

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 8 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



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la Vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité/Option: Production et Technologie Laitière
Département: Ecologie et Génie de l'Environnement

Thème

Essais de fabrication artisanale de fromages fermiers en milieu rural (lait de Chèvres)

Présenté par :

BENAMARA Radhia
BENAYACHE Wefa
ZOUAIDIA Ahlem

Devant la commission composé de :

OUMEDDOUR Abdelkader	Président	Université de Guelma
CHEMMAM Mabrouk	Encadreur	Université de Guelma
BOUSBIA Aissam	Examinateur	Université de Guelma
BENYOUNES Abdelaziz	Membre	Université de Guelma
LEKSIR Choubaila	Membre	Université e Guelma
SLIMANI Atika	Membre	Université de Guelma

Juin 2017

RESUME

L'élevage caprin par son importance numérique et son rôle socio-économique occupe une place de choix au sein des systèmes de production agricoles dans les zones montagneuses. Le lait de chèvre essentiellement destiné à l'autoconsommation, est devenu de plus en plus mis au niveau du commerce et à un prix dépassant le double de celui du lait de vache.

Le présent travail se propose d'étudier les différentes modalités et étapes liées à la production artisanale du fromage de chèvre. Les essais ont été réalisés au niveau de la wilaya de Guelma dans le centre de formation professionnel Ben Chettah Messaoud à Ain Makhoulouf pour apprendre et maîtriser les techniques de fabrication de fromage. Pour apprécier nos travaux, nous avons testé les qualités sensorielles des produits obtenus sur une population d'étudiants de l'université de Guelma et avoir des jugements sur le fromage préparé.

SUMMARY

The caprine breeding by its digital importance and its socio-economic role occupies a choice place within the agricultural systems of production in the mountainous areas.

The goat milk primarily intended for subsistence farming, became increasingly put at the level of the trade and a price exceeding the double of that of the cow's milk.

This work proposes to study the various methods and stages related to the artisanal production of goat's cheese. The tests were carried out on the level of the wilaya of Guelma in the professional training centre Ben Chettah Messaoud in Ain Makhoulouf to learn and control the techniques of manufacturing of cheese. To appreciate our work, we tested sensory qualities of the products got near students of the university of Guelma to have judgements on prepared cheese.

ملخص

تحتل تربية الماعز مكانة خاصة في المجتمع الجزائري من حيث التعداد. وتبرز هذه الأهمية في الأنظمة الزراعية الخاصة بالمناطق الجبلية حيث يستهلك فيها الحليب المنتج استهلاكاً ذاتياً ولكن مع التزايد في الطلب ارتفع سعر اللتر الواحد ليبلغ ضعف حليب البقر.

يقترح هذا العمل لدراسة مختلف الطرق و مراحل صناعة جبن حليب الماعز بالطريقة التقليدية.

وفيت هذه الاختبارات على مستوى ولاية قالمة في مركز التكوين المهني "شطاح مسعود"

المتواجد بعين مخلوف. والهدف من هذا التريص هو ضبط التقنية الصناعية للجبن كما قام نخبة

من الطلبة بعملية تذوق للمنتوج المتحصل عليه وتقييمه.

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

A nos frères et sœurs pour leur soutien moral

Nous éprouvons une grande reconnaissance envers notre agréable promoteur « Pr CHEMMAM M. » pour ses précieux conseils, sa disponibilité, ses encouragements, que dieu le garde et le bénisse, nous lui exprimons ici notre respect

Nos remerciements s'adressent également aux membres de la commission MM : Bousbia A, Oumeddour AK, Benyounes A, Leksir C, Slimani A, pour avoir accepté d'évaluer ce travail et de nous avoir honorés par leurs présences.

Nous tenons à remercier du fond du cœur nos enseignants qui nous ont accompagnés durant notre parcours universitaire

Nous remercions notre collègue Doctorant Tadjine dahman.

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.

