2, 2 H_20) 30 g + Eau distillée 100 ml
3	Solution cuivrique	($CuS0_4$, 5 H_20) 40 g (H_2SO_4 ρ 20 = 1,83 g/ml) 2 ml eau distillée 1000 ml
4	Solution tartro-alcaline	(Na K ($H_4C_4O_6$), 4 H_2O) 200 g (NaOH) 150 g eau distillée 1000 ml
5	Solution ferrique	($Fe_2(SO_4)3$) 50 g (H_2SO_4) ρ 20 = 1,83 g/ml) 200 g eau distillée 1000 ml
6	Solution de permanganate de potassium	Solution titrée de permanganate de potassium 0,1 N. 1 ml de cette solution correspond à 6,35 mg de cuivre.

- **Mode opératoire**

✓ **<u>Défécation du lait</u>**

Dans une fiole jaugée de 200ml, introduire successivement :

- 20ml de lait ;

- 2ml de solution d'hexacyanoferrate II de potassium (ferrocyanure de potassium) **(1)** ;

- 2ml de solution d'acétate de zinc **(2)**. Agiter ;

- compléter par l'eau distillée jusqu'à 200ml ;

-ajouter 2ml d'eau distillée (pour tenir compte du volume du précipité). Agiter et laisser reposer 15 minutes ; filtrer jusqu'à l'obtention d'un filtrat limpide.

✓ **<u>Précipitation du Cu_2O</u>**

Dans une fiole, introduire :

- 10ml du filtrat obtenu après défécation ;

- 10ml d'eau distillée.

- 20ml de solution cuivrique **(3)** ;

- 20ml de solution tartro-alcaline **(4)**.

- Ensuite, porter le mélange à l'ébullition pendant 3 minutes. Refroidir immédiatement par un courant d'eau froide et laisser déposer le précipité 'oxyde cuivreux' formé, Le liquide surnageant doit demeurer de couleur bleue.

- Verser le surnageant sur un filtre en activant la filtration par aspiration.

✓ **<u>Lavage du précipité de Cu_2O</u>**

Laver trois fois le précipité d'oxyde cuivreux avec 20ml d'eau distillée bouillie froide, décanter et filtrer à chaque fois le liquide sur le filtre en évitant le contact à l'air. Rejeter ce filtrat.

✓ **<u>Oxydation du Cu_2O</u>**

Réoxyder le précipité 'oxyde cuivreux' par 20ml de la solution ferrique **(5)**, puis verser cette solution sur le filtrat et rincer à deux reprises par 10ml de la solution ferrique. Rincer à l'eau distillée bouillante et refroidir.

✓ **<u>Dosage du sel ferreux formé par $KMnO_4$</u>**

Titrer le sel ferreux formé par une solution de permanganate de potassium **(6)** à 0,1 N jusqu'à coloration rose pale, stable 10 à 20 secondes.

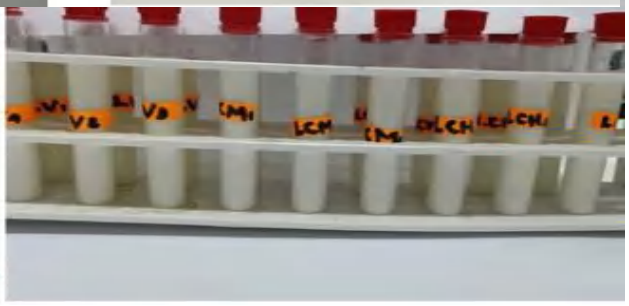
- **Expression des résultats**

On utilise pour ce dosage, une table de correspondance entre une chute de burette de permanganate 0,1 N (en ml) et la masse de lactose (exprimée en mg de lactose hydraté) dans la prise d'essai.

$KMnO_4$	Lactose hydraté	$KMnO_4$	Lactose Hydraté	$KMnO_4$	Lactose hydraté
5.0	23.6	9.0	43.5	13.0	64.2
5.1	24.1	9.1	44.0	13.1	64.7
5.2	24.6	9.2	44.5	13.2	65.2
5.3	25.1	9.3	45.0	13.3	65.7
5.4	26.1	9.4	45.5	13.4	66.2
5.5	26.6	9.5	46.0	13.5	66.8
5.6	27.1	9.6	46.5	13.6	67.3
5.7	27.6	9.7	47.1	13.7	67.8
5.8	27.6	9.8	47.6	13.8	68.4
5.9	28.0	9.9	48.1	13.9	68.9
6.0	28.5	10.0	48.6	14.0	69.4
6.1	29.0	10.1	49.1	14.1	69.9
6.2	29.5	10.2	49.6	14.2	70.5
6.3	30.0	10.3	50.1	14.3	71.0
6.4	30.5	10.4	51.2	14.4	71.5
6.5	31.0	10.5	51.6	14.5	72.0
6.6	31.5	10.6	51.7	14.6	72.6
6.7	32.0	10.7	52.2	14.7	73.1
6.8	32.5	10.8	52.7	14.8	73.6
6.9	33.0	10.9	53.2	14.9	74.1
7.0	33.5	11.0	53.7		
7.1	34.0	11.1	54.2		
7.2	34.5	11.2	54.8		
7.3	35.0	11.3	55.3		
7.4	35.5	11.4	55.8		
7.5	36.0	11.5	56.3		
7.6	36.5	11.6	56.8		
7.7	37.0	11.7	57.4		
7.8	37.5	11.8	57.9		
7.9	38.0	11.9	58.4		
8.0	38.5	12.0	58.9		
8.1	39.0	12.1	59.9		
8.2	39.5	12.2	60.0		
8.3	40.0	12.3	60.5		
8.4	40.5	12.4	61.0		
8.5	41.0	12.5	61.5		
8.6	41.5	12.6	62.1		
8.7	42.0	12.7	62.6		

8. Dosage des minéraux

2. Caractérisation des enzymes coagulantes

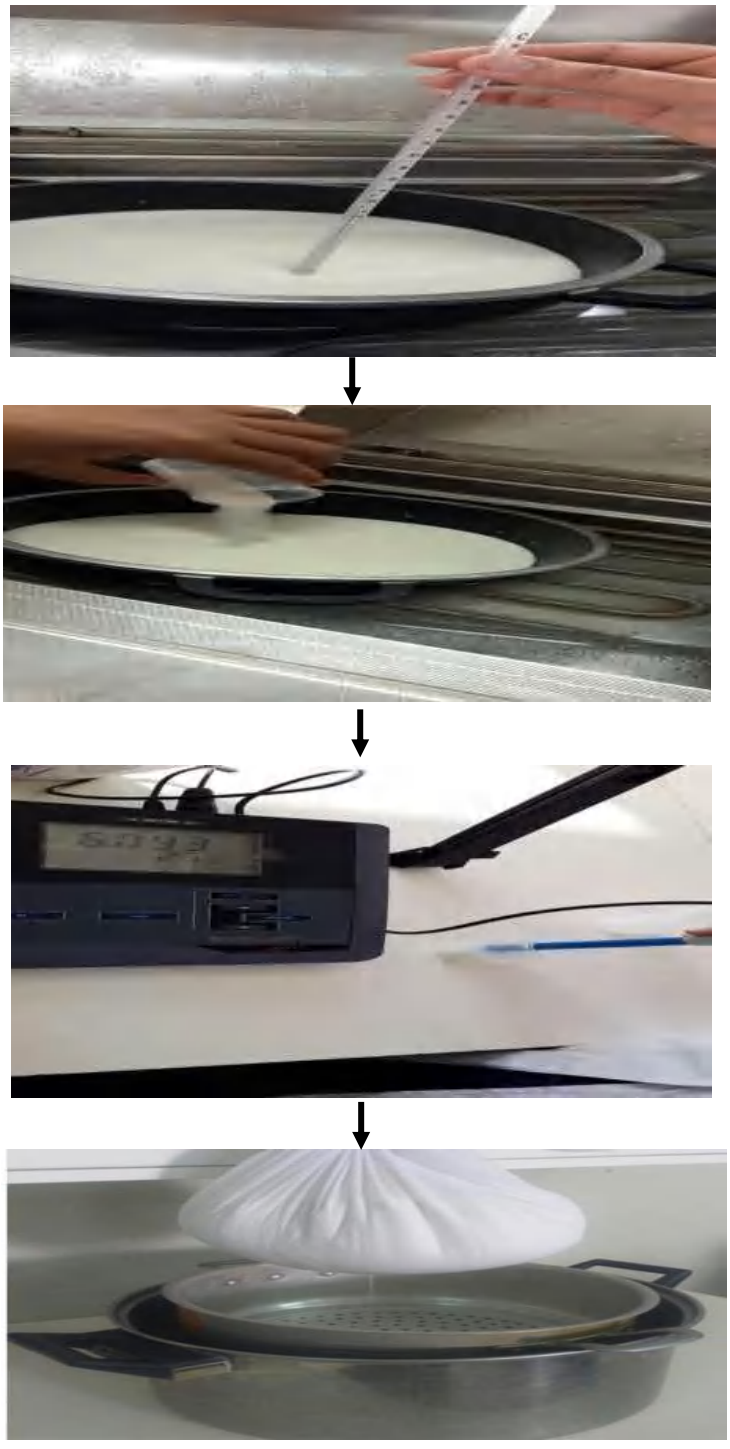


Temps du coagulation

Force coagulante

<u>Annexe 02</u> : Formulation, fabrication et caractérisation du fromage frais

1. **Fabrication du fromage frais**

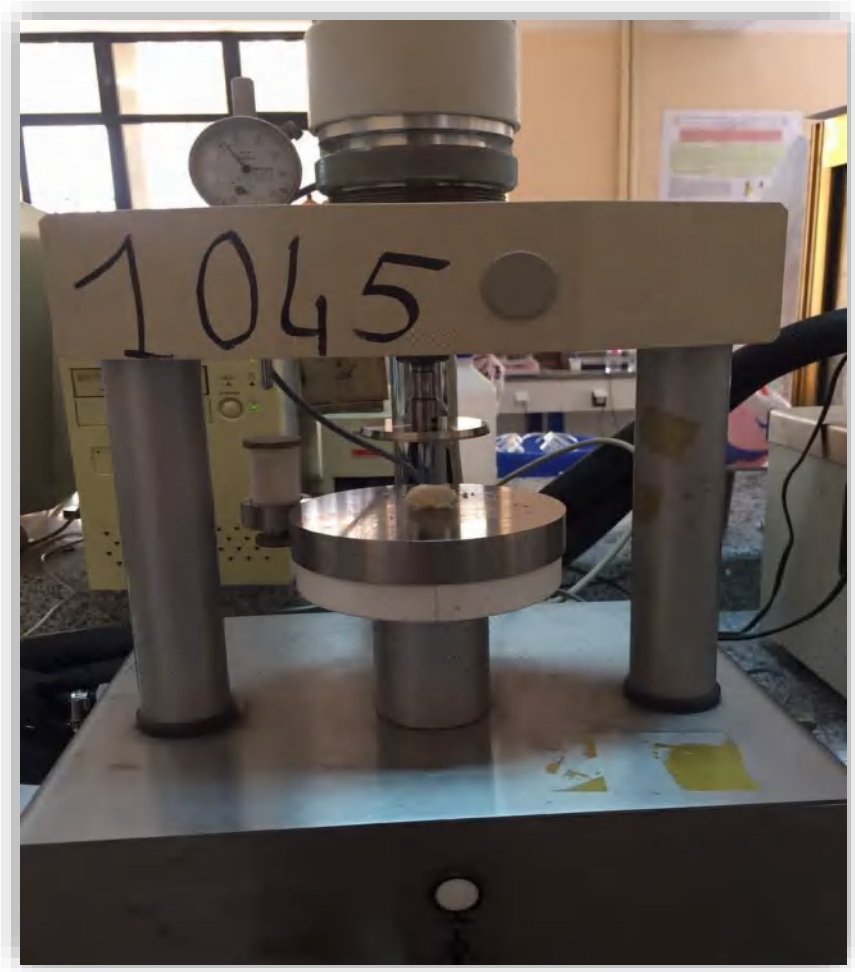


2. **Agent coagulant microbien (A) et bactéries lactiques mésophiles (B)**

(A)

(B)

3. **Test d'écoulement des fromages frais (rhéoviscosimétre)**



4. **Etude de la microstructure des fromages frais (microscope électronique environnementale à balayage)**

-Préparation des solutions éthyliques (tableau de Gay Lussac)

Table pour la dilution de l'alcool (Table de Gay-Lussac) appelée aussi Table de mouillage de l'alcool

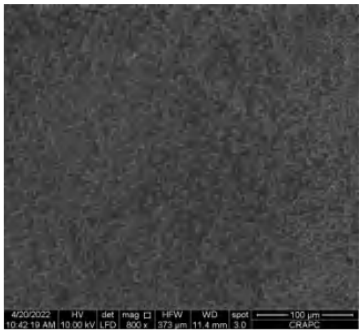
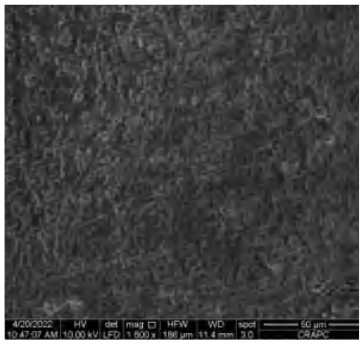
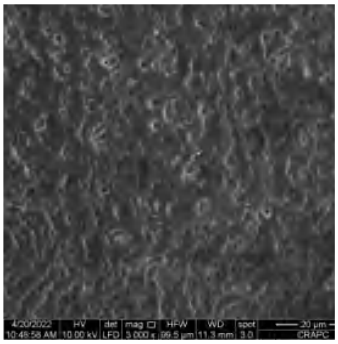
		Concentration initiale													
		100	99	98	97	96	95	90	85	80	75	70	65	60	50
Concentration finale	95	6,5	5,15	3,83	2,53	1,25									
	90	13,25	11,83	10,43	9,07	7,73	6,41								
	85	20,54	19,05	17,58	16,15	14,73	12,33	6,56							
	80	28,59	27,01	25,47	23,95	22,45	20,95	13,79	6,83						
	75	37,58	35,9	34,28	32,67	31,08	29,52	21,89	14,48	7,2					
	70	47,75	45,98	44,25	42,54	40,85	39,18	31,05	23,14	15,35	7,64				
	65	59,37	57,49	55,63	53,81	52	50,22	41,53	33,03	24,66	16,37	8,15			
	60	72,82	70,80	68,8	65,85	64,92	63	53,65	44,48	35,44	26,47	17,58	8,76		
	55	88,6	86,42	84,28	82,16	80,06	77,99	67,87	57,9	48,07	38,32	28,63	19,02	9,47	
	50	107,44	105,09	102,75	100,44	98,15	95,89	84,71	73,90	63,04	52,43	41,73	31,25	20,47	
	45	130,26	127,67	125,11	122,57	120,06	117,57	105,34	93,30	81,38	69,54	57,78	46,09	34,46	11,41
	40	158,56	155,68	152,84	150,02	147,22	144,46	130,8	117,34	104,01	90,76	77,58	64,48	51,43	25,55
	35	194,63	191,39	188,19	185,01	181,85	178,71	163,28	148,01	132,88	117,82	102,84	87,93	73,08	43,59
	30	242,38	238,67	234,99	231,33	227,70	224,08	206,22	188,57	171,05	153,61	136,04	118,94	101,71	67,45
	25	308,9	304,52	300,18	295,86	291,56	287,28	266,12	245,15	224,3	203,61	182,83	162,21	141,65	100,73
	20	408,5	403,13	397,79	392,47	387,17	381,9	355,8	329,84	304,01	278,26	252,59	226,98	201,43	150,55
	15	574,75	567,43	560,53	553,55	546,59	539,66	505,27	471	436,85	402,81	368,83	334,91	301,07	233,64
	10	907,09	896,73	886,4	876,1	865,15	855,15	804,5	753,65	702,89	652,21	601,6	551,06	500,50	399,85

Les chiffres en noir indiquent la quantité d'eau en mL à ajouter à 100mL d'alcool de concentration initiale x **(en bleu)** pour obtenir la concentration désirée.

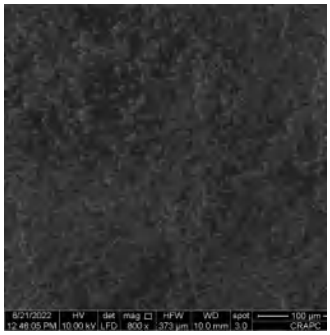
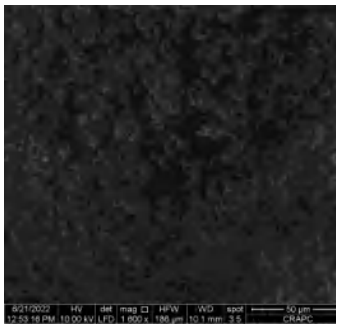
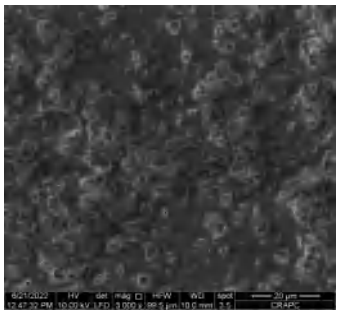
Exemple : la table indique qu'il faut ajouter 105,34 ml d'eau à 100 mL d'alcool à 90° pour obtenir de l'alcool à 45°.
Attention : Le volume final est inférieur à la somme des volumes mis en jeu ! C'est le phénomène dit de « contraction de volume », variable en fonction du titre de l'alcool initial.

-Micrographes des différents fromages frais à coagulation enzymatique

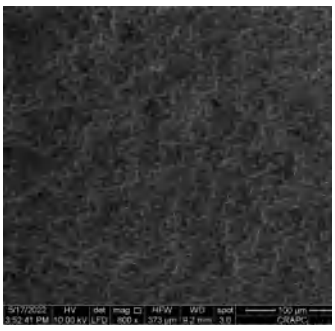
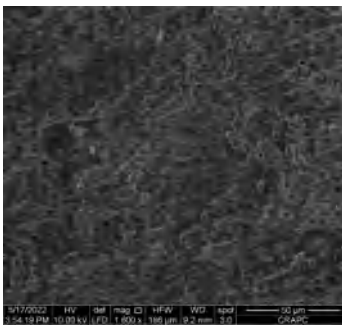
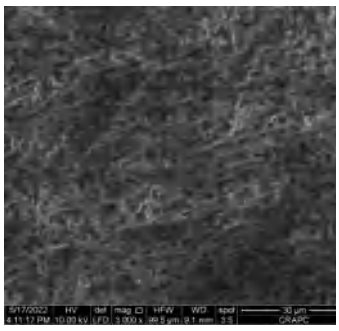
1. **Fromage frais coagulé avec la présure cameline**

FM1

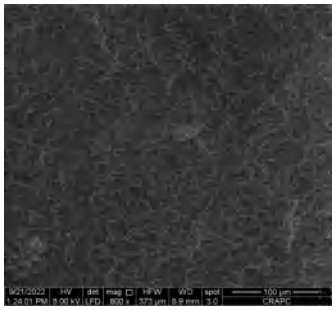
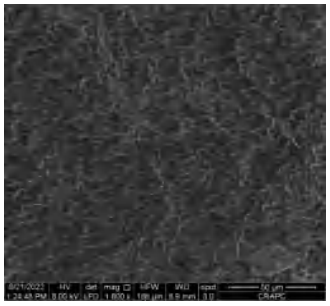
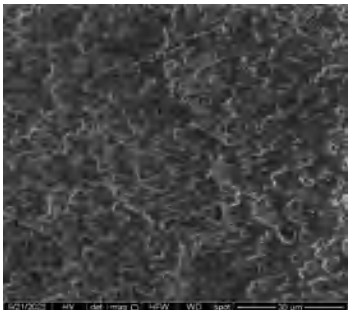




