

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 08 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre

Et de l'univers

Département d'écologie et génie de l'environnement

Filière : Sciences Alimentaires

Option : Production et Transformation Laitières

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

Thème :

**Contribution à l'étude de fabrication de fromage à partir
de trois types du lait : « cas du lait de vache ; lait de
chèvre ; lait de dromadaire ».**

Présenté par :

- ❖ Mensori Ferial
- ❖ Bouamine Imane
- ❖ Maarfia Rabaa

Devant le jury composé de :

Dr Gettaf Mohamed	Université de Guelma	Président
Dr Bentboula Moncef	Université de Guelma	Examineur
Pr soumati souiki linda	Université de Guelma	Encadreur

Octobre 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

*Avant tout, nous remercions, ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à terme le présent travail
A nos parents qui ont fait beaucoup de sacrifices pour notre réussite*

*Nos remerciements s'adressent à **Gettaf Mouhamed**, d'avoir accepté de présider ce jury et à Monsieur **Bentboula Moncef** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous éprouvons une grande reconnaissance envers notre agréable promoteur **madame SOUIKI LYNDA** pour ses précieux conseils, sa disponibilité, ses encouragements, nous lui exprimons ici notre respect pour nous avoir fait l'honneur de nous confier la réalisation de ce sujet et nous avoir permis de travailler sous sa responsabilité en nous encourageant et aussi qui nous a guidé et aidé durant la réalisation de ce mémoire qu'elle trouve dans ces mots l'expression de nos vifs remerciements*

En fin, Nous remercions, tous nos amis pour leurs encouragements, Ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicace

*Grâce à Dieu le tout clément et le miséricordieux qui m'a tracé le chemin,
Et m'a donné le pouvoir et le courage de continuer jusqu'à la fin.
Avec fierté et gratitude, je dédie ce travail : à mes très chers parents: autant de
phrases et d'expressions aussi éloquentes soientelles ne sauraient exprimer ma
gratitude et ma reconnaissance. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce
que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et
ne jamais vous décevoir*

*Qu' Allah, le tout-puissant, vous préserve, vous accorde santé, bonheur, qui
étude de l'esprit et vous protège de tout mal.*

*A mes chers frères « Ahmed, Fares», et bien sûr «Salim», le petit ange qui
fait la joie de la famille,*

*Et m'adorables sœur « kholoud», et aussi mon coussin« Madi jaber », qui
m'a été d'une aide précieuse, Les mots ne suffisent guère pour exprimer
l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Puisse Allah vous
garder et vous protéger et que l'amour et la fraternité nous unissent à jamais.*

*A mes très chers amis : « Marwa, Mona, Feyroz , chaïma, Feriel, sajida » :
pour tous les moments magnifiques et inoubliables que j'ai passés avec vous,
pour tout l'amour, le soutien que vous m'avez offert et de votre affection dont je
ne peux me surpasser, je vous remercie très fort et je ne vous oublierai jamais.*

*A tous mes enseignants, les maitres et les professeurs durant tout mon cursus
d'étude : Permettez-moi de vous témoigner tout le respect que vous méritez
ainsi que ma profonde affection*

*A ceux qui ont pris une place dans mon cœur et je te n'ai pas cité bien sur ne
croyez pas que je vous ai oublié je vous porte toujours dans mon cœur
«La science consiste à oublier ce qu'on croit savoir, et la sagesse à ne pas s'en
soucier».*

Imane BOUAMINE



Dédicace



*En ce jour solennel qui mémorise la fin de mes études, je dédie ce
mémoire symbole d'une ardente attente :*

*Aux êtres les plus chers à mon cœur, mes parents pour leurs amour
abondant, leurs prières leurs encouragements leurs sacrifices pour
enfin devenir ce que je suis maintenant.*

Que Dieu leur donne santé et longue vie.

A mes cher frères Fateh et Samir

A tous mes collègues de la promotion

*A mes copines mes amis a tous ceux qui m'ont connus, aimés,
appréciés, encouragés de prée ou de loin pendant tous mes études
J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et
tout mon amour.*

Ferial mansouri



Dédicace



Grâce à Dieu le tout clément et le miséricordieux qui m'a tracé le chemin, et m'a donné le pouvoir et le courage de continuer jusqu'à la fin.

Avec fierté et gratitude, je dédie ce travail :

A mes parents : j'espère être toujours à la hauteur de vos espérances

*A mon très cher grand frère : **Tifa**, tes conseils, encouragements et sacrifices ont été une source de motivation pour moi et m'ont permis d'affronter les difficultés de la vie afin d'aboutir à un tel résultat. Que Dieu te récompense.*

*A mon frère **Foufa**, mes sœurs: **Nima** et **Doudi** la plus belle chose que la vie m'a donnée c'est de vous avoir. Je tiens à vous remercier pour votre affection, votre soutien, votre confiance et aussi pour les encouragements sans lesquels je n'aurai jamais pu tenir la distance. Notre force résidera toujours dans notre sincère entente et notre esprit de fraternité.*

A mes chers grands parents que j'adore et a toute la famille Maarfia.

*A mes collègues **Imane** et **Férial**, pour leurs compréhensions, leurs patiences.*

*A mes chats, **Manissa**, **Battou**, **Bichette**, **Pina**, **Ella**.*

A tous ceux qui m'ont aidé, d'une façon ou d'une autre lors de la réalisation de ce travail, merci à tous.

Maarfia Rabaa

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Introduction 1

Chapitre I : le LAIT

I.1 .Les principales races 2

I.1.1.Les principales races bovines en Algérie 2

I.1.2. Les principales races caprines en Algérie 4

I.1.3. Les principales races camelines en Algérie 6

I.2. La production laitière dans le monde 8

I.3. La production laitière nationale 9

I.4. Définition du lait 9

I.5. La composition du lait 10

I.5. 1. L'eau 10

I.5.2. Matière grasse 10

I.5.3. Les protéines 11

I.5.4. Lactose 11

I.5.5. Minéraux 12

I.5.6.Vitamine 13

I.5.7. Enzymes 15

I.6.Propriétés physico-chimiques du lait 15

I.6. 1. Masse volumique 16

I.6.2. Point de congélation 16

I.6.3. Point d'ébullition 16

I.6.4. Acidité du lait 17

I.7. Qualité organoleptique du lait	17
I.7.1. La couleur	17
I.7.2. L'odeur	17
I.7.3. La saveur	18
I.7.4. La viscosité	18
I.8. Caractéristiques microbiologiques	18
I.8.1. Flore indigène	18
I.8.2. Flore de contamination	19
I.9. La valeur nutritionnelle du lait	19
I.10. Facteurs influençant la composition du lait	21

Chapitre II : Le fromage

II.1 Généralités	23
II.1.1. Historique et origine des fromages.	23
II.1.2. production mondial	24
II.1.3. Définition	24
II.2. Les grandes familles de fromages	25
II.2.1. Les fromages à pâte fraîche	25
II.2.2. Les fromages à pâte molle et croûte fleurie	25
II.2.3. Les fromages à pâte molle et croûte lavée	26
II.2.4. Les fromages à pâte pressée non-cuite	27
II.2.5. Les fromages à pâte pressée cuite	27
II.2. 6. Les fromages à pâte persillée	28
II.2.7. Les fromages fondus	29
II.2. 8. Les fromages au lait de chèvre	29
II.3. Classification des fromages	30
II.3. 1. Fromages non affinés	31
II.3. 2. Le fromage affiné	31

II.3.3.Fromage fermier et artisanal	32
II.3.3.1. fromage fermier	32
II.3.3.2. fromage artisanal	32
II.4. Méthodes générale de fabrication du fromage	32
II.5. Additifs alimentaire	35
II.5. 1. Sels de fonte	35
II.5.2. Colorant	35
II.5. 3. Eau	35
II.6. Les étapes de transformation de lait de vache en fromage	35
II.7.Les étapes de transformation de lait de chèvre en fromage	41
II.8. Les étapes de transformation de lait de dromadaire en fromage	46
II.9. Rendements fromagers	57
II .10.Microbiologie du fromage	58
II.11. Qualité des fromages	59
Chapitre III : Les principaux fromages traditionnels	
III.1. Les fromages traditionnels algériens	62
III.1.1. Bouhezza	62
III.1.2. Jben	63
III.1.3. Klila	63
III.1.4. Takammart	63
III.1.5. Aoules	63
III.1.6. Lebaa	64
III.1.7. Méchouna	64
III.1.8. Madghissa	64
III.2. Emballage	64
III.3. Principaux problèmes de fromageries	65
III.3.1. Défaut d'acidification	65

III.3.1.1.Excès d'acidification	65
III.3.1.2.Manque d'acidification	66
III.3.1.3. Evolution anormale de l'acidité	66
III.4. Contrôle de la fabrication fromagerie	67
III.5. consommation	67
III.6. La raison pour laquelle le commerce algérien se concentre sur la fabrication du Fromage à partir du lait de vache au lieu du lait de chèvre et de chamelle	69
III.7. Le rôle de l'industrie fromager dans le développement de l'économie algérienne	70
IV .Conclusion	71
V. Références bibliographiques	73

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tableau 01	Evolution de la production de lait de vache dans le monde selon les différents continents (unité : 106 tonnes) 20	08
Tableau 02	Composition moyenne du lait de différentes espèces animales	10
Tableau 03	Composition du lait en minéraux	12
Tableau 04	Teneurs en minéraux et en oligo-éléments des laits de diverses espèces animales (mg/litre)	13
Tableau 05	eneur moyenne des principales vitamines du lait	14
Tableau 06	teneurs en vitamines des laits de diverses espèces animales (mg/litre)	14
Tableau 07	Caractéristiques des principaux enzymes du lait	15
Tableau 08	Acidité naturelle du lait ; apport des différents constituants	17
Tableau 09	Propriété des principaux nutriments du lait	20
Tableau 10	Origine des différentes enzymes utilisées pour coaguler le lait	30
Tableau 11	Caractéristiques du coagulum selon le type de coagulation	37
Tableau12	Caractéristiques de durée de fabrication pour les différentes catégories de fromages	38
Tableau 13	Influence du chauffage du lait de dromadaire Sur l'aptitude à la coagulation et a l'égouttage	46
Tableau 14	Rapport des temps de floculation observés dans le lait de dromadaire (T.F.D.) à ceux mesurés dans le lait de vache (T.F.V.)	47
Tableau 15	Caractéristiques de fabrication de fromages à pâte pressée non cuite obtenue à partir de lait de dromadaire	53
Tableau 16	Critères microbiologiques des fromages en fonction des germes.	58
Tableau 17	Critères de qualité des fromages	59
Tableau 18	Caractéristiques physico-chimiques du fromage bouhezza	61
Tableau 19	Composition de Jben fabriqué à partir du lait de vache (en pourcentage)	62

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 01	Répartition géographique des principales races de dromadaire en Algérie	07
Figure 02	composition de matière grasse du lait	11
Figure 03	Roues de fromage à pâte dure	24
Figure 04	Fromage à pâte fraîche	25
Figure 05	Fromages à pâte molle et croûte fleurie	26
Figure 06	fromages à pâte molle et croûte lavée	26
Figure 07	fromages à pâte pressée non-cuite	27
Figure 08	Fromages à pâte pressée cuite	28
Figure 09	Fromages à pâte persillée	28
Figure 10	Fromages fondus	29
Figure 11	Fromages au lait de chèvre	29
Figure 12	Etapas de fabrication de fromage	34
Figure 13	Etat électrique de la protéine du lait	36
Figure 14	Cuve double paroi (pasteurisation-coagulation –tranchage)	39
Figure 15	égouttage / moulage spontané.	39
Figure 16	égouttage / moulage par pression	39
Figure 17	Salle d'affinage	40
Figure 18	Influence de l'addition de chlorure de sodium sur le temps de floculation du lait de Dromadaire	50
Figure 19	Relation entre le temps de floculation et l'inverse de la concentration en enzyme coagulante pour différentes protéases coagulantes	51
Figure 20	Comparaison des régions de la caséine κ sensibles à la chymosine dans les laits de chamelle et de vache	54
Figure 21	Fromage bouhezza	62
Figure 22	La consommation par habitant par an en litres équivalent lait liquide en France et au Maghreb.	68

Résumé

Le lait est considéré comme un aliment complet et équilibré du fait de sa richesse en plusieurs éléments nutritifs (protéines, lipides, sels minéraux, lactoses et vitamines).

Cependant, et afin de dévoiler les particularités caractérisant le lait de trois espèces (chèvre, vache, chamelle), nous nous sommes orientés vers l'analyse hygiénique, physico-chimique et microbiologique, en apercevant les principales propriétés singularisant ce produit consommé en Algérie, et dans un souci de couverture des besoins en protéines animales, de plus en plus élevés, cette étude a été entreprise, en utilisant le lait de chèvre, le lait de vache et le lait de dromadaire dans la production de fromage. L'objectif est d'évaluer d'abord les qualités physico-chimiques et bactériologiques du lait et par la suite sa transformation fromagère par une série d'essais avec divers procédés de fermentation, ce travail a pour but de développement d'une méthode optimisée pour le procédé de fabrication du fromage traditionnel algérien. Donc le choix du lait joue un rôle essentiel dans la diversité et la variété des produits laitiers. Ainsi, les propriétés nutritives et la durée de conservation varient ainsi selon le type de lait utilisé. D'où fromages, desserts lactés ou yaourts aux goûts bien différents. C'est pour cela dans ce travail nous sommes intéressés à caractériser trois types de lait : vache, chèvre et dromadaire avec un essai de fabrication du fromage frais à partir de ces différents laits (à raison du covid-19 on s'est orienté vers un travail théorique).

Mots clés : lait de chèvre - lait de vache –lait de dromadaire - fromages - analyses physico-chimiques - activité coagulante – présure.

summery

Milk is considered to be a complete and balanced food because of its richness in several nutrients (proteins, lipids, mineral salts, lactoses and vitamins).

However, and in order to unveil the peculiarities characterizing the milk of three species (goat, cow, camel), we turned to hygienic, physico-chemical and microbiological analysis, noting the main properties that distinguish this product consumed in Algeria, and in order to cover the increasing lyhigh animal protein requirements that this study was undertaken, using goat's milk, cow's milk and camel's milk in the production of cheese. The objective is to assess first the physico-chemical and bacteriological qualities of the milk and then its transformation into cheese by a series of tests with various fermentation processes, this work aims to develop an optimized method for the production process of traditional Algerian cheese. So the choice of milk plays an essential role in the diversity and variety of dairy products. Thus, the nutritional properties and the shelf life vary depending on the type of milk used. Hence cheeses, dairy desserts or yogurts with very different tastes. This is why in this work we are interested in characterizing three types of milk: cow, goat and dromedary with an attempt to make fresh cheese from these different milks (due to covide-19 we focused on theoretical work).

Keywords: goat'smilk - cow'smilk - camel'smilk - cheese - physico-chemicalanalyzes - coagulant activity - rennet.

المخلص

يعتبر الحليب غذاء متكامل ومتوازن لغناه بالعديد من العناصر الغذائية (البروتينات والدهون والأملاح المعدنية واللاكتوز والفيتامينات).

ومع ذلك ، ومن أجل الكشف عن الخصائص المميزة التي تميز حليب الأنواع الثلاثة (ماعز ، بقرة ، إبل) ، لجأنا إلى التحليل الصحي والفيزيائي والكيميائي والميكروبيولوجي ، مع ملاحظة الخصائص الرئيسية التي تميز هذا المنتج المستهلك في الجزائر ، ومن أجل تغطية الاحتياجات المتزايدة للبروتين الحيواني ، تم إجراء هذه الدراسة ، باستخدام حليب الماعز وحليب البقر وحليب الإبل في إنتاج الجبن. الهدف هو أولاً تقييم الصفات الفيزيائية والكيميائية و البكتريولوجية للحليب ثم تحويله إلى جبن من خلال سلسلة من الاختبارات مع عمليات تخمير مختلفة ويهدف هذا العمل إلى تطوير طريقة محسنة لعملية إنتاج الجبن الجزائري التقليدي. لذا فإن اختيار الحليب يلعب دوراً أساسياً في تنوع وتنوع منتجات الألبان. وبالتالي ، تختلف الخصائص الغذائية ومدة الصلاحية حسب نوع الحليب المستخدم. ومن ثم الجبن أو منتجات الألبان الحلويات أو الزبادي ذات الأذواق المختلفة للغاية. هذا هو السبب في أننا مهتمون في هذا العمل بتوصيف ثلاثة أنواع من الحليب: البقر والماعز والإبل في محاولة لصنع جبن طازج من هذه الأنواع المختلفة من الحليب (نظراً لفيروس كوفيد - 19 ركزنا على العمل النظري).

الكلمات المفتاحية: حليب الماعز - حليب البقر - حليب الإبل - الجبن - التحليلات الفيزيائية والكيميائية - نشاط التخثر - المنفعة.

Introduction

Introduction

Dans les pays africains, les produits laitiers jouent un rôle important dans l'alimentation humaine, notre pays est le plus important consommateur de lait au niveau maghrébin (**Benderouich, 2009**). En plus, le lait occupe une place prépondérante dans la ration alimentaire des algériens, en regard de son contenu en énergie métabolisable, le lait présente une forte concentration en nutriments de base: des protéines de bonne qualité, des glucides, des lipides, des éléments minéraux et des vitamines avec une valeur énergétique de l'ordre de 700Kcal/l (**Siboukeur, 2007**).

Les laits sécrétés par les différentes espèces de mammifères présentent des caractéristiques communes et contiennent les mêmes critères des composants: eau, protéines, lactose, matière grasse et matières minérales. Malgré cela les proportions spécifiques de ces composants se varient largement d'une espèce à l'autre (**Codou, 1997**).

L'augmentation de la production du lait durant certaines saisons et la difficulté de sa préservation sous la forme fraîche sont deux facteurs qui ont conduit au développement des technologies de production traditionnelle algérienne (**Bencharif, 2001 ; Lahsaoui, 2009**).

En Algérie, au moins dix types de fromages traditionnels de différentes régions du pays sont actuellement recensés par l'équipe de recherche Transformation et Elaboration des Produits Agro-Alimentaires (T.E.P.A) du Laboratoire de Recherche en Nutrition et Technologie Alimentaire (L.N.T.A.). La majeure partie de ces produits appartient à la catégorie des fromages frais. Les plus connus sont seulement ceux portant les dénominations «Djben» et «Klila ». Ils sont très répandus dans l'ensemble du territoire et même dans les pays du Maghreb (**Lahsaoui, 2009; Leksir et Chemam, 2015 ; Mahamedi, 2015**).

Le fromage *Bouheza* semble être le seul fromage traditionnel affiné *Mechouna* et *Madeghissa* sont fabriqués dans la région des Chaouia (Nord-est), *Takammèrite* et *Aoules* dans le sud, *Igounanes* dans la région de Kabylie (**Aissaoui et al., 2011**).

Les paramètres technologies ont une grande influence sur les caractéristiques finales du fromage, et joue un rôle important dans sa composition qui est considéré a la fois par les fabrications et les consommateurs comme une caractéristique spéciale des fromages artisanaux (**Randazzo et al., 2009**).

La technologie de fabrication a été modernisée avec le temps et les déplacements des hommes d'un pays à l'autre. Actuellement le fromage est fabriqué par des technologies modernes basées sur l'utilisation des ferments, dans des conditions bien définies pour lui offrir plus de sécurité microbiologique, et de qualité organoleptique (**Monsallier et al., 2009**).

Chapitre I : le lait

I. Les principales races

I.1. Les principales races bovines en Algérie

I.1.1. Les races locales

Selon **Feliachi *et al* (2003)**, le bovin local appartiendrait à un seul et même, groupe dénommé Brune de l'Atlas. Le bovin local est souvent cité comme exemple pour sa rusticité qui s'explique par :

- Sa résistance aux conditions climatiques difficiles
- Son aptitude à valoriser des aliments médiocres.
- Son aptitude à la marche en terrains difficiles, sa résistance aux parasites et aux maladies, surtout la résistance aux insectes piqueurs, vecteurs de maladies. Les populations qui composent la Brune de l'Atlas se différencient nettement du point de vue phénotypique.

On distingue principalement :

- La Guelmoise à pelage gris foncé, vivant en zones forestières
- La Cheurfa à pelage gris clair presque blanchâtre, vit en bordure des forêts et se rencontre dans les régions de Jijel et de Guelma.
- La Sétifiène à robe noirâtre uniforme, elle présente une bonne conformation. Sa taille et son poids varient selon la région où elle vit. La queue est de couleur noire, longue et traîne parfois sur le sol.
- La Chélifiène se caractérise par une robe fauve, une tête courte, des cornes en crochets, des orbites saillantes entourées de lunettes 'marron foncé' et une longue queue noire qui touche le sol.

Il existe d'autres populations mais avec des effectifs plus réduits telles que :

- La Kabyle et la Chaouia qui s'apparentent respectivement aux populations Guelmoise et Guelmoise-Cheurfa, et les populations de l'Ouest localisées dans les montagnes de Tlemcen et de Saida, lesquelles ont subi des croisements avec une race ibérique (**Gredaal, 2002**).

I.1.2. Races Importées

Appelées, Bovins Laitiers Modernes (BLM), ces animaux sont constitués de races importées principalement de pays d'Europe, dont l'introduction avait débuté avec la colonisation du pays (**Eddebbarh, 1989**). Ces animaux représentent 9 à 10% de l'effectif national, et assurent environ 40% de la production totale de lait de vache (**Bencharif, 2001**). Parmi ces races on peut citer :

- **Normande**

Elle est originaire de la Normandie et reste localisée surtout dans le grand ouest de la France. C'est une race de grande taille avec 1.40m de hauteur au garrot. Une vache qui pèse de 700 à 800kg, un taureau de 1000 à 1200 kg. Sa robe est dite tricolore ; elle comprend des poils blonds, bringés et blancs. La tête blanche avec des lunettes autour des yeux et un muflé tacheté (**Babo, 2000**). Elle est de type laitier avec néanmoins de bonne aptitude pour la production de viande. Son lait présente de bonnes aptitudes à la transformation fromagère (**Cauty et al., 2003**).

- **Montbéliarde**

Cette race est issue de la population de pie rouge continentale (**Fournier, 2006**). C'est une race de grande taille avec 1.40m de hauteur au garrot. Une vache pèse de 650 à 750 kg, un taureau de 1000 à 1200 kg. La robe est pie rouge soutenu aux taches bien délimitées ; par contre la tête, le ventre et les membres restent blancs. La production laitière moyenne d'une vache est de plus de 6700 kg, son lait est de grande qualité fromagère, (**Babo, 1998**).

- **Holstein**

Cette race à dimension mondiale est originaire des Pays-Bas et de l'Allemagne. Sa robe est pie noire et rarement pie rouge. C'est un animal de grand format avec un type laitier très marqué : poitrine profonde, bassin horizontal à légèrement incliné ; muscles longilignes et peu épais, mamelle bien accrochée haute, avec des trayons bien implantés. Elle est à l'origine de plus de 80% de lait produit en France (**Cauty et al., 2003**). Elle pèse environ 700 kg, elle a de 1.35 m au garrot. La production est de 8600 litres de lait par lactation (**Fournier, 2006**).

- **Brune des Alpes**

La race brune est originaire des Alpes suisses. C'est une race de grande taille au squelette puissant avec une hauteur au garrot de l'ordre de 1.40 m. Le poids d'une vache adulte varie entre 600 et 750 kg alors que celui d'un taureau est compris entre 900 et 1200 kg (**Babo, 1998**). Sa robe est uniforme de couleur gris souris argenté. C'est une race à une spécialisation laitière marquée, avec un fort TP et un bon TB. Bien que ses pics de lactation soient moins élevés que ses concurrentes, elle présente de très bonne persistances. Par conséquent les courbes de lactation sont très plates et le niveau de production reste plus stable (**Cauty et al., 2003**).

- **Simmental**

Le nom de Simmental veut dire vallée de Simmen, une vache fournit près de 5900 kg d'un lait à fort taux butyreux près de 3.9 % (**Babo, 1998**). La robe de la Simmental varie du brun clair (jaunâtre) au rouge foncé, avec la tête et le toupillon blancs. Des marques blanches se remarquent plus fréquemment au niveau du ventre et aux membres, mais aussi au niveau des épaules. La race Simmental est caractérisée par sa grande taille. Ainsi, le poids des taureaux adultes oscille entre 1140 et 1400 kg, alors que le poids des femelles adultes varie entre 620 et 900 kg. La maturité sexuelle des femelles est assez hâtive. Elles sont fertiles, démontrent de bonnes aptitudes maternelles et une très forte production laitière (**Cauty et al., 2003**).

I.1.3. Races améliorées ou mixtes

Ce cheptel que l'on désigne sous le vocable de Bovin Local Amélioré (BLA), issus de multiples croisements, entre la race locale Brune de l'Atlas et ses variantes d'une part, et diverses races importées d'Europe (Pie Rouge, Tarentaise, Brune des Alpes et Frisonne Pie Noire), d'autre part. (**Yakhlef, 1989**). Ces animaux constituent 42% à 43% de l'ensemble du troupeau national, et assure 40% environs de la production (**Bencharif, 2001**). Ces produits existent dans l'ensemble des régions d'élevage bovin et sont élevés au sein de troupeaux regroupant des animaux métissés ou en mélange avec des animaux de races pures : ce type de matériel animal ainsi que son extension est encore peu connu ; il est fréquent d'observer dans une même localité un gradient de format et de types génétiques, exprimant une forte hétérogénéité du matériel génétique, difficilement identifiable sur le plan origine raciale. (**Feliachi et al., 2003**).