Un grand merci aux responsables du centre de formation professionnel de Ain Makhlouf pour nos avoir accueilli et facilité notre étude

LISTE DES PHOTOS

PHOTO	TITRE	PAGE
01	Fromages à pâte fraîche.	17
02	Fromages à pâte molle et croûte naturelle.	18
03	Fromages à pâte molle et croûte lavée.	19
04	Fromages à pâte molle et croûte fleurie.	20
05	Fromages à pâte pressée non cuite.	20
06	Fromages à pâte pressée cuite.	21
07	Fromages à pâte persillée.	23
08	Fromages de chèvre.	24
09	Fromages fondus.	25
10	Tank de stockage.	39
11	Filtration de lait.	39
12	La Pasteurisation.	40
13	Refroidissement.	41
14	L'ajout de petite suisse.	42
15	L'ajout de présure.	42
16	Le caillage.	43
17	Le tranchage.	43
18	Le tranchage.	43
19	Brassage.	44
20	L'élimination de lactosérum.	44
21	Faisselles.	45
22	Le moulage.	45
23	L'égouttage.	46
24	Le salage.	48
25	Variantes de consommation de chèvre proposées à la dégustation.	51
26	Dégustation	52
27	Dégustation	52

TABLE DES MATIERES

RESUMES : FRANÇAIS, ARABE, ANGLAIS

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES TABLEAUX

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION

CHAPITER I : GENERALITES SUR LE LAIT

1.1. Définitions du lait	2
1.1.1. Le lait de chèvre	3
1.1.2. Importance du lait de chèvre	3
1.1.3. Principales races caprines algériennes	4
1.2. Caractéristiques du lait de chèvre	5
1.2.1. Caractéristiques organoleptiques	5
1.2.2. Caractéristiques physico-chimiques	5
1.2.2.1. Energie	5
1.2.2.2. Densité	5
1.2.2.3. Point de congélation	6
1.2.2.4. PH	6
1.2.2.5. Acidité titrable	6
1.2.2.6. Tension superficielle	6
1.2.2.7. Conductivité électrique	7
1.2.2.8. Viscosité	7
1.2.3. Caractéristiques microbiologiques	7
1.2.3.1. La flore microbienne du lait	7
a. Flore originelle ou indigène	8

Sommaire

b. Flore de contamination	9
c. Levures et moisissures	10
c.1. Les Levures	10
c.2. Les moisissures	10
1.3. Compositions du lait de chèvre	10
1.3.1. L'eau	11
1.3.2. La matière grasse	11
1.3.3. Les protéines	12
1.3.3.1. Les caséines	12
1.3.4. Glucides	14
1.3.5. Les Vitamines	14
1.3.6. Les Minéraux	14
1.3.7. Les enzymes	15
CHAPITER II : LE FROMAGE	
2.1. Définition	16
2.2. Les grandes familles de fromage	16
2.2.1. Fromages frais	16
2.2.2. Fromages à pâte molle et croûte fleurie	17
2.2.3. Fromages à pâte molle et croûte lavée	18
2.2.4. Fromages à pâte molle et croûte naturelle	19
2.2.5. Fromages à pâte pressée non cuite	20
2.2.6. Fromages à pâte pressée cuite	21
2.2.7. Fromages à pâte persillée	22
2.2.8. Fromages de chèvre	23
2.2.9. Fromages fondus	24
2.3. La fabrication de fromage	25
2.3.1. Techniques de Fabrication	25
2.3.1.1. La fabrication artisanale	25
2.3.1.2. Le fromage fermier	26
2.3.1.3. Les fromages l'industrielles	27
2.3.2. Les étapes de fabrication	27
2.3.2.1. Traitement thermique	27