FM2

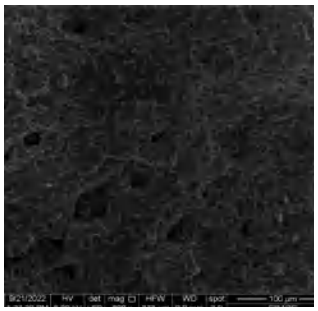




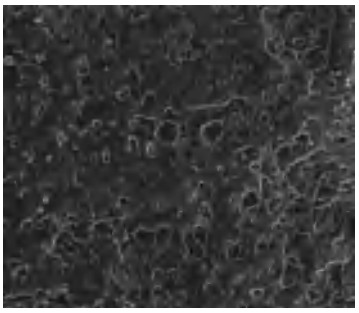
FM3

2. Fromage frais coagulé avec la présure caprine

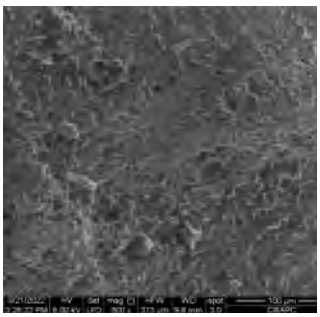
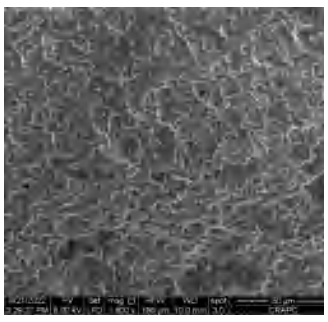
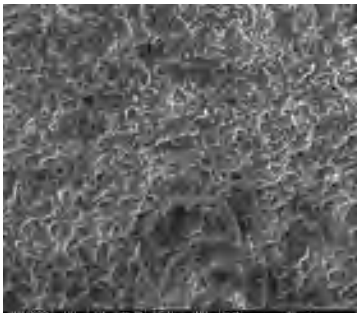




FC1



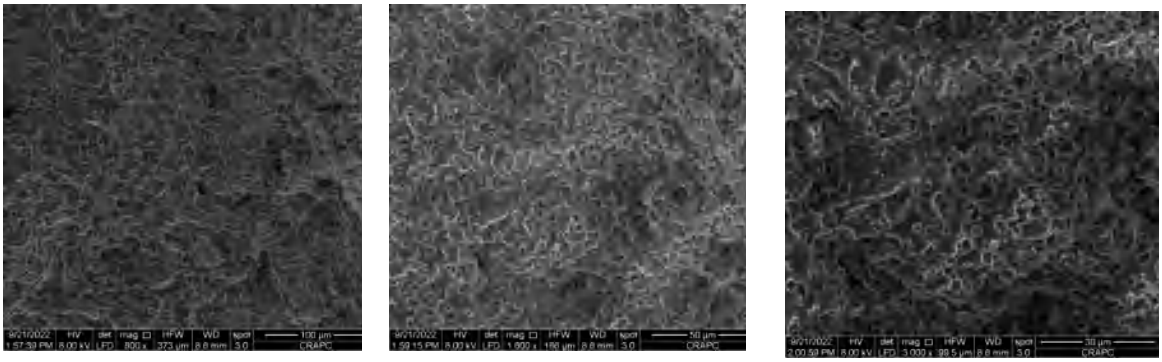


FC2

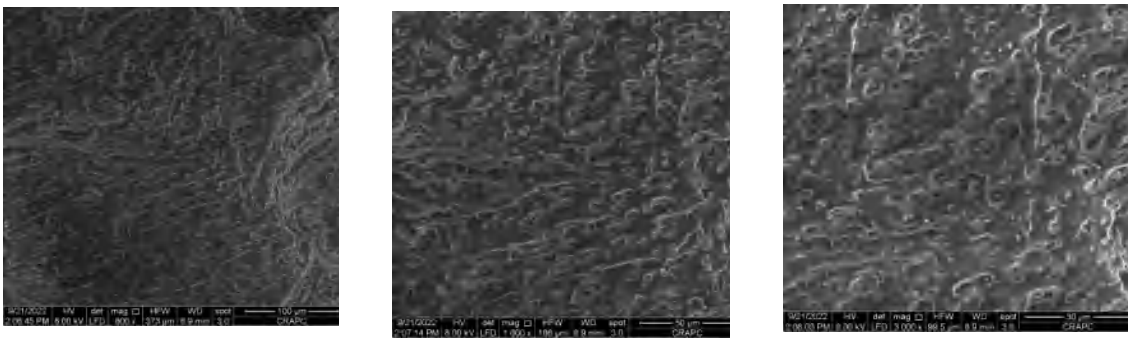




FC3

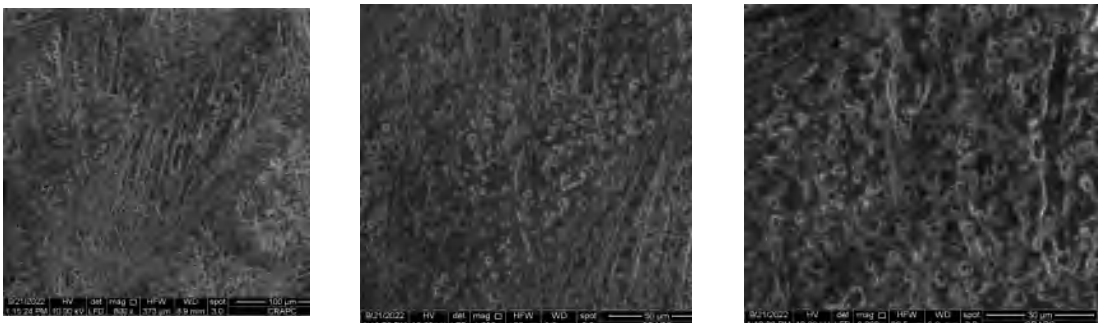
3. Fromage frais coagulé avec la pepsine de poulet



FP1

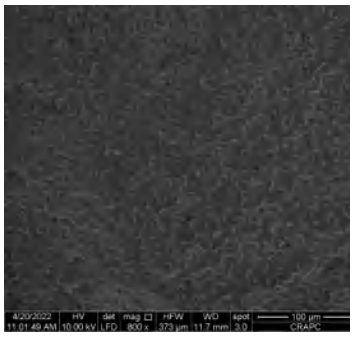
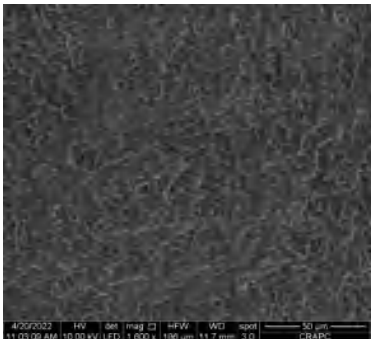
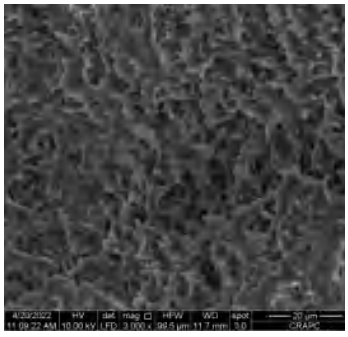


FP2

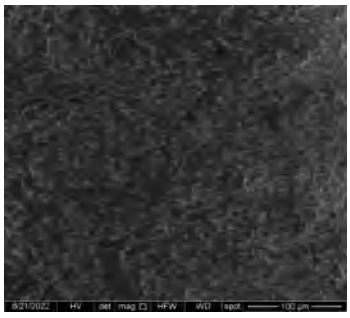


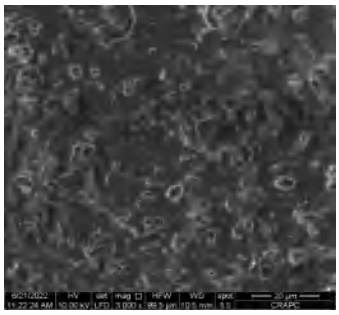
FP3

4. Fromage frais coagulé avec l'agent coagulant micobien

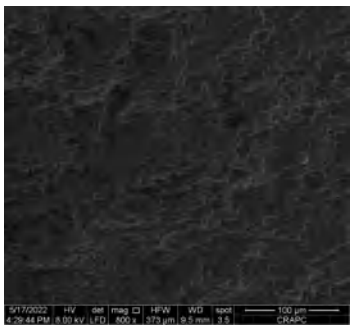
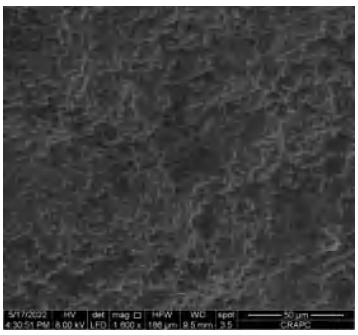
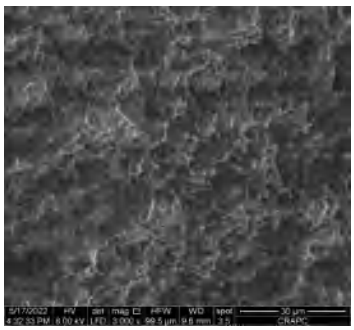




FL1



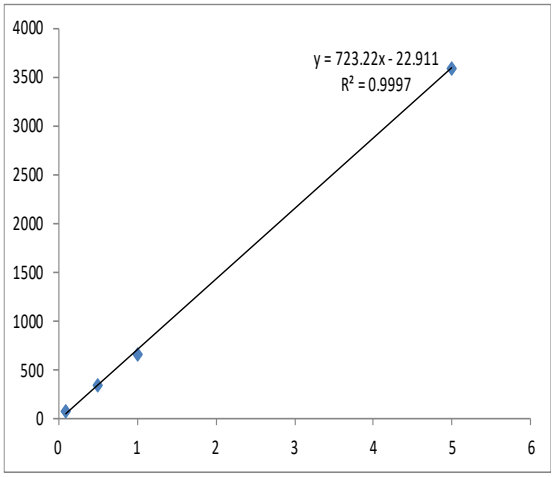


FL2

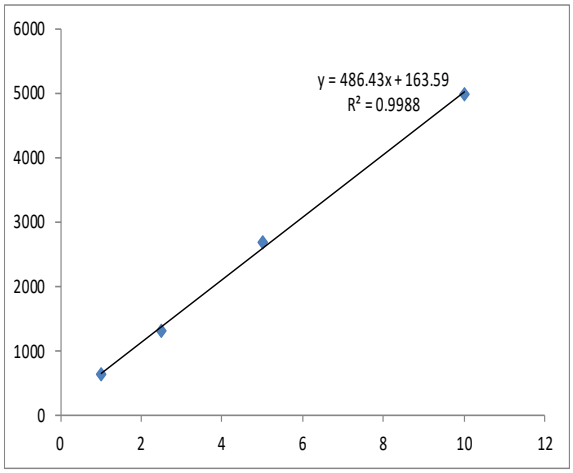




FL3

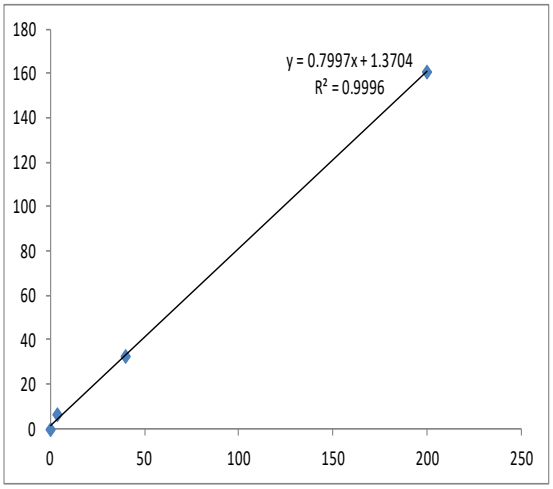
5. Dosage des acides aminés des fromages aminés (courbes d'étalonnage et chromatogrammes)