I.2. Les principales races caprines en Algérie :

Le cheptel caprin Algérien est très hétérogène et composé par des animaux de population locale à sang généralement Nubien. Outre les populations locales, il existe aussi des populations introduites, et des populations croisées (**Bey et Laloui, 2005**).

I.2.1. Les races locales :

- **Race Arabe (Arbia) :**

C'est la race la plus dominante, elle se localise dans les hauts plateaux, les zones steppiques et semi steppiques. Elle se caractérise par une taille basse de 50 – 70 cm, une tête pourvue de corne avec des longues oreilles pendantes. Sa robe est multicolore (noire, gris, marron) à poils longs de 12 à 15 cm. La chèvre arabe à une production laitière moyenne de 1,5 litre par jour (**Bey et Laloui, 2005**).

- **Race Kabyle :**

C'est une chèvre autochtone qui peuple les massifs montagneux de la Kabylie et des Aurès, elle est robuste, massive, de petite taille d'où son nom « naine de Kabylie », la tête est connue par ses longues oreilles tombantes, la robe est à poils longs et couleur variée (noire, blanche, ou brune). L'effectif total est d'environ 427.000 têtes avec 307.000 femelles reproductrices et 23.500 mâles utilisés pour la reproduction. Sa production laitière est mauvaise ; elle est élevée généralement pour la production de viande qui est de qualité appréciable (**Bey et Laloui, 2005**).

- **Race Mzab**

Dénommée aussi «la chèvre rouge des oasis» originaire de Metlili ou Berriane, et se caractérise par un corps allongé, droit et rectiligne, la taille est de 68cm pour le mâle, et 65cm pour la femelle, avec des poids respectifs de 50kg et 35kg. La robe est de trois couleurs : le chamois qui domine, le brun et le noir, le poil est court (3-7cm) chez la majorité des individus, la tête est fine, porte des cornes rejetées en arrière lorsqu'elles existent, les oreilles sont longues et tombantes (15cm) (**Bey et Laloui, 2005**).

I.2.2. La population introduite

Plusieurs races performantes tels que: Saanen, Alpine et Maltaise ont été introduites en Algérie pour les essais d'adaptation et d'amélioration des performances zootechniques de la population locale (production laitière et de viande) (**Bey et Laloui, 2005**).

- **La race Saanen**

Originaire de la vallée de la Sarine dans la Suisse. C'est une race de grand format ; un bouc de 80Kg à 120Kg, une chèvre de 50 à 90Kg. Sa robe à poil court blanc, dense et soyeux ; d'ailleurs appelée la blanche de Gessenay. La tête souvent motte, avec ou sans barbiche, a le profil droit avec une profonde poitrine. La mamelle est globuleuse et large, avec une peau souple ; la femelle donne plus de 770 kg par lactation, avec régulièrement 2 chevreaux par an. En plus, c'est une race rustique, facile à élever et à mener, pouvant supporter sans problème tous les différents modes d'élevage possibles (**Holmes et al., 1966**).

- **La race Alpine**

C'est la race la plus répandue, originaire du massif Alpin de France et la Suisse. C'est une race de moyen format ; un bouc de 80Kg à 100Kg, une chèvre de 50 à 70Kg. La tête est triangulaire et le plus souvent cornue, la tête peut avoir ou non des une barbiche. Les oreilles sont longues, portées, dressées vers l'avant, et en cornet relativement fermé. Le cou est fin, les yeux saillants et le profil concave. Le corps est profond, l'encolure dégagée, le dos droit, la

croupe large un peu inclinée. La robe est à poil ras et de couleur très variée ; allant du rouge clair au rouge foncé et même au noir. La mamelle est grosse, un peu inclinée, avec une peau fine et souple. La chèvre alpine est une très bonne et très forte laitière qui supporte bien les différentes formes d'élevage, une chèvre fournit de 730 à 1000Kg de lait par lactation (**Charron, 1986**).

- **La race Maltaise**

Dite aussi la chèvre de Malte. Elle est rencontrée dans les régions des littoraux d'Europe, a un format moyen et une robe généralement blanche à poils longs. Sa tête est longue, a profil droit, et souvent sans cornes avec des oreilles tombantes. C'est une bonne productrice de lait. Ainsi, elle serait à la base de certaines chèvres laitières d'Italie, d'Afrique du Nord et même de Grèce (**Holmes et al., 1966**).

I.2.3. La population croisée :

C'est le résultat de croisement entre les races standardisées, tel que la race Mekatia ou Beldia qui se localise surtout dans les hauts plateaux. Elle se caractérise par un corps allongé, une robe polychrome (grise, beige, blanche, brune) à poils ras et fins, et des oreilles tombantes. Sa production laitière est bonne (**Bey et Laloui, 2005**).

I.3. Les principales races camelins en Algérie

- **Chaambi**

C'est une race fortement croisée avec du sang de dromadaire arabe. Animal medio ligne, musclé qui se caractérise par diverses variantes de taille et de pelage, il est utilisé comme moyen de transport et de selle. Sa robe va de bai à cendre avec des touffes de poils très fournies particulièrement au niveau de la bosse et dans la région de l'auge et des parotides (**Messaudi, 1999**).

- **Ouled sidi cheikh**

C'est un animal de selle. On le trouve dans les hauts plateaux du grand ERG occidental (**Medjour, 2014**)

- **Sahraoui**

Est issu du croisement Chaambi et Ouled Sidi Cheikh. C'est un excellent méhari. Son territoire va du grand ERG Occidental au Centre du Sahara (**Medjour, 2014**).

- **Targui**

Il est de qualité supérieure. Les dromadaires targuis sont des animaux habitués aussi bien au rude climat du tassili et du massif central du Hoggar, qu'au sable et aux Tanezrouft qui

entourent leurs montagnes (**Ben Aissa, 1989**). C'est un animal longiligne, de deux mètres de haut, énergétique, noble et élégant. Il a une robe claire ou pie, avec des poils ras et une peau très fine (Fig.1) (**Barka, 2005**).

- **L'Ait Khebbach**

Est un animal de bât. On le trouve dans l'aire Sud-Ouest (**Medjour, 2014**)

- **Le Chameau de la Steppe**

Il est utilisé pour le nomadisme rapproché. On le trouve on limite Sud de la steppe (**Medjour, 2014**).

- **L'Ajjer**

Il est bon marcheur et porteur. Se trouve dans le Tassili d'Ajjer (**Medjour, 2014**).

- **Le Berberi**

Animal de forte fine, avec une arrière main musclée, rencontré surtout entre la zone Saharienne et tellienne. Il est très proche du Chaambi et de l'Ouled Sidi Cheik (**Ghedir et Arwa, 2007**).

- **Le Chameau de l'Aftouh**

Utilisé comme animal de trait et de bât. On le trouve aussi dans la région des Reguibet (Tindouf, Bechar) (**Ben Aissa, 1989**). Le dromadaire de l'Aftout peuple le centre et le sud du territoire (Fig .1). Il est caractérisé par sa forme ramassée, son encolure en D, sa robe brunâtre et ses poils longs. Il présente des touffes sur les cuisses et la croupe. La femelle du dromadaire de l'Aftout est considérée comme la meilleure laitière du pays. (**Ague, 1998**).

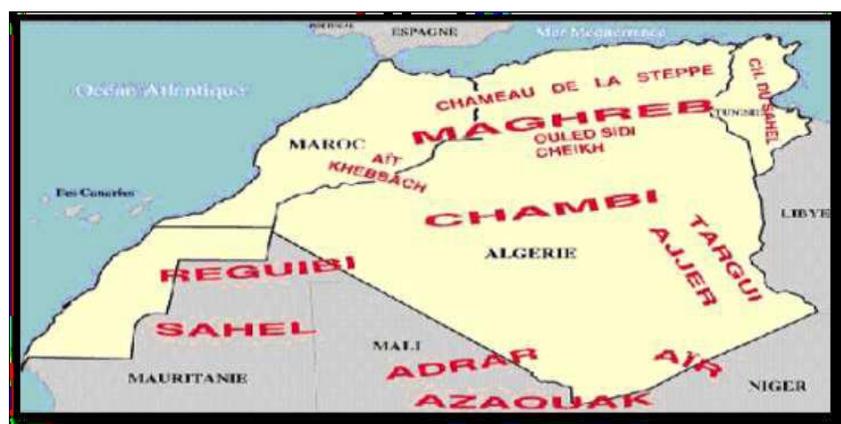


Figure 01 : Répartition géographique des principales races de dromadaire en Algérie (Ben Aissa, 1989).

II. La production laitière dans le monde

La production laitière mondiale (toutes espèces confondues) est estimée à 782 millions de tonnes en 2013. De 2000 à 2013, la production laitière mondiale a augmenté de 180 milliards de litres, soit de près d'un tiers. Les rendements laitiers moyens présentent une très forte hétérogénéité entre les continents. Ils sont très faibles en Inde (1 405 l/VL/an), en Chine (2 452 l/VL/an) et en Amérique du Sud (2 093 l/VL/an), moyens dans l'UE (6 627 l/VL/an) et très élevés aux USA (9 900 l/VL/an) où le modèle de l'élevage intensif domine. En Afrique, le rendement laitier est considéré comme le plus faible au monde (de 509 l/VL/an en 2007 à 520 l/VL/an en 2013) et il est extrêmement difficile de l'améliorer compte tenu des systèmes d'élevage pratiqués. L'évolution de la production mondiale de lait (Tab.1) n'a pas subi de grandes variations entre les différentes zones de la planète, depuis plusieurs années, (Makhlouf M et Montaigne E, 2016).

Tableau 01 : Evolution de la production de lait de vache dans le monde selon les différents continents (unité : 106 tonnes) 20 (Makhlouf et Montaigne , 2016).

L'année Pays	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Europe des 27	208,5	209	209,1	209,2	211,4	212,0	212,1
Asie	146,8	150,6	159,8	166,0	172,7	180,1	183,5
Amérique du Nord	106,1	108,6	110,4	112,1	113,6	116,2	116,6
Amérique du Sud	55,6	60,3	61,3	64,9	67,8	68,8	70,1
Afrique	30,1	30,4	29,5	31,8	31,8	33,0	34,1
Océanie	25,3	24,5	26,3	26,6	28,8	30,1	29,8
Total lait de vache (1)	573,9	585,1	596,5	610,5	626,2	640,1	646,1
Total lait (2)	682,5	695	716,2	734,9	755,0	772,1	781,9
(1)/(2), %	84,1	84,2	83,1	82,9	82,9	82,9	82,6

Par espèce, il est à noter aussi que l'essentiel de la croissance de la production laitière mondiale en volume, repose sur celle de lait de vache mais avec un taux de croissance plus faible (+ 25 % depuis 2000) que celui des autres ruminants (+ 40 %), en particulier que celui de lait de bufflonne (+ 50 %). En outre, la structure de la répartition de la production totale de lait au niveau mondial entre les différents ruminants, n'a pas connu de changements significatifs durant toute cette dernière décennie. (Makhlouf et Montaigne , 2016).

III. La production laitière nationale

La production nationale de lait a atteint 3,52 milliards de litre en 2017 dont plus de 2,58 milliards de litre de lait de vache (73%), le coût de production de la filière lait a atteint 179,71 milliards de dinars en 2017, à ce propos, le ministre a fait état de 971.633 têtes de vaches laitières, 17.709.588 brebis, 2.949.646 chèvres laitières et 207.884 chamelles.

Concernant le classement par wilaya, la wilaya de Sétif arrive en tête de liste avec une production de 287.325.000 de litres en 2017 suivie de Tizi-Ouzou (178.785.000 litres) et sidi Bel-Abbes (167.178.000) (**Tamni Azzedine, 2018**).

Dans une allocution prononcée à cette occasion, (**Tamini Azzedine, 2018**) a souligné la nécessité de développer la filière laitière, faisant part de son engagement à développer et à promouvoir la filière en accompagnant la production de lait, Il a appelé également, tous les acteurs à la promotion de filière, se disant engagé à améliorer la production nationale (qualité-quantité), à soutenir les structures de production et à moderniser les techniques et les équipements.

IV. Définition du lait

Le lait était défini en 1908 au cours du congrès international de la répression des fraudes à Genève comme étant « Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir du colostrum » (**Pougheon et Goursaud, 2001**).

Selon (**Aboutayeb, 2009**), le lait est un liquide blanc, opaque, de saveur légèrement sucrée, constituant un aliment complet et équilibré, sécrété par les glandes mammaires de la femme et par celles des mammifères femelles pour la nutrition des jeunes. Le lait cru est un lait qui n'a subi aucun traitement de conservation sauf la réfrigération à la ferme. La date limite de vente correspond au lendemain du jour de la traite. Le lait cru doit être porté à l'ébullition avant consommation (car il contient des germes pathogènes). Il doit être conservé au réfrigérateur et consommé dans les 24h (**Fredot, 2006**).

Selon **Brulé (2003)**, le lait est un aliment adapté aux besoins nutritionnels et physiologiques du jeune. Il couvre les besoins énergétiques, structuraux et fonctionnels et contribue à défendre l'organisme contre les agressions bactériennes et virales en augmentant les défenses immunitaires du nouveau-né.

V. La composition du lait

Selon **Favier (1985)**, le lait est une source importante de protéines de très bonne qualité, riches en acides aminés essentiels, tout particulièrement en lysine qui est par excellence l'acide aminé de la croissance. Ses lipides, caractérisés par rapport aux autres corps gras alimentaires par une forte proportion d'acides gras à chaîne courte, sont beaucoup plus riches en acides gras saturés qu'en acides gras insaturés. Ils véhiculent par ailleurs des quantités appréciables de cholestérol et de vitamine A ainsi que de faibles quantités de vitamine D et E (Tab.2).

Tableau 02 : Composition moyenne du lait de différentes espèces animales (**Carole , 2010**).

Animaux	Eau (%)	Matière grasse(%)	Protéines (%)	Glucides (%)	Minéraux (%)
Vache	87,5	3,7	3,2	4,6	0,8
Chèvre	87,0	3,8	2,9	4,4	0,9
Chamelle	87,6	5,4	3,0	3,3	0,7

V.1. L'eau

D'après **Amiot et al (2002)**, l'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion. La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire. Ce caractère polaire lui permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum. Puisque les matières grasses possèdent un caractère non polaire (ou hydrophobe), elles ne pourront se dissoudre et formeront une émulsion du type huile dans l'eau. Il en est de même pour les micelles de caséines qui formeront une suspension colloïdale puisqu'elles sont solides.

V.2. Matière grasse

Les matières grasses du lait ont la forme de petits globules sphériques qui sont invisibles à l'œil nu. La dimension de globules est environ 0,1 à 20µm (1µm = 0,001). Il est bon de noter que la dimension des globules de matières grasses varie selon l'espèce(les globules sont plus petits dans le lait de chèvre) ; selon la race (les globules sont plus petits chez la race Holstein que chez les Ayrshire et les Jersey) et selon la période de lactation (la dimension des globules diminue vers la fin de lactation). Le diamètre moyen des globules étant de 3 à 4 µm, on estime qu'il y a environ de trois à quatre milliards de globules de gras par millilitre de lait entier (Fig .2). (**Carole, 2010**).

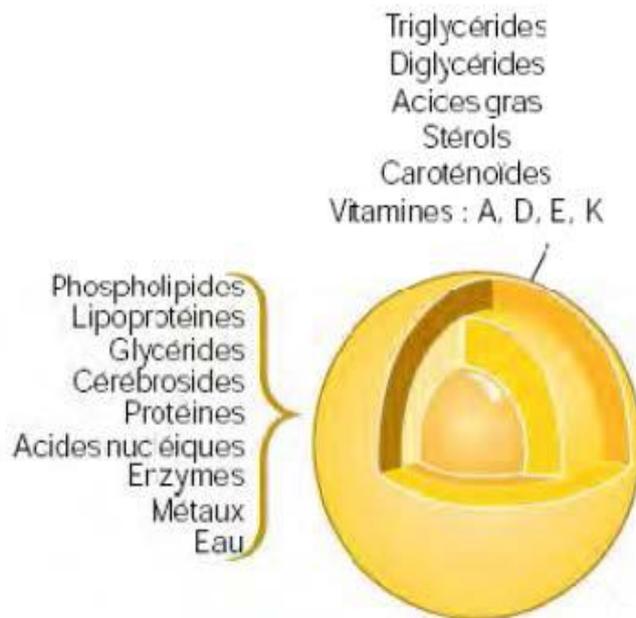


Figure 02: Structure d'un globule de matière grasse du lait
(Amiot *et al.*, 2002)

V.3. Les protéines

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers. L'analyse du lait par minéralisation, appelée méthode Kjeldahl, permet d'évaluer que 95% de la quantité totale d'azote est présente dans les protéines dont la concentration moyenne est de 3,2%. Les composés azotés non protéiques sont principalement des protéoses, des peptones et de l'urée. Différentes structure et propriétés physicochimiques distinguent les protéines du lait. On les classe en deux catégories d'après leur solubilité dans l'eau et leur stabilité : d'une part, les différentes caséines qui sont en suspension colloïdale, qui se regroupent sous forme de micelles et précipitent sous l'action de présure ou lors de l'acidification à un pH d'environ 4,6 ; d'autre part, les protéines du sérum qui sont en solution colloïdale et qui précipitent sous l'action de la chaleur (Carole, 2010).

V.4. Lactose

Le lactose est le constituant majeur de la matière sèche du lait, en particulier le lait de femme, où il représente plus de la moitié de l'extrait sec total. Sa concentration est relativement constante et peu sujette aux variations saisonnières. Le lactose a un pouvoir sucrant faible, six fois moins élevé que celui du saccharose. Il est hydrolysé en glucose et

galactose par la lactase (β galactosidase) au niveau de la muqueuse intestinale : Galactose β 1-4 glucose (α, β) \rightarrow (glucose (α, β) + galactose (α, β))

Le lactose résiduel est transformé en acide lactique par les enzymes microbiennes du colon (Jeantet *et al.*, 2008).

V.5. Minéraux

La quantité des minéraux contenus dans le lait après incinération varie de 0,60 à 0,90%. Ils prennent plusieurs formes ; ce sont plus souvent des sels, des bases, des acides. Le tableau 03 suivant indique la composition du lait en minéraux (Carole, 2010).

Tableau 03 : Composition du lait en minéraux (Carole, 2010).

Minéraux	Teneur (mg/kg)
Sodium (Na)	445
Magnésium (Mg)	105
Phosphore (p)	896
Chlore (Cl)	958
Potassium (K)	1500
Calcium (Ca)	1180
Fer (Fe)	0,50
Cuivre (Cu)	0,10
Zinc (Zn)	3,80
Iode (I)	0,28

Le tableau 04, regroupe les données concernant ces éléments. Dans un ensemble de données relativement homogènes, la teneur élevée du chlore dans le lait de chèvre (elle est à l'origine d'acidoses hyperchlorémiques observées chez les nourrissons exclusivement alimentés au lait de chèvre), ainsi que la teneur élevée en calcium du lait de brebis. [1].

Tableau 04 : Teneurs en minéraux et en oligo-éléments des laits de diverses espèces animales (mg/litre) [1].

	Vache	Chamelle	Chèvre	Brebis
Minéraux				
Sodium	0,50	0,39	0,37	0,42
Potassium	1,50	1,76	1,55	1,50
Calcium	1,25	1,16	1,35	2,0
Magnésium	0,12	-	0,14	0,18
Phosphore	0,95	0,83	0,92	1,18
Chlore	1,00	1,99	2,20	1,08
Acide citrique	1,80	-	1,10	
Oligo-éléments				
Fer	0,20-0,50	0,84	0,55	0,2-1,5
Cuivre	0,10-0,40		0,40	0,3-1,76
Zinc	3-6		3,20	1-10
Manganèse	0,010-0,030		0,06	0,08-0,36
Molybdène	0,070			
Aluminium	0,6-1		-	-

V.6. Vitamine

Selon **Vignola (2002)**, les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires. L'organisme humain n'est pas capable de les synthétiser.

On distingue d'une part les vitamines hydrosolubles (vitamine du groupe B et vitamine C) en quantité constantes, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K) (Tab. 5). (**Jeantet et al., 2008**).

Les données concernant les vitamines sont moins complètes que celles concernant les autres nutriments (tab.6). Convient de remarquer la richesse du lait de brebis, dans presque toutes les vitamines, par rapport au lait de vache, la teneur élevée des laits de chamelle et de jument en vitamine C, ainsi que la faible teneur en folates du lait de chèvre [1].

Tableau 05 : Teneur moyenne des principales vitamines du lait (Carole ,2010).

Vitamines	Teneur moyenne µg/100ml
Vitamine liposolubles :	
Vitamine A (.carotènes)	40µg/100 ml
Vitamine D	2,4µg/100 ml
Vitamine E	100µg/100 ml
Vitamine k	5µg/100 ml
Vitamine hydrosolubles :	
Vitamine C	2mg/100 ml
Vitamine B1	45µg/100 ml
Vitamine B2	175µg/100 ml
Vitamine B6	50µg/100 ml
Vitamine B12	0,45µg/100 ml
Niacine et niacinamide	90µg/100 ml
Acide pantothénique	350µg/100 ml
Acide folique	5,5µg/100 ml
Vitamine H (biotine)	3,5µg/100 ml

Tableau 06 : teneurs en vitamines des laits de diverses espèces animales (mg/litre) [1].

Vitamines	Vache	Chamelle	Chèvre	Brebis
B ₁	0,42	-	0,41	0,85
B ₂	1,72	-	1,38	3,30
B ₆	0,48	-	0,60	0,75
B ₁₂	0,0045	0,0023-0,0039	0,0008	0,006
Acide nicotinique	0,92	-	3,28	4,28
Acide folique	0,053	-	0,006	0,006
C	18	57-98	4,20	47,0
A	0,37	0,37-1,26	0,24	0,83
β-carotenes	0,21	0,16-0,46	<0,10	0,02

Notes: Les valeurs exprimées sont des valeurs moyennes ou, dans quelques cas, des valeurs extrêmes. Le signe - indique que les données font défaut ou sont sujettes à caution. Source: Compilation de diverses sources. [1].

V.7. Enzymes

Pougheon (2001), définit les enzymes comme des substances organiques de nature protidique, produites par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Environ 60 enzymes principales ont été répertoriées dans le lait dont 20 sont des constituants natifs. Une grande partie se retrouve dans la membrane des globules gras mais le lait contient de nombreuses cellules (leucocytes, bactéries) qui élaborent des enzymes : la distinction entre éléments natifs et éléments extérieurs n'est donc pas facile. (Tab.7).

Tableau 07 : Caractéristiques des principaux enzymes du lait (**Carole, 2010**).

Groupes d'enzymes	Classes d'enzymes	Ph	Température (°C)	Substrats
Hydrolases	Estérases :			
	Lipases	8,5	37	Triglycérides
	Phosphatase alcaline	9-10	37	Esters phosphoriques
	Phosphatase acide	4,0-5,2	37	Esters phosphoriques
	Protéases :			
	Lysozyme	7,5	37	Parois cellulaires microbiennes
	Plasmine	8	37	Caséines
Déshydrogénases ou oxydases	Sulphydryle oxydase	7	37	Protéines, peptides
	Xanthine oxydase	8,3	37	Bases puriques
Oxygénases	Lactoperoxydase	6,8	20	Composés réducteurs + H ₂ O ₂
	Catalase	7	20	H ₂ O ₂

VI. Propriétés physico-chimique du lait

Les principales propriétés physico-chimiques utilisées dans l'industrie laitière sont la masse volumique et la densité, le point de congélation, le point d'ébullition et l'acidité (**Amiot et al., 2002**).

VI.1. Masse volumique

La masse volumique le plus souvent exprimée en grammes par millilitre ou en kilogrammes par litre, est une propriété physique qui varie selon la température, puisque le volume d'une solution varie selon la température. Pour diminuer l'effet de la température, on utilise souvent la densité relative (ou densité). Cette propriété se définit comme suit :

$$d \frac{T}{T} = \frac{\text{m.v. d'une substance à une température } T}{\text{m.v. de l'eau à une température } T}$$

$$d \frac{T}{T} = \text{densité relative}$$

m.v.= masse volumique

T = température

En pratique la masse volumique de l'eau est de 1,000 g/ml à 4°C et de 0,99823 g/ml à 20°C. La densité du lait à 15°C varie de 1,028 à 1,035 pour une moyenne de 1,032. Chacun des constituants agit sur la densité du lait. On sait que la crème à 35% possède une densité de 0,996 et le lait écrémé, une densité de 1,036. Etant donné que la matière grasse est le seul constituant qui possède une densité inférieure à 1, plus un lait ou un produit laitier contient un pourcentage élevé en matière grasse, plus sa densité sera basse. De plus, les solides non gras, ou SNG, ont tous une densité supérieure à 1. Par conséquent, plus la teneur en solides non gras est élevée, plus la densité du produit laitier sera élevée. On peut donc affirmer qu'un écrémage du lait augmentera sa densité et qu'un mouillage ou une addition d'eau la diminuera (**Amiot et al., 2002**).

VI.2. Point de congélation

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau pure puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation, il peut varier de - 0.530°C à - 0.575°C avec une moyenne à - 0.555°C. Un point de congélation supérieur à - 0.530°C permet de soupçonner une addition d'eau au lait. On vérifie le point de congélation du lait à l'aide d'un cryoscope (**Amiot et al., 2002**).

VI.3. Point d'ébullition

La température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée. Ainsi comme pour le point de congélation, le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés. Il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100.5°C (**Amiot et al., 2002**).