Sommaire

2.3.2.2. La coagulation	28
2.3.2.3. L'égouttage	32
2.3.2.4. Le moulage	33
2.3.2.5. Le salage	33
2.3.2.6. L'affinage	34

PARTIE EXPERIMENTALE

INTRODUCTION	36
I. Matériels et méthodes	37
1.1. Principales étapes du processus de fabrication du fromage	37
1.1.1. Traitements des laits	37
1.1.2. Ramassage et stockage	38
1.1.3. La filtration	39
1.1.4. Pasteurisation	40
1.1.5. Refroidissement	40
1.1.6. La Coagulation	40
1.1.7. Tranchage et élimination du lactosérum	43
1.1.8. Le moulage	44
1.1.9. L'égouttage	45
1.1.10. Le Salage	46
1.2. Autres étapes	47
1.2.1. Le pressage	47
1.2.2. L'affinage	48
1.3. Dégustation du fromage frais	50
1.4. Traitement statistique des résultats d'appréciation sensorielle	51
1.4.1. Etude descriptive : GOUT	52
1.4.2. Etude descriptive : COULEUR	52
1.4.3. Etude descriptive : ODEUR	52
1.4.4. Etude descriptive : TEXTURE	52
1.4.5. Etude descriptive : ARRIERE-GOUT	52
1.5. Discussion	52
Conclusions	54

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU	TITRE	PAGE
01	Caractéristiques physico-chimiques des laits	7
02	Composants de lait de différentes espèces (Alais, 1984 ; Amiot et al., 2002).	11
03	Caractéristiques des caséines caprines et bovines (Martin, 1996).	13
04	Les mécanismes de la coagulation Centre D'Enseignement Laitier Par Correspondance (2000) . - Lexique. Ecole Nationale d'Industrie Laitière et des Industries Agro-Alimentaires. Surgères : 99-105p.	30
05	Caractéristiques de durée de fabrication pour les différentes catégories de fromages (Ramet, 1985).	35
06	Les trois variantes proposées dans le teste de dégustation.	51
07	Etude descriptive : GOUT	53
08	Etude descriptive : COULEUR.	53
09	Etude descriptive : ODEUR	53
10	Etude descriptive : TEXTURE	53
11	Etude descriptive : ARRIERE-GOUT	53

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU	TITRE	PAGE
01	Caractéristiques physico-chimiques des laits	7
02	Composants de lait de différentes espèces (Alais, 1984 ; Amiot et al., 2002).	11
03	Caractéristiques des caséines caprines et bovines (Martin, 1996).	13
04	Les mécanismes de la coagulation Centre D'Enseignement Laitier Par Correspondance (2000) . - Lexique. Ecole Nationale d'Industrie Laitière et des Industries Agro-Alimentaires. Surgères : 99-105p.	30
05	Caractéristiques de durée de fabrication pour les différentes catégories de fromages (Ramet, 1985).	35
06	Les trois variantes proposées dans le teste de dégustation.	51
07	Etude descriptive : GOUT	53
08	Etude descriptive : COULEUR.	53
09	Etude descriptive : ODEUR	53
10	Etude descriptive : TEXTURE	53
11	Etude descriptive : ARRIERE-GOUT	53

INTRODUCTION

L'Algérie est un pays de tradition laitière. Le lait et les produits laitiers occupent une place prépondérante dans la ration alimentaire des algériens ils apportent la plus grosse part de protéines d'origine animale. En regard de son contenu en énergie métabolisable, le lait présente une forte concentration en nutriments. Mais le lait n'a pas seulement un intérêt alimentaire, il occupe une place centrale dans l'imaginaire des algériens. Ce n'est d'ailleurs pas par hasard qu'il est offert comme signe de bienvenue, traduisant, ainsi par l'acte notre tradition d'hospitalité.

En Algérie, il y a une spécialisation des zones Agro-écologiques en matière d'élevage. Les parcours steppiques sont le domaine de prédilection de l'élevage ovin et caprin avec plus de 24 millions de têtes qui y vivent entraînant une surexploitation de ces pâturages. L'élevage caprin vient en seconde position avec 4,7 millions de têtes, c'est-à-dire 14% comprenant 50% de chèvres. Il se trouve concentré essentiellement dans les zones montagneuses, les hauts plateaux et les régions arides (**Mami, 2013**).