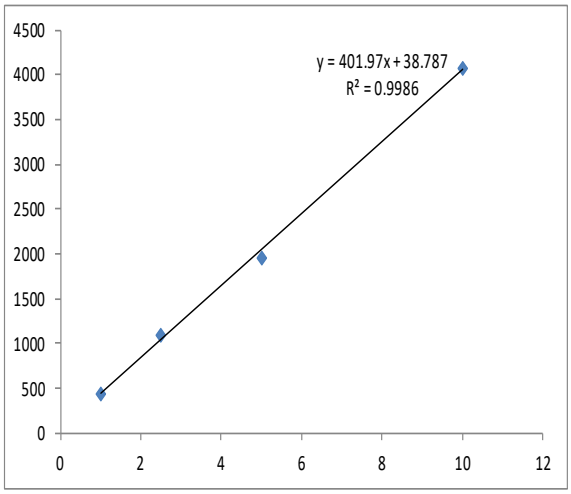
Alanine



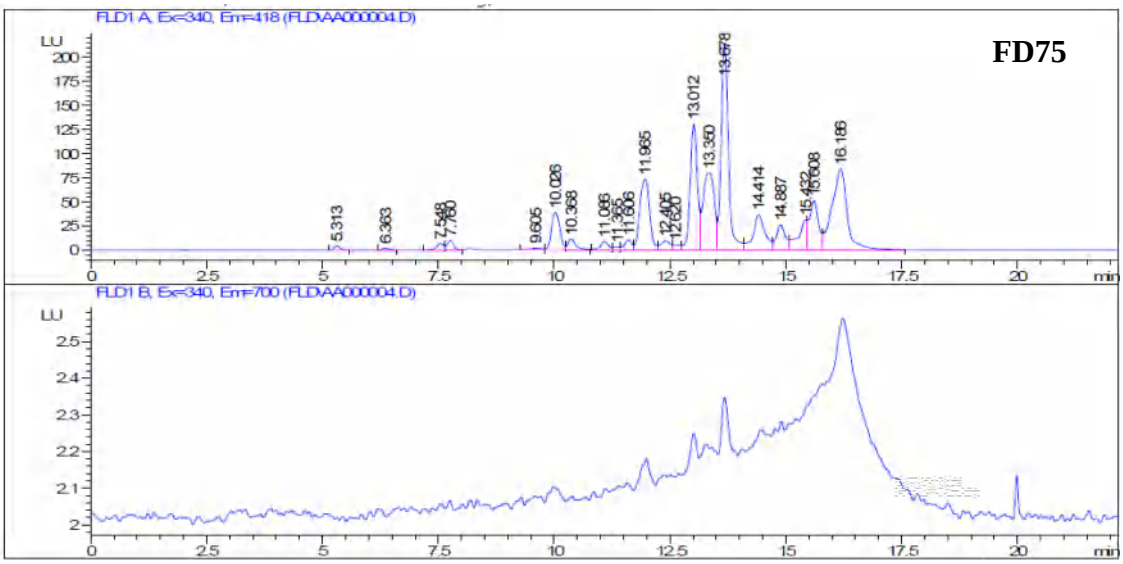
Arginine



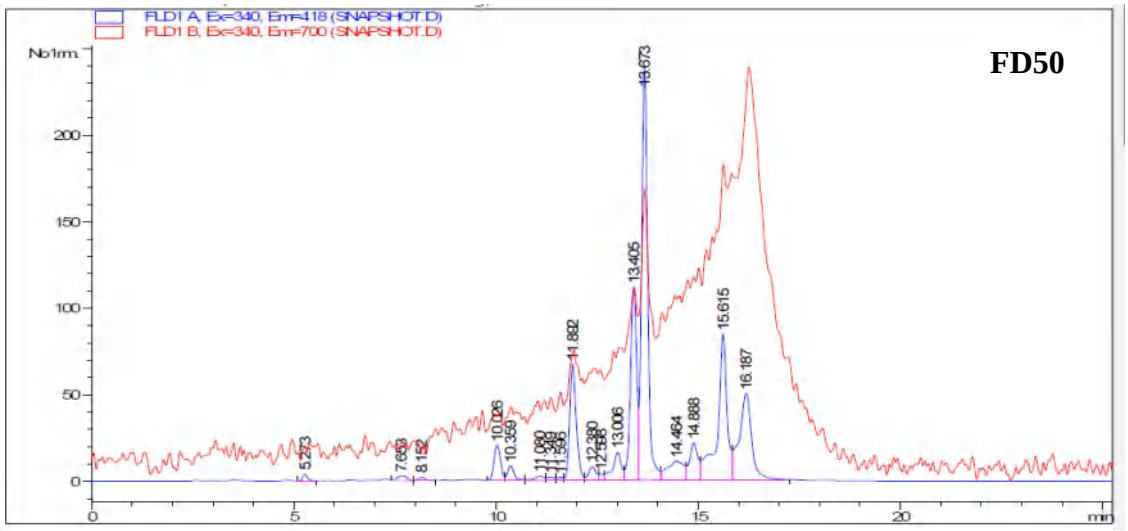
Histidine



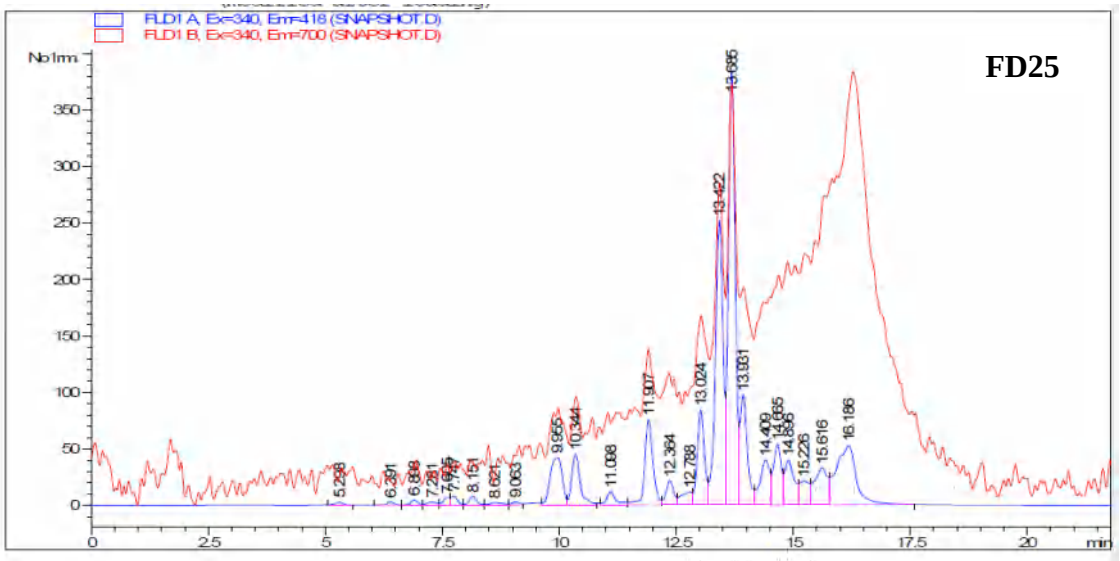
Leucine



FD75

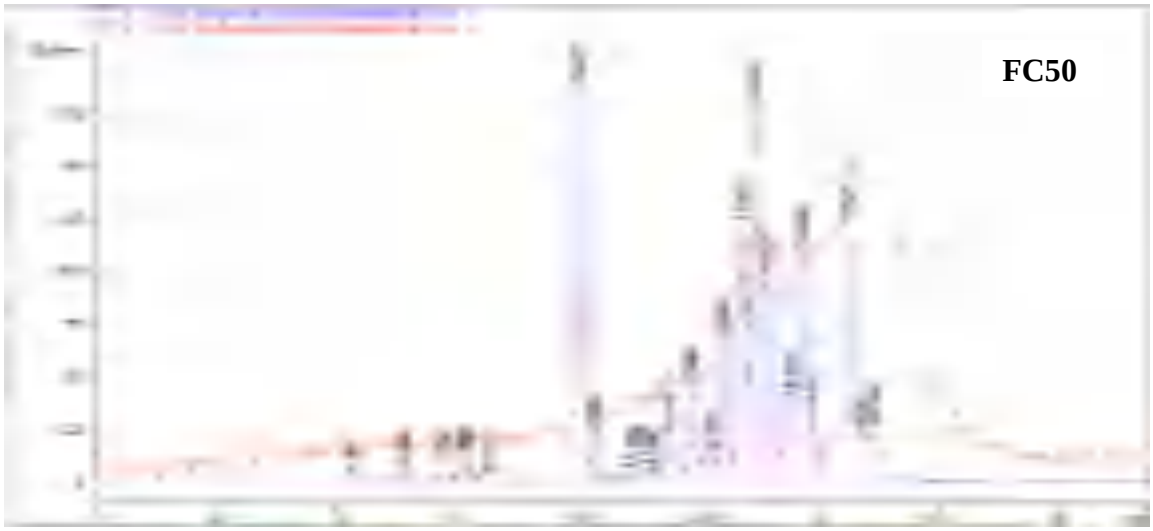


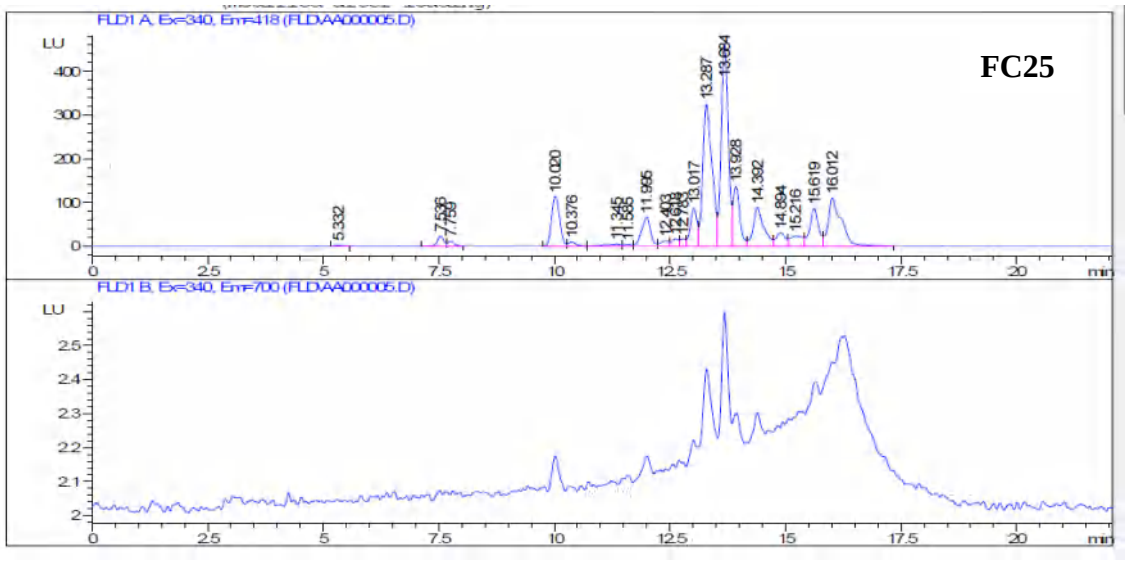
FD50

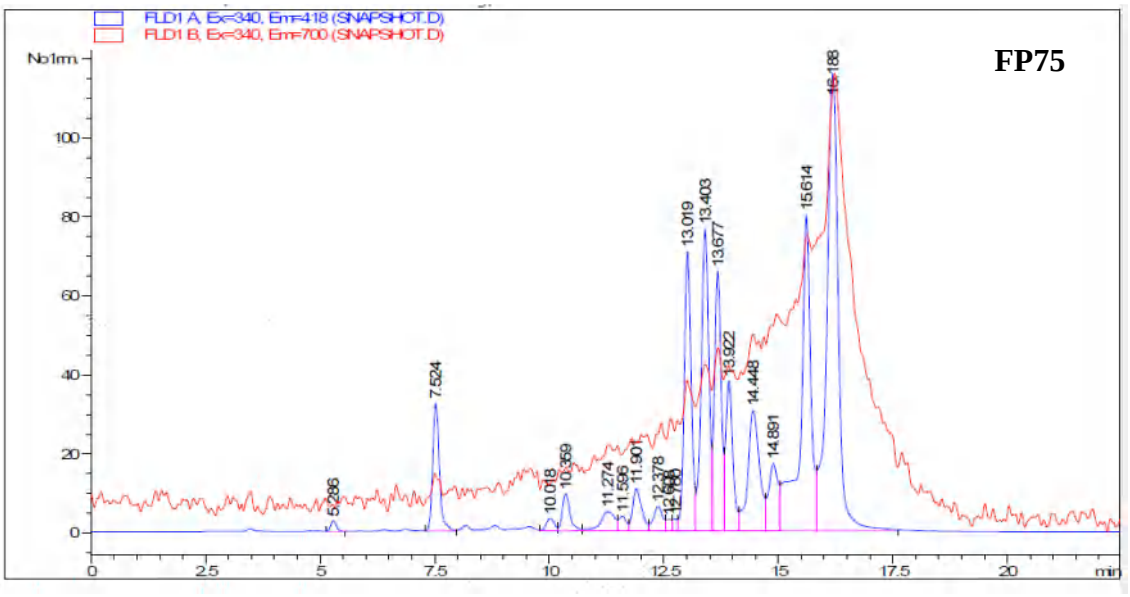


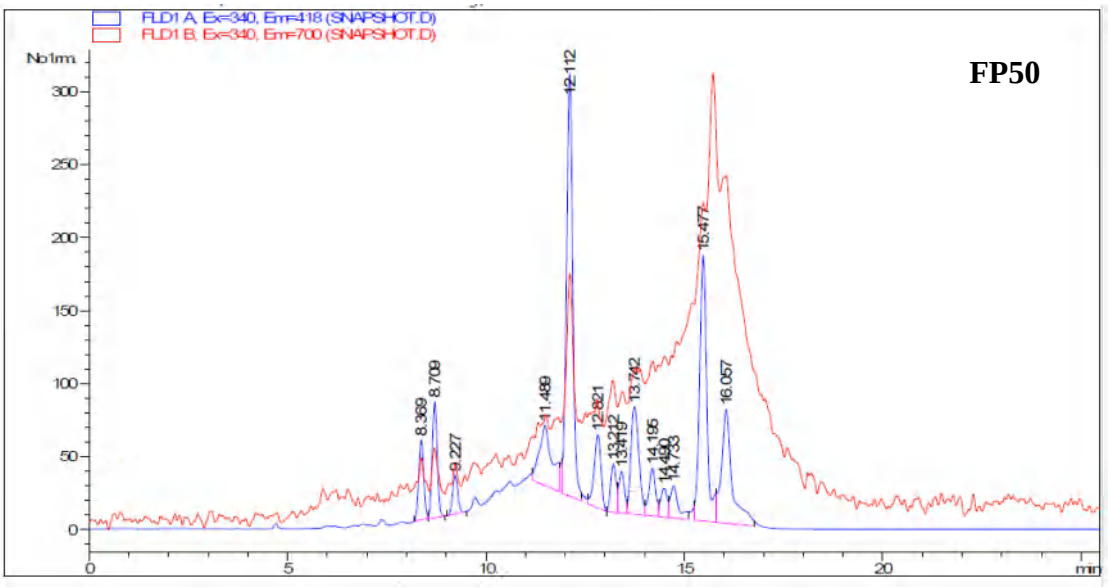
FD25

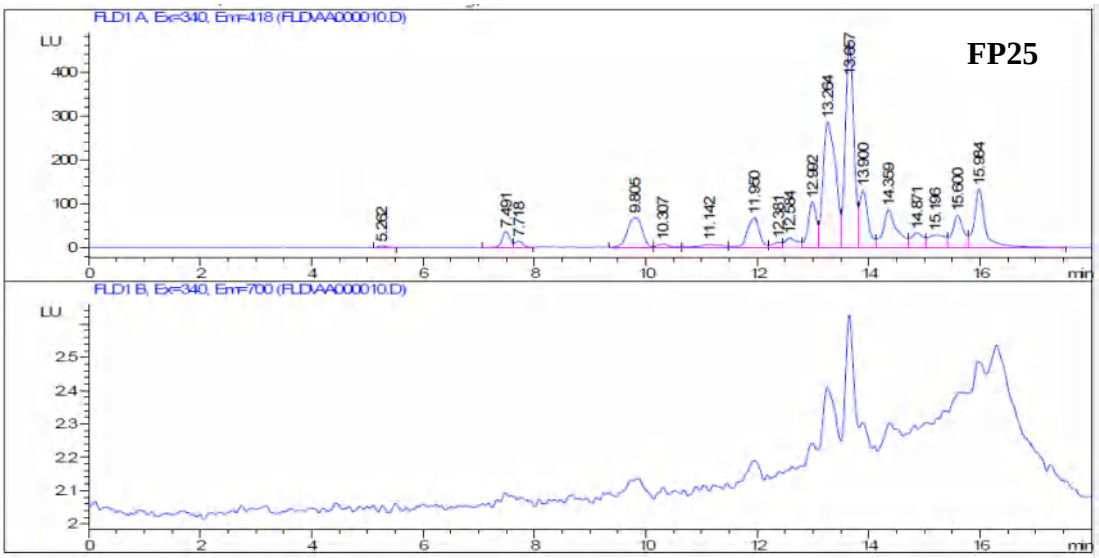
FC75

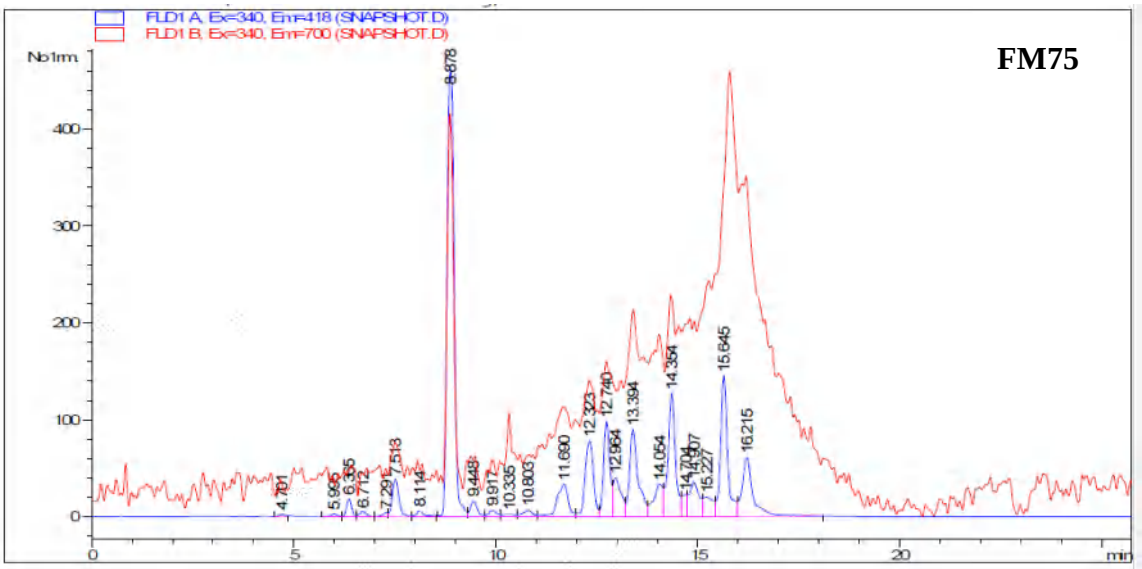

FC50

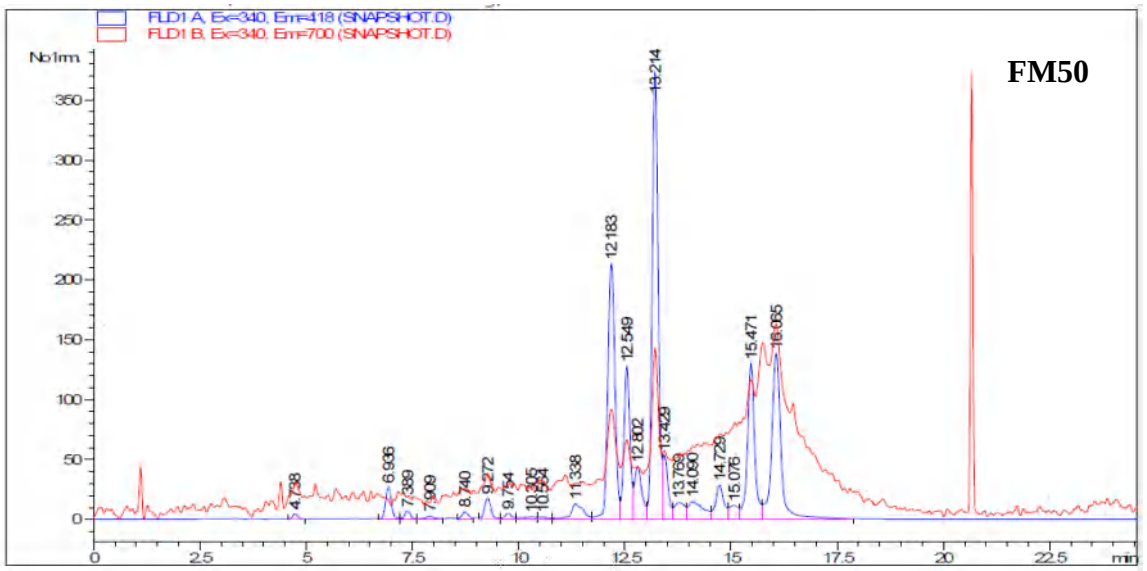

FC25
FLD1 A, Ex=340, Em=418 (FLD\AA000005.D)
LU
5.332
7.536
7.759
10.020
10.376
11.345
11.585
11.995
12.403
12.603
12.763
13.017
13.287
13.884
13.928
14.392
14.884
15.216
15.619
16.012
min
FLD1 B, Ex=340, Em=700 (FLD\AA000005.D)
LU
min

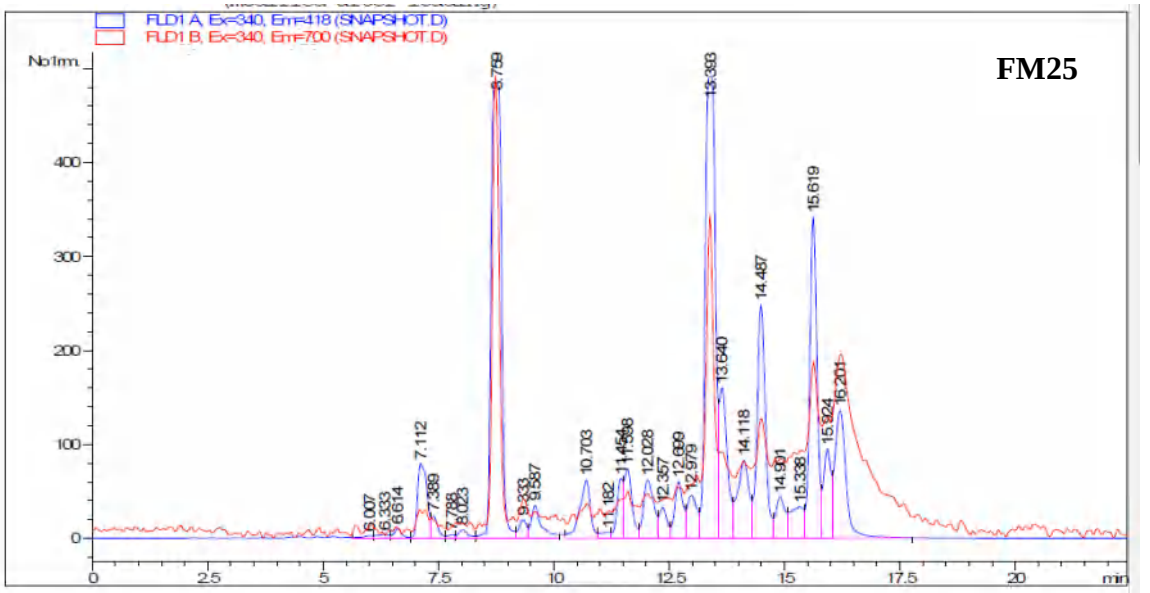

FLD1 A, Ex=340, Em=418 (SNAPSHOT.D)
FLD1 B, Ex=340, Em=700 (SNAPSHOT.D)
No1mm
FP75
5.286
7.524
10.018
10.359
11.274
11.596
11.901
12.378
13.019
13.403
13.677
13.922
14.448
14.891
15.614
16.188
min


FLD1 A, Ex=340, Em=418 (SNAPSHOT.D)
FLD1 B, Ex=340, Em=700 (SNAPSHOT.D)
No1mm
FP50
8.369
8.709
9.227
11.489
12.112
12.821
13.742
15.477
16.057
min


FLD1 A, Ex=340, Em=418 (FLDAA00010.D)
LU
FP25
5.262
7.491
7.718
9.805
10.307
11.142
11.960
12.381
12.584
12.982
13.264
13.657
13.900
14.359
14.871
15.196
15.600
15.984
min
FLD1 B, Ex=340, Em=700 (FLDAA00010.D)
LU
min


FLD1 A, Ex=340, Em=418 (SNAPSHOT.D)
FLD1 B, Ex=340, Em=700 (SNAPSHOT.D)
FM75
No1mm
min


FLD1 A, Ex=340, Em=418 (SNAPSHOT.D)
FLD1 B, Ex=340, Em=700 (SNAPSHOT.D)
FM50
No1mm
min


FLD1 A, Ex=340, Em=418 (SNAPSHOT.D)
FLD1 B, Ex=340, Em=700 (SNAPSHOT.D)
FM25
No1mm
min

6. Analyse sensorielle des fromages frais (Grille d'évaluation sensorielle)

Analyse des descripteurs sensoriels d'un fromage frais

Nom/ Prénom : Promotion Date :

Il vous est demandé d'évaluer les caractéristiques du fromage en donnant une note de 0 à 15 (Aspect/texture, Odeur/Arôme, Goût) selon l'échelle et les caractéristiques proposées. Veillez analyser les fromages par ordre. Model d'échelle :

Aspect et texture fromage						
	Texture uniforme-lisse	Texture rugueuse	Texture sableuse	Texture tartinable	Texture crémeuse	Texture pâteuse
FM1						
FM2						
FM3						

Odeur du fromage : Flairez et notez rapidement l'intensité de l'odeur					
	Odeur lactique	Odeur animale	Odeur d'herbe	Sans odeur	Autres à préciser
FM1					
FM2					
FM3					

Gout et arôme du fromage : Mastiquez l'échantillon puis évaluez l'intensité des saveurs					
	Acide	Salé	Doux	Amer	Gout de beurre
FM1					
FM2					
FM3					

	Appréciation globale du fromage					
	Mauvais	moyen nement bon	Bon	très bon	riche en arômes (oui/non)	durée de l'intensité dans la bouche*
FM1						
FM2						
FM3						

* Préciser en seconde l'intensité de (intensité faible) ≤3sec (intensité longue) jusqu'à ≥ 30sec

Production scientifique

Emirates Journal of Food and Agriculture. 2022. 34(7): 575-585
doi: 10.9755/ejfa.2022.v34.i7.2881
http://www.ejfa.me/

RESEARCH ARTICLE

Optimization of flocculation and clotting time of camel milk with camel and goat rennets, and chicken pepsin in comparison with cow milk using response surface method (RSM)

Biya Bouras[1,2], Ouarda Aïssaoui-Zitoun[1]*, Férial-Aziza Benyahia[1], Fairouz Djeghim[3], Mohammed Nassereddine Zidoune[3]

[1]Génie Agro-Alimentaire Laboratory (GENIAAL) I.N.A.T.A-A., Frère Mentouri Constantine 1 University (U.C.1), street of Ain El Bey, Constantine, 25017, Algeria, [2]University of El Oued, El Oued 39000, Algeria, [3]Laboratory of Nutrition and Food Technology (L.N.T.A) I.N.A.T.A-A., Frère Mentouri Constantine 1 University (U.C.1), street of Ain El Bey, Constantine, 25017, Algeria

ABSTRACT

To solve the difficulty of coagulation of camel milk, three animal coagulating enzymes: Camel rennet, goat rennet, and chicken pepsin were used. The study was focused on the optimization of two milk coagulation key parameters: pH and temperature using the response surface methodology. The cow milk is used as reference. Characterization of the coagulating enzymes extract showed that the protein content is higher in chicken pepsin [20 ± 0.00 mg/ml] followed by camel and goat's extracts [15.4 ± 0.00 mg/ml, 8.8 ± 0.00 mg/ml]. However, coagulating and specific activities were more important in camel rennet [111.12 ± 1.23 RU.ml^{-1}, 7.21 ± 0.03 RU.mg^{-1}] than in goat's rennet and chicken pepsin. On the other hand, coagulant strength was for camel rennet 1/4166.67 SU, goat rennet 1/2531.64 SU, and chicken pepsin 1/6153.85 SU. Moreover, results of pH and temperature optimization of camel milk flocculation showed the following pairs: [X1 = 5.35, X2 = 42] for camel rennet, [X1 = 5.48, X2 = 30] for goat rennet and [X1 = 5.49, X2 = 39.45] for chicken pepsin. Also, the coagulation showed the following couples: [X1 = 5.37, X2 = 39.09] for camel rennet, [X1 = 5.36, X2 = 38.84] for goat rennet and [X1 = 5, X2 = 42] for chicken pepsin. The conclusion was flocculation and coagulation optimum points of camel and cow milk with coagulating enzymes studied are different based on surface plot analysis and the relationship between response and variables.

Keywords: Camel milk; Chicken pepsin; Coagulation; Rennet; RSM optimization

INTRODUCTION

In the southern Mediterranean basin countries, camel breeding represents a central activity in the occupation of the steppe and desert pastoral space and the maintenance of agricultural activity of the oasis systems, in the zootechnical development of desert areas, and the control of desertification. In addition, climate changes in this part of the world marked by increased desertification of the Saharan fringes are resulting in a decrease in natural resources and the need for reasoned management of water resources (Faye et al., 2014). In Algeria, camel farming is concentrated in semi-arid and arid areas. Ten dromedary populations were identified in the country out of a total of 26 populations in Africa and 97 in the world (Harek et al., 2017).