VI.4. Acidité du lait

L'acidité du lait résulte de l'acidité naturelle, due à la caséine, aux groupes phosphate, au dioxyde de carbone et aux acides organiques et de l'acidité développée, due à l'acide lactique formé dans la fermentation lactique. L'acidité titrable du lait est déterminée par dosage par une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine. Bien que l'acide lactique ne soit pas le seul acide présent, l'acidité titrable peut être exprimée en grammes d'acide lactique par litre de lait ou en degré Dornic ($^{\circ}\text{D}$). $1^{\circ}\text{D} = 0.1\text{g}$ d'acide lactique par litre de lait. Un lait cru au ramassage doit avoir une acidité $\leq 21^{\circ}\text{D}$. Un lait dont l'acidité est $\geq 27^{\circ}\text{D}$ coagule au chauffage; un lait dont l'acidité est $\geq 70^{\circ}\text{D}$ coagule à froid (Tab .8). (Jean et Dijon, 1993).

Tableau 08 : Acidité naturelle du lait ; apport des différents constituants (Carole ,2010).

Constituants	Acidité (% d'équivalent d'acide lactique)
Caséines	0,05 à 0,08
Phosphates	0,05 à 0,07
Lactalbumine	0,01
CO ₂	0,01 à 0,02
Acide citrique	0,01

VII .Qualité organoleptique du lait

Vierling (2003) rapporte que l'aspect, l'odeur, la saveur, la texture ne peuvent être précisés qu'en comparaison avec un lait frais.

VII.1.La couleur

Le lait est de couleur blanc mat, qui est due en grande partie à la matière grasse, aux pigments de carotène (la vache transforme le B-carotène en vitamine A qui passe directement dans le lait (Fredot, 2006).

Reumont (2009) explique que dans le lait, deux composants, les lipides sous forme de globules de matière grasse et les protéines sous forme de micelles de caséines diffractent la lumière. Ces agrégats dispersent les rayons lumineux sans les absorber et le rayonnement qu'ils renvoient, est identique en composition au rayonnement solaire, à savoir une lumière blanche.

VII.2.L'odeur

Selon Vierling (2003), l'odeur est caractéristique le lait du fait de la matière grasse qu'il contient fixe des odeurs animales. Elles sont liées à l'ambiance de la traite, à l'alimentation (les fourrages à base d'ensilage favorisent la flore butyrique, le lait prend alors

une forte odeur), à la conservation (l'acidification du lait à l'aide de l'acide lactique lui donne une odeur aigrelette).

VII.3. La saveur

La saveur du lait normal frais est agréable. Celle du lait acidifié est fraîche et un peu piquante. Les laits chauffés (pasteurisés, bouillis ou stérilisés) ont un goût légèrement différent de celui du lait cru. Les laits de rétention et de mammites ont une saveur salée plus ou moins accentuée. Il en est en parfois de même du colostrum. L'alimentation des vaches laitières à l'aide de certaines plantes de fourrages ensilés, etc. peut transmettre au lait des saveurs anormales en particulier un goût amer. La saveur amère peut aussi apparaître dans le lait par suite de la pullulation de certains germes d'origine extra-mammaire (**Thieulin et Vuillaume, 1967**).

VII.4. La viscosité

Rheotest (2010), a montré que la viscosité du lait est une propriété complexe qui est particulièrement affectée par les particules colloïdes émulsifiées et dissoutes. La teneur en graisse et en caséine possède l'influence la plus importante sur la viscosité du lait. La viscosité dépend également de paramètres technologiques. La viscosité est une caractéristique importante de la qualité du lait, étant donné qu'une relation intime existe entre les propriétés rhéologiques et la perception de la qualité par le consommateur. Ainsi, un consommateur d'Europe centrale évalue de manière très positive le lait concentré à forte consistance (filandreux). Il associe la teneur élevée des composants du lait à la viscosité élevée.

VIII. Caractéristiques microbiologiques

Le lait, même provenant d'une traite effectuée dans des conditions de propreté et d'hygiène normale renferme de nombreux germes dont le développement rapide est assuré par sa température à la sortie de la mamelle (35°C) ainsi que par sa richesse en eau et en glucides (**Fredot, 2006**).

Les microorganismes du lait sont répartis selon leur importance en deux grandes classes : la flore indigène ou originale et la flore de contamination, cette dernière est subdivisée en deux classes : la flore d'altération et la flore pathogène (**Vignola, 2002**).

VIII.1. Flore indigène

Le lait contient peu de microorganismes lorsqu'il est prélevé dans des bonnes conditions à partir d'un animal sain (moins de 10³ germes/ml) (**Guiraud, 1998**). Cette flore se définit comme l'ensemble des microorganismes qui se retrouvent dans le lait à la sortie du pis, il devrait contenir moins de 5000 UFC/ml, les principales flores sont

Micrococcus 30-90%, *Lactobacillus* 10-30%, *Streptococcus* et *Lactococcus* < 10 (Vignola, 2002).

VIII.2. Flore de contamination

La flore de contamination est l'ensemble des microorganismes dans le lait de la récolte jusqu'à la consommation. Elle se compose d'une flore d'altération et d'une flore pathogène (Lamontagne, 2002).

- **Flore d'altération**

Elles sont des espèces bactériennes du lait cru capables de dégrader le lactose, les protéines ou les lipides de cette matière première (Richard, 1987).

Les principaux genres identifiés comme flore d'altération sont *pseudomonas sp*, *proteus sp*, les coliformes, soit principalement, *escherichia* et *enterobacter*, les *bacillus sp*, et *clostridium*, certains levures et moisissures, ils causeront des défauts sensoriels de goût, d'arômes, d'apparence ou de texture et peuvent réduire la vie de tablette du produit laitier (Lamontagne, 2002).

- **Flore pathogène**

Parmi les bactéries pathogènes pouvant être retrouvées dans le lait, certaines ont peu de chance de se développer (*Bacilles de kich*, *Compylobacter foetus*, *Salmonella*).

D'autres peuvent se multiplier, c'est le cas des bactéries mésophiles, *E coli* et *Staphylococcus aureus* (Richard, 1987).

IX. La valeur nutritionnelle du lait

Le lait possède une valeur énergétique de 700kcal/litre. La haute qualité nutritionnelle des protéines du lait repose sur leur forte digestibilité et leurs compositions particulièrement bien équilibrée en acides aminés indispensables. Pour les nouveau-nés, les protéines du lait constituent une source protéique adaptée aux besoins de croissance durant la période néonatale (Deby, 2001).

En regard de son contenu en énergie métabolisable, le lait présente une forte concentration en nutriments ; on le considère donc comme un aliment de forte densité nutritionnelle. Le lait n'est cependant pas un aliment parfait car il ne contient pas à l'état naturel de fibres et que son contenu en certains nutriments, dont le fer et la vitamine D, demeurent relativement faibles. Le lait et les produits laitiers constituent un des quatre grands groupes reconnus d'une alimentation saine. Ces recommandations reposent surtout sur le fait que le lait et les produits laitiers constituent une bonne et excellente source de certains

nutriments pour la santé, autant en ce qui concerne la croissance normale des enfants que le maintien en santé et la prévention des maladies à tout âge de la vie. Par ailleurs, les concentrations ou l'intégrité de ces mêmes nutriments peuvent subir des modifications à la suite des différents traitements industriels appliqués au lait (Tab.9) (Amiot *et al.*, 2002).

Tableau 09 : Propriété des principaux nutriments du lait (Carole ,2010).

Nutriment	Fonctions	Bien fait pour la santé
Minéraux Calcium Phosphore Magnésium Potassium Zinc	Formation de l'os, Contraction musculaire, Coagulation du sang, Régulation d'enzyme. Métabolisme énergétique (ATP), Coenzyme NADP, phospholipides des membranes cellulaires. Cofacteur dans plus de 300 réactions métaboliques, transmission de l'influx nerveux. Contrôle de la contraction musculaire, Equilibre des échanges cellulaires (avec Na). Contribution de l'insuline et de plus de 200 enzymes engagés dans la croissance, la cicatrisation, l'immunité.	Prévention de l'ostéoporose et de fractures, de l'hypertension artérielle, du cancer du côlon. Développement et maintien de la masse osseuse. Prévention de troubles du système nerveux : convulsions, hallucinations. Maintien de la force musculaire, Prévention de l'hypertension artérielle. Croissance, puberté et appétit normaux, Défense contre les infections.
Vitamines Riboflavine Vit. B12 Biotine Pantothénate Niacine Vit. A Vit. D Pyridoxine Thiamine	Coenzymes FAD et FMN du métabolisme énergétique. Cofacteur dans la synthèse des acides nucléiques (avec folate). Cofacteur de réactions de carboxylation-décarboxylation. Coenzyme A du métabolisme énergétique et de la synthèse des constituants lipidiques. Cofacteur NAD du métabolisme énergétique et de synthèse des acides gras. Constituant d'un pigment visuel de la rétine, Développement des os, des dents, de la peau. Facteur favorisant le système actif d'absorption intestinale de calcium. Cofacteur de réactions de synthèse et de modification d'acides aminés. Coenzyme de réactions de métabolisme des glucides.	Protection des muqueuses et de la peau. Vision normale. Prévention de l'anémie pernicieuse. Activité cardiaque et appétit normaux. Prévention de l'insomnie et de la fatigue. Prévention contre la pellagre (dermatite, démence, diarrhée). Prévention contre la cécité, les infections, le dessèchement de la peau et des yeux. Prévention de problèmes de développement osseux. Prévention de convulsions (déficit en sérotonine) et dermatite. Prévention du béribéri (déficit mental, cardiaque, musculaire).
Protéines Ileu, Leu Lys, Met Thr, Trp Phe, Val	Source d'acides aminés essentiels a la synthèse des protéines des parois cellulaires, fibres musculaires, enzymes et hormones	Prévention contre les retards de croissance. Résistance et défense contre les infections.

X. Facteurs influençant la composition du lait

Selon **Pougheon (2001)**, la composition chimique du lait et ses caractéristiques technologiques varient sous l'effet d'un grand nombre de facteurs. Ces principaux facteurs de variation sont bien connus, ils sont liés soit à l'animal (facteurs génétiques, stade de lactation, état sanitaire...) soit au milieu et à la conduite d'élevage (saison, climat, alimentation). Cependant, si les effets propres de ces facteurs ont été largement étudiés, leurs répercussions pratiques sont parfois plus difficiles à interpréter.

La composition du lait est variable elle dépend bien entendu du génotype de la femelle laitière (race, espèce) mais l'âge, la saison, le stade de lactation, l'alimentation sont des facteurs qui peuvent avoir des effets importants sur la composition du lait (**Pougheon et Goursaud, 2001**).

- **Variabilité génétique entre individus**

D'après **Pougheon et Goursaud (2001)**, il existe indéniablement des variabilités de composition entre les espèces et les races mais les études de comparaison ne sont pas faciles à mener, car les écarts obtenus lors des contrôles laitiers sont la combinaison des différences génétiques et des conditions d'élevage. Généralement les races les plus laitières présentent un plus faible taux de matières grasses et protéiques or le choix d'une race repose sur un bilan économique global. C'est pourquoi un éleveur a tendance à privilégier les races qui produisent un lait de composition élevée. Il existe ainsi une variabilité génétique intra-race élevée, c'est pourquoi une sélection peut apporter un progrès.

- **Stade de lactation**

Les teneurs du lait en matières grasses et protéiques évoluent de façon inverse à la quantité de lait produite. Elles sont élevées en début de lactation (période colostrale), elles chutent jusqu'à un minimum au 2ème mois de lactation après un palier de 15 à 140 jours. Les taux croissent plus rapidement dans les trois derniers mois de lactation (**Pougheon et Goursaud, 2001**).

- **Age ou numéro de lactation**

Selon **Pougheon et Goursaud (2001)**, on peut considérer que l'effet de l'âge est très faible sur les quatre premières lactations. On observe une diminution du TB (TB : taux butyreux en g/Kg) de 1% et du taux protéique de 0.6%.

- **Facteurs alimentaires**

L'alimentation n'est pas un des principaux facteurs de variation du lait mais elle est importante car elle peut être modifiée par l'éleveur. Une réduction courte et brutale du niveau

de l'alimentation se traduit par une réduction importante de la quantité de lait produite et une baisse variable du taux protéique mais la mobilisation des graisses corporelles entraîne une augmentation très importante du taux butyreux associée à une modification de la composition en matière grasse (augmentation de la part des acides gras à chaînes longues). Avec un apport de fourrages à volonté un niveau d'apports azotés conduit à un meilleur taux azoté avec un accroissement de l'apport non protéique (ANP) et des caséines. L'addition de matières grasses dans la ration induit le plus souvent une baisse du TB. Elle est due à une perturbation des fermentations ruminales, mais elle influence la composition en AG de la matière grasse du lait (**Pougheon et Goursaud, 2001**).

- **Facteurs climatiques et saisonniers**

D'après **Pougheon et Goursaud (2001)**, la saison a une influence importante qui se rajoute aux autres facteurs (alimentation, stade de lactation, âge) de façon immuable, le TB passe par un minimum en juin – juillet et par un maximum à la fin de l'automne. La teneur en protéines passe par deux minimums un à la fin de l'hiver et l'autre au milieu de l'été et par deux maximums à la mise à l'herbe et à la fin de la période de pâturage.

Chapitre II : Le fromage

I. Généralités

Le fromage est un produit alimentaire qui renferme, en plus de sa teneur en eau, plusieurs autres nutriments tels que les protéines, les glucides, les vitamines liposolubles et surtout la matière grasse, ce qui le rend sujette à différents types d'altérations microbienne et physicochimiques. (Jeantet *et al.* 2006 ; St-Gelait *et al.* 2002).

Une altération de la qualité hygiénique de fromage met en cause la santé du consommateur, cette altération est généralement invisible, elle est due à un développement de microorganismes pathogènes responsables d'intoxications alimentaires de gravités diverses. Une autre altération de la qualité marchande du fromage modifie ses caractéristiques organoleptiques (rancissement, altération du goût), cette altération bien que non dangereuse pour le consommateur, rend ce produit non commercialisable (Bouix et Leveau, 1984).

L'oxydation de la matière grasse est probablement la transformation chimique causant le problème majeur en technologie laitière surtout dans le fromage en raison de sa teneur élevée en matière grasse (Collomb et Spahni, 1996).

La conséquence la plus perceptible de celle-ci est l'apparition d'odeurs désagréables qui conduisent souvent au rejet du produit par le consommateur (Prior, 2003).

I.1. Historique et origine des fromages

D'après Fox et Mc Sweeney (2004), la découverte du fromage fut probablement le fait du hasard, on n'en connaît pas l'origine précise, mais on sait grâce à des découvertes archéologiques qu'il se fabrique du fromage depuis les origines de l'élevage, il y a environ huit mille ans, dans le Croissant Fertile.

L'homme s'aperçut que le lait qu'il entreposait coagulait et, qu'une fois séparé de son sérum, le coagulum devenait une masse compacte qui pouvait sécher, et donc se conserver et être transportée.

L'acidification spontanée à l'origine de la coagulation entraînant du fait de sa lenteur une remontée de la crème à la surface, les laits fermentés, le petit lait aigre, et le beurre furent sans doute les premiers produits laitiers. Les laits de brebis et de chèvre furent apparemment les premiers laits transformés, les ovins et les caprins ayant été les premiers animaux domestiques.

I.2. Production mondiale

Le fromage est principalement une chose des pays développés. L'union européenne avec les Etats-Unis auraient produit sur les 21 millions de tonnes de la production mondiale environ 14,5 millions de tonnes (soit 69 % de cette production) en 2013 ; selon le panorama des IAA (2014).

En 2011, la production mondiale de lait de chèvre s'élevait à 18.1 millions de tonnes ; d'après le « Bulletin of the International Dairy Federation » en 2012.

En 2012, la France a produit 605 millions de litres et 110 000 tonnes de fromages avec 12.5 % du cheptel européen (bulletin d'informations AFOCG no 119). Association de formation collective à la gestion.

En 2016, elle est classée le premier producteur et en même temps premier consommateur de fromages de chèvre [2].

I.3. Définition

Le fromage, selon La norme Codex, est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi dure, dure ou extra dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum caséines ne dépasse pas celui du lait. On obtient le fromage par coagulation complète ou partielle du lait grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation. On peut aussi faire appel à des techniques de fabrication entraînant la coagulation du lait de manière à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physiques, chimiques et sensorielles similaires à celles de la définition précédente (Fig.3) (Carole, 2002).



Figure 03 : Roues de fromage à pâte dure (Ecolab, 2018)

II. Les grandes familles de fromages

II.1. Les fromages à pâte fraîche

Brousse de Provence, Creuset d'Anjou, la Faisselle Ce sont des fromages qui n'ont pas été affinés. Le lait sous l'action de la présure et des ferments lactiques se transforme pour devenir du caillé. Celui-ci est ensuite égoutté pour extraire le lactosérum (petit-lait). Certaines variétés de fromages frais sont ensuite moulées. Leur taux d'humidité est supérieur à 60%. Ce sont des fromages à la texture onctueuse et fondante, qui se consomment rapidement après leur fabrication (Fig.04). [3].



Figure 04: Fromage à pâte fraîche [3].

II.2. Les fromages à pâte molle et croûte fleurie

Les fromages à pâtes molles ont une texture onctueuse, fondante, crémeuse. Ils sont fabriqués avec du lait caillé, ensuite moulé puis enfin égoutté. Une fois démoulé le lait caillé est ensuite salé puis séché. La surface extérieure est ensuiteensemencée d'un champignon (généralement du *Penicillium Candidum*). Au fil de l'affinage, une croûte blanche et duveteuse va se former, appelée la « fleur ». Leur taux d'humidité est compris entre 50 et 60% (pourcentage plus élevé pour les doubles ou triples crèmes, pour lesquels de la crème est additionnée au lait) (Fig.5). Dans les croûtes fleuries, on retrouve *le Camembert*, *le Chaource*, *le Brie*... [3]



Figure 05 : Fromages à pâte molle et croûte fleurie [3].

II.3. Les fromages à pâte molle et croûte lavée

La fabrication des fromages à pâte molle et croûte lavée est la même que celle des croûtes fleuries jusqu'à l'affinage. Durant cette période, les fromages vont être lavés et brossés à plusieurs reprises avec de la saumure (eau salée), à laquelle il est parfois ajouté de l'alcool (Marc de Bourgogne pour l'Epoisses, par exemple). Ces fromages sont réputés pour leur odeur forte et leur croûte humide souvent de couleur orangée (Fig.6). On y retrouve par exemple *l'Epoisses*, *le Maroilles*, *le Pont l'Evêque*... [3].



Figure 06 : fromages à pâte molle et croûte lavée [3].

II.4. Les fromages à pâte pressée non-cuite

C'est la croûte du fromage qui donne toute la saveur et l'arôme à cette pâte. Le lait également, s'il est de vache ou de brebis, impose son goût aux fromages. Cette pâte plus ou moins épaisse selon la durée d'affinage, est obtenue en pressant mécaniquement le lait caillé pour en extraire le petit-lait (lactosérum). Son taux d'humidité est entre 45 et 50% (Fig.7). Parmi les plus connus, il y a *le Reblochon, le saint Nectaire, le Cantal...* [3].



Figure 07 : Les fromages à pâte pressée non-cuite [2].

II.5. Les fromages à pâte pressée cuite

Pour conserver ces fromages de vaches et pouvoir les consommer toute l'année, le caillé a été chauffé et pressé, d'où leur nom de « pâtes dures ». Les pâtes pressées cuites sont à l'origine des fromages d'alpages, fabriqués en montagne l'été, quand le lait est riche et abondant, puis descendus dans la vallée pendant l'hiver. Certains se présentent sous la forme de très grosses meules ! Actuellement, ils peuvent être produits de manière plus industrielle. Leur maturation lente et longue leur donne leur saveur fruitée et leur texture ferme. La pâte est de couleur jaune. Ce sont les plus riches en calcium et en protéines (Fig.8).

Les plus connus sont *l'Emmental, le Comté, l'Abondance, le Beaufort...* [3].



Figure 08 : Fromages à pâte pressée cuite [3].

II. 6. Les fromages à pâte persillée

Ou « les bleus » tels que *le Roquefort*, *la Fourme d'Ambert*, *le 1924*...

Ils développent des points bleuâtres ou verdâtres dans la pâte. Au moulage, le caillé estensemencé d'un champignon (*penicillium glaucum roqueforti* ou *penicillium candidum*) pour permettre de développer des moisissures dans la pâte (Fig.9) Pendant plusieurs mois, les fromages sont affinés dans un milieu humide et piqués avec de longues aiguilles pour faciliter la circulation de l'air dans la pâte et stimuler le développement des moisissures [3].



Figure 09 : Fromages à pâte persillée [3].

II.7. Les fromages fondus

Ce type de fromages est obtenu par la fonte de fromages ou d'un mélange de fromages. Des aromates, épices, ou autres types de produits laitiers peuvent être ajoutés à sa préparation. Il peut s'agir de crèmes (comme la *Cancaillotte*) (Fig.10), de fromages à tartiner, de fromages d'apéritifs, La plupart portent le nom d'une marque déposée par une entreprise [3].



Figure 10 : Fromages fondus [3].

II. 8. Les fromages au lait de chèvre

Les fromages de chèvres ont des textures et des goûts bien différents. En fonction de la technique de fabrication, il y a des fromages de chèvre dans toutes les familles de pâtes (Fig.11).Il en existe une multitude fabriqués, comme des fromages frais ou affinés, cendrés ou non, sous différentes formes : crottins, bûches, pyramides, bouchons, palets... Parmi les plus réputés, on retrouve *le Crottin de Chavignol, le Rocamadour, le Valençay,...* [3].



Figure 11: Fromages au lait de chèvre [3].

III .Classification des fromages

La classification des fromages est fonction du caillé (lactique ou présure), du mode d'égouttage et du type d'affinage (Tab.8).

Le Tableau 10 : la classification des fromages en fonctions des différents types de coagulations et d'égouttages (Vignola , 2002).

Classification suivant le type de coagulation		
	Techniques	Caractéristiques de la caillebotte
Caillé lactique	Faible quantité de présure Température de coagulation de 18-28°C	-Riche en eau, pauvre en calcium - Faible cohésion - Durée de conservation limitée
Caillé présure	Temps de coagulation entre 4 et 20h pH de d'écaillage 4,6-5,0	
	Forte quantité de présure Température de coagulation de 30 à 40°C Temps de coagulation entre 20 et 60 mn pH de d'écaillage 6,0 à 6,7	-Egouttée, riche en calcium -Elastique et souple -Apte à l'affinage
Classification suivant le type d'égouttage		
	Techniques	Caractéristiques du fromage
Egouttage lent	-Mise en moule avec ou sans coupage - Séparation de sérum par filtration, ultra filtration ou centrifugation	-Riche en eau - Petit format -Conservation limitée à quelques semaines - Texture friable ou molle
Pâte pressée (non cuite)	-D'écaillage, brassage du caillé - Pré pressage - Mise en moule -Pressage	-Humidité intermédiaire - Format restreint (environ 1 Kg) -Affinage de quelques mois - Texture souple et moelleuse

III.1.Fromages non affinés

Dont Fromage frais, sont des fromages à forte teneur en eau obtenu par coagulation par acidification combinée ou non à celle d'une faible quantité de présure, sont appréciés par leurs caractéristiques d'onctuosité et de goût acidulé.

Les fromages frais présentent de grande diversité selon le degré d'égouttage et la teneur en matière grasse (**Mahut *et al.*, 2000**), vendus tel quels après moulage avec adjonction suivant le goût des consommateurs; de crème, sucre, confiture, poivre, ail ciboulette...etc. C'est un fromage qui est prêt à la consommation peu de temps après sa fabrication (**Luquet, 2005 ; Harbutt, 2010**).

III.2.Le fromage affiné

Est un fromage qui n'est pas prêt à la consommation peu après sa fabrication, mais qui doit être maintenu pendant un certain temps à la température et dans les conditions nécessaires pour que s'opèrent les changements biochimiques et physiques caractéristiques du fromage (**Codex Stand 283-1978**).

- **Fromage à pâte molle** : dont la coagulation à caractère mixte à dominance lactique tel que le camembert ou à dominance enzymatique.
- **Fromage à pâte ferme** : désigne un ensemble de fromage très variés dans leur composition, leur format et leur aspect extérieur à croûte sèche ou avec présence de flores microbiennes dont la coagulation est à caractère enzymatique dominant sont constitués d'une pâte compact, renfermant un peu moins d'eau que les fromages frais dans cette catégorie appartient :
 - **Fromage à pâte ferme cuite** : emmental, gruyère, comté.
 - **Fromage à pâte pressé non cuite** : edam saint Paulin... etc.
 - **Fromage à pâte persillée** : caractérisés par un développement interne de la moisissure bleue *Penicillium roqueforti*.
- **Fromage fondu** : obtenus après récupération des fragments à pâte ferme (**Eck, 2006**).

III.3.Fromage fermier et artisanal

La conception d'un fromage diffère selon plusieurs critères : le lait avec lequel il est réalisé, du fromager affineur, de son savoir-faire ainsi que son local et de son cheptel, Dès lors que l'un de ces critères changent, le produit final ne sera pas le même [4].

III.3.1. fromage fermier

La dénomination " fromage fermier " ou tout autre qualificatif laissant entendre une origine fermière est réservée à un fromage fabriqué selon les techniques traditionnelles, par un producteur agricole ne traitant que les laits de sa propre exploitation sur le lieu même de celle-ci (**Décret n°2007 législation française**).