L'exploitation de l'élevage caprine a été développée rapidement dans les dernières années, à cause de l'importance de lait chèvre qui est considéré comme étant l'un des plus complets et des mieux équilibrés parmi les laits (**Amroun et Zerrouki, 2011**). Cette aliments convient pour les différentes tranches d'âge où il peut être consommé tel quel à l'état frais ou transformé, notamment en fromage (**Moualek, 2011**).

Le fromage qui entre le plus dans l'alimentation de l'homme adulte. En Algérie, les fromages de brebis et de chèvre sont associés aux notions de traditions et de typicité. Ils tiennent une place importante sur les marchés locaux, vendus essentiellement à l'état frais salé ou demi -salé ; ou sont autoconsommés.

La transformation du lait en fromage comporte trois étapes principales : la coagulation, l'égouttage et l'affinage (**Evette, 1975**).

Depuis longtemps la fabrication de fromage s'appuie sur simple matériel avec des quantités de lait faible et leur consommation est restée familiale, avec le développement technologique la fabrication prennent une autre tournure alors l'équipement devient sophistiqués et la production augmenté selon les besoins.

Malgré tout ça le fromage traditionnel est préférable parce que fabriqué à la main et avec beaucoup d'attention et son gout est très spéciale.

I.GENERALITES SUR LE LAIT

Le lait est un liquide physiologique complexe sécrété par les mammifères et destiné à l'alimentation humaine à cause de sa richesse en nutriments spéciale pour la croissance de corps.

Le lait est l'aliment de choix du nourrisson non seulement par ce qu'il apporte l'énergie et les éléments indispensables à sa croissance mais aussi par ce qu'il contient des prébiotiques et des éléments aux propriétés immunostimulantes qui aident les jeunes à s'adapter à son nouvel environnement. Aliment riche en vitamines et en minéraux notamment en calcium (**Mahaut et al., 2000**). Évoquent que le lait est reconnu depuis longtemps comme étant un aliment bon pour la santé. Source de calcium et de protéines. Les laits sont seuls aliments complets qui existent, chacun d'eux étant adapté à une race, le lait est une source importante de protéines de très bonne qualité, (**Pougheon et Goursaud, 2001**) à classer le lait selon leurs principaux constituants.

Les laits des différentes familles de mammifères ont dans l'ensemble des compositions semblables. Toutefois, les proportions des principaux constituants peuvent varier de façon notable d'une famille à l'autre, et au sein d'une même famille d'une espèce à l'autre. En revanche, les variations sont moindres d'une race à l'autre au sein d'une même espèce.

1.1. Définition du lait

Le lait a été défini, lors du **Congrès International de la répression des fraudes** qui s'est tenu à **Paris** en **1909**, comme : "le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière, bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum".

Le lait est synthétisé à partir des éléments puisés dans le sang au niveau des cellules particulières tapissant les acini constitutifs de la glande mammaire. Après avoir accumulé les matériaux précurseurs, les parois des cellules des acini, gonflées, subissent une lyse ; leur contenu est alors évacué dans la cavité des acini pour former le lait qui est retenu dans la mamelle au cours de la période qui sépare deux traites. Lorsque, dans la glande, la pression du lait atteint un certain seuil, la sécrétion s'arrête et une résorption des éléments élaborés commence. En particulier le lactose, la caséine, la matière grasse diminuent au profit des chlorures conduisant au lait de rétention.

Etude bibliographique

La sécrétion lactée dépend de mécanismes hormonaux complexes dont l'équilibre est subtil. Le déclenchement de la sécrétion est dû à la disparition de la folliculine qui inhibe la sécrétion par l'hypophyse de prolactine. Le maintien de la production est lié à l'élaboration continue de prolactine, l'évacuation du lait hors de la mamelle résulte d'un acte réflexe dû à une excitation nerveuse gagnant l'hypophyse qui sécrète alors l'ocytocine.

La production du lait n'est pas régulière, les principales causes de variations sont liées à la race et à l'espèce, mais elles dépendent également de facteurs individuels liés à l'état sanitaire, de l'alimentation, de l'âge de l'animal.