Camel milk plays an important role in feeding nomads and the populations of southern Algeria since recent years, it has started to be sold in northern regions. Its position is significantly different, depending on the types of camel routes, season, husbandry systems, parity number, and stage of lactation (Alloui-Lombarkia et al., 2007; Hadef et al., 2018). Camel milk also called white gold of the desert is more similar to human milk than any other milk and differs from other ruminant milk (Young et al., 2017). The content of cholesterol and sugar is lower in camel milk than the milk of other ruminants, while minerals (sodium, potassium, iron, copper, zinc and magnesium), vitamin C, niacin protective proteins (Kula and Tegegne, 2016; Young et al., 2017) and unsaturated fatyy acids (Konuspayeva et al., 2008) are higher. In addition, the dietary and medicinal qualities

***Corresponding author:**
Ouarda Aïssaoui-ZitounGénie Agro-Alimentaire Laboratory (GENIAAL) I.N.A.T.A-A., Frère Mentouri Constantine 1 University (U.C.1), street of Ain El Bey, Constantine, 25017, Algeria. **E-mail:** aissaouizitoun.ouarda@umc.edu.dz

Received: 11 December 2021; **Accepted:** 25 June 2022

of camel milk are renowned. It is hypoallergenic (Shabo et al., 2005), antidiabetic (Agrawal et al., 2003), and anti-infective (El-Agamy et al., 1992). For that, camel milk is an asset for good diversification of the products offered such as cheese (Boudjenah-Haroun et al., 2011; Konuspayeva and Faye, 2021). Unfortunately, transformation of camel milk in cheese-making after enzymatic coagulation seems difficult. Farah and Ruegg (1989), El-Agamy and Nawar (2000) and Youg et al. (2017) indicate that casein micelles of camel milk are bigger in diameter than the milk of other species.

Failure of coagulum formation is due to non-specific interaction of the protease with camel kappa casein (κ-CN). Camel κ-CN contains a distinctly different cleavage site for aspartic proteases as compared with bovine κ-CN (Kappeler, 1998). In cheese manufacturing, calf rennet is the most common enzyme used worldwide as a milk-clotting agent due to its high milk-coagulating ability and higher yield of cheese. However, with the worldwide increase of cheese yield and supply shortage of calf rennet, researchers have been obliged to study and develop calf rennet substitutes (Lopes et al., 1998).

Thus, various clotting agents are important as substitutes for calf rennet, but these sources are not suitable for quality cheese production since they produce extremely bitter tastes (Neelakanta et al., 1999; Walsh and Li (2000); Kumar et al., 2006) Recombinant chymosin can also be used to produce cheese, but its use may be limited for consumer concern regarding genetically engineered foods (Egito et al., 2007). As animal clotting agents, there are studies that prove the ability to use camel rennet (Boudjenah-Haroun et al., 2011; Boudjenah-Haroun et al., 2014; Hattem et al., 2017), goat rennet (Zhang and Wang, 2007) and chicken pepsin (Benyahia-Krid et al., 2016) for bovine milk coagulation.

In order to coagulate camel milk, very limited studies have been carried out on the capacity of camel rennet to coagulate camel milk. Studies carried out by Wangoh *e*t al. (1993), Elagamy (2000), Sibouker et al. (2005), Boudjenah-Haroun et al. (2011) and Ramet (2011) have shown the possibility of using coagulating enzymes extracted from dromedaries' abomasum. Camel chymosin was also used to investigate factors influencing the gelation and rennetability of camel milk (Hailu et al., 2016) and lately, in white brained soft cheese characterization (Bouazizi et al., 2021). Studying the clotting time of camel milk, Wangoh et al. (1993) have shown that this parameter was significantly reduced when camel rennet was used instead of bovine rennet. Different studies revealed that rennet coagulation of camel milk follows a similar mechanism as that of cow milk. However, the action of rennet on camel milk results in coagulation in flakes form without a firm coagulum (Young et al., 2017; Bittante et al., 2021).

Recently, Felfoul et al. (2022) demonstrated that the induction of acidification promotes dromedary coagulation. However, there are no studies targeting the clotting of camel milk by other animal coagulating enzymes such as chicken pepsin to optimize temperature and milk pH clotting parameters. This study investigates the dromedary milk coagulation exploiting rennet and other available animal coagulant enzymes, such as camel or goat rennets and chicken pepsin, compared to cow milk coagulation tested in the same modalities. The flocculation and the clotting time conditions (milk pH and temperature) with coagulating enzymes are optimized.

MATERIALS AND METHODS

Milk samples

Three raw milk types were used. Dromedary milk samples were collected from El Oued region (southeast of Algeria) from herds of *Camelus dromedarius* of *Sahrawi* population living in semi-extensive breeding in natural ranges. Also, goat milk samples were collected in the same region from herds of *Arbia* goats. Cow's milk was collected from the same region and used for results comparison.

These samples were collected cleanly and sent to laboratory in a cooler containing ice packs, then frozen at -18°C until further use.

Berridge substrate

Skimmed milk powder (12 g) was used for Berridge substrate preparation (100 ml) which is dissolved in 100 ml of $CaCl_2$ solution (0.01 M). The pH of the prepared milk solution was adjusted to 6.4 with HCl or NaOH (1N) solutions.

Animals' abomasum and chicken proventriculus

Abomasum were collected from camels less than one year and from goats of 3 months old. Abomasum were recovered from a slaughterhouse. Proventriculus were collected from chicken less than 50 days old from poultry slaughter in El Oued. Camel or goat abomasum and chicken proventriculus were washed with tap water, degreased, covered in a sterile bag and frozen at -18°C until enzyme extraction.

Physicochemical analysis of camel and cow milks

Assessment of main characteristics

The milk pH measurement was carried out at 25°C. The value was read directly on pH meter after immersing its electrode in milk to be analyzed, which was calibrated beforehand using calibration solutions. The acidity was measured by titrating milk containing phenolphthalein with caustic soda (0.1N NaOH) (AFNOR, 1986).

Density measurement was carried out by introducing a lactodensimeter into a sufficiently large and deep test tube containing milk, then a directly reading the value.

Total dry matter, which is the product resulting from the drying of milk, was obtained by evaporation of water in an oven set at 103±2 ºC for 3 hours (AFNOR, 1980).

Specific nutrient assessment

Nitrogen content was determined by Kjeldahl method (ISO8968-1: 2014) and protein level was calculated by the following relation: $Mp = M_N \times 6.25$ (Mp: protein masse, M_N: nitrogen masse). Fats were determined according to GERBER method (ISO2446: 2008) and lactose content was determined by the BERTRAND method (AFNOR 1986).

Determination of mineral salts

Concentration of different mineral elements in the camel, goat and cow milks was determined by spectroscopic analyses: sodium (flame emission spectrometry); potassium (optical emission spectrometry); magnesium, Copper, Zinc, Iron, Lead (atomic absorption spectrometry) (ISO 6955: 1982) and titrimetric assay for calcium (FIL 36A).

Extraction of coagulating enzymes

Fig 1 summarizes experimental design of clotting enzymes protocol extraction and studied parameters using response surface method for pH and Temperature variation.

Camel and goat rennets

The extraction was carried out according to the protocol used by Wangoh et al. (1993). The goat and dromedary abomasum were cut into slices (1 cm^2), a maceration is made in a 6% NaCl solution (1:10 w/v) containing 2% boric acid. The mixture was then filtered and centrifuged. The pH of the supernatant was then lowered to 4.7 and the extracts were kept at 25°C. The pH was then increased to 5.5, followed by a final centrifugation (Table 1). The enzyme extract was stored at (-18°C) until use.

Chicken pepsin

The pepsin extraction was carried out following the extraction protocol proposed by Bohak (1970). The proventriculi were minced and then macerated in a saline solution for 3 hours. The extract was adjusted to pH 2. The mixture was filtered and the retentate was removed. Finally, the filtrate was centrifuged followed by pH adjustment to 6.4. The enzyme extract was stored at (-18°C) until use.

Characterization of coagulating enzymes

Coagulant activity

Coagulant activity (CAU) or rennet unit RU is defined by the quantity of enzyme contained in 1ml of enzymatic solution which can coagulate 10ml of BERRIDGE substrate (Berridge, 1955) in 200s at 30°C. The technique consists of adding to the milk, 1ml of the enzymatic extract followed by homogenization (3 turns), then noting when visible casein flakes are formed on walls of the test tube (Mahaut et al., 2003).

Clotting time

Clotting time is the point at which first droplets of whey appear on surface of gel, the coagulum becomes rigid and no longer flows on walls of tube. It is carried out directly on 10ml of raw milk maintained at 35°C in a water bath,

Table 1: Factors codes and levels of the experimental design for parameters of pH [from 5 to 6.7] and T° [from 30 to 42°C].

Levels (coded)	Factors (not coded)	
	pH	T (°C)
Min Point (-α)	5	30
Point (-1)	5.25	31.76
Central point (0)	5.85	36
Point (+1)	6.45	40.24
Max Point (+α)	6.7	42

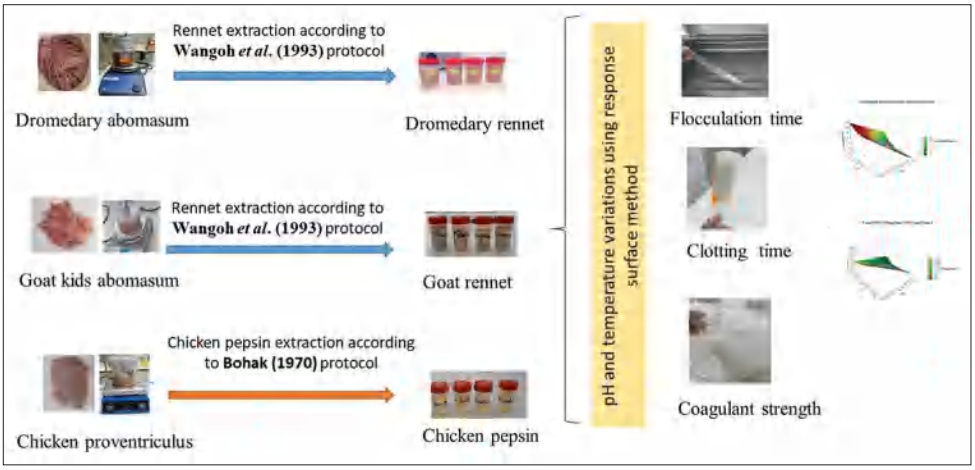


Fig 1. Experimental design of clotting enzymes protocol extraction and studied parameters using response surface method for pH and temperature variation

and then 1ml of enzymatic solution is added. In enzymatic clotting, the setting time is between 25 and 30min (FAO, 1955; Alais, 1974).

Coagulant strength

Coagulant strength of an enzyme extract or a coagulating enzyme represents the volume of coagulated milk per unit of enzyme extract, in 40min, at 35°C and pH 6.4 (Nouani et al., 2009).

Protein determination of enzyme extract

The protein assay method is the same as cited for milk proteins by changing the conversion coefficient (6.25).

Specific activity

Specific activity is calculated directly, it's the number of units of activity per unit of mass (RU/mg) of protein. It indicates the enzyme purity (Nouani et al., 2009).

Optimization of coagulating enzymes activity

Experimental design

The response surface methodology, using a central composite design (CCD) with two factors at five levels ($-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha$), was used to optimize effects of pH (X_1) and temperature (X_2) on flocculation time (Y_1) and clotting time (Y_2) of milk samples. The pH and temperature were respectively varied from 5 to 6.7 and from 30°C to 42 C°. The experimental design generated 13 trials. A second-degree equation was determined from the experiments to predict different responses as a function of the studied parameters (pH and temperature) using the following formula (1):

This type of model allows estimation of a response surface to study linear effects, quadratic effects and interaction effects of pH and temperature (T) on flocculation and clotting time.

Table 2: Experiment matrix of orthogonal composite plane centred with two factors.

Test	Coded values		Uncoded values	
	A	B	pH	T
1	0	0	5.85	36
2	1.414	0	6.7	36
3	0	1.414	5.85	42
4	0	-1.414	5.85	30
5	-1.414	0	5	36
6	0	0	5.85	36
7	0	0	5.85	36
8	-1	-1	5.25	31.76
9	0	0	5.85	36
10	1	1	6.45	40.24
11	0	0	5.85	36
12	-1	1	5.25	40.24
13	1	-1	6.45	31.76

$$Y=b_0+ b_1 X_1+ b_2 X_2+ b_{11} X^2_1 +b_{22} X^2_2 +b_{12} X_1 X_2 \ldots\ldots(1)$$

With:

Y: predicted response;

b_0, b_1, b_2, b_{11}, and b_{22}: coefficients of the equation with

b_0: constant;

b_1 and b_2: coefficients of the linear terms;

b_{11} and b_{22}: coefficients of the quadratic terms;

b_{12}: interaction coefficients;

X_1 and X_2: uncoded values of the independent variables (pH and T).

For all experimental design tests, 1ml of enzymatic extract was added to 10ml of camel milk or cow milk. The pH was adjusted with lactic acid. After three reversals then triggering of chronometer, the test tube is either kept in rotary movement (for the flocculation tests), or kept without rotation (for the clotting tests) in a water bath according to the temperature test.

Table 2 shows the experiment matrix of the orthogonal composite plane centered with two factors for the 13 tests.

Statistical analysis of data and graphical representations

Minitab 19 software (Minitab Inc., State College, PA) was used to determine coefficients for each response. The degree of significance of coefficients was determined using the p-value, and the significance level was set. Flocculation and clotting time surface plots for each enzyme type are shown using statistica software (version 10, Statsoft Poland).

Table 3: Physicochemical characterization of milks used (mean value±standard deviation).

Paramater	Camel milk	Cow milk (standard)
pH	6.56±0.34	7.15±0.05
Dornic acidity	18±1.00	13±0.5
Fat (g/l)	37.76±1.54	29±11.00
Lactose (g/l)	31.4±0.2	51.6±0.57
Proteins (g/l)	28.6±0.4	34±09.00
Specific gravity at 20°C (g/cm^3)	1.029±0.001	1.028±0.00
Dry matter (g/l)	106.18±0.9	200±7.5
Ash (g/l)	7.16±1.66	5.15±2.07
Chlorides (g/l)	4.46±0.3	1.9±0.3
Calcium (%)	0.09±0.001	0.7±0.01
Sodium (mg/l)	678±0.8	185±1.00
Potassium (mg/l)	2.29.10^3±0.2	0.7.10^3±0.5
Magnesium (mg/l)	1.5±0.09	1.1±0.02
Copper (mg/l)	0.48±0.04	0.4±0.01
Zinc (mg/l)	4.39±1.00	3.00±0.00
Iron (mg/l)	2.32±0.7	1.9±0.8
Lead (mg/l)	≤ 0.01	≤ 0.01

RESULTS AND DISCUSSION

Physicochemical analysis of milks

The main physicochemical characteristics of camel milk are shown in table 3. The pH value of camel milk is similar to those given by several authors (Kamoun, 1996; Kappeler et al., 1998; Young et al., 2017). In fresh camel milk, pH ranges from 6.55 to 6.7 (Konuspayeva et al., 2009) and is slightly lower than cow milk (Al haj and Al Kanhal, 2010). The variation of pH value could be due to differences in hygiene of the milking practices and the total microbial count of milk and it can be affected by feeding and water availability (Hadef et al., 2018). Acidity of camel milk was higher than cow milk. It agrees with the findings of Hadef et al. (2018).

Specific gravity was respectively around 1.028 for cow milk and1.029 for camel milk. Density depends on dry matter content, fat content, temperature and diet of the animal (Debouz et al., 2014). This density is in agreement with Pak et al. (2019). According to Young et al. (2017), the specific gravity of camel milk is near that of cow milk (1.029 and 1.032 respectively).

For camel milk fat content, our results are similar to that given by Alloui-Lombarkia et al. (2007) (37.44±5.40g/l). As showed by Shuiep et al. (2018) fat content of camel milk is affected by management conditions and seasons. In addition, Konuspayeva et al. (2009) observed that there is a large variation in camel milk fat content across the world. They also showed that camels living in East Africa have a milk composition that contains more fat than milk camels living in Africa and Western Asia. In addition, Abdalla et al. (2015) reported that the low percentage of fat in milk camels reflects poor nutrition under desert conditions.

Lactose content is significantly lower in camel milk compared to cow milk. This result is in agreement with Alloui-Lombarkia et al. (2007) (34.20± 9.04 g/l) and less than that found by Young et al. (2017) (45.6g/l). According to Brezovečki et al (2015) the amount of lactose in camel milk varies from 29.1 g/l to 41.2/l, which is less when compared to 44-58 g/l in cow milk. Large differences in lactose content may be conditioned by animal nutrition which depends on plants type with which the animals are fed (Alloui-Lombarkia et al., 2007).

Camel milk protein content is lower than that of cow milk. This result is in agreement with Debouz et al. (2014) (28.1±0.12g/l). However, it's relatively lower compared to that reported by Attia et al. (2000) and Konuspayeva et al. (2009) of 35 to 45g/l. Milk proteins concentration varies according to the season, stage of lactation and of calving number.

Average dry matter value content in cow milk is 200g/l while for camel milk is 106g/l, this value is almost similar to that given by Ismaili et al. (2019) which is 104.2g/l. Milk dry matter content varies depending on the stage of lactation. Thus, it decreases during the month following calving, then increases following an increase in the rate of fat and nitrogen (Debouz et al., 2014; Ismaili et al., 2019).

According to Pak et al. (2019), all components of camel milk decreased from December to February and had a tendency to grow from June to August. Also, food supply plays an important role and can explain the particular richness of camel milk.

From these results, it appears that the mineral content of camel milk (7.16±1.66g/l) is higher compared to cow milk (5.15±2.07g/l). Camel milk value is in agreement with Brezovečki et al. (2015) (from 6g/l to 9g/l). Ash in camel milk is subject to breed, analytical procedures, nutrition, and water consumption. It is a rich source of chloride because of feed consumed by camels, such as *Atriplex* and locust tree, which usually rich in salt.

Characterization of enzymatic extracts

Characterization results of camel rennet, goat rennet and chicken pepsin are shown in table 4.

Camel rennet characteristics

Enzymatic extract of camel rennet obtained as described by Wangoh et al (1993) protocol has a liquid texture and a light brown color. It is characterized by a protein content of 15.4±0.00 mg/ml. This value is higher than that found by Boudjenah-Haroun (2012) which is (1.54 mg/ml). The camel rennet coagulant activity is 111.12±1.23 RU.ml^{-1}. This result is higher than the values of Siboukeur et al. (2005) (0.155 RU.ml^{-1}), Mahboub (2009) (0.081±0.003 RU.ml^{-1}) and Boudjenah-Haroun (2012) (0.360±0.02 RU.ml^{-1}). Specific activity and coagulant strength are respectively 7.21±0.03 RU.mg^{-1} and 1/4166.67 SU.

Table 4: Main characteristics of enzymatic extracts (mean value±standard deviation).

Enzyme	Protein (mg/ml)	Coagulant activity (RU.ml^{-1})	Specific activity (RU.mg^{-1})	Coagulant strength (SU)	Clotting time (s)		
					Camel milk	Goat milk	Cow milk
Camel rennet	15.4±0.00	111.12±1.23	7.21±0.03	1/4166.67	181±1.00	98.13±0.87	61.27±0.73
Goat rennet	8.8±0.00	1.52±0.01	0.172±0.00	1/2531.64	294.97±5.33	59.87±0.73	59.93±1.27
Chicken pepsin	20±0.00	1.98±0.02	0.1±0.01	1/6153.85	119.4±0.6	105±2.4	88.2±4.2

According to Siboukeur et al. (2005) and Boudjenah-Haroun et al. (2011), coagulating activity of camel enzymatic extracts is influenced by animals'age However, the animal's diet has an influence on the enzymatic content of dromedary abomasum as mentioned by Boudjenah-Haroun et al. (2013). Mahboub et al. (2012) studied the influence of the storage temperature on the coagulant activity of camel enzymatic extracts and shows that freezing at -20°C and refrigeration at +4°C are recommended in cheese production. Regarding the clotting time, it appears that camel rennet reacts better with cow milk (61.27±0.73s) compared to goat and camel milks (98.13±0.87s, 181±1.00 respectively).

Goat rennet characteristics

The liquid extract of goat rennet prepared has a light brown color, with a protein content of 8.8±0.00 mg/ml. This value is higher than compared to that reported by Boumediene (2013) (1.53 mg/ml). It is characterized by a coagulant activity 1.52±0.01 RU.ml^{-1} and a coagulant force 1/2531.64 SU. Goat rennet coagulates cow and goat milks in a shorter time (59.93±1.27s, 59.87±0.73s respectively) than that found for camel milk (294.97±5.33s).