Généralement le fromage fermier est fabriqué à partir d'un lait cru c'est à dire non chauffé, dont le but d'offrir un produit différent de ceux obtenus à partir de lait chauffé et afin de présenter l'image d'un produit authentique, car habituellement le producteur fermier dispose d'un certificat sanitaire requis pour son troupeau.

Le lait doit être traité récolté, collecté et transformé avec soin rigoureux afin de maîtriser les facteurs de risque hygiéniques.

Le fromage fermier développe un goût puissant, résultant d'un savoir-faire traditionnel. Les productions se font généralement en petite quantité (**Eck, 2006 ; Dudez, 2002**).

III.3.2.Le fromage artisanal

C'est un fromage au lait cru que l'artisan n'a pas produit lui-même, le lait provenant de fermes proches. Ce sont des fromages de saison, traditionnels mais dont la forme et le goût sont plus réguliers que les fromages fermiers. La qualité du produit qui sera obtenu sera d'avantage normalisé qu'un fromage fermier, mais la typicité elle-même du fromage en sera légèrement atténuée [4].

IV. Méthode générale de fabrication du fromage :

La transformation du lait en fromage comporte en générale quatre étapes (**Brule et al., 1997**) :

- **La coagulation** : modification physico- chimique entraînant la formation d'un gel sous l'action d'acide lactique et/ou enzymes.
- **L'égouttage** : séparation d'une partie de lactosérum conduit à l'obtention du caillé.
- **Le salage** : incorporation du sel.
- **L'affinage** : transformation biochimique de la caille sous l'action des enzymes. Ces dernières selon (**Brule et al., 1997**), peuvent être précédés par une opération de standardisation du lait, qui comprend l'ajustement du pH d'emprésurage pour faciliter la coagulation du lait, l'ajout de minéraux, la réduction de la teneur en lactose, l'ajustement de la teneur en matière grasse et /ou en protéines (**Vignola, 2002**).

Les laits n'ont pas la même aptitude à la transformation fromagères, ils présentent un certain nombre de caractéristiques différentes qui conditionnent leurs aptitude à la déstabilisation, nécessaire pour passer de l'état liquide a l'état solide ainsi que les propriétés des coagulums (Fig. 12) (**Jeantet et al., 2006**).

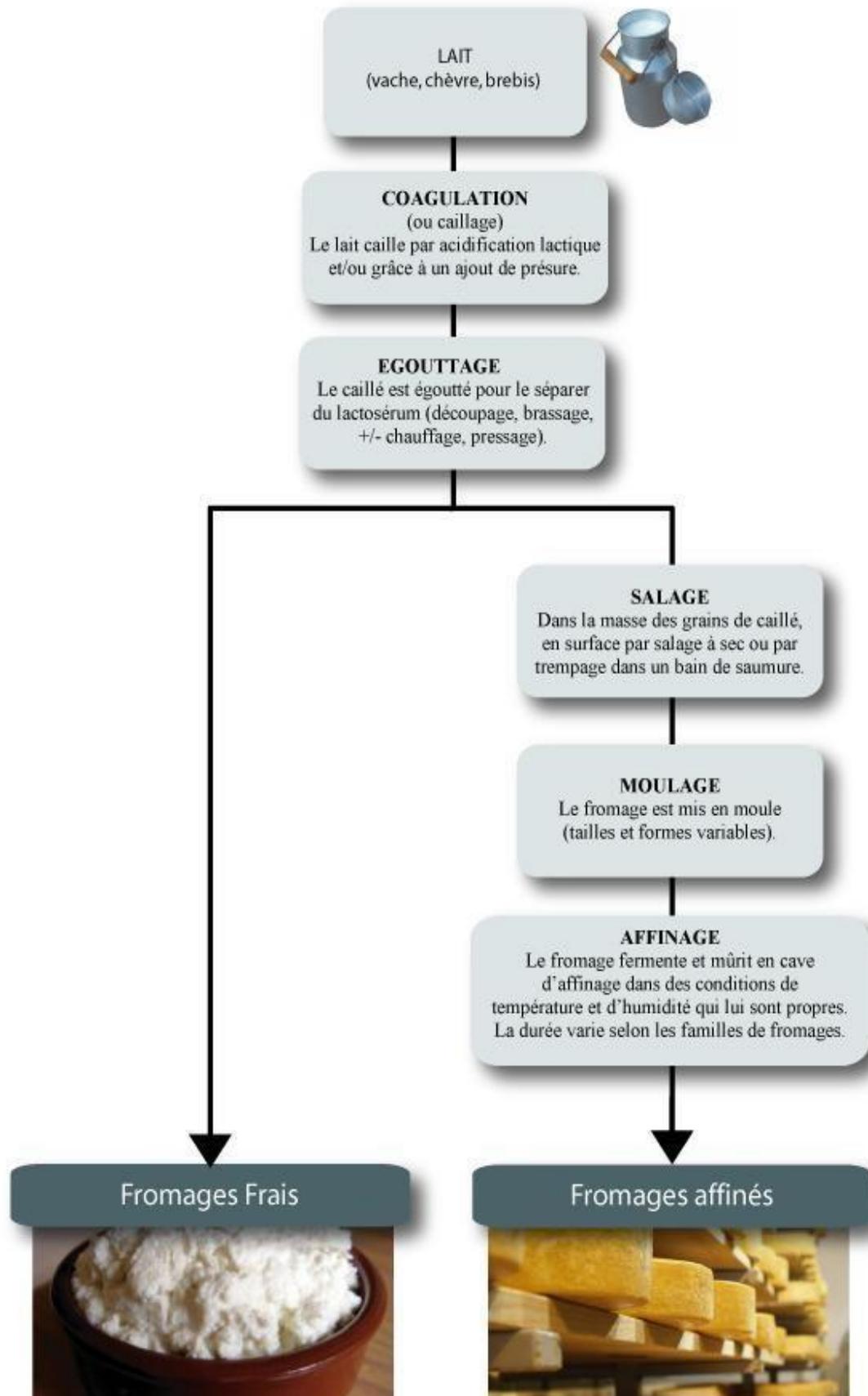


Figure 12 : Etapes de fabrication de fromage (Jeantet *et al.*, 2006).

IV. 1. Additifs alimentaires

IV.1.1. Sels de fonte

Selon **Mahaut *et al* (2000)**, les sels de fonte agissent comme émulsifiants, ils sont autorisés dans la limite de 3% du poids du produit fini, sont autorisés par la législation :

- ❖ Les poly-phosphates de sodium.
- ❖ Le citrate de sodium.
- ❖ L'acide citrique.

IV.1.2. Colorant

Pour certaines variétés de fromage fondus on peut renforcer la couleur par l'ajout de la β – carotène à des concentrations bien déterminée pour assurer l'homogénéité de la couleur au cours de la fabrication (**Eck et Gillis, 1997**).

IV.1.3. Eau

L'humidité des fromages étant généralement faible et puisque l'on incorpore des poudres, il est absolument nécessaire d'apporter de l'eau au mélange, celle –ci permet de solubiliser et de disperser les protéines et d'émulsionner par conséquent la matière grasse libre. Cette eau doit être de qualité alimentaire c'est-à-dire avec une faible teneur en microorganisme et en contaminant chimique tel que le nitrate (**Boutonnier, 2000**).

V. Les étapes de transformation du lait de vache en fromage

Les méthodes de fabrication du fromage différent selon les fabricants, mais les principes de base sont eux restés les mêmes depuis des millénaires (**Harbutt, 2010**). La transformation comporte quatre étapes essentielles : coagulation, égouttage, salage et affinage. Dans le cas d'un fromage frais, la fabrication est terminée après l'égouttage (**Yıldız, 2010; Parente et Cogan, 2004**).

V.1. Coagulation du lait

La coagulation est la modification physico-chimique des micelles de caséines, entraînant la transformation du lait en gel (**Eck et Gillis, 1997**). Elle est liée étroitement à la déstabilisation structurale de la micelle de caséine et formation d'un réseau protéique tridimensionnel appelé coagulum ou gel (**Eck, 2006**), et peut s'effectuer par voie acide ou par voie enzymatique (**Aissaoui, 2014**).

V.1.1. Coagulation par voie acide

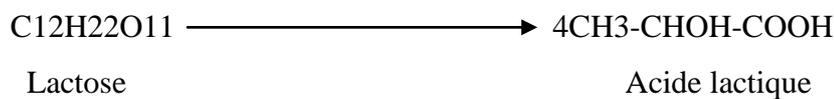
Elle consiste à précipiter les caséines à leur point isoélectrique ($\text{pI} = 4.6$), à ce pH provoque la déstabilisation des micelles de caséine, et modification de leur structure quaternaire entraînant la formation d'un coagulum acide, soit par :

-Acidification chimique par l'utilisation d'un acide minéral ou organique ; (injection de CO_2 , addition de glucunolactone ou ajout de protéines sériques à pH acide).

- Acidification biologique à l'aide de ferments lactiques qui transforment le lactose en acide lactique (**Eck, 2006**), cette dernière est la plus utilisée en industrie fromagère.

- Mécanisme de coagulation par voie acide :

Elle est provoquée par le ferment lactique, qui transforme le lactose en acide lactique :



Lorsqu'il y a production d'acide, le pH du lait de fromagerie diminue, ce qui provoque une solubilisation du phosphate de calcium colloïde, un élément important dans la stabilité des micelles de caséine, les micelles se défont en sous unités (**Vignola, 2010**).

L'abaissement du pH a pour effet de faire régresser l'ionisation des fonctions acides des caséines (résidus aspartique, glutamiques phosphosérique,) cette régression provoque une réduction du potentiel de surface et d'augmenter la solubilité des sels phosphocalciques dans l'eau, il en résulte un déplacement progressif du calcium et du phosphate inorganique de la micelle vers la phase aqueuse (Fig.13).

-Du pH 6.6 au 5.2 entraîne essentiellement la solubilisation du phosphate de calcium.

-Du pH 5.2 au 4.6 provoque la dissociation du calcium complexé par les Phosphosérines (**Eck, 2006**).

Du point de vue électrique à un pH où la charge positive de la protéine est égale à la charge négative, c'est-à-dire le nombre de groupes NH_3^+ et COO^- est égal, donc la charge nette totale de la protéine est nulle, Les molécules protéiques ne se repoussent plus mais, de gros agrégats protéiques se forment, la protéine se précipite (Fig.13) [5].

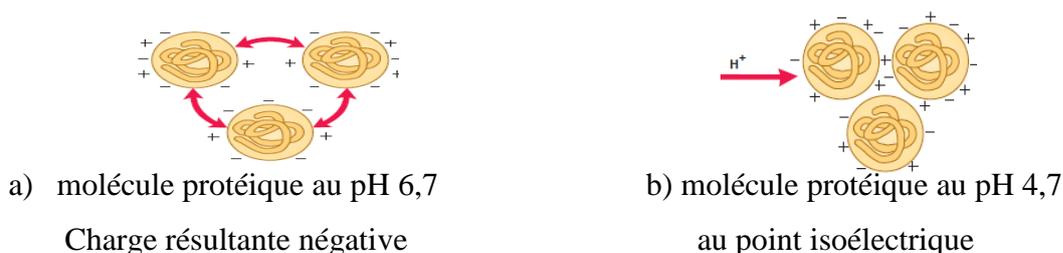


Figure 13 : Etat électrique de la protéine du lait [5].

V.1.2. Coagulation par voie enzymatique

La coagulation du lait par des enzymes protéolytiques est une des plus anciennes opérations de transformation alimentaire. Dans le monde, l'enzyme protéolytique la plus utilisée pour permettre cette transformation, notamment en fromagerie (en dehors des fromages frais) est la présure. Elle est extraite de caillettes de jeunes veaux non sevrés et a une composition où prédomine la chymosine (80%) mais contenant aussi de la pepsine (20%). Toutefois et pour plusieurs raisons, particulièrement économiques, où la présure ne peut répondre à la demande sans cesse croissante dans le monde, l'utilisation de succédanés d'origine animale, végétale et microbienne (Tab.10) s'est développée.

Tableau 11: Origine des différentes enzymes utilisées pour coaguler le lait (Mietton et al., 1994).

Origine		Enzymes
Animaux	Ruminants · Veaux (*) · Chevaux (*) · Agneaux (*) · Bovins adultes (*) Monogastriques · Porc Oiseaux · Poulets	Chymosine + pepsine Pepsine + chymosine Pepsine Pepsine
Végétaux	· Figuier (suc) · Ananas (tige) · Chardon, artichaut · Gaillet · Courge	Ficine Broméline
Moisissures	· <i>Endothia parasitica</i> (*) · <i>Mucor pusillus</i> (*) · <i>Mucor miehei</i> (*) · <i>Aspergillus niger</i>	Protéase Protéase Protéase Chymosine "génétique"
Levures	<i>Kluyvermyces lactis</i>	Chymosine "génétique"
Bactéries	· <i>Escherichia coli</i> · <i>Bacillus subtilis</i>	Chymosine "génétique" Subtiline "génétique"

La présure d'origine animale constituée principalement de chymosine et un peu de pepsine, est le coagulant le plus utilisé, elle hydrolyse que la caséine κ de la complexe caséine pendant les fabrications fromagère.

- Mécanisme de la coagulation enzymatique

L'addition de la présure au lait provoque sa coagulation par hydrolyse de la caséine kappa, au niveau de la liaison PHE 105 - MET 106 et libère.

-le glucomacropéptide formé de segment 1-105 qui est la partie hydrophile de la caséine κ qu'on le trouve dans le lactosérum.

-para-caséine formé de segment 1-105 la partie restante de la micelle, est plus hydrophobe et se lie entre elle par des liaisons hydrophobe, ce qui crée une coagulation En formant un gel de paracaséinate (**Vignola, 2010**).

V.1.3.Coagulation mixte

En pratique fromagère, un grand nombre de fromages sont obtenus par coagulation mixte, qui résulte d'une action conjuguée de la voie enzymatique et acide (**Eck, 2006**). (Tab.11). (Fig.15).

V.1.4. Caractéristiques du coagulum

Tableau 12 : Caractéristiques du coagulum selon le type de coagulation (**Vignola, 2010**).

Techniques	Caractéristiques de la caille	
Coagulation lactique	Faible quantité de présure Température de coagulation de 18-28°C Temps de coagulation entre 4 et 20h pH de d'écaillage 4,6-5,0	Riche en eau, pauvre en calcium Faible cohésion Durée de conservation limitée
Coagulation enzymatique présure	Forte quantité de présure Température de coagulation de 30 à 40°C Temps de coagulation entre 20 et 60 mn pH de d'écaillage 6,0 à 6,7	Egouttée, riche en calcium Elastique et souple Apte à l'affinage
Coagulation mixte	Caractéristique intermédiaire	



Figure 14 : Cuve double paroi (pasteurisation-coagulation –tranchage) [6].

V.2. Égouttage

Séparation entre phase solide et liquide, c'est à dire séparer le lactosérum du caillé obtenu lors de la coagulation du lait, lors de cette étape la plus grande partie des éléments solubles sont éliminés dans le lactosérum Le coagulum obtenu par voie acide possède des propriétés rhéologiques et une aptitude à l'égouttage opposées à celles du gel issu d'une action enzymatique dominante, et ne présente qu'un très faible pouvoir de synérèse (**Eck, 2006**).

Cette étape à une grande incidence sur le type de fromage qu'on cherche à produire, peut être spontané ou mécanique (Fig. 15, 16) (**Vignola, 2010**). Pour la quasi-totalité des fromages le caillé est transféré dans des supports spécifiques (moule, toiles) permettant le drainage du lactosérum et la mise en forme finale du fromage (**Eck, 2006**).



Figure15 : égouttage/
moulage spontané [6].



figure16: égouttage /
moulage par pression [6].

V.3. Salage

Le salage s'effectue par l'ajout de sel (chlorure de sodium Na cl) en surface ou en masse ou par immersion en saumure dont le but de :

-Compléter l'égouttage du caillé.

-Agit sur la phase d'affinage.

-Exhausteur de goût (**Eck, 2006**).

-Action microbienne sélective et un effet inhibiteur sur les activités enzymatiques titre d'exemple, la croissance des bactéries lactiques des levains est inhibée à une teneur en sel supérieure à 2,5 g/100 g, est pratiquement nulle au-dessus de 5 g/100 g (**Choisy et al., 1997**)

V.4. Affinage

Correspond à une digestion enzymatique par des enzymes protéolytiques et lipolytiques d'origine : microbien, enzyme coagulant et enzyme du lait, des constituants du caillé égoutté, qui lui conférera à la fin une texture et une saveur caractéristiques selon le type de fromage recherché (**Vignola, 2010**).

Cette étape est réalisée dans des conditions de Température et d'hygrométries bien déterminées (Fig.17).



Figure 17 : Salle d'affinage [6].

VI .Les étapes de transformation du lait de chèvre en fromage

VI.1. Traitement thermique

Pour les fromages artisanaux, on choisit principalement du lait cru, mais il arrive qu'il soit pasteurisé. Cette technique vise à débarrasser le lait de certains micro-organismes indésirables. Il est ainsi chauffé pendant 15 secondes à 72°C entre deux plaques chauffantes.

VI.2. La coagulation

Elle a pour but de modifier l'équilibre naturel du lait (et plus précisément la structure des caséines) en aboutissant à la formation d'un gel dénommé «caillé ». La déstabilisation des micelles de caséine par leur déstructuration ou la modification des conditions de leur environnement débouche sur la formation du gel (**Mahaut *et al.*, 2000**). Cette coagulation peut être obtenue soit par voie acide, soit par voie enzymatique ou une combinaison des deux (2) voies.

Le mécanisme d'action de ces deux agents coagulants au niveau de la micelle est très différent. Bien qu'ils conduisent tous deux à la formation d'un coagulum (gel ou caillé), les propriétés rhéologiques de ce dernier restent caractéristiques du mode de coagulation (**Farkye, 2004 ; Janhoj et Qvist, 2010**).

VI .2.1.La coagulation par voie acide

Provoquer par l'acide lactique d'origine bactérienne, qui transforme le lactose en acide lactique. Le pH du lait de fromagerie diminue avec la production d'acide. Ce qui provoque une solubilisation du phosphate et du calcium colloïdal, un élément important dans la stabilité des micelles de caséine. Ces dernières vont se lier entre-elles et former un gel cassant très friable et peu élastique (**Mieton, 1995**). Cette technique est très souvent utilisée pour des fromages fabriqués à partir de lait pasteurisé.

Le mécanisme de la coagulation acide est de nature électrochimique. Quel que soit le processus envisagé, l'acidification entraîne une chute du degré de dissociation des groupements acides COO^- , PO_3H^- du phosphocaséinate de calcium. Les ions H^+ libérés par l'acidification neutralisent progressivement les charges électrochimiques : la répulsion électrostatique diminue au fur et à mesure de l'enrichissement du milieu en ions H^+ , puis disparaît. À la température ambiante, les micelles commencent à s'agréger à pH 5,2. Lorsque le pH isoélectrique de la caséine est atteint (pH 4,6), il y a floculation totale (**Green et Grandison, 1993**).

VI .2.2.Coagulation par voie enzymatique

La coagulation par voie enzymatique est assurée par un grand nombre d'enzymes protéolytiques, d'origine animale, végétale ou microbienne, ayant la propriété de coaguler le lait. Il faut aussi tenir compte de leur grande activité protéolytique non spécifique supplémentaire qui leur permet d'hydrolyser les caséines α et β avec libération de peptides (Mietton, 1995).

- **Enzyme D'origine animale**

La présure est une enzyme protéolytique provenant de la caillette du veau non sevré. Cette enzyme correspond à deux fractions actives : l'une mineure (20%), constituée par la pepsine ; l'autre majeure (80 %), est représentée par la chymosine qui est le coagulant le plus utilisé (Eck, 1990). En pratique, la coagulation du lait peut se caractériser par trois paramètres : le temps de floculation, la vitesse de raffermissement et la fermeté maximale du gel (Caron *et al.*, 1997).

Plusieurs facteurs peuvent les influencer. Le temps de prise est inversement proportionnel à la concentration d'enzyme utilisée. Par contre, si on ajoute plus de présure au lait de fromagerie, le taux de raffermissement et la fermeté du gel augmentent. La température influe aussi sur la coagulation. En effet, au-dessous de 10°C, la gélification ne se produit pas ; entre 10 et 20°C, la coagulation est lente ; entre 30 et 42°C, elle est progressive et au-dessus de 42°C elle diminue, pour disparaître à 55°C (Daviau *et al.*, 2000).

Comme toutes les enzymes, l'activité protéolytique de la présure est fortement influencée par les facteurs du milieu qui conditionnent à la fois l'état du substrat et son environnement : le pH, la température, la concentration en présure et la concentration en calcium.

-Effet de la température : Le phénomène de coagulation fortement lié à la température (Dybowska et Fujio, 1996). Au-dessous de 10°C, la coagulation du lait ne se produit pas, la vitesse de formation du coagulum augmente progressivement de 20°C à 40-42°C, mais à des températures plus élevées, le processus de coagulation ralentit et au-dessus de 65°C il n'y a plus de coagulation, l'enzyme est inactivée (Dybowska et Fujio, 1996 ; Brulé *et al.*, 2006).

-Effet du pH : L'influence du pH sur le temps de la coagulation est très importante (Najera *et al.*, 2003). La diminution du pH du lait de 7 à 5,2 cause la diminution du temps de coagulation. Ainsi, les effets les plus importants de l'abaissement du pH du lait sont la

solubilisation du phosphate de calcium micellaire (Dalglish et law, 1989 ; le Great et Brul, 1993 ; visser *et al.*, 1980). La diminution de la charge nette et la dissociation des micelle de caséine (Dalglish et law, 1989 ; Gastaldi *et al.*, 1996) il a également été rapporté que la coagulation de lait par la présure n'est pas très efficace à une pH inférieur à 5 (Kowalchyke et Olson, 1977).

-Effet en teneur en ions calcium (CaCl₂) : L'addition au lait de chlorure de calcium, pratique courante en fromagerie, diminue le temps de coagulation et accroît la fermeté du coagulum (Montila *et al.*, 1995 ; Balcons *et al.*, 1996 ; Solorza et Bell, 1998) mais a haut concentration de CaCl₂, le temps de coagulation peut être augmenté (Mcmahon *et al.*, 1984). L'ajout de calcium permet également de réduire le pH du lait résultant en une augmentation du taux d'agrégation des protéines (Gastaldi *et al.*, 1994).

-Effet de la dose d'enzyme et de sa nature : Le temps requis pour la coagulation diminue avec l'augmentation de concentration de l'enzyme, mais la fermeté du gel n'est pas modifiée (Mauhaut *et al.*, 2005).

- **D'origine végétale**

Les coagulants végétaux ont été utilisée pendant des siècles dans la fabrication artisanale de fromage ovine ou caprine principalement en Portugal dans les régions frontière de l'Espagne et des pays d'Afrique de l'ouest (Roseiro *et al.*, 2003 ; Raposo et Domingos, 2008).

De nombreuses protéases aspartiques extraites de plantes supérieures présentent un bon potentiel comme agents coagulants dans l'industrie fromagère (Simois et Faro, 2004). On retrouve la papaïne (feuille de papaye), la broméline (tige de l'ananas) et la ficine (suc de figuier) (Cattaneo *et al.*, 1994 ; Lorente *et al.*, 2004 ; Low *et al.*, 2006 ; Egito *et al.*, 2007). Ces protéases sont caractérisées par une activité coagulante assez forte, mais leur utilisation industrielle est limitée par leur fort pouvoir protéolytique (Claverie-Martin et Vega-Hernandez, 2007).

L'extrait coagulant de *cynara cardunculus* (une variété de chardon) a été largement utilisée pour la fabrication traditionnelle de fromage (Roseiro *et al.*, 2003).

D'une façon générale, ces diverses préparations végétales ont donné des résultats assez décevants en fromagerie car elles possèdent le plus souvent une activité protéolytique très élevée, qui se traduit par l'apparition des inconvénients technologiques majeurs

précédemment signalés. L'activité coagulante est d'autre part très variable car elle est fortement influencée par l'état de maturité de la plante et par les conditions de collecte et de stockage. De ce fait, l'emploi de ces protéases coagulantes est toujours resté limité aux aires locales de production (**Ernstrom et al., 1983**).

VI.3. L'égouttage

Durant l'étape suivante, appelée égouttage, cette étape, qui dure environ 24 heures, joue un rôle très important, notamment dans la qualité de conservation du fromage. Environ 80% de l'eau et des éléments solubles (comme les minéraux, le lactose ou encore les matières azotées non coagulées) du caillé vont être extraits. La pâte obtenue est constituée de caséine et de matière grasse. C'est la quantité de sérum restante qui va déterminer certains aspects futurs du fromage, comme sa fermeté, sa texture, ou encore sa vitesse de maturation. Si on utilise un caillé acide ou un caillé présure l'égouttage ne se déroule pas de la même manière, et les pâtes qui en résultent auront des caractères différents.

Cette étape permet la séparation d'une partie de lactosérum, après rupture mécanique du coagulum, par moulage et dans certains cas par pression. Ce qui conduit à l'obtention du caillé. Son but est non seulement de régler la teneur en eau du caillé, mais aussi la minéralisation de ce dernier et son délactosage. Ce phénomène physique de séparation de la phase dispersante, fréquent dans les systèmes biologiques contenant des polymères organisés en réseau, est appelé synérèse (**Ramet, 1985**).

Dans le cas d'un caillé acide, l'égouttage débutera naturellement de lui-même mais il se peut qu'on le rende plus rapide et plus intense en aidant l'extraction de l'eau par la chaleur. Cette intervention permet également de compenser l'absence d'apport mécanique : ce type de caillé est trop fragile et demande donc un maniement prudent.