1.1.1. Le lait de chèvre

Le lait de chèvre est un liquide blanc ou mât, opaque d'une saveur peu sucrée dont l'odeur (chèvre) lorsqu'il est récolté et conservé proprement, est peu marquée voire inexistante. Il donne une impression bien homogène c'est-à-dire ni trop fluide ni trop épais (Coulin et Rock, 2003 ; Bosset *et al.*, 2000).

Du point de vue de ces qualités nutritives et digestives, le lait de chèvre possède une valeur de premier ordre. Il est moins allergène et subit plus lentement la fermentation lactique que celui de la vache. Ces qualités diététiques sont la conséquence d'un certain nombre de caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques (Bosset *et al.*, 2000 ; Montel, 2003).

1.1.2. Importance du lait de chèvre

Il y a autant de laits différents qu'il existe de mammifères au monde (Alais, 1984) et le lait de chèvre peut constituer une profitable alternative au lait de vache (Ljutovac *et al.*, 2008).

Les produits au lait de chèvre suscitent l'intérêt des consommateurs. Du fait qu'ils accomplissent l'une des trois demandes suivantes : la consommation ménagère (la chèvre est la vache du pauvre). Un intérêt particulier est donné aux produits à base de lait de chèvre spécialement le fromage et le yaourt vu leurs goût caractéristique ; leurs propriétés nutritives particulières et l'augmentation de leurs rentabilité et le troisième aspect de la demande qui dérive de l'affliction des personnes présentant des allergies au lait de vache (Haenlein, 2004).

Etude bibliographique

Le lait de chèvre est un aliment de grande importance à l'échelle mondiale. Il contribue grandement à l'alimentation humaine dans les pays en voie de développement (**Wehrmüller et Ryffel, 2007**).

Selon la **FAO (2006)**, l'Algérie est classée en 15^{ème} place dans la production mondiale de lait de chèvre avec 160000 tonnes.

1.1.3. Principales races caprines algériennes

L'espèce caprine se présente en Algérie sous la forme d'une mosaïque de populations très variées appartenant toutes à des populations traditionnelles, elle renferme 05 types majeurs : El-Arbia, El-Makatia, la chèvre du M'zab, la chèvre Kabyle (naine de Kabylie), la montagnarde des Aurès (**Tejani, 2010**).

- **La chèvre Arbia**

Elle se localise en zone steppique ou semi steppique, cet animal est parfaitement adapté aux contraintes des parcours et semble posséder de bonnes aptitudes de reproduction, elle est saisonnée. La chèvre est principalement élevée pour la viande de chevreaux même si son lait, produit en faible quantité, représente un intérêt indéniable (**Tejani, 2010**).

- **La Makatia**

Aux caractères assez hétérogènes, robe polychrome aux poils courts, oreilles tombantes, elle semble être le produit de multiples croisements réalisés à partir de races méditerranéennes. Elle est peu résistante sur parcours et son intérêt réside dans sa production laitière et son adaptation à l'environnement. Ces animaux sont également saisonnés (**Tejani, 2010**).

- **La chèvre du m'zab**

Elle se retrouve surtout dans le sud et serait un noyau de l'Ombrine qui est une bonne laitière et très fertile. Cette race est très appréciée dans l'est méditerranéen pour ses capacités laitières (**Tejani, 2010**).

- **La chèvre kabyle**

C'est st une chèvre autochtone qui peuple les massifs montagneux de la Kabylie et de l'Aurès. Elle est robuste et massive, de petite taille, de couleur noirâtre ou blanchâtre avec de longs poils, c'est une mauvaise laitière qui est appréciée pour sa viande (**Tejani, 2010**).

1.2. Caractéristiques du lait de chèvre

1.2.1. Caractéristiques organoleptiques

- **Couleur** : blanc mat, contrairement au lait de vache, le lait de chèvre ne contient pas de β -Carotène.
- **Odeur** : fraîchement trait, le lait de chèvre à une odeur assez neutre parfois en fin de lactation, il a une odeur dite Caprique.
- **Saveur** : le lait de chèvre est douceâtre agréable particulièrement au lait à l'état fraîche possède une saveur plutôt neutre ; par contre, après stockage au froid il acquiert une saveur caractéristique.
- **Aspect** : le lait de chèvre généralement est propre, sans grumeaux.