Chicken pepsin characteristics

Chicken pepsin, extracted following the protocol of Bohak (1970), is a yellowish liquid. Protein content is 20±0.00 mg/ml; which is in agreement with Siar (2014) (20.10±0.73 mg/ml); it is higher than those reported by Adoui (2007) and Aïssaoui-Zitoun et al. (2017) (8.77±0.41 mg/ml, 3.20±0.60 mg/ml respectively) and lower than reported by Benyahia-Krid (2013) (35.40±0.40 mg/ml). Coagulant activity is 1.98±0.02 RU.ml^{-1}; it's less than Aïssaoui-Zitoun et al. (2017) which is 10.2±1.10 RU.ml^{-1}. Chicken pepsin has a coagulant strength of 1/6153.85 SU. It reacts better with cow milk

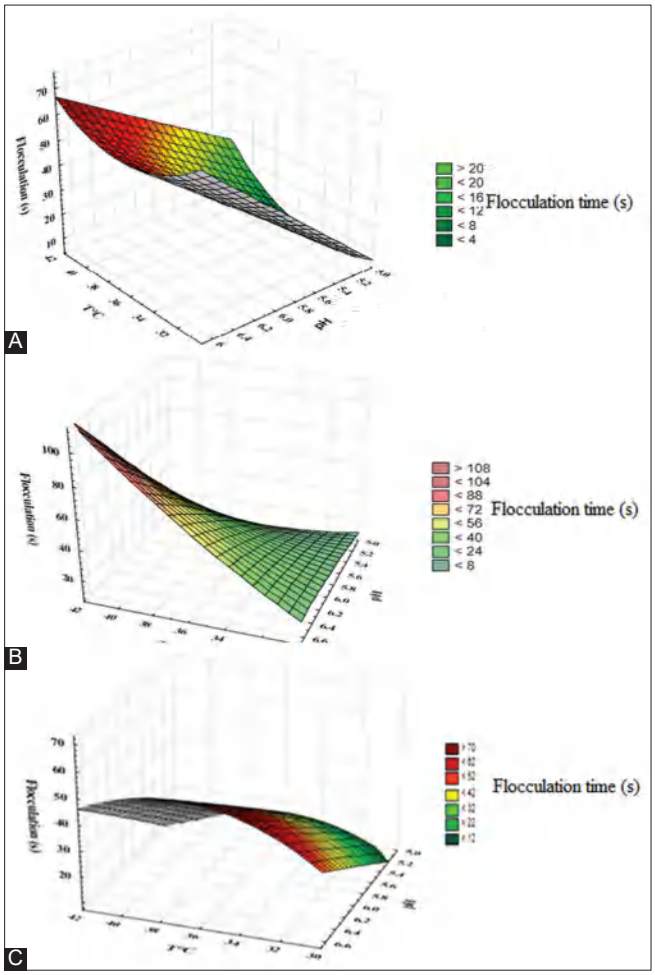


Fig 2. Surface response plot of camel milk flocculation time using camel rennet (A), goat rennet (B) and chicken pepsin (C)

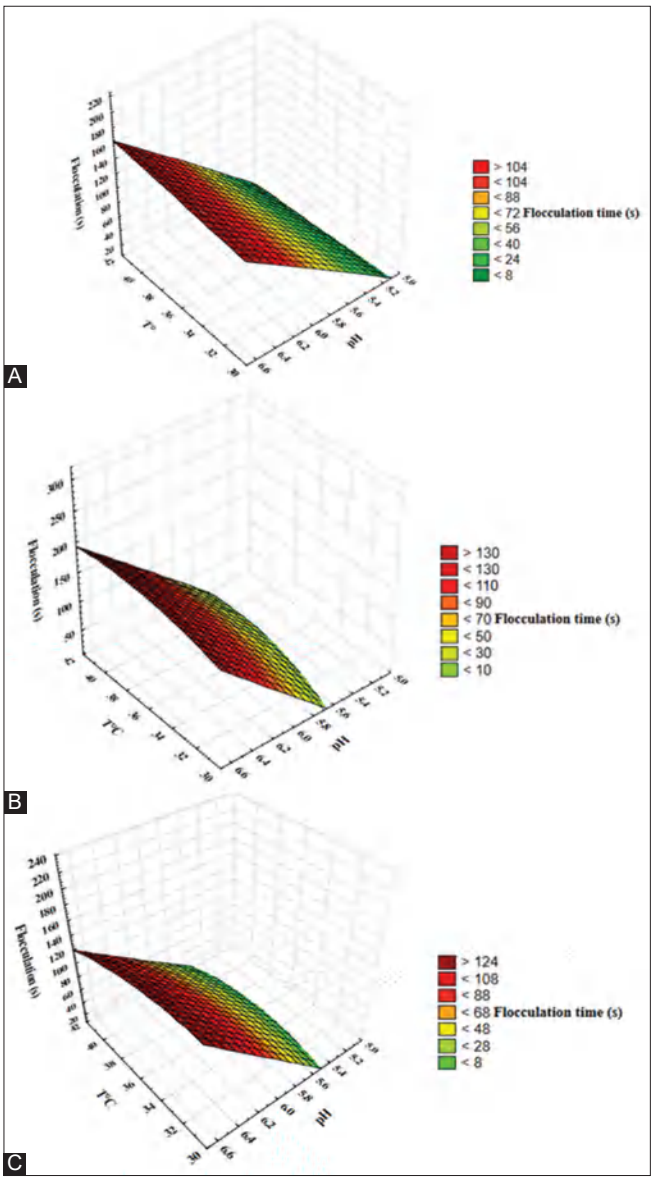


Fig 3. Surface response plot of cow milk flocculation time using camel rennet (A), goat rennet (B) and chicken pepsin (C)

(88.2±4.2s) compared to that of goat or camel milks (105±2.4s, 119.4±0.6s respectively).

Optimization of coagulating enzymes activity

Effect of pH and temperature on camel milk flocculation

Flocculation time responses of camel milk with camel and goat rennets and with chicken pepsin are presented in table 5.

For each enzymatic extract, the camel milk flocculation time changed with pH or milk temperature. At this pair (pH: 5/T: 36°C), the flocculation time of camel milk was minimal with camel rennet (3.6±0.00s), goat rennet (5.4±0.00s) and chicken pepsin (7±0.04s). However, the maximum flocculation times using camel's rennet or chicken pepsin were 76±0.02s and 73±0.04s, also obtained at the same pH (6.7) and milk temperature (36°C). Differently, using goat rennet, the maximum flocculation time of the camel milk was 114±0.00s and at pH 6.45 and 40.24 °C.

As preconized by Ramet (1997) to choose enzymes extract for milk coagulation, flocculation time mustn't exceed 200s. This is verified by results obtained during this study where the flocculation time did not exceed 200s for all proteolytic enzymes tested.

Plot in fig 2 shows that camel milk flocculation is sensitive to the variation in pH (linear effect) ($p<0.05$) with camel rennet and chicken pepsin. On the other hand, flocculation with goat rennet is influenced by pH and with interaction between pH and temperature (linear effect and interactive effect) ($p<0.05$). Based on the surface plot analysis and the relationship between response and variables, a camel milk floccuation time is optimal assuming these pairs of pH and temperature: [X1=5, X2=40.06] for camel rennet, [X1=5, X2=42] for goat rennet and [X1=5, X2=42] for chicken pepsin.

Effect of pH and temperature on cow milk flocculation

Table 6 shows that camel and goat rennets have a minimum flocculation time (4±0.02s, 5±0.00s) with (pH: 5/T: 36) and (pH:5.25/T:40.24) respectively. However, chicken pepsin reacts with cow's milk for minimal flocculation time of 7s at (pH: 5.85/T 3 6).

For (pH: 6.7/T: 36) pair, camel rennet, goat rennet and chicken pepsin flocculate cow milk for a long time (225±0.04s), (320±0.02s) and (242±0.00s) respectively.

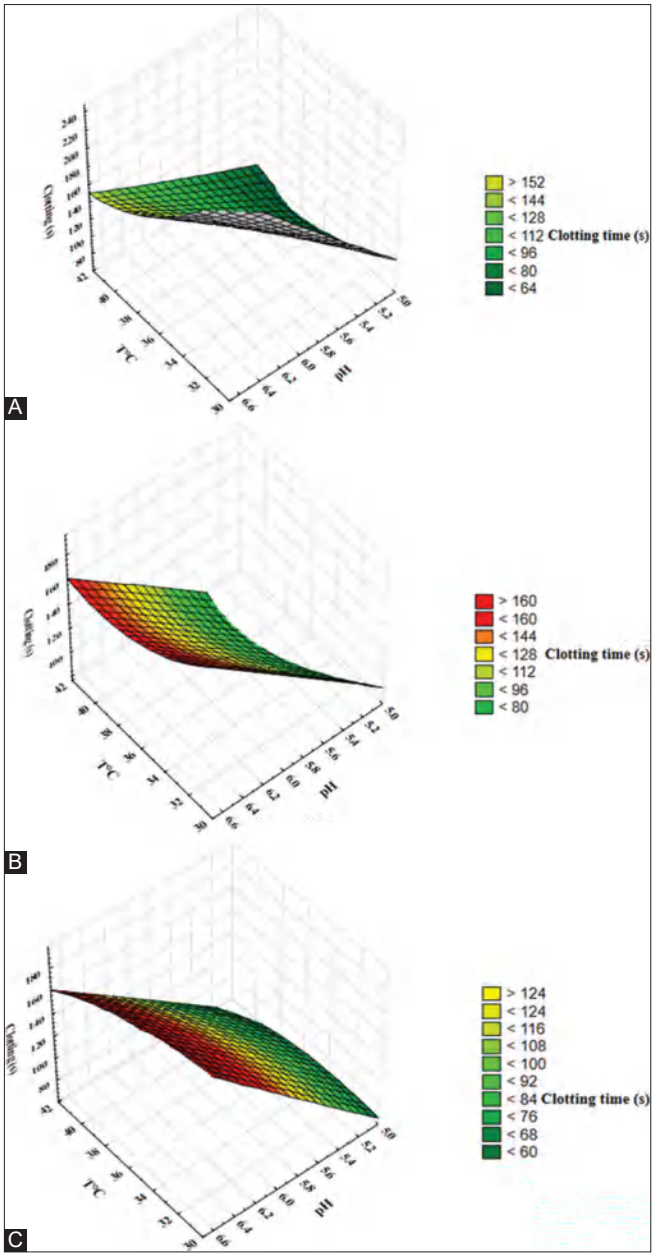


Fig 4. Surface response plot of camel milk clotting time using camel rennet (A), goat rennet (B) and chicken pepsin (C)

Table 5: Flocculation time responses of camel milk with camel rennet, goat rennet or chicken pepsin.

Test	Responses (s)				
	Coded values		PCM[a]	PCP[b]	PP[c]
	X_1	X_2	Y_1		
1	0	0	38±0.04	26.4±0.00	25±0.02
2	1.414	0	76±0.02	58±0.004	73±0.04
3	0	1.414	38±0.00	42±0.04	12±0.00
4	0	-1.414	26±0.04	29±0.04	32±0.04
5	-1.414	0	3.6±0.00	5.4±0.00	7±0.04
6	0	0	13±0.04	48±0.00	39±0.03
7	0	0	9±0.04	46±0.02	37±0.04
8	-1	-1	33±0.04	7±0.02	16±0.04
9	0	0	12±0.00	16±0.04	31±0.00
10	1	1	58±0.04	114±0.00	45±0.00
11	0	0	37±0.02	43±0.04	34±0.04
12	-1	1	37±0.02	43±0.04	34±0.04
13	1	-1	57±0.01	27±0.04	20±0.03

a: camel rennet, b: goat rennet, c: chicken pepsin.

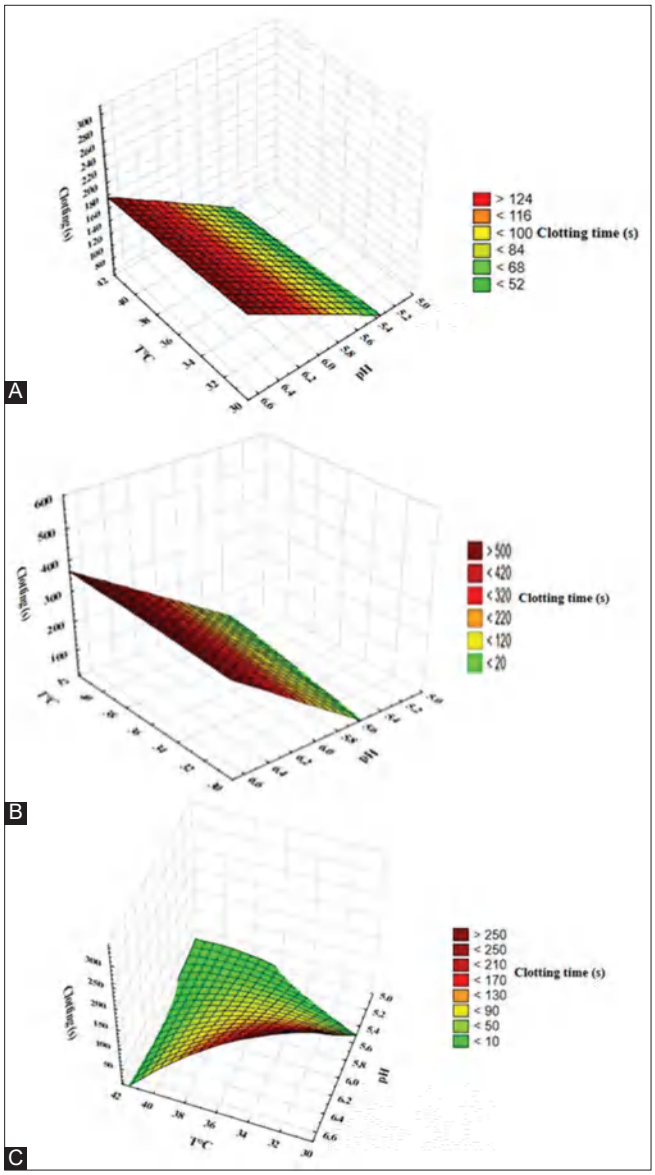


Fig 5. Surface response plot of cow milk clotting time using camel rennet (A), goat rennet (B) and chicken pepsin (C)

The plot in fig 3 shows that cow milk flocculation is sensitive only to pH variation (linear and quadratic effect) with camel rennet and chicken pepsin ($p<0.05$). For goat rennet, flocculation is sensitive at the same time to the variation in pH (linear and quadratic effect) and to the variation in temperature (linear effect) ($p<0.05$). Based on surface plot analysis and the relationship between response and variables, a cow milk flocculation time is optimal assuming these pairs of pH and temperature: [X1=5.35, X2=42] for camel rennet, [X1=5.48, X2=30] for goat rennet and [X1=5.49, X2=39.45] for chicken pepsin.

By comparing our results, camel rennet and chicken pepsin react with camel milk and cow milk with a minimum and maximum time of flocculation for the same temperature

Table 6: Flocculation time responses of cow milk with camel rennet, goat rennet or chicken pepsin.

Test	Responses (s)				
	Coded values		PCM[a]	PCP[b]	PP[c]
	X_1	X_2		Y_1	
1	0	0	39±0.01	10±0.00	17±0.04
2	1.414	0	225±0.04	320±0.02	242±0.00
3	0	1.414	41±0.02	44±0.04	19±0.00
4	0	-1.414	60±0.00	7±0.03	41±0.02
5	-1.414	0	4±0.02	27±0.03	32±0.004
6	0	0	45±0.01	15±0.00	49±0.00
7	0	0	49±0.02	21±0.02	7±0.02
8	-1	-1	56±0.04	6±0.01	12±0.04
9	0	0	50±0.04	10±0.02	7±0.01
10	1	1	92±0.03	190±0.01	127±0.02
11	0	0	52±0.01	8±0.00	7±0.03
12	-1	1	38±0.04	5±0.00	7.8±0.00
13	1	-1	111±0.04	150±0.04	121±0.00

a: camel rennet, b: goat rennet, c: chicken pepsin.

(pH:6.7/T:36) and (pH:5/T:36) respectively. While goat rennet reacts differently.

After optimization of flocculation responses of camel milk and cow milk, our results show that the optimum flocculation points with camel and goat rennets, chicken pepsin are different between the two milk types.

Effect of pH and temperature on camel milk clotting

Clotting time responses of camel milk with camel rennet, goat rennet and chicken pepsin are given in table 7. Results show that camel and goat rennets react with camel milk and give a clotting time of (60±0.02s) and (76±0.02 s) respectively. For chicken pepsin, clotting time (59±0.04s) and flocculation time (7±0.04s) are minimal at the same level of pH and temperature.

Plot in fig 4 shows that camel milk clotting time with camel rennet or goat rennet is influenced by the pH (positive linear and quadratic effect) and also by the temperature (linear and positive effect). The regression coefficient b_1, b_{11} and b_2 have a value of ($p<0.05$). Coagulating enzymes coagulate camel milk for a time not exceeding 15 minutes. However, pH has (a unique significant effect) on the clotting camel milk with chicken pepsin where regression coefficient b_1 has a value of ($p<0.05$). Based on the surface plot analysis and the relationship between response and variables, a camel milk clotting time is optimal assuming these pairs of pH and temperature: [X1=5.37, X2=39.09] for camel rennet, [X1=5.36, X2=38.84] for goat rennet and [X1=5, X2=42] for chicken pepsin. These enzymes technological parameters (pH and temperature) could be useful for camel milk clotting on an industrial scale.

Table 7: Clotting time responses of camel milk with camel rennet, goat rennet or chicken pepsin.

Test	Clotting time responses (s)				
	Coded values		PCM[a]	PCP[b]	PP[c]
	X_1	X_2		Y_2	
1	0	0	159±0.00	115±0.02	112±0.02
2	1.414	0	226±0.02	196±0.04	197±0.04
3	0	1.414	115.8±0.00	100±0.04	85±0.02
4	0	-1.414	168±0.01	124±0.04	115.8±0.00
5	-1.414	0	103.8±0.00	79.8±0.00	59±0.04
6	0	0	73±0.02	86±0.04	143±0.04
7	0	0	88±0.02	94±0.02	107±0.04
8	-1	-1	124±0.02	120±0.00	112±0.02
9	0	0	94±0.02	93±0.03	119±0.02
10	1	1	149±0.04	156±0.00	174±0.00
11	0	0	121.2±0.02	76±0.02	132±0.00
12	-1	1	60±0.01	76±0.02	96±0.00
13	1	-1	248±0.04	186±0.03	198±0.03

a: camel rennet, b: goat rennet, c: chicken pepsin.

Table 8: Clotting time responses of cow milk with camel rennet, goat rennet, or chicken pepsin.

Test	Clotting time responses (s)				
	Coded values		PCM[a]	PCP[b]	PP[c]
	X_1	X_2		Y_2	
1	0	0	60±0.01	12±0.00	51±0.01
2	1.414	0	313±0.02	603±0.01	348±0.01
3	0	1.414	60±0.02	66±0.00	22.8±0.00
4	0	-1.414	72±0.01	9±0.001	54±0.03
5	-1.414	0	72±0.00	66±0.003	99±0.02
6	0	0	64±0.03	21±0.002	54±0.00
7	0	0	59±0.04	42±0.00	9±0.04
8	-1	-1	77±0.04	15±0.01	48±0.00
9	0	0	63±0.00	12±0.02	9±0.03
10	1	1	189±0.01	99±0.00	21±0.01
11	0	0	57±0.00	9±0.003	9±0.02
12	-1	1	51±0.01	11±0.04	24.6±0.04
13	1	-1	120±0.04	289±0.01	194±0.02

a: camel rennet, **b**: goat rennet, **c**: chicken pepsin.

Effect of pH and temperature on cow milk clotting

Clotting time responses of cow milk with camel rennet, goat rennet and chicken pepsin are given in table 8. According to those results, all coagulating enzymes show a maximum coagulation time for (pH: 6.7/T: 36). While chicken pepsin reacts with cow milk with a clotting time of 9s.

The plot in fig 5 shows that pH has (a linear and quadratic significant effect) on the clotting of cow milk with camel rennet, goat rennet and chicken pepsin. Regression coefficient b_1 and b_{11} have a value of ($p<0.05$). Coagulating enzymes coagulate camel milk for a time not exceeding 15 minutes at all levels studied. Based on the surface plot analysis and the relationship between response and variables, a cow milk clotting time is optimal assuming these pairs of pH and temperature: [X1=5.36, X2=42] for camel rennet, [X1=5.39, X2=30] for goat rennet and [X1=5.82, X2=42] for chicken pepsin.

As a comparison, goat rennet reacts with camel milk and cow milk with a minimum and maximum time of clotting for the same level (pH: 5.85/T: 36) and (pH: 6.7/T: 36) respectively, While camel rennet and chicken pepsin react differently. In addition, the optimum clotting points with camel rennet, goat rennet and chicken pepsin are different between the two types of milk.