Dans le cas du caillé présure, la pâte obtenue va pouvoir, elle, subir des actions mécaniques. D'abord elle subira le découpage (ou d'écaillage), consistant en la découpant en portions égales du caillé. Cette étape permet une meilleure extraction du liquide. La taille varie suivant la fermeté de la pâte souhaitée (plus la portion est petite, plus la pâte sera ferme).

Ensuite, vient le brassage : étape durant laquelle l'agitation mécanique du caillé va permettre d'éviter des agglomérations et d'accélérer la déshydratation. Puis vient le pressage. Il ne peut être effectué que sur un caillé supportant la pression directe. L'intensité, la durée et la progression va différer suivant le type de fromage désiré et du caillé. [7].

VI.4. Le moulage

Cylindre allongé ou aplati, bouchon, pyramide, brique ou bûche...c'est à ce stade qu'est déterminée la forme définitive du fromage. Traditionnellement effectué à la louche, mais aussi aujourd'hui de façon mécanique, le moulage s'effectue souvent dans de petits récipients perforés aux formes diverses, les faisselles [8].

VI.5. L'affinage

L'affinage, appelé aussi maturation, est essentiel pour tous les types de fromages (hormis les fromages frais qui se consommeront directement après avoir été égouttés). En effet, c'est durant la maturation d'un fromage que sa saveur et sa texture vont s'affirmer, que la croûte ou encore des trous (appelés yeux) vont se former. Cette étape est très complexe en raison de très nombreux facteurs intervenant sur le caillé lui-même extrêmement sophistiqué et changeant suivant les paramètres choisis durant sa fabrication. Les enzymes naturelles du lait vont jouer un rôle secondaire, d'autant plus que dans le cas d'un lait pasteurisé, elles ont été en grande partie détruites lors de la cuisson du lait. Dans le cas des fromages à pâtes molles (demandant peu d'affinage), elles n'auront pas le temps de jouer leur rôle.

Néanmoins dans le cas du fromage au lait cru dont l'affinage demandera une plus longue période, ces enzymes, ainsi que celles de la présure ajoutées auparavant, vont permettre une meilleure coagulation du lait, et donc un degré d'affinage plus prononcé. La flore microbienne va ensuite se développer. Ces micro-organismes sont très importants pour la maturation du fromage [9].

Les enzymes intervenant dans l'affinage des fromages proviennent naturellement du lait (lipase, plasmine), des enzymes coagulantes utilisées et celles produites par les microorganismes (bactéries, moisissures et levures) (**Mahaut *et al.*, 2000**).

Dans les grandes fromageries, les produits affinés sont ensuite acheminés vers la salle d'emballage. La mise sous papier ou en boîte s'effectue à basse température pour respecter la chaîne du froid avant le chargement des fromages dans un camion réfrigéré (Tab.12).

Tableau 13: Caractéristiques de durée de fabrication pour les différentes catégories de fromages (Ramet, 1985).

Catégories de fromages	Coagulation	Durée d'égouttage	Affinage
Pâtes fraîches	16-48 heures	24-48 h	Exceptionnel
Pâtes molles	45 mn - 2 h	16-24 h	0,5-2 mois
Pâtes pressées non cuites	30 mn - 1 h	5-16 h	0,5-2 mois
Cuites	20-45 mn	2-16 h	3-24 mois

VII. Les étapes de transformation du lait de dromadaire en fromage

VII .1.Aptitude fromagère du lait de dromadaire

La transformation du lait de dromadaire en produits dérivés de type fromage est réputée très difficile, voire impossible (Dickson, 1951; Gast *et al.*, 1969; Yagil, 1982; Wilson, 1984). Il n'existe donc pas de tradition fromagère exploitant le lait de dromadaire, situation tout a fait surprenante et exceptionnelle au regard de la plupart des systèmes pastoraux qui ont très souvent développe un ou plusieurs types de fromages originaux. Ce constat peut être expliqué par certains interdits culturels et locaux qui limitent la consommation du lait de dromadaire a la forme boisson et en excluent toute possibilité de négoce. Il est probable également que le caractère très altérable de la plupart des fromages en climat chaud, n'a pas favorise la création de courants d'échanges entre des populations par ailleurs isolées et souvent enclavées, comme cela existe pour d'autres produits moins périssables.

Outre les causes culturelles précitées, il apparait également que, du point de vue technologique, le lait de dromadaire est plus difficile à transformer que le lait des autres espèces animales domestiques. L'étude bibliographique indique que seuls quelques rares fromages sont fabriques en Ahaggar et dans la péninsule du Sinaï, par séparation des protéines de lait préalablement insolubilisées par acidification (Gast *et al.*, 1969; Yagil, 1982) le fromage obtenu se présente sous forme d'une pâte humide présentant les caractéristiques des fromages frais; il s'agit d'un produit altérable en raison de sa forte teneur en eau, il doit être consommé rapidement; toutefois, par salage et séchage naturel au vent et au soleil, il est possible de prolonger considérablement la conservation du produit et de la porter a plusieurs mois. Ces fromages frais, éventuellement sèches, ne correspondent pas a la définition vraie

du fromage qui fait intervenir, dès le début de la fabrication lors de la coagulation, une action plus ou moins importante d'une enzyme coagulante conjointement à l'acidification par voie fermentaire (**Ramet, 1985**).

VII.2 .Préparation du lait

VII.2.1.Traitement thermique

Le lait cru renferme toujours une population de micro-organismes dont l'importance et la variété dépendent principalement de l'état sanitaire de l'animal, des conditions hygiéniques observées lors de la traite, de la collecte du lait, de la durée et de la température de conservation (**Ramet, 1985; I.D.F, 1990**).

Le lait cru renferme également une proportion variable de bactéries lactiques dont la présence est souhaitable pour la transformation en fromage, car elles sont responsables de l'acidification qui est recherchée pour assurer l'égouttage et la protection acide du coagulum. Le traitement thermique préalable du lait apparaît, là aussi, utile pour niveler cette hétérogénéité; il implique par contre de pratiquer ultérieurement un ajout dirigé en bactéries lactiques qui est effectué avant la phase de coagulation sous forme de ferments lactiques. Par ses conséquences hygiéniques et techniques très favorables, l'usage d'un traitement thermique préalable du lait de dromadaire peut donc apparaître souhaitable.

Des essais réalisés dans le Sud de la Tunisie (**Ramet, 1987**) ont montré que des conditions de chauffage égales ou supérieures à celles d'une thermisation (62°C - 1 minute) permettaient d'assurer une stabilisation microbienne du lait de dromadaire et d'éviter les gonflements accidentels du coagulum (tab.13).

Tableau 14 : Influence du chauffage du lait de dromadaire sur l'aptitude à la coagulation et à l'égouttage (**Ramet, 1987**).

Température chauffage lait (°C)	34	62	65	75	85
Coagulation					
Temps floculation (mn)	4	4	5	6	6
Fermeté gel	+++++	++++	++++	++	+
Friabilité gel	friable				très friable
Egouttage après 5 h					
pH	6,00	6,65	6,65	6,65	6,65
gonflement gel	+	-	-	-	-
matière sèche sérum	5,40	5,65	5,75	5,89	5,97
matière grasse sérum (%)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

On note, en particulier, une prolongation des temps de floculation, une diminution de la fermeté du gel ainsi qu'un accroissement de sa friabilité. Des évolutions analogues ont été mises en évidence après chauffage du lait de vache; elles sont dues à plusieurs modifications chimiques importantes; le retard à la coagulation s'explique par une formation d'un complexe entre caséine Kappa et R-lactoglobuline ainsi que par une insolubilisation du calcium qui réduit la réactivité à la coagulation enzymatique (**Webb *et al.*, 1974; Ramet, 1985**).

VII.2.2. Correction de la teneur en matière grasse

L'ajustement de la teneur en M.G. se fait en réglant la teneur en M.G. du lait avant coagulation; l'ajustement de la teneur en matière sèche est obtenu ultérieurement en maîtrisant les différents facteurs qui régulent l'égouttage et l'affinage du coagulum (**Ramet, 1985; Robinson, 1990**).

Cette opération peut être réalisée soit en continu par écrémage partiel du lait par voie centrifuge ou par voie manuelle (**Lambert, 1988; Robinson, 1990**), soit en discontinu par mélange en cuve de lait entier et de lait écrémé.

VII.2.3. Correction de la teneur en matière sèche

- **Ajout de poudre de lait**

Le renforcement de l'extrait sec du lait de dromadaire à l'aide de poudre de lait permet de raffermir considérablement le gel et de le travailler dans des conditions correctes (**Ramet, 1987**); un ajout de l'ordre de 4 à 8 % apparaît suffisant pour améliorer la transformation en fromage sans pour autant modifier sensiblement la qualité organoleptique du produit fini, et accroître le coût de production. Le choix d'une poudre présentant une bonne qualité fromagère est nécessaire; en ce sens, les poudres séchées à basse et moyenne températures (low – medium heat) sont les plus adaptées.

- **Ajout de lait liquide d'autres espèces animales**

Dans l'aire de distribution géographique du dromadaire, les troupeaux de chèvres, de brebis, voire de zébus et buffles sont fréquents. Le lait de ces animaux possède, en raison de sa composition en caséine et en calcium, une bonne aptitude fromagère; leur mélange peut être envisagé pour améliorer la fromageabilité du lait de dromadaire.

Une expérimentation conduite en Arabie saoudite (**Ramet, 1990**) a montré que la supplémentation du lait de dromadaire par du lait de brebis dans une proportion de 10 à 50 % à des conséquences extrêmement positives sur la coagulation et l'égouttage.

VII.2.3. Correction des équilibres salins

En raison de l'existence dans le lait de dromadaire d'un équilibre salin particulier, l'ajout d'un sel de calcium apporte sous forme de chlorure ou de phosphate mono calcique entraîne un raccourcissement très marqué des temps de coagulation et renforce la fermeté des gels (**Ramet, 1985; Ramet 1987; Ramet 1990**).

Pour permettre une répartition homogène du sel de calcium dans toute la masse du lait et pour assurer la modification souhaitée de l'équilibre salin, il est nécessaire d'ajouter le sel de calcium, au minimum 30 minutes avant l'apport de l'enzyme coagulante. Dans le cas contraire, l'ajoute de sels de calcium a peu d'influence sur le temps de floculation (**Mohamed *et al.*, 1990**). La nature des interactions intervenant durant la phase d'agrégation n'est pas encore bien connue, toutefois les ponts calciques et les forces de Van der Waals ainsi que les interactions hydrophobes semblent impliqués (**Schmidt, 1982**). Les micelles déstabilisées s'agrègent en présence des ions calcium libres (Ca^{++}) et la coagulation se produit seulement en présence d'une quantité suffisante de phosphate de calcium colloïdal (**Lucey et Fox, 1993**). Au début, il y a formation de chaînes linaires de micelles qui continuent de s'agréger pour former des amas. Ces derniers font constituer le gel protéique qui se sépare nettement de la phase liquide ou lactosérum (**Lucey, 2002**).

Des taux en sels de calcium supérieurs au seuil précité, provoquent fréquemment l'apparition de goût amer dans le fromage (**Ramet, 1987**). Il convient également de n'utiliser que des sels purifiés de qualité alimentaire.

Le salage du lait à l'aide de chlorure de sodium est parfois utilisé pour protéger le milieu des altérations par voie microbienne ; le taux de sel nécessaire pour abaisser suffisamment l'activité de l'eau et interdire la prolifération des germes est de l'ordre de 4 à 6 % (**Ramet, 1985**).

L'effet du chlorure de sodium sur la coagulation du lait de vache n'est pas identique (**Hamdy et Edelsten, 1970; Ramet et El Mayda, 1984**). On retrouve un phénomène similaire pour le lait de dromadaire ; la pepsine bovine apparaît moins sensible que la présure de veau, à la présence de sel dans le milieu, notamment aux concentrations élevées (Fig.18).

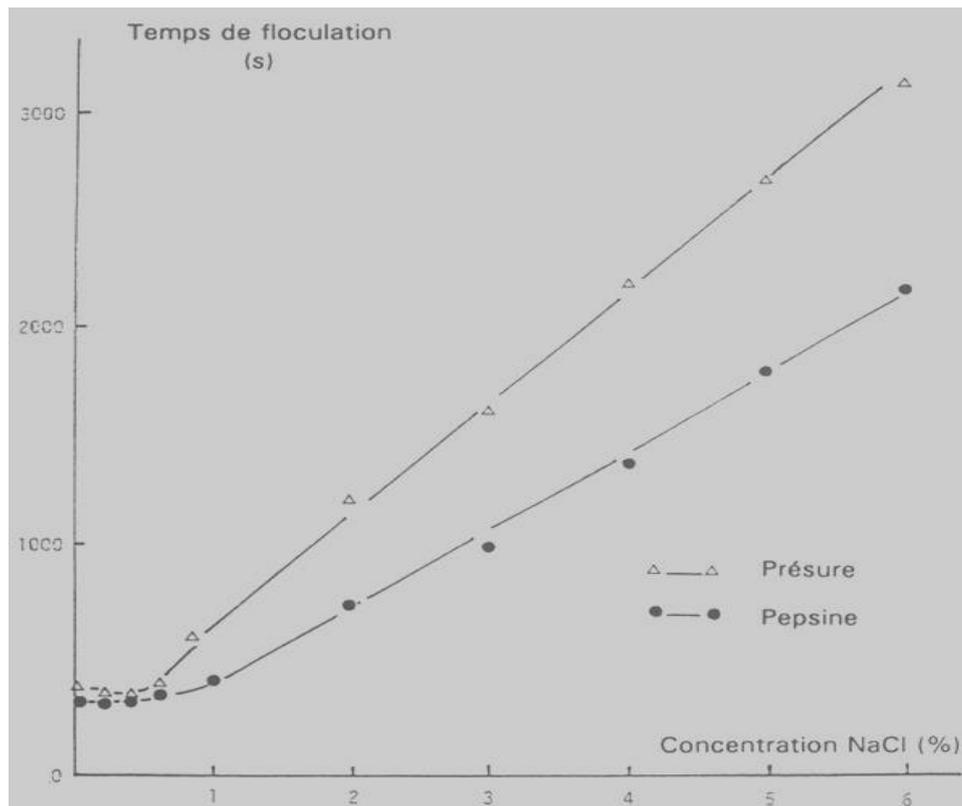


Figure 18: Influence de l'addition de chlorure de sodium sur le temps de floculation du lait de Dromadaire (Ramet, 1990).

le chlorure de sodium accroît en effet la rétention d'eau dans le coagulum en cours d'égouttage et ne permet pas d'obtenir des fromages à taux de matière sèche élevés (Ramet *et al.*, 1982; Ramet et El Mayda, 1984; Ramet, 1985). Il faut noter que le lactosérum issu de ces fabrications est lui-même salé à environ 3 g/l, ce qui ne semble pas devoir limiter ses valorisations potentielles.

VII .3.Conduite de la coagulation

VII .3.1.Propriétés du lait de chamelle à la coagulation

Le lait de chamelle est une matière première agricole qui reste peu valorisée dans l'industrie agro-alimentaire. Cela s'explique par sa faible aptitude à se transformer en produits dérivés. Afin de lever les verrous technologiques au développement de nouveaux produits, quelques études ont été menées dans le but d'améliorer les propriétés de coagulation du lait de chamelle. Les faibles teneurs en matière sèche et en caséine- κ , le diamètre élevé des micelles de caséines et l'absence de β -lactoglobuline sont parmi les principales difficultés pour sa transformation en produits laitiers dérivés (Ramet, 2003 ; Kappeler *et al.*, 2003 ; El-Agamy, 2006 ; El-Zubeir et Jabreel, 2008 ; Al-Haj et Al-Kanhal, 2010 ; Zhao *et al.*, 2015).

En ajoutant du chlorure de calcium (CaCl_2) à une concentration de $15 \text{ g} \cdot 100 \text{ L}^{-1}$ ou en mélangeant du lait de chamelle avec du lait de vache et / ou de brebis (10 à 30 %), les caractéristiques des gels obtenus ont été améliorées puisqu'une diminution du temps de gélification de 20 à 30 % et une augmentation de la fermeté de gels (doublement) ont été observées par rapport au lait de chamelle témoin (Farah et Bachmann, 1987 ; Ramet, 1990 ; 1994a ; 1994 b ; 2001 ; 2003).

VII .3.2.Choix de l'enzyme coagulante.

Plusieurs expérimentations menées en Arabie saoudite (Ramet, 1985; 1990) et en Tunisie (Ramet, 1987) ont permis de montrer que l'affinité des différentes préparations coagulantes disponibles sur le marché pour coaguler le lait de dromadaire n'était pas identique (figure19). Parmi celles-ci, la pepsine bovine a été identifiée comme la plus apte a la coagulation; la présure de veau et l'enzyme coagulante de *Mucor miehei* présentent une aptitude a la coagulation un peu inférieure, mais acceptable. D'autres observations (Gast *et al.*, 1989; Yagil, 1982; El Abassy, 1987; El Batawy *et al.*,1987) apparaissent confirmer le statut privilégié des pepsines pour coaguler le lait de dromadaire.

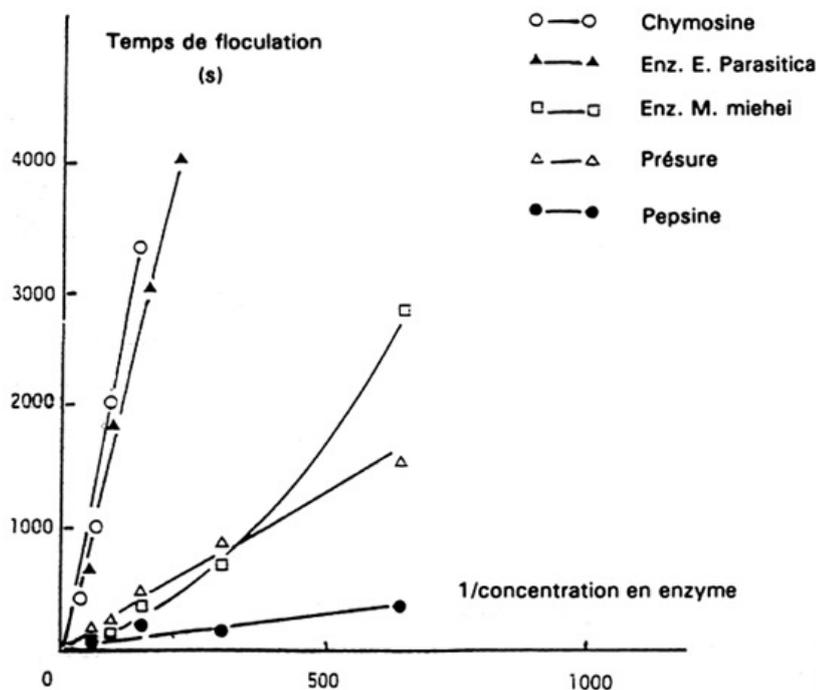


Figure 19 : Relation entre le temps de floculation et l'inverse de la concentration en enzyme coagulante pour différentes protéases coagulantes (Ramet, 1990).

- **la présure**

La présure de veau est l'agent coagulant traditionnellement utilisé pour la coagulation du lait en vue de la fabrication de la majorité des fromages. Selon la fédération internationale du lait (FIL), la dénomination «présure» est donnée à l'extrait coagulant provenant de caillettes de jeunes ruminants abattus avant sevrage (**Andren, 2002**).

L'ajout de la présure au lait camelin entraîne une réaction de protéolyse de la caséine dont l'évolution peut être suivie par mesure du taux d'azote non protéique libéré (**Mehaia, 1987**). Il semble par contre que la réaction secondaire, qui correspond à l'agrégation des micelles de caséine préalablement hydrolysée, se déroule d'une manière particulière dans le lait de dromadaire où l'association de micelles de caséine est plus tardive et le réseau formé est plus lâche et moins compact (**Ramet, 1993**), Elsevier Chez le bovin, la sécrétion de chymosine est réduite après sevrage et la pepsine envient de plus en dominante dans l'estomac d'un animal adulte.

- **La Pepsine**

Plusieurs observations (**Ramet, 1985; 1990**) ont montré que la pepsine bovine présente la meilleure affinité pour coaguler le lait de dromadaire; la présure de veau et la protéase coagulante de *Mucor miehei* présentent une affinité analogue, mais plus faible que celle de la pepsine bovine; la chymosine et la protéase coagulante de *Endothia parasitica* ont l'affinité la plus faible.

Des essais de coagulation réalisés dans des conditions homologues à l'aide de lait de vache reconstitué à partir d'une poudre "basse température" (pH 6,65) et de lait frais de dromadaire (pH 6,55), ont montré une prolongation sensible des temps de floculation dans le lait de dromadaire par rapport à ceux observés dans le lait de vache, en présence de présure, de l'enzyme coagulante de *Mucor miehei*, de chymosine et de la protéase coagulante de *Endothia parasitica*. Inversement, en présence de pepsine bovine, le temps de floculation a été 5 fois plus court. Ce comportement original de la pepsine s'explique à la fois par son affinité plus grande pour le lait de dromadaire ainsi que par son activité limitée à pH voisin de la neutralité.

des travaux récents réalisés en Egypte (**El-Abassy, 1987; El-Batawy et al., 1987**) viennent de montrer que la pepsine provenant de l'estomac de dromadaire adulte pouvait être utilisée pour produire une préparation coagulante dans des conditions acceptables d'activité et de stabilité. Dans ce travail, il n'est toutefois pas fait mention de l'ensemble de l'aptitude fromagère de l'enzyme.

- **la pro-chymosine**

Ainsi, la pro-chymosine possède un segment riche en Glu, Lys, Leu et Ile alors que Le pépsinogène possède un polypeptide riche en Lys, Pro, Ala et Leu. Ces segments occupent les sites actifs et réduisent, par empêchent stérique, le contact de l'enzyme avec son substrat. De ce fait, l'activation du pro-enzyme nécessite la libération du pro-segment et la dissociation de ce dernier du site actif (**Richter et al., 1998**). Dans le cas de la chymosine, cette action est accompagnée d'une réduction du poids moléculaire qui passe de 36 000 (pro-chymosine) à 31 000 (chymosine), (**Foltmann, 1971**).

La majorité des études susmentionnées ont été réalisées avec la présure extraite de la caillette du veau comme agent coagulant. D'autres travaux de recherche ont porté sur l'utilisation de la pepsine de veau (Tab.14) (**Wangoh et al., 1993 ; Ramet, 1994a**) ou de la chymosine de chamelon (**Wangoh et al., 1993 ; El-Agamy, 2000b ; Kappeler et al., 2006 ; Saliha et al., 2011 ; Haroun et al., 2012 ; Konuspayeva et al., 2014**)

Tableau 15 : Rapport des Temps de Flocculation observés dans le lait de Dromadaire (T.F.D.) à ceux mesurés dans le lait de vache (T.F.V.) (**Ramet, 1990**).

Type d'enzyme coagulante	T.F.D./T.F.V.
Présure de veau	2,2
Protéase coagulante de <i>Mucor miehei</i>	2,3
Chymosine	6,2
Protéase coagulante de <i>Endothia parasitica</i>	17,7
Pepsine bovine	0,2

Ces travaux ont souligné que le meilleur coagulum est obtenu en utilisant de la chymosine tirée de l'estomac de chamelon ou de la pepsine de veau. Il est à indiquer que l'utilisation de la pepsine de veau, ayant une activité protéolytique assez prononcée, peut induire l'apparition de défauts d'amertume provoquée par l'accumulation de peptides amers dans le produit fini (**Ramet, 1993**).

D'autres agents coagulants sont proposés en dehors de la présure bovine. Il s'agit de la

pepsine bovine (Wangoh *et al.*, 1993 ; Ramet, 1994), des protéases coagulantes microbiennes de *Mucor miehei* et d'*Endothia parasitica* (Ramet, 1985 et 1990), de la présure cameline (Elabbassy et Wahba, 1986 ; EL-Abbassy, 1987 ; EL-Batawy *et al.*, 1987 ; Wangoh *et al.*, 1993 ; EL-Agamy, 2000 b) et enfin de l'extrait coagulant issu de caillettes de dromadaires (Siboukeur *et al.*, 2005).

Il en ressort cependant de tous ces travaux, qu'un meilleur coagulum est obtenu en utilisant soit des enzymes gastriques de dromadaires, soit la pepsine bovine. Ceci résulterait d'une meilleure affinité de ces extraits enzymatiques pour les caséines camelines, comme semblent le suggérer les travaux (Fig. 20) (Kappeler *et al.*, 1998), où il est montré que le site de coupure de la chymosine est différent selon les caséines κ considérées (bovines et camelines)

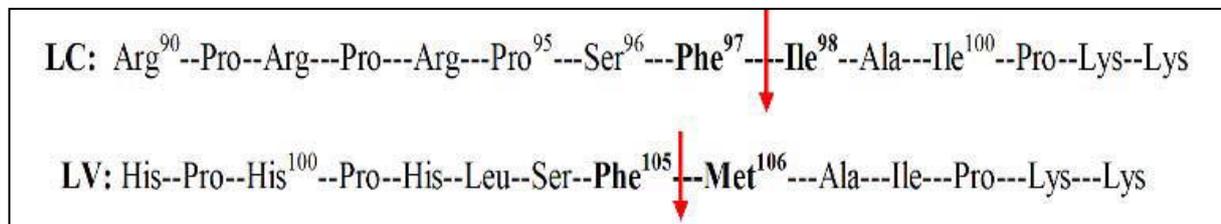


Figure20: Comparaison des régions de la caséine κ sensibles à la chymosine dans les laits de chamelle et de vache (Kappeler *et al.*, 1998).

LC : lait de chamelle ; LV : lait de vache

↓: site préférentiel de coupure de la chymosine.

Toutefois, une réserve souvent exprimée, relative à l'utilisation de la pepsine bovine, est qu'elle possède une activité protéolytique assez prononcée, qui peut se manifester dans les fromages par la libération de peptides amers. Les autres protéases ne présentant pas ces inconvénients, seraient les mieux indiquées (Ramet, 1993).

VII.3.3 Ajustement du pH de coagulation

Toutes les enzymes coagulantes de fromagerie sont des protéases à caractère acide dont l'activité optimale est généralement proche de pH 5,5 (Ramet, 1984). Le lait frais de dromadaire possède, d'après différentes sources bibliographiques, un pH pouvant, selon ses origines très diverses, varier dans une fourchette assez large comprise entre pH 6,55 et 6,85; ces valeurs ne sont pas très favorables à une bonne activité coagulante, d'où l'intérêt en pratique d'acidifier légèrement le lait au moment de l'emprésurage.

En Somalie, la consommation de lait de dromadaire est assurée dans des récipients frottés avec du charbon de bois; cette pratique pourrait induire par diffusion d'acides organiques dans le lait, une baisse de pH de 0,1–0,2 unité favorable à la diminution du temps de coagulation (Mohamed, 1990).

VII.3.4 Augmentation de la température de coagulation

La température optimum d'activité des enzymes coagulantes se situe pour la plupart au voisinage de 40–45° C ; au-dessus de cette valeur, se produit une dénaturation progressive de l'enzyme qui devient complète vers 65° C (Ramet, 1984).

Dans la gamme de température 25–40° C, il existe une relation quasi linéaire entre température et activité coagulante. Ainsi, à l'aide de présure, le temps de coagulation du lait de vache est réduit d'environ 70 %; pour le lait de dromadaire, la diminution est de l'ordre de 50 % (Farah et Bachmann, 1987).

VII.3.5 Augmentation de la concentration en enzyme coagulante

Pour la plupart des enzymes coagulantes, il existe une relation pseudo linéaire entre le temps de coagulation et l'inverse de la concentration en enzyme; un doublement de la dose d'enzyme réduit de moitié le temps de floculation (Ramet, 1985).

La nature des interactions intervenant durant la phase d'agrégation n'est pas encore bien connue, toutefois les ponts calciques et les forces de Van der Waals ainsi que les interactions hydrophobes semblent impliqués (Schmidt, 1982). Les micelles déstabilisées s'agrègent en présence des ions calcium libres (Ca⁺⁺) et la coagulation se produit seulement en présence d'une quantité suffisante de phosphate de calcium colloïdal (Lucey et Fox, 1993). Au début, il y a formation de chaînes linéaires de micelles qui continuent de s'agréger pour former des amas. Ces derniers font constituer le gel protéique qui se sépare nettement de la phase liquide ou lactosérum. (Lucey, 2002).

VII.4 .Aptitude à l'égouttage

- Propriétés des gels et synérèse

L'extrême fragilité des coagulum de lait de dromadaire entraîne une destruction du gel lors des opérations mécaniques du tranchage et du moulage. De ce fait, une grande partie de la matière sèche du lait n'est pas retenue dans le fromage et est perdue dans le lactosérum; le taux de récupération est limité à environ 30% , alors qu'il se situe au voisinage de 50 % pour des fabrications homologues au lait de vache et à plus de 68 % pour le lait de brebis connu comme

le lait le plus apte à la fabrication fromagère (**Ramet, 1990**).

L'égouttage du coagulum au lait de dromadaire est caractérisé par une synérèse très rapide par rapport au comportement des gels de lait de vache (**Ramet, 1987**). Cette situation apparaît consécutive à un faible pouvoir de rétention d'eau par le coagulum au lait de dromadaire résultant de sa teneur relative limitée en caséine. De plus, la pauvreté de la micelle en caséine Kappa très hydrophile, ainsi que sa surface spécifique, réduite en raison de sa voluminosité élevée, réduisent sensiblement les capacités d'hydratation des gels correspondants (**Jardali, 1988; Scher, 1988**).

L'acidification du lactosérum en cours d'égouttage apparaît un peu plus lente lorsqu'il est issu de coagulum au lait de dromadaire que lorsqu'il provient de gel au lait de vache (**Ramet, 1985 et 1987**). Cette cinétique différente pourrait résulter des différents facteurs entraînant une moins bonne aptitude à la fermentation lactique.

Pour les fromages à pâte molle et à pâte pressée, il y a lieu, pour obtenir un grain plus ferme au moulage, qui ne se brisera pas au contact des supports d'égouttage (toiles, moules, palteaux), d'accroître le degré de tranchage par rapport aux normes existantes pour les fromages homologues au lait de vache (**Ramet, 1985**), puis de prolonger la durée de l'égouttage statique en cuve; il se produit alors un raffermissement important du gel consécutif à l'augmentation du taux de matière sèche lié à la séparation du lactosérum.

Pour les fromages présentant un caractère acide et une humidité élevée, supérieure à 65 %, le moulage direct en moules est très délicat en raison des pertes très importantes de caillé pouvant se produire par les trous des moules; il est alors préférable de réaliser un pré-égouttage en sacs textiles qui assurent une rétention et une filtration efficace du caillé; la mise en moules du caillé partiellement égoutté peut alors être effectuée sans pertes excessives. Cette adaptation des modalités de début d'égouttage s'avère surtout nécessaire lorsque le lait traité est pauvre en matière sèche et est en particulier collecté en saison chaude auprès d'animaux rarement abreuvés (**Yagil et Etzion, 1980; Ramet, 1987; 1991**).

VII.5 Conduite de l'affinage

- **Modalités**

Les données relatives à la caractérisation de l'affinage des fromages au lait de dromadaire sont très rares; il n'existe en particulier aucune information sur l'évolution dans le temps des principaux facteurs liés au substrat (pH, activité de l'eau) qui régulent les équilibres microbiens et l'activité du potentiel enzymatique responsables de la protéolyse et de la lipolyse (**Ramet, 1985**).

Seules quelques observations d'ordre général faites lors de fabrications expérimentales sont disponibles (**Ramet, 1987; Ramet et Kamoun, 1988; Mohamed et al., 1990; Ramet, 1990**). L'évolution apparente des fromages a été jugée satisfaisante pour les différentes catégories de fromages; pour les fromages à pâte molle de type Camembert et comportant une moisissure superficielle de *Penicillium camembertii*, la croissance du mycélium s'est faite dans les délais habituels et de manière homogène. Pour les fromages plus humides correspondant au type "chèvre", aucune différence visible n'a été également relevée; il en est de même pour les fromages de type pâte persillée caractérisés par le développement interne de la moisissure bleue *Penicillium roquefortii*.

L'apparition de goût amer a été notée de manière transitoire ou permanent dans plusieurs fabrications de fromages (**Ramet, 1987; Ramet et Kamoun, 1988**). La plupart du temps, le défaut ne devient perceptible qu'après déglutition du bol alimentaire d'où la qualification fréquente d'arrière-gout amer; cette perception tardive de l'amertume est liée à l'implantation particulière des cellules sensorielles sensibles aux saveurs amères sur la partie supérieure et postérieure de la langue. Les causes sont variées et sont attribuées, soit à la présence de sels de calcium et de magnésium apportés lors du salage par du chlorure de sodium insuffisamment purifié, La cause la plus fréquente d'amertume est liée à la formation de peptides amers qui apparaissent lorsque l'activité protéolytique, due aux enzymes coagulantes résiduelles fixées dans la pâte est élevée, et lorsque le pH du fromage est acide dans le fromage de dromadaire.

VIII. Rendements fromagers

Les rendements fromagers obtenus avec le lait de dromadaire se caractérisent par un taux de recouvrement très faible de l'ordre de 30 % dans le fromage, de la matière sèche du lait mis en œuvre. L'analyse comparée des résultats obtenus lors de fabrications homologues de fromages à pâtes pressées non cuites (tab.15), montre qu'après thermisation préalable du lait, ajout de chlorure de calcium et adaptation des paramètres d'égouttage dans les conditions précitées, le taux de recouvrement de matière sèche était sensiblement amélioré; le gain observé peut être estimé à environ 2 % en traitant un lait très pauvre en matière sèche (9,4%) et à près de 10 % avec un lait plus riche en extrait sec (10,2%). La perte en matière grasse dans le lactosérum est très sensiblement réduite de 1,3 à 0,63 %. (**Ramet, 1987; Ramet et Kamoun, 1988**).

Tableau 16 : Caractéristiques de fabrication de fromages a pâte pressée non cuite obtenue a partir de lait de dromadaire (**Ramet, 1987**) (**Ramet et Kamoun, 1988**) .

Origine lait	Dromadaire		Vache
Type élevage	Extensif	Intensif	Intensif
Lait			
Matière sèche (%)	9,46	10,10	12,21
Matière grasse (%)	2,04	2,75	3,20
<u>Fromage</u> Matière sèche (%)			12,13
Rendement frais (%)	6,88	10,74	6,06
Rendement sec (%)	3,00	4,60	
Récupération (%)	31,70	45,79	49,96
<u>Lactosérum</u>			64,53
Matière sèche (%)	69,95	65,52	
Matière grasse (%)	13,21	6,29	5,06

IX. Microbiologie du fromage

Les différentes phases d'élaboration du fromage vont dépendre de la présence de microorganismes utiles. Ces germes vont conditionner la réussite du fromage en lui donnant ses caractéristiques de texture, de saveur, d'aspect, etc. Produire un fromage consiste à sélectionner et à favoriser le développement des germes utiles, tout en limitant la contamination par des germes indésirables et en entravant leur développement. (**Le Jaouen, 1993**).

La présence des micro-organismes dans le fromage va dépendre du degré de contamination et des capacités de développement des germes dans le fromage. L'absence

totale de contamination étant difficile, voire impossible à réaliser. Ce sont essentiellement les caractères physico-chimiques du fromage et les conditions d'affinage et de stockage, qui vont orienter le développement microbien.

Parmi les micro-organismes indésirables susceptibles de contaminer le lait et les fromages, il faut distinguer deux catégories selon le degré de gravité :

- les pathogènes, dangereux pour la santé humaine qui ne doivent pas être présents,
- les germes nuisibles à la qualité organoleptique des fromages.

Les critères microbiologiques du fromage sont donnés dans le (tab.16).

Tableau 17: Critères microbiologiques des fromages en fonction des germes (MAP, 1994).

Germes types de fromages	<i>Listeria Monocytogenes</i>	<i>Salmonella spp.</i>	<i>Staphylococcus Aureus</i>	<i>Escherichia Coli</i>	<i>Coliformes</i>
fromages à pâte dure au lait cru	Absence dans 1 gramme n = 5 ; c = 0	Absence dans 1 gramme n = 5 ; c = 0	M=10 000/g m = 1 000/g n = 5; c = 2	M=100 000/g m = 10 000/g n = 5 ; c = 2	-
fromages à pâte molle au lait cru	Absence dans 25 grammes n = 5	Absence dans 1 gramme n = 5	M=10 000/g m = 1 000/g n = 5	M=100 000/g m = 10 000/g n = 5	M=100000 m=10000
Fromages Non affines au lait cru	c = 0	c = 0	c = 2	c = 2	

X. Qualité des fromages

D'une manière globale, le degré d'acceptabilité du produit par l'utilisateur final définit la qualité du fromage (Peri ,2006). Les critères de qualité englobent les caractéristiques suivantes :

-Caractéristiques sensorielles : il s'agit de la saveur (goût et arôme), la texture (dureté, capacité d'étirement,...etc. c'est un indicateur de qualité très important pour les consommateurs et l'apparence du fromage (uniformité, couleur qui est l'un des caractéristiques les plus importantes de la qualité du fromage) (Othman, 2011), Ces caractéristiques dépendent essentiellement de la technologie de production ainsi que les propriétés chimiques et microbiologiques de la matière première utilisée (varient en fonction des facteurs d'origine alimentaire, génétique...etc.) (Mistry *et al.*, 2002)

-Caractéristiques physiques : il s'agit de la dureté de la pâte de fromage, l'élasticité, l'aptitude au tranchage et la sensation en bouche.

-Caractéristiques de cuisson : on parle du débit, le filant et le brunissement.

-Composition nutritionnelle : on peut citer la teneur en protéines, en lipides, lactose, sodium et calcium.

-La présence des produits chimiques : par exemple acides gras libres, acides aminés libres.

-La sécurité alimentaire : il s'agit de la conformité de certaines substances comme les amines biogènes aux niveaux recommandés, et l'absence totale de résidus toxiques et d'agents pathogènes.

La combinaison spécifique de critères de qualité dépend de l'application (tab.17). Par exemple, la présence d'une surface brillante, une élasticité, une texture filante et une saveur fade sont des critères essentiels pour le consommateur de Mozzarella sur une pizza. En revanche, une bonne aptitude au tranchage liée aux niveaux élevés de calcium et de caséine intacte et une aptitude modérée à la fusion sont essentielles pour le consommateur du fromage fondu en bloc (Law et Tamime, 2010).

Chapitre II : Le fromage

Tableau 18 : Critères de qualité des fromages (Law et Tamime, 2010).

Chimique	Physique	Sensorielle	Composition Nutritionnelle	Santé
Protéolyse primaire (profil électrophorétique sur gel, azote soluble à pH 4,6, azote soluble dans l'eau)	Propriétés de rupture / élasticité (contrainte de fracture, contrainte de fracture, fermeté /douceur,adhésivité / collage, élasticité, cohésion, déchiquetage, émiettement, découpage / partageabilité, moelleux, filage)	Saveur et arôme (doux, lactique, acide / acide, doux, amer, noisette, caramel, sarriette, salé, champignon, cétone, fruité, butyrate / rance)	Graisse Protéine Calcium Lactose Amines biogènes Le sel de sodium) Valeur calorifique	_Absence de pathogènes _Nombre total de bactéries _Coliformes _Salmonella __spp. Levure et moisissures
Protéolyse secondaire (peptides de faible poids moléculaire, acides aminés libres)	Apparence	Apparence		
	Couleur (blancheur, jaunâtre) Caractéristiques oculaires (taille, distribution, finesse, surface - lustre / mat) Texture visuelle (granularité, finesse, farineuse / particulaire)	Texture visuelle (ouverte, fermée, granulaire, yeux, lisse, veiné, farineux) Couleur Revêtement de moule Smear coating Forme Écorce		

Chapitre III :
Les principaux
fromages
traditionnels

Chapitre III : Les principaux fromages traditionnels

III.1. Fromages traditionnels Algériens

III.1.1. Bouhezza

Ce type de fromage est répandu dans le territoire de l'Aurès (zone Chaouia). Il est fabriqué à partir du lait de chèvre, de vache ou de brebis baratté et écrémé (Touati, 1990 ; Hallal, 2001). Le salage, l'égouttage et l'affinage sont réalisés simultanément dans une outre perméable (Chekoua) avec incorporation de poudre du piment rouge (figure 21), la fabrication de Bouhezza dure plusieurs semaines à plusieurs mois, il a un goût acidulé fort caractérisé au fromage (Tab.18). (Zaidi, 2002).



Figure 21: Fromage bouhezza (Aissaoui Zitoun ; Zidoune, 2006)

Tableau 19: Caractéristiques physico-chimiques du fromage Bouhezza (Aissaoui, 2006).

	<i>pH</i>	<i>Acidité</i>	<i>EST</i>	<i>MG/EST</i>	<i>MAT/EST</i>	<i>NST/NT</i>	<i>NaCl</i>
Bouhezza	4	2,08 ±0,14	35,86±0,8	30,2	0,08	0,38	2,36±0,06

EST : Extrait sec total, **NaCl** : Chlorures, Lactates : exprimé en acide lactiques (ces valeurs Sont en g pour cent g de produit frais) ;

MG : Matière grasse;

NST : Azote soluble à pH 4,6

MAT : matière azotée total.

Chapitre III : Les principaux fromages traditionnels

Bouhezza a un taux d'extrait sec proche de 36 % et un taux de Gras/Sec d'environ 30 %. Selon la classification du codex alimentaire (**norme FAO/OMS N° A-6 de 1987**) la teneur en eau dans le fromage dégraissé donne une valeur de 71,9 qui le classer dans la catégorie des pâtes molles. Aussi, le fromage est mi- gras. Bouhezza a un bas pH, une acidité lactique de 2% et une teneur en sel de 2,3 % dans la matière humide. Le taux de maturation du fromage est assez important (NSTx100/NT de 36,7 %), c'est un fromage affiné.

III.1.2. Jben

Le Jben est un fromage traditionnel frais obtenu par coagulation enzymatique (présure extraite à partir de la caillette du veau). Le lait destiné à la fabrication est chauffé, une fois tiède, un fragment de caillette bovine est macéré dans le lait. Après coagulation du lait et égouttage, le caillé ainsi obtenu peut être salé ou additionné de quelques épices ou de plantes aromatiques, sa composition est donnée dans le tableau suivant (tab.19) (**Abdelaziz, 1992**).

Tableau 20: Composition de Jben fabriqué à partir du lait de vache (en pourcentage)

Composition	Eau	Matière grasse	Protéine	Calcium
Jben	65,27	18,72	13,73	0,14

III.1.3. Klila

La klila est préparée à partir du lben chauffé sur feu doux pendant 12 minutes environ pour favoriser la séparation du caillé et du lactosérum et accélérer le processus d'égouttage. Le lait caillé est égoutté dans un tissu fin. La klila peut être consommée à l'état frais ou additionnée à certains plats traditionnels après avoir été coupé en petits cubes et séchés au soleil (**Touati, 1990**).

III.1.4. Takammart

D'après **Hellal (2001)**, c'est un fromage du Hoggar, il est fabriqué par introduction d'un bout de caillette de jeunes chevreaux dans le lait, après quelques heures, le caillé est retiré à l'aide d'une louche et déposé en petits tas sur une natte et sera ensuite pétri pour évacuer le sérum puis déposé sur une autre natte faite de tige de fenouil sauvage qui lui donne de l'arôme. Les nattes sont ensuite placées à l'ombre jusqu'à durcissement du fromage. Le fromage peut subir un affinage durant un mois (**Abdelaziz, 1992**).

III.1.5. Aoules

Il est fabriqué à partir du lait de chèvre qui est extrêmement aigre. Après une coagulation intense, le fromage obtenu a une pâte dure (matière sèche représente 92%).

Chapitre III : Les principaux fromages traditionnels

L'égouttage se fait dans une paille ensuite, il est reformé sous forme des boules plates séchées au soleil, il peut être consommé en mélange avec les dates (**Abdelaziz, 1992**).

III.1.6. Lebaa

La matière première est le colostrum, parfois il est mélangé avec des œufs, il est salé puis bouillit pendant 15 mn environ. Le produit obtenu est appelé Lebaa (**Lemouchi, 2008**).

III.1.7. Méchouna

Il est fabriqué à partir du lait cru qui est chauffé jusqu'à ébullition. Ensuite, on ajoute du lait fermenté <<lben>> ou <<rayeb>> et du sel. En utilisant une gaze, le mélange est laissé égoutter. Il est consommé frais ou avec la galette (**Lemouchi, 2008**).

III.1.8. Madghissa

Le fromage est connu dans la zone du Chaouia coté Est du pays. Il est préparé avec la Klila fraîche après salage et incorporation du lait frais. L'ensemble est porté à ébullition sur feu doux jusqu'à séparation du caillé et de lactosérum. Après refroidissement du mélange, la marmite est basculée pour éliminer le lactosérum. Le fromage ainsi préparé est une pâte jaune salée et élastique appelée Madghissa (**Aissaoui, 2003**).

III.2. Emballage

Un bon emballage doit apporter au fromage l'atmosphère pour qu'il se conserve bien, longtemps et avec un niveau de qualité optimale. Dans cette démarche, les matériaux sont prioritaires, car le fromage est un produit vivant et évolutif. Il existe alors différents matériaux disponible auprès des fournisseurs spécialisés. Nous les choisissons en fonction du type de fromage qu'ils devront protéger. Un fromage à pâte molle et croûte fleurie comme le camembert par exemple a besoin d'évoluer. Les fleurs blanches qui parsèment sa croûte doivent vivre pour permettre au fromage de se développer. Son emballage doit donc faire passer suffisamment d'oxygène pour que la fleur évolue, mais pas trop pour que la maturation ne soit pas trop rapide. De plus, l'activité du fromage développant chaleur et humidité, il faut aussi pouvoir en absorber une partie pour que le fromage ne baigne pas dans son jus. Concernant les fromages à pâte sèche ou pressée (emmental, comté), l'affinage s'est fait en amont : le rôle de l'emballage est donc de bloquer cette maturation ou du moins de la ralentir très fortement. Pour cela, nous allons placer le fromage dans une ambiance modifiée sans oxygène. Si vous détailler un emballage de fromage à pâte molle, vous pourriez distinguer plusieurs couches dans le papier. Au contact du fromage, se trouve une couche hydrophile : son rôle est de maintenir à distance l'eau et le gras, afin que le produit ne colle pas au papier.

Chapitre III : Les principaux fromages traditionnels

Vient ensuite une couche plus ou moins perforée qui va aider à gérer la circulation de l'aire de façon à laisser le produit respirer. Enfin vient la partie papier, dont on aura étudié la compatibilité avec les autres composants, comme la boîte par exemple, et sur laquelle figure l'impression qui va singulariser le produit. Le principe est encore différent pour un fromage à pâte pressée cuite ou non cuite, ou pâte sèche, pour son transport et sa commercialisation, ce produit va être tranché et placé dans un emballage étanche, plus au mois perméable à la lumière, et rempli d'un mélange gazeux dont l'oxygène est banni (**Pauty, 2019**).

III.3. Principaux problèmes de fromageries

La fabrication fromagère repose sur l'utilisation de deux ingrédients complexes et variables :

Le lait et les ferments. Quant à la présure son efficacité diminue avec le temps ou dépend des paramètres du milieu. Ces trois facteurs sont à la base même des problèmes de fromagerie auxquels il faut ajouter la complexité, le nombre et la durée des étapes de fabrication. Les défauts les plus généralement rencontrés en fromagerie sont de trois ordres (**Vignola et al., 2002**) :

- Les défauts liés à la qualité et la préparation des matières premières (facteurs d'inhibition, d'entreposage...).
- Les défauts liés à la préparation du caillé c'est-à-dire de caillage et d'égouttage (coagulation lente caillé gélatineux, caillé spongieux, caillé trop acide ...).
- Les défauts liés à l'affinage (problème des croustes, problème de saveur, problème de texture ...).

III.3.1. Défaut d'acidification

III.3.1.1. Manque d'acidification

On peut citer comme exemples de fromage concernés par ces accidents et défauts : fromage de chèvre lactique, saint Marcellin, picodon, crottin de chavignol, chaource, brebis frais, les défauts et accidents ont été classés en 03 catégories :

- Manque d'acidité
- Manque d'acidité au moulage
- Description de l'accident

Ce défaut ayant des conséquences au niveau du caillé et des fromages, plusieurs étapes de la fabrication seront à observer

- **Observation du caillé :**

1 : si le **caillé est homogène** (ne présentant pas de strates), une cause possible est la teneur du lait en caséines corrélée au TP (0,85). si le TP est faible (inférieurs à 25g /litre), le gel est de consistance molle par manque de cohésion protéique.

2 : si le **caillé est stratifié** il est hétérogène. (Sylvie , 2004).

III.3.1.2. Excès d'acidification

- Acidité forte
- Fortes acidité au moulage

➤ **Observation du caillé**

- Le caillé présente une allure normale. il est légèrement décollé des parois. le surnage normal
- Au toucher le caillé présente une texture très fine. il s'écrase entre les doigts sans aucune résistance, manque de cohésion. Au moulage, il s'effrite rapidement à chacune des louches. Ceci a pour effet de provoquer une multitude de fines (particules de caillé) qui passent à travers les moules
- **sous** les doigts ou sous la langue, on sent une texture granuleuse (grains de sable plus durs que les autres).
- Le surnageant est souvent acide, titrant entre 60 et 75 °D au moulage (Sylvie , 2004).

III.3.1.3. Evolution anormale de l'acidité

- **Observation**

Le lactosérum, au lieu d'être liquide est épais et filamenteux, d'aspect glaireux. Le caillé est aussi filant et glaireux, le fromage s'égoutte mal en moule. A la dégustation, une sensation de piquant peut être détectée sur le bout de la langue.

D'autres accidents sont souvent cités comme dus à des problèmes d'acidification, alors ce n'est pas le cas

- Problèmes d'égouttage : certains ne sont pas dus à des problèmes d'acidification
- Caillé feuilleté : l'origine de cet incident est mécanique uniquement, le lait était encore en mouvement lors de la floculation. il est impératif d'arrêter le lait après emprésurage

Chapitre III : Les principaux fromages traditionnels

et de ne pas manipuler les unités de caillage les 12 premières heures de caillage (Sylvie , 2004).

De façon générale pour éviter les déviations dans le procédé il faut (Raynal et Remeuf, 2000) :

- Soit standardiser rigoureusement pour les ingrédients pour uniformiser la fabrication ;
- Soit contrôler précisément les étapes de la production et les ajuster au besoin.

III.4. Contrôle de la fabrication fromagerie

Il est primordial de noter systématiquement et avec minute sur un registre les données de chaque production en particulier :

- Des indications sur la qualité du lait, son pH, sa composition chimique, sa qualité microbiologique et l'absence d'antibiotiques ;
- Des indications sur les autres ingrédients, en particulier le type de ferments, son numéro de lot, son mode de préparation, son pH et sa température au moment de son ajout ;
- Le pH, la température à chacune des étapes clés de fabrication ;
- Des indications sur la texture et toutes observations pouvant entraîner une modification dans la qualité finale du fromage.