CONCLUSION

Traditionally, camel milk is known for its inability to rapid coagulation. In this study, we use different proteolytic enzymes (camel rennet, goat rennet and chicken pepsin) with optimization of pH and temperature. Results show that for any successful processing of camel milk, it is therefore possible to use other coagulation enzymes instead of calf rennet by controlling the milk parameters. The optimum combination of pH and temperature for camel milk coagulation with camel rennet is [pH: 5.37, T: 39.09°C], with goat rennet is [pH: 5.36, T: 38.84°C] and with chicken pepsin is [pH: 5, T: 42°C]. Compared with cow milk, the optimum coagulation points are different. This can be justified by the effect of changes in pH and temperature on the affinity of the enzymes studied for the caseins of camel milk and cow milk.

Author contributions

Mrs. Biya Bouras has conceived and designed camel milk coagulation analysis, performed statistical analyses, interpreted results and wrote the paper. Dr Ouarda Aissaoui Zitoun initiated this research and directed the entire experimental study. She also supervised the article redaction and interpretation of the results and edited the manuscript with the first author. Dr Férial-Aziza Benyahia contributed in analysis design and corrected the final paper. Mrs Djeghim Fairouz performed statistical analyses and results with the first author. Prof Mohammed Nassereddine Zidoune supervised the experimental data.

REFERENCES

Abdalla, E. B., A. E. H. Ashmawy, M. H. Farouk, O. A. R. Salama, F. A. Khalil and A. F. Seioudy. 2015. Milk production potential in Maghrebi she-camels. Small Rumin. Res. 123: 129-135.

Adoui, F. 2007. Extraction D'enzyme Coagulant le Lait à Partir de Proventricules de poulet. (Thèse de Magistère), Université Mentouri, Constantine.

Agrawal, R. P., S. C. Swami, R. Beniwal, D. K. Kochar, M. S. Sahani, F. C. Tuteja and S. K. Ghouri. 2003. Effect of camel milk on glycemic control, risk factors and diabetes quality of life in

Type-1 diabetes: A randomised prospective controlled study. J. Camel Res. Pract. 10: 45-50.

Aïssaoui-Zitoun, O., F. A. Benyahia-Krid, L. Arar, D. Korichi, H. Boughellout, F. Adoui, E. H. Siar, A. Harkati and M. N. E. Zidoune. 2017. Utilisation de la Pepsine de Poulet Dans la Coagulation du lait de Chamelle: Procédure de la Douzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras. Tours. France. 05-06 Avril 2017.

Alais, C. 1974. Principes des Techniques Laitières: Science du Lait. 3rd ed. sepec, Paris, p. 513.

Al Haj, O. A. and H. A. Al Kanhal. 2010. Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. Int. Dairy J. 20: 811-821.

Alloui-Lombarkia, O., E. H. Ghennam, A. Bacha and M. Abededdaim. 2007. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du lait de chamelle et séparation de ses protéines par électrophorèse sur gel de polyacrylamide. Renc. Rumin. 14: 108.

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

Benyahia-Krid, F. A. 2013. Extraction de la Pepsine et Utilisation dans la Coagulation du Lait en vue d'une Valorisation des Proventricules de Volailles au Profit de la Filière Lait en Algérie. (Thèse Doctorat), Université Mentouri, Constantine.

Benyahia-Krid, F. A., O. Aissaoui-Zitoun, H. Boughellout, F. Adoui, A. Harkati, E. H. Siar, A. Zikiou, A. Hamadi and M. N. E. Zidoune. 2016. Chicken pepsin and rennet gels: Internal bonds, rheology and microstructure. J. Vet. Sci. Technol. 7: 375.

Berridge, N. J. 1955. Purification and assay of rennin. In: G. E. Perlmann and L. Acad (Eds.), Methods in Enzymology. Vol. 2. Press Inc., New York, pp. 69-77.

Bittante, G., N. Amalfitano, M. Bergamaschi, N. Patel, M. L. Haddi, H. Benabid, M. Pazzola, G. M. Vacca, F. Tagliapietra and S. Schiavon. 2021. Composition and aptitude for cheese-making of milk from cows, buffaloes, goats, sheep, dromedary camels, and donkeys. J. Dairy Sci. 105: 2132-2152.

Bohak, Z. 1970. Chicken pepsinogen and chicken pepsin. In: G. E. Perlmann and L. Acad, (Eds.), Methods in Enzymology, Proteolytic Enzymes. Press Inc., New York.

Bouazizi, A., T. Ben Touati, C. Guesmi, H. Attia and I. Felfoul. 2021. Physicochemical, sensory and coagulation properties of dromedary and cows' skim milk white brined cheeses. Int. Dairy J. 117: 105006.

Boudjenah-Haroun, S., C. L. Laleye, F. Moulti-Mati, S. Si Ahmed, N. Mahboub, O. E. Siboukeur and A. Mati. 2011. Comparative study of milk clotting activity of crude gastric enzymes extracted from camels' abomasum at different ages and commercial enzymes (rennet and pepsin) on bovine and camel milk. Emir. J. Food Agric. 23: 301-310.

Boudjenah-Haroun, S. 2012. Aptitudes à la Transformation du Lait de Chamelle en Produits Dérivés: Effet des Enzymes Coagulantes Extraites de Caillettes de Dromadaires. (Thèse de Doctorat), Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.

Boudjenah-Haroun, S., A. Nouani, A. Adamou, B. Baissa and A. Mati. 2013. Influence du régime alimentaire sur le contenu enzymatique de caillettes de dromadaires. Rev. Bioressour. 1: 58-67.

Boudjenah-Haroun, S., W. Souid, A. Balla, C. Senoussi, D. Almi, S. Si Ahmed and A. Mati. 2014. Utilisation des enzymes coagulantes extraites de dromadaire pour la coagulation du lait bovin. Livest. Res. Rural. Dev. 26: 3.

Boumediene, F. 2013. Influence de Quelques Paramètres de Production sur la Qualité du Lait de Chèvre. Aptitude à la Coagulation. (Thèse de Magistère), Ecole Nationale Supérieure Agronomique.

Brezovečki, A., M. Čagalj, Z. F. Dermit, N. Mikulec, D. B. Ljoljić and N. Antunac. 2015. Camel milk and milk products. Mljekarstvo. 65: 81-90.

Debouz, A., L. Guerguer, A. H. Oudjana and A. E. K. Hadj Seyd. 2014. Etude comparative de la qualité physico-chimique et microbiologique du lait de vache et du lait camelin dans la Wilaya de Ghardaïa. Rev. Wahat Pour Rec. Etud. 7: 10-17.

Egito, A. S., J. M. Girardet, L. E. Laguna, C. Poirson, D. Mollé, L. Miclo, G. Humbert and J. L. Gaillard. 2007. Milk clotting activity of enzyme extracts from sunflower and *Albizia* seeds and specific hydrolysis of bovine casein. Dairy J. 17: 816-825.

El-Agamy, E. I., R. Ruppanner, A. Ismail, C. P. Champagne and R. Assaf. 1992. Antibacterial and antiviral activity of camel's milk protective proteins. J. Dairy Res. 59: 169-175.

Elagamy, E. I. 2000. Physicochemical, molecular and immunological characterization of camel calf rennet: A comparison with buffalo rennet. J. Dairy Res. 67: 73-81.

El-Agamy, E. I. and M. A. Nawar. 2000. Nutritive and Immunological Values of Camel Milk: A Comparative Study with Milk of Other Species: In: Proceedings of 2nd International Camelid Conference: Agroeconomics of Camelid Farming. Almaty, Kazakhstan. 8-12 September.

FAO. 1995. Lait et Produit Laitier Dans la Nutrition Humaine. Organisation des Nations Unies Pour L'alimentation et L'agriculture, Rome, p. 269.

Farah, Z. and M. W. Ruegg. 1989. The size distribution of casein micelles in camel milk. Food Struct. 8: 211-216.

Faye, B., M. Jaouad, K. Bhrawi, A. Senoussi and M. Bengoumi. 2014. Elevage camelin en Afrique du Nord : état des lieux et perspectives. Rev. Élev. Méd. Vét. Pays Trop. 67: 213-221.

Felfoul, I., A. Bouazizi, H. Attia and R. Karoui. 2022. Monitoring of acid-induced coagulation of dromedary and cow's milk using different complementary analytical techniques. Food Control. 136: 108867.

Hadef, L., H. Aggad, I. Hamad and M. Saeid. 2018. Study of yield and composition of camel milk in Algeria. Sci. Study Res. 19: 1-11.

Hailu, Y., E. B. Hansen, E. Seifu, M. Eshetu and R. Ipsen. 2016. Factors influencing the gelation and rennetability of camel milk using camel chymosin. Int. Dairy J. 60: 62-69.

Harek, D., H. Ikhlef, R. Bouhadad, H. Sahel, Y. Cherifi, N. Djellout and S. Khelifa Chelihi. 2017. Genetic diversity status of Camel's resources (*Camelus dromedarius* Linnaeus, 1758) in Algeria. Gen. Biodiv. J. 1: 43.

Hattem, H. E., R. M. Hassabo, A. E. Saleh and M. A. Moussa. 2017. Study of milk clotting activity of crude gastric rennet extracted from camels' abomasum at different ages. Egypt. J. Agric. Res. 95: 3.

Ismaili, M. A., B. Said, M. Zahar, A. Hamama and R. Ezzaier. 2019. Composition and microbial quality of raw camel milk produced in Morocco. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 18: 17-21.

Kamoun, M. 1996. Options Méditérranéennes. Série B, pp. 81-110.

Kappeler, S. 1998. Compositional and Structural Analysis of Camel Milk Proteins with Emphasis on Protective Proteins. (PhD Thesis), Swiss Federal Institute of Technology, ETH, Zuric, Switzerland.

Kappeler, S., Z. Farah and Z. Puhan. 1998. Sequence analysis of *Camelus dromedarius* milk caseins. J. Dairy Res. 65: 209-222.

Konuspayeva, G., E. Lemarie, B. Faye, G. Loiseau and D. Montet. 2008. Fatty acid and cholesterol composition of camel (*Camelus bactrianus*, *Camelus dromedarius* and hybrids) milk in

Kazakhstan. Dairy Sci. Technol. 88: 327-340.

Konuspayeva, G., B. Faye and G. Loiseau. 2009. The composition of camel milk: A meta-analysis of the literature data. J. Food Compos. Anal. 22: 95-101.

Konuspayeva, G. and B. Faye. 2021. Recent advances in camel milk processing. Animals. 11: 1045.

Kula, J. T. and D. Tegegne. 2016. Chemical composition and medicinal values of camel milk. Int. J. Res. Stud. Biosci. 4: 13-25.

Kumar, A., J. Sharma, K. A. Mohanty, S. Grover and V. K. Batish. 2006. Purification and characterization of milk clotting enzyme from goat (*Capra hircus*). Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol. 145: 108-113.

Lopes, A., G. Teixeira, M. C. Liberato, M. S. Pais and A. Clemente. 1998. New vegetal sources for milk-clotting enzymes. J. Mol. Catal. B Enzym. 5: 63-68.

Mahaut, M., R. Jeantet and G. Brule. 2003. Initiation à la Technologie Fromagère. Lavoisier Tech Doc., Paris, p. 194.

Mahboub, N. 2009. Contribution à L'amélioration de la Fromageabilité du Lait Camelin: Etude des Conditions de Conservation des Enzymes Gastriques Camelines (Type Présure). (Thèse de Magistère), Université Kasdi Merbah, Ouargla.

Mahboub, N., N. Slimani, O. Siboukeur and A. Mati. 2012. Effet de la conservation sur l'activité enzymatique des extraits coagulants issus de caillette de dromadaires âgés préparée sans muqueuse. Bioresources. 2: 8-20.

Neelakantan, S., A. K. Mohant and K. Kaushik. 1999. Production and use of microbial enzymes for dairy processing. Curr. Sci. 77: 143-148.

Nouani, A., E. Dako, A. Morsli, N. Belhamiche, S. Belbraouet, M. M. Bellal and A. Dadie. 2009. Characterization of the purified coagulant extracts derived from artichoke flowers (*Cynara scolymus*) and from the fig tree latex (*Ficus carica*) in light of their use in the manufacture of traditional cheeses in Algeria. J. Food Technol. 7: 20-29.

Pak, V. V., O. K. Khojimatov, G. J. Abdiniyazova and E. B. Magay. 2019. Composition of camel milk and evaluation of food supply for camels in Uzbekistan. J. Ethn. Foods. 6: 20.

Ramet, J.P. 1997. L'égouttage du coagulum. Dans Le fromage (Coord. ECK A. et GILLIS J.C.). 3ème édition, Ed, Tec et Doc, Lavoisier, p: 43.

Ramet, J. P. 2011. La Technologie des Fromages au Lait de Dromadaire (*Camelus dromedarius*). Etude FAO, Production et Sante Animales, p. 37.

Siar, E. H. 2014. Utilisation de la Pepsine de Poulet et de la Ficine du Figuier Comme Agents Coagulants du Lait. (Thèse de Magistère), Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaire, Université Mentouri, Constantine.

Shabo, Y., R. Barzel, M. Margoulis and R. Yagil. 2005. Camel milk for Food Allergies in Children. Isr. Med. Assoc. J. 7: 796-798.

Shuiep, E. S., I. E. M. El Zubeir, O. A. O. El Owni and H. H. Musa. 2018. Influence of season and management on composition of raw camel (*Camelus dromedarius*) milk in Khartoum State, Sudan. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 8: 101-106.

Siboukeur, O., A. Mati and B. Hessas. 2005. Amélioration de l'aptitude à la coagulation du lait cameline (*Camelus dromedarius*): Utilisation d'extraits enzymatiques coagulants gastriques de dromadaires. Cahiers Agricult. 5: 473-478.

Walsh, M.K. and X. Li. 2000. Thermal stability of acid proteinases. J. Dairy Res. 67: 637-640.

Wangoh, J., Z. Farah and Z. Puhan. 1993. Extraction of camel rennet and its comparison with calf rennet extract. Milchwissenchaf Milk Sci. Int. 48: 322-325.

Youg, W. P., F. W. H. George and L. W. William. 2017. Handbook of Milk of Non-bovine Mammals. 2nd ed. Wiley Blackwell, Hoboken, New Jersey, pp. 420-423-428.

Zhang, F. X. and B. N. Wang. 2007. Optimization of processing parameters for the ultrasonic extraction of goat kid rennet. Int. J. Dairy Technol. 60: 4.

DOI : 10.5958/2277-8934.2023.00011.5 *Vol 30 No 1, p 81-90*

MANUFACTURE AND CHARACTERISATION OF FRESH CHEESE MADE FROM MIXED MILK OF CAMEL AND GOAT

Biya Bouras[1,2], Ouarda Aïssaoui-Zitoun[1], Férial-Aziza Benyahia[1], Fairouz Djeghim[3], Souhila Djema[4] and Mohammed Nassereddine Zidoune[3]

[1]Food Engineering Laboratory (GENIAAL) I.N.A.T.A-A., Mentouri Brother's Constantine University (U.C.1), 325 street of Ain El Bey, Constantine, 25017, Algeria

[2]University of El Oued, El Oued 39000, Algeria

[3]Nutrition and Food Technology Research Laboratory (L.N.T.A) I.N.A.T.A-A., Mentouri Brother's Constantine University (U.C.1), 325 Street of Ain El Bey, Constantine, 25017, Algeria

[4]Research Centre in Physico-Chemical Analyses, CRAPC Bousmail BP 384 Industrial Zone Bou-Ismail RP 42004 Bou Ismail, Tipaza, Algeria

ABSTRACT

The aim of this research is to diversify and improve the processing of camel milk. The response surface methodology was used to optimise the coagulation parameters (pH (X_1) and temperature (X_2)) of the camel and goat milk mixture. The coagulation of the milk mixture was performed with camel rennet and was compared to the milk mixture coagulated with microbial rennet. The physicochemical composition and microstructural of optimised fresh cheese was determined and the rheological and sensory properties were studied. Results deduced to optimum points of camel rennet (CR) [X_1=6.16, X_2=37.75°C] and microbial rennet (MR) [X_1=6.31, X_2=38.84°C], which were used in adopted cheese-making process. The physicochemical characteristics of cheeses revealed a significant difference in pH, dry matter, protein and fat contents. Whereas rheological and microstructural analyses, revealed a dilatent coagulum with compact texture characterised with numerous and small pores. Sensory, camel rennet cheese (C_{CR}) was more accepted and had particular profile with creamier texture than microbial rennet cheese (C_{MR}).

Key words: Camel-goat milk, cheese, coagulation, microstructure, rheological properties, sensorial proprieties

Among the processed dairy products, cheese occupy a very important place. In addition to their undeniable nutritional values, they are appreciated for their specific sensory characteristics. The most processed milks are cow, goat and sheep milk. However, camel milk is the least used. Only a few studies have been conducted on the processing of camel milk into cheese. It is therefore not surprising that many scientists have become involved in the study of cheese making from camel milk (Fox *et al,* 2017). In addition, cheese from camel milk remains a challenge under existing conditions (Konuspayva *et al,* 2021; Baig *et al,* 2022).

Haileeyesus and Shimelis (2016) indicated that camel milk is more difficult for processing into cheese, owing to the smaller size of its caseins micelles, fat globules, and its low content of kappa caseins and consequently, limit ability for enzymatic coagulation. Addition of calcium chloride and rennet to camel milk causes a clotting reaction and the formation of a fresh light coagulum (Konuspayva *et al,* 2017; Derar and El Zubeir, 2016). Karoui and Kamal (2017) noted that limited studies are available regarding rennet-induced coagulation of camel milk. Indeed, it exhibits a rennet-induced coagulation time two to three-fold longer compared with bovine milk (Farah and Bachmann, 1987). Siboukeur *et al* (2005), Mahboub (2009) and Boudjenah-Haroun *et al* (2014) studied the properties of camel rennet with their action on camel milk. According to Leksir *et al* (2019) coagulating enzymes of animal origin have been used in Algeria on a traditional scale in the manufacture of cheese.

In Algeria, camel occupies a preponderant place in the socio-economic activity since it represents an indisputable asset in the food security of desert and arid regions (Senoussi *et al,* 2017). In arid areas, goat farming is often conducted in association with camel farming, which makes it possible to have both camel milk and goat milk. In addition, goat milk is the basis

SEND REPRINT REQUEST TO BIYA BOURAS email: bouras-biya@univ-eloued.dz

of excellent cheese widely valued as local product (Boumendjel *et al,* 2017).

In terms of mixed milk, camel milk is used with sheep milk for production of white soft cheese (Derar and El Zubeir, 2013; Derar and El Zubeir, 2016), with buffalo milk for the production of soft cheese (Shahein *et al,* 2014) and with cow milk for the production of Mozarella cheese (Abdallah *et al,* 2022). In addition, the exploitation of goat milk mixed with camel milk remains an untapped task.

Considering the excellent cheese-making ability of goat milk, and in order to improve the camel milk coagulation, this present work targets the optimisation of the coagulation of camel-goat mix milk using camel rennet and microbial rennet, and the characterisation of the manufactured fresh cheese with physicochemical, rheological, sensory and microstructure properties.

Materials and Methods

Milk samples

Camel milk was collected from herds of *Sahrawi* population dromedaries (*Camelus dromedarius*) living in semi-extensive breeding in natural ranges. Goat milk was collected from herds of Arbia goats. The two types of milk were from El Oued "South East of Algeria". All samples were collected cleanly and sent to laboratory with a cold chain using ice packs, then frozen at -18°C until further use. The mixed milk had an equal volume of camel milk and goat milk (50%/50%) (V/V).

Camel abomasum (Last part of Compartment 3-C3)

C3 used in this study from *Camelus dromedarius* (less than a year) was obtained from a slaughterhouse from the same region and was washed with tap water, degreased and covered in a sterile bag and frozen at -18°C.

Microbial rennet (MR)

It's a commercial rennet used in this study as standard rennet. It's a fungal enzyme obtained from *Rhizomucor miehei* (Marzyme R 150MG) with a coagulating force of 1/5000.

Extraction of camel rennet (CR)

The C3 obtained was sliced (1cm^2), macerated in a 6% NaCl solution (1:10 w/v) containing 2% boric acid continuously for 4 days at 5°C. Then, the mixture was filtered and centrifuged at 1500 rpm for 15 minutes. The pH of the supernatant was decreased from 5.5 to 4.7 with HCl (1N) and the extracts were kept at 25°C for 24 h to activate the zymogens. The pH was then raised to 5.5 with NaOH (1N). The final rennet extract was obtained by centrifugation at the same speed (Wangoh *et al,* 1993).