Par ailleurs, le respect des normes d'hygiène et de salubrité est comme pour l'ensemble des produits laitiers, un gage de succès surtout que l'essentiel de la coagulation et de l'égouttage se déroule dans une zone de température très propice au développement bactérien (Scharma *et al.*, 1993 ; Eck et Gillis, 1997 et Mahaut *et al.*, 2000).

III.5. La Consommation

La consommation du lait et dérivés a connu une forte augmentation. Celle-ci est passée de 34 litre / an /hab. en 1970 à 95 L / an / hab. en 1995. En 2003, la consommation est de 116 L /an / hab, elle a atteint 117 L en 2005. En Algérie, la consommation du lait et produit laitier se rapproche plus de la borne supérieure que de la borne inférieure de cette fourchette. Comme le montre le graphique qui suit, la consommation du lait et dérivés en Algérie est plus importante que celle du Maroc (42 L) et de la Tunisie (102 L), mais elle reste très loin de celle des pays développés (380L en France). Pour ce qui est de la consommation des fromages et des yaourts, celle-ci s'élève à 5 ou 6 Kg par an et par habitant, alors qu'elle était de moins de 1 KG en 1988. Toutefois, elle reste faible en la comparant à celle des marocains et tunisiens qui s'élève à 10 Kg / an / hab (Fig.22).

Chapitre III : Les principaux fromages traditionnels

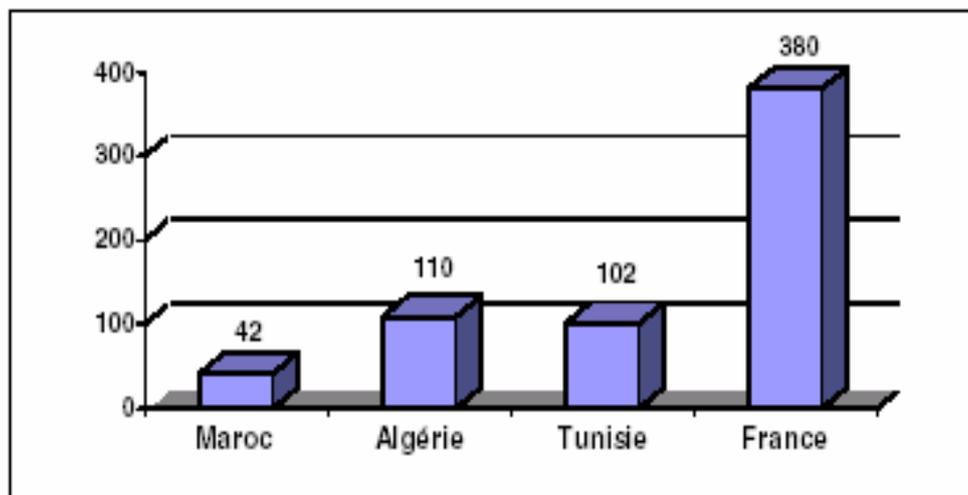


Figure 22 : La consommation par habitant par an en litres équivalent lait liquide en France et au Maghreb. (Souki , 2009).

En 2002, on estime que les 105 litres de lait et produits laitiers consommés par chaque algérien proviennent à raison de :

- 55 litres de la recombinaison en usine ;
- 15 litres de produits finis importés ;
- 35 litres de la production domestique.

Les importations couvraient au total, les deux tiers de la consommation.

L'évolution qu'a connue l'Algérie concernant l'alimentation laitière est liée à plusieurs facteurs :

- dès la fin des années 60, le déficit protéique de l'algérien moyen a été prononcé (18 g /j/hab. alors que la norme est de 50g). Pour combler ce déficit, le planificateur a favorisé la consommation du lait (En raison, d'une part de ses qualités nutritionnelles et d'autre part pour la modicité de son prix par rapport aux autres sources protéiques), en subventionnant les prix à la production et à la consommation.
- la dégradation du pouvoir d'achat depuis les politiques de libéralisation;
- les habitudes et les préférences des consommateurs : malgré l'augmentation périodique du prix du lait pasteurisé en vue de sa libéralisation totale, sa consommation n'a pas connu de réel changement. Le lait est considéré comme aliment refuge pour les couches pauvres de la société dont souvent c'est le repas principal de la journée (Souki , 2009).

III.6. La raison pour laquelle le commerce algérien se concentre sur la fabrication du Fromage à partir du lait de vache au lieu du lait de chèvre et de chamelle

- Les bovins produisent environ les trois quarts de la production de lait en Afrique subsaharienne, près de 60% en Asie et presque la totalité en Amérique latine.
- Les bovins produisent 81% de la production mondiale de lait, suivi par les bufflonnes avec 15%, les chèvres avec 2% et les brebis avec 1% ; les chammelles fournissent 0,5% de la production mondiale. La part restante est produite par d'autres espèces laitières telles que les équidés et les yacks [10].
- Pour avoir le même volume de lait obtenu après la traite d'une vache, il faut au moins 20 brebis, ce qui rend ce fromage plus rare et plus cher.
- Par rapport aux autres animaux laitiers, les bovins présentent de nombreux avantages en termes de facilité de traite, de taille de la mamelle, de capacité de stockage du lait et de rendement laitier. En fait, le lait de vache constitue la plus grande part de la production mondiale de lait [10].
- La production du lait de chèvre étant saisonnière, il se pose un problème de planification de la vente à la consommation et de normalisation de la fabrication. (Yves, 1973).
- Le lait de chamelle a une aptitude limitée à la transformation en fromage. Par ailleurs, la faible aptitude à la coagulation enzymatique aboutit à une affinité limitée pour la présure et à une structuration limitée des gels formés. Les origines de cette aptitude limitée sont la teneur réduite en matière sèche totale et caséine, notamment en saison chaude, le diamètre élevé des micelles de caséine, et la teneur réduite en caséine kappa. Quant à la faible aptitude à la coagulation acide, elle suscite la présence de composants à activité antimicrobienne inhibiteurs de l'acidification lactique par voie fermentaire, un pouvoir tampon élevé ralentissant la baisse de pH, et une très faible structuration du gel avec formation d'un précipité floconneux. En ce qui concerne l'égouttage, on constate des difficultés dans la conduction des opérations mécaniques de l'égouttage en raison de l'extrême fragilité des gels formés, une séparation rapide du lactosérum avec perte importante de matière grasse dans le lactosérum et un rendement fromager bas. Enfin, pour ce qui est de l'aptitude à l'affinage, on déplore un nombre limité d'observations, une texture onctueuse pour les fromages humides, des défauts ponctuels, tels qu'une texture en bouche rugueuse et collante pour les

Chapitre III : Les principaux fromages traditionnels

fromages à humidité moyenne et faible, et une saveur salée et (ou) amère (Ramet, 1993).

A noter que certains fromagers ont néanmoins trouvé une solution pour fabriquer du fromage avec le lait d'autres animaux : ils le coupent avec d'importantes quantités de lait de vache, de chèvre ou de brebis afin de permettre au mélange de cailler.

III.7. Le rôle de l'industrie fromager dans le développement de l'économie algérien

Le secteur de l'industrie agroalimentaire en Algérie constitue un maillon important du tissu industriel national du fait du rôle important qu'il joue dans l'économie du pays. Ainsi, il contribue d'une façon efficace et durable à l'amélioration du PIB (produit intérieur brut) et à la résorption du chômage en pleine expansion. À cet effet, une attention particulière fut accordée à son développement par les pouvoirs publics à travers, notamment, l'adoption et la mise en application, au cours de ces dix dernières années, de différentes politiques et stratégies. Ces dernières visent à repositionner le rôle moteur de ce secteur dans la sphère économique du pays par, tout d'abord, une meilleure intégration en amont et en aval de ces activités et par une amélioration qualitative et quantitative de sa compétitivité face à une concurrence de plus en plus rude (Horri K *et al.*, 2015).

Le ministre de l'Agriculture du Développement Rural et de la Pêche, Chérif Omari lors de l'inauguration du salon national du fromage artisanal qu'organise l'association nationale des produits du terroir, au niveau du siège de la chambre nationale de l'agriculture aux Pins maritimes (Alger), a assuré qu'une instruction du ministère a été adressée aux encadreurs et administrateurs chargés de la filière laitière pour accompagner les producteurs et éleveurs de chèvre à lait, principale ressource pour la production des fromages, dans certaines zones et régions du pays. Le ministre a eu à apprécier la qualité des produits exposés, par des artisans ayant défié « les obstacles liés aux contraintes administratives, l'absence d'aide financière, ou un réel accompagnement des autorités locales ». C'est ce qui a été soulevé d'ailleurs par les exposants, lors du passage du ministre dans les différents stands. Tout en soulignant qu'il fallait surmonter les obstacles qui s'opposaient au développement de cette filière M. Omari a expliqué que "la production artisanale joue un rôle important dans la consolidation de l'économie rurale l'autre pilier de la diversification des richesses de l'économie nationale (Tahar K, 2019) .

Conclusion et recommandations

IV. Conclusion

De nombreuses espèces animales produisent du lait qui est consommé par l'homme, La composition nutritionnelle du lait provenant d'espèces laitières mineures, c'est-à-dire des animaux autres que la vache, n'a bénéficié jusqu'à présent que de peu d'attention de la part des chercheurs. C'est regrettable car certains animaux tels que la chèvre et la chamelle sont sous utilisés du fait que les bovins présentent de nombreux avantages en termes de facilité de traite, de taille de la mamelle, de capacité de stockage du lait et de rendement laitier. En fait, le lait de vache constitue la plus grande part de la production mondiale de lait. En d'autres termes, la production de lait issu de ces espèces mineures pourrait contribuer à améliorer la sécurité alimentaire, la santé et la nutrition des populations, tout en générant des revenus.

La synthèse bibliographique que nous avons menée, nous a permis d'identifier et d'évaluer la qualité de trois différents types de lait cru, de vache, chèvre et dromadaire ainsi des fromages frais réalisés à partir de ces trois types de lait.

Le principe de contrôle de la qualité du lait des espèces animales est très simple, il suffit de comparer les résultats obtenus par les normes et les règles citées dans la réglementation. Cette comparaison a pour but de juger la qualité et la valeur nutritive du lait. Pour conclure : Le lait de dromadaire est le plus riche en éléments nutritifs en particulier le taux protéique et de calcium. Les laitages apportent une incomparable contribution à l'alimentation humaine par l'étendue de leur gamme et la diversité de leur valeur nutritionnelle. Ils sont une source modeste de calcium et protéines d'excellente qualité riche en acides aminés essentiels. La nature des glucides du lait composés quasi exclusivement de lactose, une partie importante est éliminée lors de l'égouttage.

Bouheza est le seul fromage traditionnel affiné. En général, la fabrication du fromage nécessite la présure qui est l'enzyme la plus utilisée pour la coagulation du lait. Cette dernière de par son coût extrêmement élevé et sa disponibilité limitée ne favorise pas la fabrication des fromages frais dans le milieu algérien. En collaboration avec l'Institut de Technologie Alimentaire, nous avons voulu essayer une voie alternative pour remplacer cette présure par nombre d'enzymes protéolytiques, végétales ou microbiennes et la coagulation mixte

Les essais de fabrication effectués (à raison du covid-19 on s'est orienté vers un travail théorique) ont juste prouvés l'influence que pouvait avoir les divers procédés sur les composants du fromage et particulièrement les minéraux ; leur proportion passant de 2,34% pour les fabrications avec seulement la présure à 0,87% pour celles impliquant des ferments

Conclusion et recommandations

lactiques. Comme perspectives, ce travail pourrait être approfondi de plusieurs manières en faisant :

- ✓ La poursuite de la recherche afin d'éliminer ou de réduire les effets indésirables du coagulant utilisé.
- ✓ La poursuite des essais avec d'autres agents coagulants pour rendre effective ce choix de remplacer la présure par un coagulant végétal.
- ✓ Une étude sur les faisabilités de l'intensification de l'élevage camelin et caprin en Afrique tout en évaluant ses avantages et ses inconvénients.
- ✓ Une étude comparée des qualités physico-chimiques et microbiologiques du lait de chèvre de vache et de dromadaire en systèmes extensif et intensif.
- ✓ Une étude sur les appréciations des fromages de dromadaire de fabrications différentes par les consommateurs.

Références

Bibliographiques

A

Abdelaziz S et Aitkaci F, (1992). Contribution à l'étude physico-chimique et microbiologique d'un fromage traditionnel algérien fabriqué à partir du lait de chèvre le "Djben". Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie. Institut national agronomique d'El Harrach, Alger, p 67.

Aboutayeb R, (2009). Technologie du lait et dérivés laitiers <http://www.azaquar.com>

Ague K M, (1998). Etude de la filière du lait de chamelle (*Camelus dromedarius*) en Mauritanie. Thèse de docteur vétérinaire de la faculté de médecine, de pharmacie et d'odontostomatologie de Dakar. 132 p.

Aissaoui Z O, (2014). Fabrication et caractérisation d'un fromage traditionnel Algérien. « Bouhezza Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en sciences alimentaire.

Aissaoui Zitoun, (2003). Fabrication et caractéristiques d'un fromage traditionnel algérien bouhezza. Thèse de magister, INATAA, Constantine, Algérie, p 138.

Aissaoui Zitoun O., Bentallah L., Ghennam E.H. et Zidoune M.N, (2011). Manufacture and characteristics of traditional Algerian ripened Bouazza cheese, *Journal of Food, Agriculture and Environnement*. Vol.9 (2):pp. 96-100.

Aissaoui Zitoun O., Zidoune M.N, (2006). Le fromage traditionnel algérien.

Al-Haj O A et Al-Kanhal H A, (2010). Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *International Dairy Journal*, 20 : pp. 811–821.

Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R et Turgeon H, (2002), composition, propriétés physicochimique, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait in VIGNOLA C. L, science et technologie du lait-Transformation du lait, Ecole polytechnique de Montréal, ISBN, 600 p.

Andren A, (2002). Rennets and coagulants; In :“Encyclopedia of Dairy Science”, Roginski H, pp.281-286.

B

Babo D, (1998). Races bovines françaises. Edition France Agricole, paris, p.180.

Balcons ., Olano A et Calvo M. M , (1996). Factors affecting the rennet clotting properties of ewe's milk .*J. Agric. Food chem* . Lavoisier, paris, 44 : pp.1993-1996.

Barka M, (2005). Contribution à l'étude des paramètres de production (lait) et de reproduction du dromadaire chez la population sahraoui dans le souf(thèse d'ingénieur d'état non publiée). Université KASDI MERBAH d'Ouargla, 98 p.

Références Bibliographiques

Bedrani S., Djenane A et Boukhari N, (1997). Eléments d'analyse des politiques de prix, de subvention et de fiscalité sur l'agriculture en Algérie. Options méditerranéennes, Série B, N° 11. <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/b11/CI971489.pdf>

Ben Aissa M, (1989). Le dromadaire en Algérie. Options Méditerranéennes- Série Séminaires. Vol. (02) :pp.19-28.

Bencharif A, (2000). Projet de recherche « Stratégies des acteurs de la filière lait en Algérie et partenariat Nord-Sud ». SAFLAIT. CIHEAM-IAM Montpellier. Actes du séminaire-Atelier SAFLAIT. 06 et 07 juin 2000. MESRS / Université de Blida / INRAA/ITELV.

Bencharif A, (2001). Stratégies des acteurs de la filière lait en Algérie: états des lieux et problématiques. Options Méditerranéennes. Série B. Etudes et Recherches 32 : pp. 25-45.

Bencharif A, (2001). Stratégies des acteurs de la filière lait en Algérie: états des lieux et problématiques. Options Méditerranéennes. Série B. Etudes et Recherches 32: pp. 25-45.

Bencharif A, (2001). Stratégies des acteurs de la filière lait en Algérie: états des lieux et problématiques. Options Méditerranéennes. Série B. Etudes et Recherches 32: pp.25-45.

Bencharif A, (2001). Stratégies des acteurs de la filière lait en Algérie : état des lieux et problématiques, options méditerranéennes, Série B./N° 32,2001,CIHEAM,pp.25-46. <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/b32/CI011662.pdf>

Benderouich B, (2009). La kémaria: un produit du terroir à valoriser, mémoire d'ingénieur, université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, p.17.

Benderouich B, (2009).La kémaria: un produit du terroir à valoriser, mémoire d'ingénieur, université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, p.17.

Bey D., Laloui S, (2005). Les teneurs en cuivre dans les piols et l'alimentation des chèvres dans la région d'El-Kantra (W. Biskra). Thèse Doc. Vét. (Batna), p. 60

Bouhezza ,(2018). Séminaire d'Animation Régional. Technologies douces et procédés de séparation au service de la qualité et de l'innocuité des aliments ,INSAT – Tunis (communication orale),Tunisie / 27 – 28 – 29 novembre Actes des sommaires, pp. 118-124.

Bourbouze A., Chouchen A., Eddebarh A .,Pluvinage J et Yakhlef H , (1989). Analyse comparée de l'effet des politiques laitières sur les structures de production et de collecte dans les pays du Maghreb. Options Méditerranéennes, Sér. Sémin. n° 6. Montpellier, France, Ciheam, pp. 247-258.

Boutonnier J L , (2002). La fabrication de fromage fondu. Technique d'ingénieur, pp.2-3.

Références Bibliographiques

Brulé G, (2003). Rapport sur : Le progrès technologiques au sein des industries alimentaires impactes sur la qualité des produits. I- la filière laitière, p. 48.

Brule G., Lenoir J et Ramet J.P, (1997). Les mécanismes généraux de transformation du lait en fromage, chapitre I, la micelle de caséine et la coagulation,pp.7-39.

Brulé G., Lenoir J et Remeuf F, (2006).La micelle de caséine et la coagulation du lait in : <<le fromage>>éd. Eck et Gillis , 3ème éd. Technique et documentation Lavoisier.

Brule G., Lenoir J et Remeuf, (1997). La micelle de caséine et la coagulation du lait dans le fromage. Ed., Eck A., 3ème édition Tec et DOC Lavoisier, Paris, pp. 7- 41.

C

Carole L et Vignola , (2002). Science et Technologie du lait, p. 598.

Carole L et Vignola F, (2010). Science technologie du lait- Transformation de lait, Fondation de technologie Laitière du Québec, pp.3-26, 34-35.

Caron A., ST-Gelais D et Pouliot Y, (1997). «Coagulation of milk enriched with ultrafiltered or diafiltered, microfilteredmilkretentate powders», International Dairy journal, 7 (6-7): pp.445-451.

Cattaneo T M P., Nigro F., Missina G et Giangiacomo.R , (1994).effet of an enzymatic complex from pineapple pulp on the primary clotting phase.milchwissenschaft.49: pp.269-272.

Cauty I., Isabelle., Perreau, J M, (2003). .la conduite du troupeau laitier édition France agricole 2003 dairy cattle, p.288.

Charron G, (1986). La production laitière. Volume I, les bases de la production. Lavoisier TEC et DOC, p.347

Chehat F, (2002). La filière lait au Maghreb in AgroLigne. Numéro 23, Juillet-Aout 2002, pp.12-13, 19-22.

Claverie M et Vega H, (2007). Aspartic Proteases Used in Chees making In <<Industrial enzymes>> Ed Polaina and A P. MacCab, Springer, pp.207-219.

CODEX STANDARD283-(1978), Norme générale codex pour le fromage. p 1-5.

Codou L M, (1997). Etude des fraudes du lait cru : mouillage et écrémage ; mémoire de doctorat, université Cheikh Anta Diop –Dakar, Sénégal, p .5-18.

Références Bibliographiques

Codou L M, (1997). Etude des fraudes du lait cru : mouillage et écrémage ; mémoire de doctorat, université Cheikh Anta Diop –Dakar, Sénégal, p .5-18.

D

Dalgleish D G et Law J R, (1989). Ph-induced dissociation of bovine casein micelles II. Mineral solubilization and its relation to casein release-*J.Dairy Res.*, 56: pp.727-735.

Daviau C M H., Famelart A., Pierre H., Gouedranche J L et Maubois J L, (2000). Rennet coagulation of skim milk and curd drainage: Effect of pH, casein concentration, ionic strength and heat treatment, *Lait*, 80 (4): pp. 397-415.

Debry G. (2001). Lait, Nutrition et santé. Edition : Lavoisier, Tec et Doc.566 p.

Décret n°2007-628 du 27 avril 2007, relatif aux fromages et spécialités fromagères. NOR: ECOC0750331D Version consolidée au 01 janvier 2014Code rural-art. Edition TEC&DOC.

Dickson H R P, (1951). The Arabs of the desert. Allen and Uwin Ltd., London, G.B.

Dudez P., Simon D et François M, (2002). Transformer les produits laitiers frais à la ferme Guide pratique, educagri édition.237 p.

Dybowska E and Fujio Y, (1996). Effect of temperature and glucond-lactone (GDL). Concentration on milk aggregation and gelation process as revealed by optical method. *Milchewissenschaft*, 51 : pp.557-560.

E

Eck A et Gillis J C , (2006). Le fromage. 3e édition Lavoisier .891 p.

Eck A, (1990). Le Fromage, Paris Ed. sepaic.

Eck A et Gillis J C, (1997). Le fromage. Techniques et documentation Lavoisier,Pris, p.887.

Eck A. et Gillis J C , (1997). Le fromage. 3ème édition Lavoisier. Tec et Doc. 890 p.

Eddebarh A, (1989). Système extensifs d'élevage bovin laitier en Méditerranée. Le lait dans la région méditerranéenne. Options Méditerranéennes, Série A, Séminaires Méditerranéennes n° 6 : pp. 123-133.

Egito A S., Girardet J M., Laguna L E., Poirson C., Miclo L., Humbert G., EL-Abassy F et Wahba H , (1986). Studies on camel pepsin 2-manufacture of Domiati cheese with camel pepsin. *Egyptian Journal of Dairy Science*, 14: pp .187-194.

Références Bibliographiques

El-Agamy E I et Handbook , (2006) .of non-bovine mammals. In : Park Y.W., & Haenlein F.W. (Ed.), *Camel milk (1st edition, Chapter 6)*. Iowa, USA : Wiley-Blackwell, pp. 297-344.

El-Agamy E I, (2000b), Physico-chemical, molecular and immunological characteristics of camel calf rennet: a comparison with cow's and buffalo rennet. *Journal of Dairy Research*, 67 : pp. 73-81.

EL-Bassy F, (1987). Studies on camel pepsin. *Egypt. J. Dairy Sci.*, 15 : pp. 87-92.

EL-Batawy M A., Amer S N. et Ibrahim S A, (1987). Camel abomasum as a source of rennet substitute. *Egypt. J. Dairy Sci.* 15: p .93-100.

El-Zubeir I E M et Jabreel S O, (2008). Fresh cheese from camel milk coagulated with Camifloc. *International Journal of Dairy Technology*, 61: pp. 90-95.

Ernstrom C A et Wongt N P, (1983). Milk clotting enzymes and cheese chemistry. In: *Fundamentals on dairy chemistry*. Ed., B.H. Webb, A.H.Johnson and J.A. Alfold .2ème Ed, the Avipublishing Company Inc, pp. 662-771, 929.

F

Farah Z. et Bachmann M.R, (1987). Rennet coagulation of camel milk. *Milchwissenschaft*, 42: pp. 689-692.

Farkye N Y, (2004). Cheese technology. *INT.j.Dairy.Tech*, 57 : pp. 91-98.

Feliachi K., Kerboua M., Abdelfettah M., Ouakli K., Selhab F., Boudjakdji A., Takoucht A, Benani Z., Zemour A., Belhadj N., Rahmani M., Khecha A., Haba A et Ghenim H , (2003). Commission Nationale AnGR : Rapport National sur les ressources Génétiques. Direction Générale de l'INRAA, pp.1-46

Ferrah A, (2000). L'élevage bovin laitier en Algérie : problématique, questions et hypothèses pour la recherche in : *Actes 3es journées Recherche sur les productions animales*, Tizi Ouzou, Algérie, 13-15 nov. 2000 : p 368.

Flamant, (1991). Problems associated with the transfer of genetic material from temperate to warm Mediterranean regions: consequences on the equilibration of the animal production systems. In: *Proc. Int. Symp. Animal Husbandry in Warm Climates*, Viterbo, Italy, 25-27 Oct. 1990, EAAP No 55: pp. 48-54.

Foltmann B, (1971). The biochemistry of prorennin and rennin (chymosin), in : "Milk Proteins, Chemistry and Molecular Biology", Academic Press, New York , 182 p.

Fournier A, (2006). La vache. Ed : Artémis, EAN13:9782844164582, 115 p.

Références Bibliographiques

Fox P F et Mc Sweeney P L H ,(2004). Cheese an overview. In *Cheese:Chemistry Physics andMicrobiology*, general aspects, third edition, 1: pp.1-8.

Fredot E, (2006).Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Tec et Doc, Lavoisier, 25 :397 p.

G

Gaillard J L, (2007).Milk clotting activity of enzyme extracts from. Synflower and albizia seeds, speeds, and specific. Hydrolysis bovin k casien.Int.Dairy J,17 : pp .816-825.

Gast M., Maubois J L. et Adda J, (1969). Le lait et les produits laitiers en Ahaggar. Centre Rech. Anthropol. Prehist. Ethno., Paris, F, p.71.

Gastaldi E., Lagaude A et Tarodo de la Fuente B, (1996). Micellar transition state in casein between ph 5,5 and 6,0 .*J.Foodsci*, 61 : pp.1-7.

Gastaldi E., Pelle Grini O., Lagaud A et Tarodo de la Funete B, (1994). Function of added calcium in acid milk coagulation .*J.Foodsci*, 59 : pp.310-320.

Ghdier A., Arwa Z, (2007).étude des caractéristiques physico- chimique,biochimique et bactériologique du lait de chamelle dans la région d'El oued-mémoire docteur vétérinaire, p.94.

Ghozlane F et Yakhlef H., Ziki B, (2006). Performances zootechniques et caractérisation des élevages bovins laitiers dans la région de Annaba (Algérie). Renc. Reche. Ruminants, 2006 /13 : p. 386.

Great Y et Brul G, (1993). Les équilibres minéraux du lait : influence de ph et de la force ionique. Lait, 73 : pp.51-60.

Gredaal , (2002). Aperçu sur les populations bovines d'Algérie.

Green M L et Grandison A S, (1993). Secondary (nonenzymatic) phase of rennet coagulation and postcoagulation phenomena, In Fox P .F. (Ed), *Cheese: Chemistry, physics and microbiology*, Vol 1 general aspects, Chapman and Hall, London, pp. 101-140.

Guiraud J, (1998). Microbiologie alimentaire. Edition Dunod, Paris, pp.136-137.

H

Hallal A, (2001). Fromages traditionnels algérien. Quel avenir ? Revue agroligne n° 14, Avril- Mai.

Références Bibliographiques

Hamdy A et Edelsten D, (1970). Some factors affecting the coagulation strenghts of three differents microbial rennets. *Milchwissenschaft*, 25 : pp.450-453.

Harbutt J, (2010). Le grand livre de fromage. Edition Milan, 352 p.

Haroun B, (2012). Laleye S., Chahra L.C.S., Farida M-M., Saliha S.A., & Abderrahmane M. Coagulation of camel milk using dromedary gastric enzymes as a substitute of the commercial rennet. *American Journal of Food Technology*, 7 : pp. 409-419.

Holme S., Pegler H S, (1966). The book of goat. Ninth edition, The bazaar, Exchange and Mart, LTD, p. 255.

Horboe M., Andersen P M Foltmann B, (1974). The activation of bovine pepsinogene. *The journal of biological chemistry*, 249 : pp. 4487-4491.

Horri K., Dahane A et Maatoug M, (2015). Problématique Du Développement Des Industries Agroalimentaires En Algérie. Laboratoire d'Agro Biotechnologie et de Nutrition en Zones Semi Arides Université de Tiaret, Algérie, p .216.

Houmani M, (1999). Situation alimentaire du bétail en Algérie. INRA, 4 : pp. 35-45

I

I.D.F, (1990). Milk collection in warm developing countries. Int. Dairy Federation, Special issue no 9002, Brussels, B, pp. 1-148.

J

Janhoj T et Qvist K B, (2010). The Formation of Cheese Curd; In *Technology of Cheesemaking*. 2nd ed, Law, B, A, Tammie, A,Y, Eds, Wiley-blackwell: oxford,UK, pp. 98-129.

Jardali Z, (1988). Contribution a l'etude de la composition du lait de dromadaire. Dipl. Etude Approf, Inst. National Polytech., Vandoeuvre-les-Nancy, F, pp.1-88.

Jardali Z, (1994). Comparaison de la composition en caséines et de l'aptitude fromagère du lait de vache et du lait de dromadaire. Thèse de Doctorat Vandoeuvre-lès-Nancy,France.

Jean C et Dijon C, (1993). Au fil du lait .ISBN 2-86621- pp.172-3.

Jeantet R., Croguennec., Schuck P et Brule G, (2006). Science des aliments. *Vol 2, Technologies des produits alimentaires, Tec & Doc, Lavoisier*, Paris, p. 456.

K

Kappeler S., Farah Z et Puhan Z, (1998). Sequence analysis of Camel us dromedaries milk caseins. *Journal of Dairy Research*, 65: pp.206-222.

Kappeler S., Farah Z et Puhan Z, (2003). 5´-Flanking regions of camel milk genes are highly similar to homologue regions of other species and can be divided into two distinct groups. *Journal of Dairy Science*, 86: pp. 498-508.

Kappeler S R., Van den Brink H J M et Rahbek-Nielsen H, (2006). Characterization of recombinant camel chymosin reveals superior properties for the coagulation of bovine and camel milk. *Biochemical and Biophysical Research Communications* , 342 : pp. 647-654.

Kayagema T et Takahashi K, (1976). Pepsinogene and pepsin from gastric mucosa of,japanese monkey. *Journal of Biochemistry*, 79 : pp .455-468.

Koga D et Hayashi K , (1976). Activation process of pepsinogen. *Journal of Biochemistry*, 79 : pp. 549-558.

Konuspayeva G., Camier B., Gaucheron F et Faye B , (2014).Some parameters to process camel milk into cheese. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26 : pp. 354–358.

Kowalchyke A W et Olson N F, (1977). Effect of ph and temperatur on the secondry phase of milk clotting by rennet, *J. Dairy sci*, 60 : pp.1256-1259.

L

Lahsaoui S, (2009). Etude du Procédé de Fabrication du Fromage Traditionnel *Klila*. Mémoire d'Ingénieur en Agronomie. Fahloul, D. Université de Batna. Algérie, 72p.

Lambert J C, (1988). Village milk processing. Etude F.A.O., Production Sante Animales., Roma, I, no 69 : pp .1-69.

Lamontagne M., Champagne C P., Ausseur L, (2002). Chapitre2 : microbiologie du lait dans : Science et technologie du lait. Edition : Canada, pp.75-141.

Law B A et Tamime A Y, (2010). Technology of cheesemaking. seconde, editor: John Wiley & Sons. London, UK.

Le jaouen J C, (1993).*Guide national des bonnes pratiques en production fromagère fermière*. Paris,1è éd.: Institut de l'élevage, pp.145-154 .

Leksir C et Chemmam M, (2015). Contribution à la caractérisation du *klila*, un fromage traditionnel de l'est de l'Algérie. *Livestock Research for Rural Development*. 27 (5).

Références Bibliographiques

Lemouchi L, (2008). Le fromage traditionnel bouhezza : enquête dans la wilaya de Tébessa et suivie de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de deux fabrications. Mémoire d'ingénieur, INATAA, Constantine, Algérie, p 65.

Lornete B E ., BrutiC B et Caffini N O, (2004). Purification and Caracterization of a milk clotting asprticiprotéinases from globe artichoke. (Cynarascolyms. L).J. Agric, Food, chem, 52 : pp. 8182-8198.

Low Y H., Agboola S., Zaho H and LIM M y, (2006). Clottingandproteolytic of plant coagulants in regular and ultrafiltredbovin skim milk. Int.Dairy. J, 16 : pp.335-343.

Lucey J K , (2002). Rennet coagulation of milk; in : « Encyclopedia of Dairy Science ». Elsevier, New York , p.41-83.

Lucey J L et Fox P F, (1993).Importance of calcium and phosphate in cheese manufacture: a review. *Journal of Dairy Science*, 76 : pp .1714-1724.

M

Madani T et Mouffok C, (2008). Production laitière et performances de reproduction des vaches Montbéliardes en région semi-aride algérienne. Revue *Elevage et médecine vétérinaire despaystropicaux*:pp.61-72.http://remvt.cirad.fr/cd/derniers_num/2008/EMVT08_097_107.pdf.

Madjour A, (2014). Etude comparative des caractéristique physico-chimiques du lait collecté à partir des chamelles (camelus dramadairius) conduites selon deux systèmes d'élevage (extensif et semi-intensif). Thèse magister en biologie. Biochimie appliquée, p.87.

MADR 2004, (Ministère de l'agriculture et du développement rural ,Rapport sur la filière lait en Algérie, p .24.

MADR , 2007(Ministère de l'agriculture et du développement rural).Statistiques agricoles, séries A et B.

Mahamedi AE, (2015). Etude des qualités: hygiénique, physicochimique et microbiologique des ferments et des beurres traditionnels destinés à la consommation dans différentes régions d'Algérie. Mémoire de Magister en Biologie .Benlahcen K. Université d'Oran. Algérie,p.111.

Mahaut M., Jeantet R et Brule G, (2000). Initiation à la technologie fromagère. Techniques et documentation Lavoisier. Paris,p. 194.

Mahaut M., Jeantet R., Schuck P et Brute G, (2000). *Les produits d'industriels laitiers*. Ed. tec et doc, Lavoisier, Paris, p.187.

Références Bibliographiques

- Mahaut M., Romain et Gerard B, (2000).** Initiation à la technologie fromagère, Edition Tec et Doc, Lavoisier, p.173.
- Mahaut Michel., Romain Jeantet et Gérard Brulé, (2000).** Initiation à la technologie fromagère, Lavoisier Tec & Doc , p .194.
- Mahut M., Brule G et Romain J, (2000).** Initiation a la technologie fromagère . Techniques et documentation Lavoisier, 244 p.
- Makhlouf M et Montaigne E, (2016).** La dynamique du marché mondial des produits laitiers. Livestock Research for Rural Development, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, 28 (10): pp.1-11.
- MAP (Ministère de l'agriculture et de la pêche France), 1994.** Arrêté ministériel du 30 mars Critères microbiologiques auxquels doivent satisfaire les laits de consommation et les produits à base de lait lors de leur mise sur le marché. *Journal officiel* du 21 avril 1994, 5883.
- Mauhaut M., Jeantet R et Brule G, (2005).** Initiation à la technologie fromagère.Tec. &.Doc, paris, France, p. 1-21.
- McMahon D J., Rdchardrdson G H et browen R J, (1984).**Enzymmic milk coagulation rol of equation involving coagulation time and curd firmness in describing coagulation. j. dairy sci, 67, pp.1185-1193.
- Mehaia M A, (1987c).** Studies on camel milk casein micelles; treatment with soluble and immobilized chymosin. *Milchwissenschaft*, 42 : pp.706-708.
- Mehaia M A, (1993a).** Fresh soft white cheese (Domiaty-Type) from camel milk: composition, yield, and sensory evaluation. *Journal of Dairy Science*, 76, pp.2845-2855.
- Mehaia M A, (1993b).** Composition, yield and organoleptic evaluation of the fresh Domiaty cheese made from a mixture of camel and cow Milk. *Australian Journal of Dairy Technology*, 48 : pp .74-77.
- Mehaia M A, (1994b).** Vitamin C and riboflavin content in camels milk: effects of heat treatments. *Food Chemistry*, 50 : pp .153-155.
- Messaoudi B, (1999).** Point de situation sur l'élevage camelin en Algérie, les premières journées sur la recherche cameline Ouargla, pp. 25-26-27, 13-14
- Mietton B, (1995).** La typologie des fromages, Symposium organisé par la Gouverneurs et le centre de recherche et de développement sur les aliments d'agricultures et Agroalimentaire Canada, octobre, p. 245.

Mietton B, (1995). La typologie des fromages, Symposium organisé par la fondation des Gouverneurs et le centre de recherche et de développement sur les aliments d'agricultures et Agroalimentaire Canada, octobre, p.245.

Mietton B., Desmazeaud M., D E Roissard H et Weber F, (1994). Transformation du lait en fromage; in : « Bactéries lactiques II » Technique et Documentation, Lavoisier, Paris

Mistry V., Brouk M ., Kasperson K et Martin E, (2002). Cheddar cheese from milk of Holstein and Brown Swiss cows. *Milchwissenschaft* ,57(1) : pp.19-23.

Mohamed M A, (1990). On the composition of Somali camel milk. In : Camel milk composition; Thesis : Swedish Univ. of Agr.Sci., Uppsala, S.

Mohamed M A., Larsson-Raznikewicz M et Mohamed M A, (1990). Hard cheese from camel milk. *Milchwissenschaft*, 45, pp.716–718.

Monsallier F., Verdier-Metz I., Chanal J., Delbès C., Gagne G et Montel M C, (2009). Le trayon est-il une source de diversité microbienne du lait ? Journée de Restitution de l'UMT Trèfle ; 03 juin 2009, Aurillac.

Montila A., Balcones E., Olano A et Clavo M M, (1995). Influence of heat treatments on whey protein denaturation and rennet clotting properties of cows and goat's milk. *J .Agric.Food.chem*, 43 : pp.1908-1911.

N

Najera de Renobalesb M et Barrona L J R, (2003). Effects of pH, temperature, CaCl₂ and enzyme concentrations on the rennet-clotting properties of milk : a multifactorial study. *Food Chem*, 80: pp.345-352.

O

Othman S, (2011). Effect of technological treatments on the quality of traditional cheeses [Doctorat thesis]: Fayoum University, p.181.

P

Parente E et Cogan T M, (2004). Starter cultures: general aspects. In: Fox P. F., McSweeney P. L. H., Cogan T.M. et Guinee, T. P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. I. Chapman and Hall, London.

Pauty S, (2019). Fromage: Les secrets d'un bon emballage.

Peri C, (2006). The universe of food quality. *Food quality and preference* 17(1-2):pp.3-8.

Pougheon S et Goursaud G, (2001). Le lait caractéristiques physicochimiques In DEBRY G., *Lait, nutrition et santé*, Tec et Doc, Paris, 6: 566 p.

R

- Ramet J P, (1985).** La fromagerie, les variétés de fromages du bassin méditerranéen. Collection. Production et santé Animales. FAO, Rome, Italie, p.187.
- Ramet J P, (1987).** Production de fromages a partir de lait de chamelle en Tunisie. Rapport mission FAO, FAO, Rome, I, pp. 1-33.
- Ramet J P et El-mayda E, (1984).** Le salage du lait et sa coagulation enzymatique par la presure et la subtilisine. Microbiol., Aliment., Nutrition, 2 : pp. 287-294.
- Ramet J P et Kamoun M, (1988).** Fabrications experimentales de fromages à pâte pressée non cuite à partir de lait de dromadaire. Resultats non publiés.
- Ramet J P, (1984).** Les enzymes coagulantes en fromagerie. In: Le fromage, Ed. Sepaic, Paris,F.
- Ramet J P, (1985).** La fromagerie et les fromages du bassin mediterraneen. Etude FAO, Production et sante animales, FAO, Rome, I, no 48 : pp. 1-187.
- Ramet J P, (1985).** Les aspects technologiques particuliers de la fabrication des fromages sales affines en saumure. Microbiol., Aliment., Nutrition, 3 : pp. 303-313.
- Ramet J P, (1985).** Study of enzymatic coagulation of camel milk in Saudi-Arabia. Mission report FAO, FAO, Rome, I, pp. 1-73.
- Ramet J P, (1989).** L'aptitude fromagère du lait de dromadaire. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 42, pp : 105-111.
- Ramet J P, (1990).** Processing of Dairy Production from Camel Milk. Mission Report, FAO, pp.1-44.
- Ramet J P, (1990).** Processing of dairy products from camel milk in Saudi Arabia. Ission report. FAO, Rome, Italy, p. 44.
- Ramet J P, (1991).** La transformation en fromage du lait de dromadaire. *Revue Mondiale de Zootechnie*, 67 : pp.21-28.
- Ramet J P, (1991).** La transformation en fromages de lait de dromadaire. *Revue Mondiale de Zootechnie*, no 67 : pp.20-28.
- Ramet J P, (1993).** Aptitude à la conservation et à la transformation fromagère du lait de chamelle, pp. 93- 99.
- Ramet J P, (1993).**La technologie des fromages au lait de dromadaire (Camelus-dromedarius). Etude FAO, production et santé animale, 113, Rome.

Références Bibliographiques

- Ramet J P, (1993).**La technologie des fromages au lait de dromadaire (*Camelus dromedarius*). Etude FAO Production et santé animales, No.113 , Rome, Italy,p.118.
- Ramet J P, (1994a).** Les aspects scientifiques et technologiques particuliers de la fabrication de fromage au lait de dromadaire. Actes du Colloque : "Dromadaires et chameaux animaux laitiers". Nouakchott, Mauritanie, 24-26 octobre,
- Ramet J P, (1994b).** Production de fromages à partir de lait de dromadaire en Mauritanie Mission report. FAO, Rome, Italy, p. 60.
- Ramet J P, (2001).** The technology of making cheese from camel milk (*Camelus dromedarius*). Animal Production and Health Paper. FAO, Rome, Italy, No. 113 :70 p.
- Ramet J P, (2003).**Aptitude à la conservation et à la transformation fromagère du lait de chamelle. Actes de l'Atelier International sur : "Lait de chamelle pour l'Afrique". Niamey, Niger, novembre, pp. 5-8.
- Ramet J P., El-Mayda E et Weber F, (1982).** Influence of salt on the enzymatic coagulation of milk. J. Texture Studies, 14 : pp.11-19.
- Randazzo C L., Caggia C et Neviani C L E, (2009).** Application of molecular approaches to study lactic and bacteria in artisanal cheeses. J. Microbiol Methods, 78: pp.1-9.
- Raynal K et Remeuf F, (2000).** Effect of storage at 4 degrees C on the physicochemical and renneting properties of milk: a comparison of caprine, ovine and bovine milks. Journal Dairy Res, 87 (2): pp, 199-207.
- Reumont P, (2009).** Licencié Kinésithérapie, <http://www.medisport.be>.
- Rheotest M, (2010).** Rhéomètre RHEOTEST® RN et viscosimètre à capillaire RHEOTEST® LK – Produits alimentaires et aromatisants. <http://www.rheoest.de/download/nahrungs.fr.pdf>.
- Richard J, (1987).** La microbiologie et l'hygiène du lait dans : Le lait matière première de l'industrie. Edition : Paris codex.
- Richter C., Tanaka T et Yada R Y, (1998).** Mecanism of activation of the gastric aspartic proteinases : pepsinogen, progastricsin and prochymosin. Biochemistry Journal, 335 : pp.481-490.
- Richter C., Tanaka T et Yada R Y, (1998).** Mecanism of activation of the gastric aspartic proteinases : pepsinogen, progastricsin and prochymosin. Biochemistry Journal, 335 : pp.481-490.
- Robinson R K, (1990).** Dairy microbiology : Microbiology of milk ,Vol 1 : pp.1-301.
- Robinson R K, (1990).** Modern dairy technology, Vol 1 : pp. 1-438

Roseiro L B., Barbosa M., Ames J. M and Wilbey R. A, (2003). Chee making with vegetable coagulants – The use of *Cynara L.* for the production of ovine milk cheeses. *Int. J. Dairy Tech*, 56 : pp.76-85.

S

Saliha B H., Louis L C., Farida M M ., Saliha S., Nasma M., Elkhir S O et Abderrahmane M, (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. *Emirates journal of Food and Agriculture*, 23: pp. 301-310.

Sanny C G, Hartsuck J A et Tang G, (1975). Conversion of pepsinogen to pepsin *The Journal of Biological Chemistry*. 250(7) : pp.2635-2639.

Scharma S K., Hill R A and Mittal G S, (1993). Effectif of milk concentration , pH and temperature on aggregation kinetics and coagulation properties of ultrafiltered milk. *Food Research International*, 26 (2):pp.81-87.

Scher J, (1988). Contribution à l'étude de l'influence de la composition des micelles sur la coagulation enzymatique. Thèse Inst. National Polytech., Vandoeuvre-les-Nancy, F, pp.1-211.

Schmid T D G, (1982). Association of caseins and casein micelle structure. In *Developments of Dairy Chemistry-1. Proteins*. Applied Science Publishers, London and New York.

Siboukeur O, (2007). Etude du lait camelin collecte localement : caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques ; aptitudes à la coagulation, thèse de doctorat, institut national agronomique El-Harrach-Algérie, p. 22.

Siboukeur O, (2007). Etude du lait camelin collecte localement : caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques ; aptitudes à la coagulation, thèse de doctorat, institut national agronomique El-Harrach-Algérie, p.22.

Siboukeur O., Mati A et Hesses B, (2005). Amélioration de l'aptitude à la coagulation du lait camelin (*camelus dromedarius*) : utilisation d'extraits enzymatiques coagulants gastriques de dromadaires. *Cahiers Agricultures*, 5 : pp.473-478.

Simois I et Faro C, (2004). Stucture and function of plant aspartiqueprotiénases. *Eur.J. Biochem* 271 : pp. 2067-2075.

Solorza F J et Bell A E, (1998).The effect of calcuim addition on the rheological properties of a soft cheese at various stages of manufacture. *Int. J. Dairy. Tech*, 51 : pp.23-29.

Souki H, (2009). Les stratégies industrielles et la construction de la filière lait en Algérie : portée et limites. Faculté de sciences de gestion Revue Campus N°15, pp.5-6.

Sylvie M, (2004).guide d'appui technique pour l'accident de fromagerie à la ferme /defauts d'acidification.45: pp.10-21.

T

Tahar K, (2019).Salon national du fromage artisanal : Valoriser les produits du terroirlaitiers. Alger, Algérie, (Série statistiques). <http://www.elmoudjahid.com>

Tamni A, (2018). Production national de lait, [www.aps.dz>economie](http://www.aps.dz/economie).

Thapon J L, (2005). Science et technologie du lait .Agro campus-RENNE, France ,14 :77 p.

Thieulin G et Vuillaume R, (1967). Eléments pratiques d'analyse et d'inspection du lait de produits laitiers et des œufs-revue générale des questions laitières 48 avenue, Président Wilson, Paris , 388 p.

Touati K, (1990). Contribution à l'étude microbiologique et physico-chimique d'un fromage artisanal algérien "*la klila*". Mémoire d'ingénieur, INATAA, Constantine, Algérie, p. 83.

V

Vignola C, (2002). Science et technologie du lait, chapitre 06 : le fromage : transformation de lait. Ecole polytechnique de Montréal, pp. 350-371.

Vignola C, (2002). Sciences et technologies du lait, transformation de lait. *Ecole Polytechnique de Montréal*, p. 599.

Vignola C L, (2002). Science et technologie du lait : Transformation du lait – Montréal : Presse internationale polytechnique, 600 p.

Vignola C L, (2010). Science et technologie du lait, transformation du lait 2^{ème} édition ,600 p.

Visser S., Van Rooyen P J et Slangen C J, (1980). Peptide substrates for chymosin (renin). Isolation and substrate behaviour of two trypticfragementy of bovine k-casein, *Eur. J. Biochim* ,108 : pp.415-421.

Vierling E, (2003). Aliment et boisson-Filière et produit, 2ème édition, doin éditeurs, centre régional de la documentation pédagogique d'Aquitaine1, 270 p.

W

Wangoh J., Farah Z et Puhan Z, (1993). Extraction of rennet and its comparison with calf rennet extract. *Milchwissenschaft*, 48 : pp. 322-325.

Webb B H., Johnson R H et Alford J A, (1974). *Fundamentals of Dairy chemistry*. 2ème éd, AVI, Westport, CT, USA.

Wilson R T, (1984). The Camel, Longman Group Ltd., London, G.B, pp.1-223.

Y

Yagil R et Etzion Z, (1980). Effect of drought conditions on the quality of camel milk. *J. DairyRes*, 47: pp.159-166.

Yagil R, (1982). Camels and camel milk. FAO Animal Production and Health Paper no 26, FAO, Rome, I, pp.1-69.

Yakhlef H, (1989). La production extensive de lait en Algérie. Option Méditerranéennes Série Séminaires (6) :pp. 135-139.

Yakhlef H, (1989). La production extensive de lait en Algérie .Montpellier, France, Ciheam, pp.135-139. (Options méditerranéennes, Série séminaire n° 6). <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a06/CI000475.pdf>

Yildiz F, (2010). Developpement and manufacture of yogurts and otherdairy products, CRC Press Taylor &Francis Group, USA, p. 435.

Yves S, (1973). Fromages de chèvre. Le Lait, INRA Editions, page 309-316.

Z

Zaidi O, (2002).Caractérisation du fromage traditionnel bouhezza; caratirisation physicochimique et microbiologique. Mémoire d'ingénieur INATAA. Constantine, Algérie, P .51.

Zhao D B., Bai Y H et Niua Y W, (2015). Composition and characteristics of Chinese Bactrian camel milk. *Small Ruminant Research*, 127: pp. 58-67.

SITE WEB :

[1] : <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd24/1/abde24022.htmL>. (Consulté le 09/08/2020)

[2] : www.fromagesdechèvres.com, (Consulté le 27/07/2020).

[3] : <https://www.restaurant-formaticus.fr/connaissez-8-familles-de-fromages>.

[4] : http://www.C:\Users\acer\Desktop\mem\Fromage artisanal, laitier, fermier et industriel, quelle est la différence _ _ La Boite du Fromager _ vente de Fromage par abonnement.htm. (Consulté le 03/07/2020).

[5] : <http://www.etudier.com> Manuel de transformation du lait la chimie du lait. Etude.com (Consulté le 01 /05/ 2020).

[6] : <http://www.gembloux.ulg.ac.be/qualite-et-securite-des-produitswww.cqpf.be> agroalimentaires/Cellule qualité produit fermier CQPF. (Consulté le 28 /05/ 2020).

[7] : www.azaquar.com - site internet sur les Sciences et Techniques des Aliments. (Consulté le 8 /05/ 2020).

[8] : www.fromagesdechevre.com. Consulté le (15 /06/ 2020).

[9] : www.inra.fr - La fabrication du fromage - Étude sur la flore microbienne des fromages par Catherine Foucaud-Scheunemann de la Mission Communication. (Consulté le 13 /04/ 2020).

[10] : <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/fr/>. (Consulté le 03 /06/ 2020).

[11] : <https://www.laboitedufromager.com/fromages-au-lait-de-chevre-brebis-meilleurs-sante-lait-de-vache/> (Consulté le 17 /06/ 2020).

[12] : <https://www.cnews.fr>. (Consulté le 11 /05/ 2020).