Optimisation of the coagulation time of a mixture of camel and goat milk using camel rennet and microbial rennet

Experimental design

The response surface method was used for optimisation of the coagulation time of a mixed volume of camel-goat milk.

The central composite plan (CCD) with two factors (X_1 and X_2) and five levels (-α, -1, 0, +1, + α) was constructed. This plan allowed us to know the effect of pH (X_1) and temperature (X_2) on the coagulation time of milk in a mixture of camel milk and goat milk (linear, quadratic and interactive effects). The pH and temperature varied from 5 to 6.7 and from 30°C to 42°C, respectively (Table 1). The formula (1) of the second degree equation was determined from the experiments to predict the different responses as a function of the parameters studied (pH and temperature).

Table 1. Factors codes and levels of the experimental design for parameters of pH [from 5 to 6.7] and temperature (T) [from 30°C to 42°C].

	Factors (not coded)	
Levels (coded)	pH	T (°C)
Min Point (-α)	5	30
Point (-1)	5.25	31.76
Central point (0)	5.85	36
Point (+1)	6.45	40.24
Max Point (+α)	6.7	42

$$Y=b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X^2_1 + b_{22} X^2_2 + b_{12} X_1 X_2 \quad (1)$$

With:

Y: predicted response;

b_0, b_1, b_2, b_{11}, and b_{22}: coefficients of the equation with

b_0: constant;

b_1 and b_2: coefficients of the linear terms;

b_{11} and b_{22}: coefficients of the quadratic terms;

b_{12}: interaction coefficients;

X_1 and X_2: uncoded values of the independent variables (pH and T°).

The experiment matrix of orthogonal composite plane centered with two factors for the 13 tests is shown in table 2.

Table 2. Experimental matrix of orthogonal composite plane centered with two factors.

	Coded values		Uncoded values	
Test	**A**	**B**	**pH**	**T**
1	**0**	**0**	5.85	36
2	**1.414**	**0**	6.7	36
3	**0**	**1.414**	5.85	42
4	**0**	**-1.414**	5.85	30
5	**-1.414**	**0**	5	36
6	**0**	**0**	5.85	36
7	**0**	**0**	5.85	36
8	**-1**	**-1**	5.25	31.76
9	**0**	**0**	5.85	36
10	**1**	**1**	6.45	40.24
11	**0**	**0**	5.85	36
12	**-1**	**1**	5.25	40.24
13	**1**	**-1**	6.45	31.76

The coagulation time was obtained by adding 1mL of camel rennet and /or microbial rennet to 10 mL of mixed milk (50%/50%) (V/V). For all tests, pH adjustment was made by lactic acid solution (10%) (V/V). The coagulation time was completed when a rigid coagulum appeared in the tube (Alais, 1974).

Statistical analysis of data and graphical representation

The regression coefficients of the responses (clotting time) were determined by Minitab software (Minitab Inc., State College, PA). The value of P determined the degree of significance (α=0.05). Plots for camel and microbial rennets are shown using Statistica software (version 10, Statsoft Poland).

Camel and goat milk cheese-making process

The experimental diagram that summarises the procedure for making fresh cheese from camel milk and goat milk, coagulated with camel rennet (CR) or microbial rennet (MR) is presented in Fig 1.

The freshness of milk was ensured by measuring the pH of camel milk and goat milk. Then, a mixture of milk was made (50%/50%) (V/V) and filtered. Then $CaCl_2$ (0.01%-0.015%) was added and the milk mixture was allowed to stabilise for 30 minutes. The mixed milk was heated to the optimal temperature for coagulation. Afterwards, salting (5g/L) was carried out and followed by adjustment of the optimal pH with lactic acid. At these optimal parameters (temperature and pH), and based on the coagulant strength of each rennet, the camel rennet (CR) was added at a concentration of 0.24ml/l and that of the microbial rennet (MR) at 0.2 ml/l. After coagulation, which took a maximum 45 minutes, the cheese was drained spontaneously and then molded. The cheese made with camel rennet (C_{CR}) and with microbial rennet (C_{MR}) were placed in clean food trays and kept in a refrigerator at 4°C.

Analysis of the crude composition and yield of the cheese

The physicochemical composition (protein, dry matter, fat and ash) and pH were determined from cheese stored at 4°C for a maximum of 24h. The methodological standards for analysis were followed as described by Bradley *et al* (1993). The pH of the cheese was measured by a digital pH meter (inolab, Germany). Total nitrogen was determined by the Kjeldahl method. Dry matter was calculated by drying 2g of fresh cheese at 103°C±2°C for 3h (dry oven, Memmert, Spain), fat was measured by the Van Gulik method (FUNKE GERBER centrifuge, Germany) and ash was determined by total incineration (muffle oven, Memmert, Spain).

Cheese yield is the percentage of total cheese weight (kg) in relation to the initial milk weight (kg) (Mahaut *et al,* 2000).

Cheese yield (%) = (cheese weight/milk weight) × 100.

Rheological analysis (flow test)

The flow test of cheese produced with camel rennet (C_{CR}) and/or with microbial rennet (C_{MR}) was measured by a rheoviscosimeter HAAKE 550 (HAAKE MessTechnik Gmbh Co, Karlsruhe, Germany). The cheese samples were placed on a parallel plate geometry. The plate diameter was 50 mm (Haake, PK 5, 0.5 grads), and the gaps between plates were 4.5 mm. The viscosity of cheese samples was measured for 180s with an initial shear rate of 1.2 s^{-1} and 200 s^{-1} as the final shear rate. Rheological data were analysed with HAAKE Rheo Win software version 2.09. The temperature was maintained at 20°C by a thermostat bath. The number of measuring points were 100. Each test was performed in triplicate. The rheological analysis method was cited by Boughellout (2007) and Djeghim *et al* (2021).

The apparent viscosity was determined using the low power law model (Ostwald de Waele):

$\eta_{ap} = K.\gamma^{n-1}$

where

ηap: apparent viscosity (Pa.s);

γ: shear rate (s^{-1});

n: flow behaviour index;

K: consistency index (Pa.s^n) represents the stress required to obtain a shear rate of 1s^{-1}.

Microstructural analysis by environmental scanning electron microscopy (ESEM)

The purpose of this analysis was to visualise the microstructure of the enzymatic gel based on the mixture of camel and goat milk by observation under an environmental scanning electron microscope (ESEM – FEI QUANTA 250) operating under a large file detector (LFD) and a low vacuum with an accelerating voltage of 10.00 KV.

First, a small piece of each fresh cheese, newly clotted, was finely cut (0.5 cm in length, 0.5 cm in width) and air-dried for 4 to 5 hours. Then, drying in an atmosphere saturated with glutaraldehyde overnight (12h). Then, each piece of cheese was fixed by a series of ethyl alcohol from 10° to 100° for 5 minutes by solution. Thereafter, the pieces of cheese were dried in open air for a few hours before proceeding to observation (Attia *et al,* 1991).

Sensorial profile analysis

The objective of this analysis was to give the sensory profile of the cheese and check its quality. It involved giving a subject of cheese sample and the sensory characteristics were assessed through visual observations and tastings. The characterisation relates to the appearance and texture; smell and taste with aroma. It was made with 20 'student and teacher' tasters. Cheese samples were cut into small squares at about 10g and placed in a closed box for one hour at room temperature before testing. The taster answers the questions on the evaluation grid and assesses the sensory characteristics (Berodier *et al,* 2003).

The comparison between means of crude composition, rheological analysis and the sensory profile values of the studied cheese was done.

Results and Discussion

Effect of pH and temperature on clotting time of mixed milk of camel and goat with camel and microbial rennet

The optimisation gave us the optimum points of pH and temperature for obtaining a suitable coagulation time of mixed milk camel and goat. Table 3 shows the performance of camel and microbial rennets to coagulation of mixture of camel and goat milk.

Results showed that camel rennet coagulated the milk mixture at a minimum time of 15±0.00s at pH:5.85/T:36°C pair and a maximum time of 180±0.00s at pH:5.25/T:31.76°C pair. According to Bouras *et al* (2022), the camel milk coagulation with camel rennet gives a minimum and maximum time of 60±0.01s and 248±0.04s, respectively. In addition, Hailu *et al* (2016) reported that time gelation of camel milk with camel chymosin is mainly affected with temperature and enzyme concentration. Whereas, microbial rennet takes a minimum time of 7.24±0.00s, and a maximum time of 106±0.03s for pH:6.45/T:40.24°C and for pH:5/T:36°C pairs in mixed milk of camel and goat.

Table 3. Clotting time responses of mixed milk camel and goat with CR and MR.

Test	Coded values		CR	MR
1	0	0	43±0.00	12.31 ± 0.01
2	1,414	0	59 ± 0.00	13.85 ± 0.00
3	0	1,414	50 ± 0.03	20.36 ± 0.02
4	0	-1,414	97 ± 0.04	9.69 ± 0.00
5	-1,414	0	120 ± 0.04	106 ± 0.03
6	0	0	19 ± 0.01	9.39 ± 0.01
7	0	0	15 ± 0.00	10.5 ± 0.01
8	-1	-1	180 ± 0.00	14.14 ± 0.02
9	0	0	57 ± 0.02	7.78 ± 0.00
10	1	1	42 ± 0.02	7.24 ± 0.00
11	0	0	49 ± 0.01	8.79 ± 0.02
12	-1	1	159 ± 0.00	8.29 ± 0.02
13	1	-1	105 ± 0.00	18.5 ± 0.04

CR : Camel Rennet, **MR** : Microbial Rennet.

For camel rennet, plot in fig 2 showed that the pH had a significant effect (linear and quadratic) on the coagulation of milk mixture (b1=0.012, b11=0.014) with a significant effect (quadratic) on temperature (b22=0.038). Based on surface plot analysis and relationship between response and variables, a milk mixture clotting time is optimal assuming these pairs of pH and temperature: [X_1=6.16, X_2=37.75°C]. Concerning microbial rennet, the coagulation of milk mixture is sensitive to the variation of pH (linear and quadratic effects: b1=0.000, b11=0.000) with the interaction of pH and temperature (interactive effect) (b_{12}=0.000). Based on surface plot analysis and relationship between response and variables, a milk mixture clotting time is optimal assuming these pairs of pH and temperature: [X_1=6.31, X_2=38.84°C].

Results showed that the addition of goat milk to camel milk considerably increases the performance of camel milk to coagulate with camel rennet. Subsequently, the reducing of coagulation time increases the cheese-making ability of camel

milk. So, the optimum pH and temperature pairs are subsequently used in fresh cheese processing using camel rennet or microbial rennet.

Crude composition and yield of fresh cheeses

Table 4 is the summary of the main physicochemical properties of C_{CR} and C_{MR} fresh cheese.

Table 4. Physicochemical properties of C_{CR} cheese and C_{MR} cheese (mean ± standard deviation for 100g).

Parameters	C_{CR}	C_{MR}	P-value
pH	6.48±0.01	6.28±0.01	**
Dry matter (%)	26.7±2.1	45.2 ±0.9	**
Proteins (%)	11.1±1.5	23±0.7	**
Fat (%)	9.7±0.4	18.7±1.25	**
Ash (%)	6.81±0.5	9.29±1.09	NS
Yield (%)	17±1.8	18.3±0.4	NS

C_{CR}: Camel Rennet Cheese, C_{MR}: Microbial Rennet Cheese. Presented values are the means of three replicate trials. NS: Non-Significant, **P <0.01 (Student's t-test).

For pH, it appears to be a significant difference between cheese coagulated with camel rennet and cheese coagulated with microbial rennet (P<0.05). In addition, both types of cheese were characterised by the absence of acidity. These results are explained by the fact that C_{CR} and C_{MR} cheese are initially acidified only by the addition of lactic acid in order to achieve the optimum pH of coagulation.

For the main components, the dry matter of C_{CR} and C_{MR} were significantly different (P<0.05). C_{CR} cheese produced by camel rennet had a dry matter content of 26.7±2.1% compared with C_{MR} cheese, which has a dry matter content of 45.2±0.9%. According to Hailu *et al* (2014), several factors were considered into the cheese, variation in dry matter, such as the nature of the ingredients added during the cheese making, the dry matter content of the raw material and the addition of salt.

For proteins content, there was a significant difference between the two cheese types (P <0.05) and these values for C_{CR} and C_{MR} cheese were 11.1±1.5% and 23±0.7%, respectively. Concerning lipids, the fat content of C_{MR} cheese was 18.7±1.25% and higher than that of C_{CR} cheese 9.7±0.4%.

Cheese yield showed no significant difference between C_{CR} and C_{MR}. It was therefore construed that the enzymatic extract of camel rennet can be a strong competitor of microbial rennet in terms of cheese yield in camel-goat cheese. There appeared a clear impact of the type of enzyme on the composition of the fresh cheese.

Shahein *et al* (2014) produced fresh cheese from camel milk and buffalo milk. These cheese were characterised by a dry matter of 13.58% to 15.15%, proteins of 3.62% to 3.9%, fats of 3.6% to 5.3%, ash of 0.81% to 0.84% and a cheese yield of 14.7% to 20.1%.

Fresh cheese were also made from camel milk only using different proteolytic enzymes. Saima *et al* (2003) reported 97.04% total solids not fat and 78.38% total proteins using commercial rennet and skimmed camel milk. El Zubeir and Jabreel (2008) reported 7.5% dry matter, 4.2% protein, 1.9% fat and 0.2% ash using Camifloc as a coagulant. Bekele *et al* (2018) reported a dry matter content of 34.76±0.26 % to 43.44±2.8%, a protein content of 11.12±0.02% to 17.49±1.73%, a lipid content of 17.99±0.45% to 20.91±0.82% and a yield of 9.5±0.34% to 13.44±0.09% using camel chymosin. The latter was also valorised in the study of Mbye *et al* (2020), who reported a yield of 12.3±1.2%.

The fresh cheese coagulated with recombinant camel chymosin had pH 5.27±0.05%, proteins content 15.62±0.71%, fat content 20.21±0.67%, ash content 2.47±0.53% and a cheese yield 8.75±1.68% (Al-Zoreky and Almathen, 2021).

Rheological analysis (flow test)

Rheological parameters of C_{CR} fresh cheese made with camel rennet and C_{MR} fresh cheese made with microbial rennet are represented in table 5.

Table 5. Rheological parameters of C_{CR} cheese and C_{MR} cheese.

Parameters	K (Pa.sn)	n	χ2	R
C_{CR}	2174±226.9*	-1.4±0.48 ^{NS}	5.58±3.79	0.82±0.03
C_{MR}	5694±850*	-0.92±0.27 ^{NS}	1.48±0.50	0.77±0.14

C_{CR}: Camel Rennet Cheese, C_{MR}: Microbial Rennet Cheese. Presented values are the means of three replicate trials. K: consistency coefficient; n: flow behaviour index; r: statistical correlation coefficient; χ2: Chi-square, NS: Non-Significant, *P <0.05 (Student's t-test).

According to Ostwald model, the statistical analysis showed low values of chi-square (χ2) and high values of regression coefficient (r) for both C_{CR} and C_{MR} cheese formulations. The consistency index (K) is an indicator of the viscous nature of the system (Koocheki *et al,* 2009).The C_{CR} cheese produced with camel rennet had a coefficient of consistency K value, which was 2174±226.9 (Pa.sn); whereas C_{MR} cheese produced with microbial rennet had 5694±850 (Pa.sn). Statistical analysis revealed a significant difference between the two values of K (P <0.05).

The flow index (n) may vary from n=1 (leading to the Newtonian law) to n<1 or n>1 to describe shear

thinning or shear-thickening flow behaviour (Steffe, 1996; Fischer *et al*, 2009).

The C_{CR} cheese n value was greater than 1 indicating a dilatent coagulum (shear thickening) and this value of C_{MR} cheese was less than 1 indicating a pseudoplastic coagulum (shear-thinning).

The behaviour of the shear thinning coagulum has been molecularly interpreted as the molecules or structural units of the substance gradually align in the direction of flow as the shear rate increases. In the case of the shear thickening coagulum, this behaviour was less frequent than the thinning coagulum. It was molecularly interpreted by a redistribution of the solvent (lubricant) at the level of the particles, after swelling of the liquid phase (Couarraze and Grossiord, 1991).

Coefficient of consistency K and flow index depend on the temperature and the formulation (Cheremisinoff, 1990; Djeghim *et al*, 2021). Negative values of flow index n can be justified by molecular degradation of the sample, viscosity dispersion or presence of slippage in the fluid (Padmanabhan *et al*, 1991; Drozdek and Faller, 2002; Djeghim *et al*, 2021).

In rheological characterisation of cheese it is generally classified as a viscoelastic material because its stress–strain ratio exhibits both solid and liquid behaviour. In addition, cheese rheology depends on its internal environment, such as its pH and temperature (Giha *et al*, 2021).

Attia *et al* (2001) recorded a plastic gel behaviour for fermented camel milk; where as Ayyash *et al* (2022) reported a pseudoplastic gel for a heat treated and fermented camel milk.

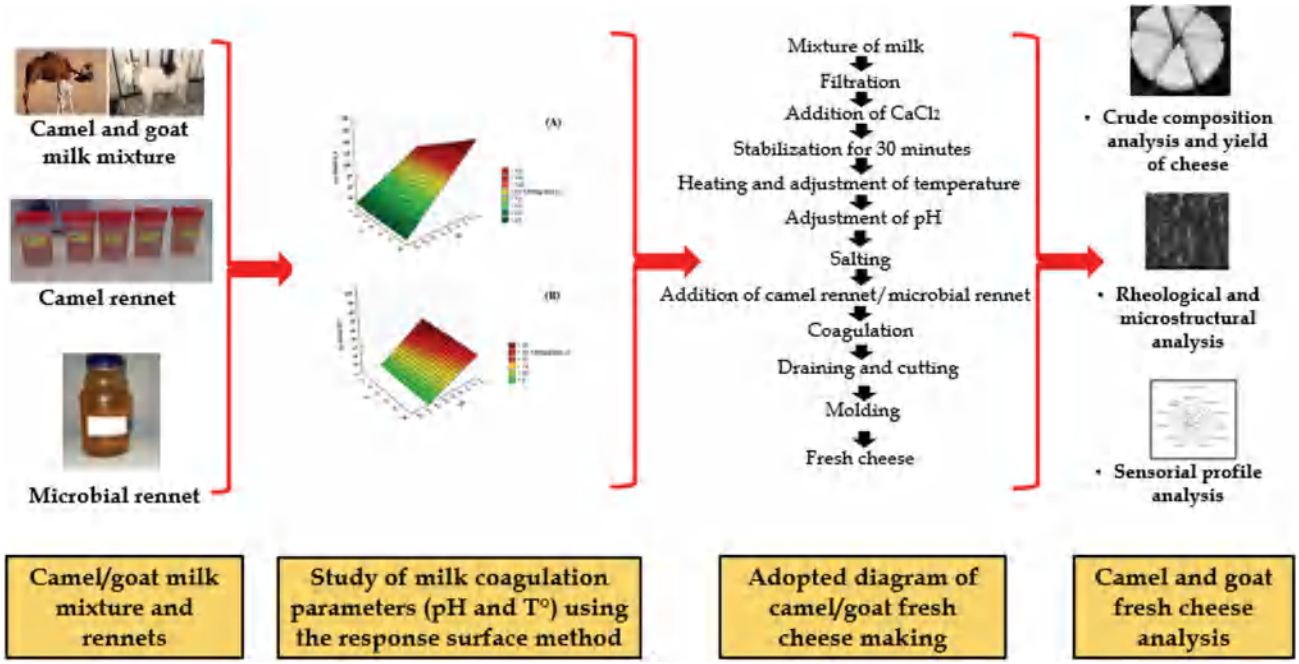


Fig 1. Experimental diagram of cheese.

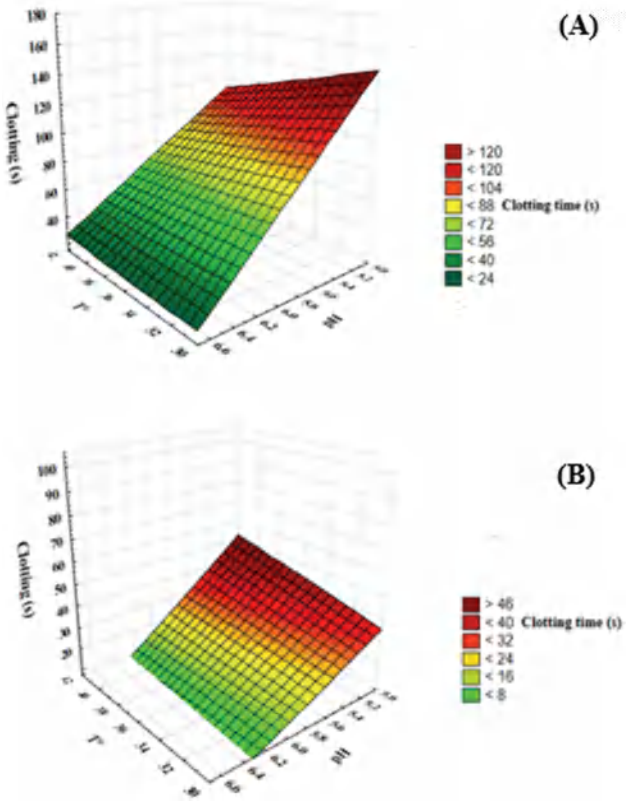
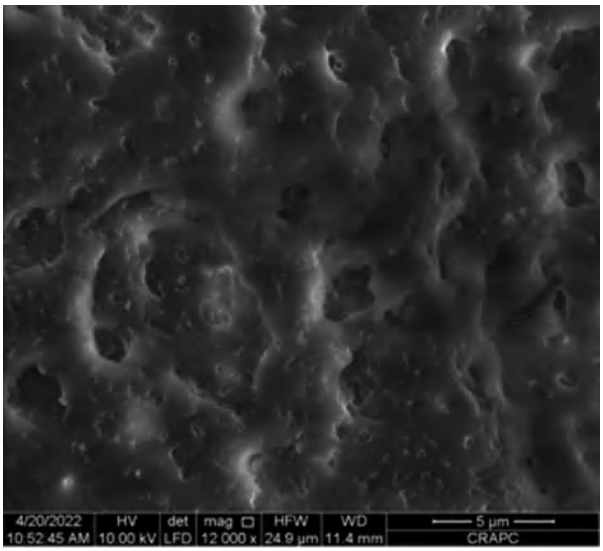
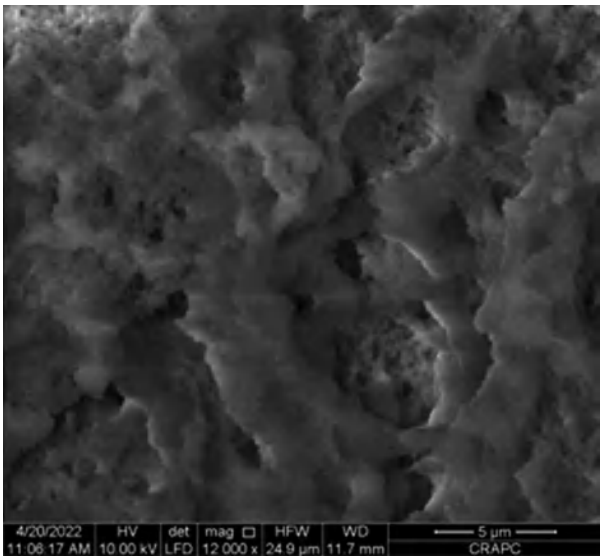


Fig 2. Surface response plot of camel-goat milk mixture with CR (A) and MR (B).



(A)



(B)

Fig 3. Microstructure of C_{CR} cheese (A) and C_{MR} cheese (B).

The difference in the coagulum behaviour of C_{CR} cheese and C_{MR} cheese could be due to specific affinity of each rennet towards the caseins of camel milk, and by the effect of the addition of goat milk.

Microstructure

The ESEM images of cheese produced with camel rennet and commercial rennet are shown in Fig 3.

Results of coagulated C_{CR} cheese and C_{MR} cheese microstructure showed that the type of coagulant had an effect on the casein network formation. It appears that the network of C_{CR} and C_{MR} cheese are continuous. In addition, the pores of C_{CR} cheese are more numerous and smaller compared to C_{MR} cheese. The protein network brins of C_{MR} cheese are thicker than C_{CR} cheese. The presence of evident spaces in cheese is related to the specificity of the coagulant (Fox *et al,* 2000). The ESEM image showed that the protein network of C_{CR} cheese is more compact than that of C_{MR} cheese.

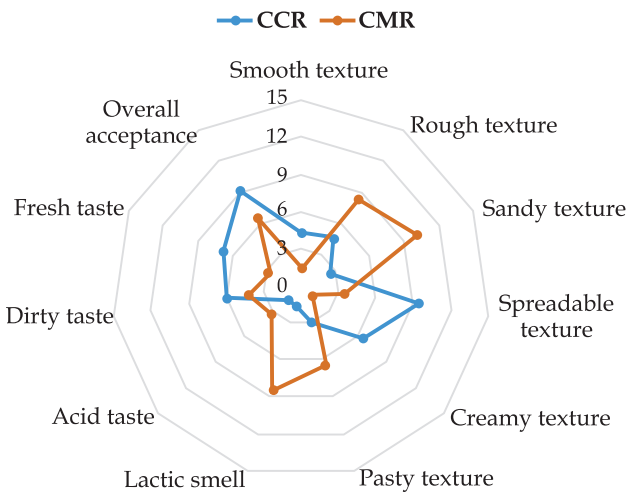


Fig 4. Sensory profile of C_{CR} cheese and C_{MR} cheese.

Boudjenah-Haroun (2012) found that the microstructure of cheese made from camel milk and produced with coagulant enzyme extracts isolated from C3 (abomasum) was a compact and uniform structure.

The presence of the small pores may be justified by the reduction in protein activity of the camel chymosin, which was leading to a more compact network, in comparison with the proteolytic activity of the microbial rennet of *Rhizomucor miehei* (Soltani *et al,* 2016).

Sensorial profile analysis

The sensory profile of C_{CR} and C_{MR} fresh cheese are shown in Fig 4. All cheese sensory characteristics were evaluated from 0 to 15 scale.

For the texture, C_{CR} cheese is weakly smooth, rough and pasty with a score of 4.25±1.64, 4.6±0.72 and 2.85±0.99, respectively. In addition, it is characterised by a moderately spreadable texture of 9.2±2.66. Whereas, C_{MR} cheese is weakly smooth, spreadable and creamy with a score of 1.6±0.34, 3.35±0.79 and 1±0.58, respectively. On the other hand, it had a moderately rough texture with 8.3±2.72 and pasty with 6.35±1.76.

For taste and aroma, C_{CR} and C_{MR} cheese are characterised by a weakly acidic taste, which is consistent with the 2 pH cheeses results. In addition, both types of cheese have an average salinity of 6.1±1.19 for C_{CR} cheese and 4.3±1.88 for C_{MR} cheese.

There is a significant difference ($P<0.05$) between C_{CR} and C_{MR} cheese in terms of texture, smell and taste. For the texture, the C_{CR} cheese was less sandy and creamier than the C_{MR} cheese. For smell, C_{CR} cheese had less lactic smell. For taste, C_{CR} cheese was more fresh than C_{MR} cheese.

On the scale of general acceptance, C_{CR} cheese more accepted by tasters compared to C_{MR} cheese with a score of 9.1±2.53 and 6.55±3.39, respectively.

In the literature, fresh cheese made from camel milk only was characterised by a slightly acidic taste, a moderately smooth texture, slightly rough with a salty taste and an acceptance of fresh cheese as reported by El Zubeir and Jabreel (2008). The appreciation of a certain roughness in the texture of fresh cheese made from camel milk was still observed in the study by Ramet (2001) which was justified by the reduction in the fat content of camel milk. At this level, our results are compatible with that of the fat composition of C_{CR} and C_{MR} cheese even with the addition of goat milk. In addition, Mbye *et al* (2020) reported a weakly hard and moderately spreadable and crumbly texture.

For salinity, it was appreciated in C_{CR} and C_{MR} fresh cheese. This assessment was compatible with the considerable ash content for both types of cheese. Besides, the salinity of fresh cheeses was further justified by the high content of camel milk in the region of El Oued in the study by Bouras *et al* (2022).

According to Mehaia (1993), the acceptability score of fresh cheese made from camel milk was between 4.10 and 7.80. In another study by Benkerroum *et al* (2011) found the acceptability score to be 2.90 and 4.70. In this study, we can say that the addition of goat milk to camel milk increased the acceptability score of C_{CR} and C_{MR} cheese.

Conclusion

The coagulation of camel milk is a key step in cheese making process. In this study, the type of rennet used had a significant effect on the overall quality of the cheese. The coagulation of camel milk was improved when mixed with goat milk, regardless of the type of enzymes used (camel or microbial rennet). The fresh cheese produced had very interesting physicochemical and textural characteristics. Microscopic analysis showed that the coagulum obtained was quite firm and on the other hand it presented specific sensory characteristics. These results seem therefore encouraging to exploit the camel rennet in the manufacture of other cheeses, mainly ripened.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The present study is financially supported by Food Engineering Laboratory (GENIAAL) I.N.A.T.A-A, University of Constantine 1, Algeria.

References

Abdalla A, Abu-Jdayil B, Alsereidi H, Hamed F, Kamal-Eldin A, Huppertz T and Ayyash M. Low-moisture part-skim mozzarella cheese made from blends of camel and bovine milk: Gross composition, proteolysis, functionality, microstructure, and rheological properties, Journal of Dairy Science. 2022; 105(11):8734-8749.

Alais C. Principes des Techniques Laitières : Science du Lait : 3rd ed, sepec. Paris. 1974 ; pp 513.

Al Zoreky MS and Almathen FS. Using recombinant camel chymosin to make white soft cheese from camel milk. Food Chemistry. 2021; 337:(127994).

Attia H, Bennasar M and Fuente BT. Study of the fouling of inorganic membranes by acidified milks using scanning electron microscopy and electrophoresis: I. Membrane with pore diameter 0.2 µm. Journal of Dairy Research. 1991; 5:39-50.

Attia H, Kherouatou N and Dhouib A. Dromadery milk lactic acid fermentation: microbiological and rheological characteristics. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology. 2001; 26:263-270.

Ayyash M, Abdalla A, Abu-Jdayil B, Huppertz T, Bhaskaracharya R, Al-Mardeai S, Mairpady A, Ranasinghe A and Al-Nabulsi A. Rheological properties of fermented milk from heated and high pressure-treated camel milk and bovine milk. LWT- Food Science and Technology. 2022; 156:(113029).

Baig D, Sabikhi L, Khetra Y and Shelke PA. Technological challenges in production of camel milk cheese and ways to overcome them—A review. International Dairy Journal. 2022; 129: 105344.

Bekele B, Hansen EB, Eshetu M, Ipsen R and Hailu Y. Effect of starter cultures on properties of soft white cheese made from camel (*Camelus dromedarius*) milk. Journal of Dairy Science. 2018; 102:1-8.

Benkerroum N, Dehhaoui M, El Fayq A and Tlaiha R. The effect of concentration of chymosin on the yield and sensory properties of camel cheese and on its microbiological quality. International Journal of Dairy Technology. 2011; 64:232-239.

Berodier F, Lavanchy P, Zannoni M, Casals J, Herrero L and Adamo C. Guide d'évaluation olfacto-gustative des fromages à pâte dure et semi-dure. LWT-Food Science and Technology. 2003; 30:653-664.

Boudjenah-Haroun S. Aptitudes à la transformation du lait de chamelle en produits dérivés : effet des enzymes

coagulantes extraites de caillettes de dromadaires. Thèse de Doctorat, université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie. 2012.

Boudjenah-Haroun S, Souid W, Balla A, Senoussi C, Almi D, Si Ahmed S and Mati A. Utilisation des enzymes coagulantes extraites de dromadaire pour la coagulation du lait bovin. Livestock Ressac for Rural Development. 2014; 26:(3).

Boughellout H. Coagulation du lait par la pepsine du poulet. Thèse magister, université Mentouri, Constantine, Algérie, 2007.

Boumendjel M, Feknous N, Mekideche F, Dalichaouche N, Feknous I, Touafchia L, Metlaoui N and Zenki R. Caractérisation du lait de chèvre produit dans la région du Nord-Est Algérien. Essai de fabrication du fromage frais. Algerian Journal of Natural Products. 2017; 5: 492-506.

Bouras B, Aïssaoui-Zitoun O, Benyahia FA, Djeghim F and Zidoune MN. Optimisation of flocculation and clotting time of camel milk with camel and goat rennets, and chicken pepsin in comparison with cow milk using response surface method (RSM). Emirates Journal of Food and Agriculture. 2022; 34:575-584.

Bradley RLJ, Arnold EJR, Barbano DM, Semerad RG, Smith DE and Viries BK. Chemical and physical methods. In Standard Methods for the Examination of Dairy Products. American Public Health Association, Washington DC, USA: Marshall RT Edition. 1993; pp 433–516.

Cheremisinoff NP. Practical Fluid Mechanics for Engineers & Scientists. Boca Raton FL, USA: CRC Press. 1990.

Couarraze G and Grossiord JL. Initiation à la rhéologie : Tech & Doc Lavoisier. France. 1991; pp 56-63.

Derar AMA and El Zubeir I.E.M. Evaluation of microbiological quality of white soft cheese manufactured from camel and sheep milk. Annals. Food Science and Technology. Technol. 2013; 14:304-311.

Derar ABM and El Zubeir IEM. Effect of fortifying camel milk with sheep milk on the processing properties, chemical composition and acceptability of cheeses. Journal of Food Science and Engineering. 2016; 6:215-226.

Djeghim F, Bourekoua H, Rózyło R, Bienczak A, Tanas W and Zidoune MN. Effect of By-Products from Selected Fruits and Vegetables on Gluten-Free Dough Rheology and Bread Properties. Applied. Sciences. 2021; 11:(4605).

Drozdek KD and Faller JF. Use of a dual orifice die for on-line extruder measurement of flow behaviour index in starchy foods. Journal of Food Engineering. 2002; 55:79-88.

El Zubeir IEM and Jabreel SO. Fresh cheese from camel milk coagulated with Camifloc. International Journal of Dairy Technology. 2008; 6:90-95.

Farah Z and Bachmann MR. Rennet coagulation properties of camel milk. Milchwissenschaft. 1987; 42:689-692.

Fischer P, Pollard M, Erni P, Marti I and Padar S. Rheological approaches to food systems. Comptes Rendus Physique. 2009; 10:740-750.

Fox PF, Guinee TP, Cagon TM and McSweeney PLH. Fundamentals of cheese science. First Edition, Gaithersburg Maryland USA: Aspen publichers, Inc. 2000; pp 310-311.

Fox PF, Guinee TP, Cogan TM and McSweeney PLH. Fundamentals of Cheese Science. Second Edition: Springer. 2017; pp 09.

Haileeyesus H and Shimelis A. Optimisation of the production process of soft cheese from camel milk using linear programming technique. Food Science and Quality Management. 2016; 49:35-41.

Hailu Y, Seifu E and Yilma Z. Physicochemical properties and consumer acceptability of soft unripened cheese made from camel milk using crude extract of ginger (Zingiber officinale) as coagulant. African Journal of Food Science. 2014; 8:87-91.

Hailu Y, Hansen EB, Seifu E, M. Eshetu M and Ipsen R. Factors influencing the gelation and rennetability of camel milk using camel chymosin. International Dairy Journal. 2016; 60:62-69.

Giha V, Ordoñez MJ and Villamil RA. How does milk fat replacement influence cheese analogue microstructure, rheology, and texture profile? Journal of Food Science. 2021; 86:2802–2815.

Karoui R and Kamal M. Rennet-induced coagulation of raw and heated camel and cow milk gels determined by instrumental techniques: Effects of added calcium and phosphate. Science of Food and Agriculture. 2017; 97:3948-3957.

Konuspayeva G, Camier B, Gaucheron F and Faye B. Some parameters to process camel milk into cheese. Emirates Journal of Food and Agriculture. 2014; 26(4):354-358

Konuspayeva G, Camier B, Aleilawi N, Al-Shumeimyri M, Al-Hammad K, Algruin K., Alshammari F, Beaucher E and Faye B. Manufacture of dry- and brine-salted soft camel cheeses for the camel dairy industry. International Journal of Dairy Technology. 2017; 70:92-101.

Konuspayeva G and Faye B. Recent Advances in Camel Milk Processing. Animals (Basel). 2021; 11(4):1045.

Koocheki A, Mortazavia SA, Shahidia F, Razavia SMA, Taherian AR. Rheological properties of mucilage extracted from Alyssum homolocarpum seed as a new source of thickening agent. Journal of Food Engineering. 2009; 91:490-496.

Leksir C, Boudalia S, Moujahed N and Chemmam M. Traditional dairy products in Algeria: case of Klila cheese. Journal of Ethnic Foods. 2019; 6:7.

Mahaut M, Jeantet R, Schuck P and Brule G. Les produits industriels laitiers. Edition Tec et Doc: Lavoisier. 2000; pp 26-40.

Mahboub N. Contribution à l'amélioration de la fromageabilité du lait camelin : Etude des conditions de conservation des enzymes gastriques camelines (type présure). Thèse de Magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 2009.

Mbye M, Sobti B, Al Nuami MK, Al Shamsi Y, Al Khateri L, Al Saedi R, Saeed M, Ramachandran T, Hamed F and Kamal-Eldin A. Physicochemical properdines, sensory

quality, and coagulation behaviour of camel versus bovine milk soft unripened cheeses. Nutrition and Food Science Journal. 2020; 20:28-36.

Mehaia MA. Fresh soft white cheese (Domiati-type) from camel milk: composition, yield, and sensory evaluation. Journal of Dairy Science. 1993; 76:2845-2855.

Padmanabhan M and Bhattacharya M. Flow behaviour and exit pressures of corn meal under high-shear–high-temperature extrusion conditions using a slit diea. Journal of Rheology. 1991; 35:315-343.

Ramet JP. The technology of making cheese from camel milk (*Camelus dromedarius*): Food and Agriculture Organization of the United Nations, N°113. 2001; pp 62.

Saima I, Arain MA, Khaskheli M and Malik AH. Study of the Effect of Processing on the Chemical Quality of Soft Unripened Cheese Made from Camel Milk. Pakistan Journal of Nutrition. 2003; 2(2):102-105.

Senoussi A, Brahimi Z and Beziou S. Portée de l'élevage camelin en Algérie et perspectives de développement. Revue des BioRessources. 2017; 7:29-38.

Shahein MR, Hassanein AM and Rayan AF. Evaluation of Soft Cheese Manufactured from Camel and Buffalo Milk. World Journal of Dairy & Food Sciences. 2014; 9:213-219.

Siboukeur O, Mati A and Hessas B. Amélioration de l'aptitude à la coagulation du lait camelin (*Camelus dromedarius*): utilisation d'extraits enzymatiques coagulants gastriques de dromadaires. Cahiers agricultures. 2005; 14:473-478.

Soltani M, Boran OS and Hayaloglu AA. Effect of various blends of camel chymosin and microbial rennet (*Rhizomucor miehei*) on microstructure and rheological properties of Iranian UF white cheese. LWT- Food Science and Technology. 2016; 99:7744–7754.

Steffe JF. Rheological methods in food process engineering. 2807 Still Valley Dr. East Lansing, MI 48823, USA: Freeman Press. 1996; pp 20-21.

Wangoh J, Farah Z and Puhan Z. Extraction of camel rennet and its comparison with calf rennet extract. Milchwissenschaft. 1993; 48:322-325.

Zoltan M, Boran OS and Hayaloglu AA. Effect of various blends of camel chymosin and microbial rennet (*Rhizomucor miehei*) on microstructure and rheological properties of Iranian UF white cheese. LWT- Food Science and Technology. 2016; 99:7744-7754.

Communications nationales et internationales

- Premier Séminaire National sur la biodiversité et valorization des produits biologiques dans les regions arides et semi-arides : **"Valorisation des enzymes d'origine animale pour la production d'un fromage frais", le 06-07/03/2019 à l'université d'El Oued;**
- First International Conference of sustainability of Saharan agriculture and water **"Etude des paramétres de la coagulation présure pour la fabrication de fromage frais", le 02-03/03/2020 à l'université d'El Oued;**
- Journée Scientifique Nationale sur les enzymes à applications biotechnologiques en Algérie **"Optimisations des conditions de coagulation enzymatique du lait de chévre avec la présure caprine par le méthode des surfaces de réponse", le 21-22/12/2020 à l'ENSB Constantine;**
- 14émes Journées de Recherches Avicole et palmipédes gras " **Optimisation des paramétres de flocculation et de coagulation du lait camelin avec la pepsine de poulet en comparaisant avec le lait bovin par la méthode des surfaces de réponse", le 09-10/03/2022 en France;**
- First National Seminar : biotechnology, Health and agro-environment **"Optimisation des paramétres de flocculation et de coagulation du lait caprin avec la pepsine de poulet", le 14-15/03/2022 à l'université d'El Oued;**
- Global Meet on Animal Science and Veterinary Medicine **"New Formulation and Characterization of Fresh Camel and Goat Milk Cheese Coagulated with Chicken Pepsin", le 16-18/02/2023 en Miami, USA.**