1.2.2. Caractéristiques physico-chimiques

1.2.2.1. Energie

L'apport en énergie d'un litre de lait différencie les espèces animales considérées et est susceptible de larges variations à l'intérieur d'une même espèce (cela étant, bien entendu, lié à la teneur en lipides du lait). L'apport énergétique est en moyenne de 1100 kcal/litre pour celui de brebis et plus faible pour la chèvre de 600 à 650 kcal/litre (**Tableau 1**) (1).

1.2.2.2. Densité

La densité d'un liquide est une grandeur sans dimension qui désigne le rapport entre la masse d'un volume donné du liquide considéré et la masse du même volume d'eau. (**Vierling, 2008**). La densité du lait de chèvre est relativement stable (**Veinoglou et al., 1982**). La densité moyenne est de 1.030 pour la chèvre (**Tableau1**) qui est comparable à celle du lait de vache : 1.030 à 1.035. Elle varié en fonction de la saison, du stade physiologique et de la race. La densité est sous la dépendance de deux facteurs

Etude bibliographique

principaux : la teneur en matière sèche et celle de la matière grasse, elle diminue avec l'augmentation du taux butyreux. L'addition d'eau diminue la densité.

1.2.2.3. Point de congélation

Il est utilisé pour la détection du mouillage du lait par cryoscopie, uniquement sur du lait frais non acidifié. Le point de congélation du lait de chèvre est plus bas que celui du lait de vache, respectivement: $-0,583^{\circ}\text{C}$ et $-0,555^{\circ}\text{C}$ (**Ansartm, 1995**). Le mouillage élève le point de congélation vers zéro, ainsi un point de congélation de moins $-0,501^{\circ}\text{C}$ indique un mouillage de 7,20% ; un point de $-0,270^{\circ}\text{C}$ un mouillage de 20%.

1.2.2.4. Le pH

Le ph permet de déterminer « l'acidité actuelle» du lait, qui peut être mesurée soit par le pH-mètre soit par le papier pH. Un lait normal de chèvre à la sortie de la mamelle est proche de la neutralité et a un ph de 6,5 qui peut varier jusqu'à 6,7 (**Tableau 1**). Toute valeur située en dehors de cet intervalle traduit une anomalie. Il en résulte la détection des mammites par simple mesure du pH ; tout lait mammitieux étant alcalin ($\text{pH}>7$). L'alcalinité est due à l'albumine et aux caséines des cellules somatiques du tissu mammaire (**Bosset *et al.*, 2000**).

1.2.2.5. Acidité titrable

L'acidité de titration indique le taux d'acide lactique formé à partir du lactose. L'acidité du lait de chèvre reste assez stable durant la lactation. Elle oscille entre 0,16 et 0,17% d'acide lactique (**Veinoglou *et al.*, 1982**). L'acidité titrable, exprimé en degrés Dornic ($^{\circ}\text{D}$) est de 15 à 18°D . On distingue l'acidité naturelle, celle qui caractérise le lait frais, d'une acidité développée issue de la transformation du lactose en acide lactique par divers microorganismes.

1.2.2.6. Tension superficielle

La tension superficielle du lait de chèvre mesurée par la méthode de l'anneau de **Nuoy** à 20°C , est de 52 dynes/cm pour le lait entier et 55,9 dynes/cm pour le lait écrémé (**Parkash et Jenness, 1968**).

Etude bibliographique

1.2.2.7. Conductivité électrique

La conductivité est mesurée à 25°C et exprimée en (sm.cm⁻¹), elle varie selon les auteurs, de 39.10⁻⁴ à 43.10⁻⁴ (**Parkash et Jenness, 1968**). Dans tous les cas, elle semble plus élevée que celle du lait de vache, montrant une corrélation significative entre la conductivité électrique et le taux de chlore, taux souvent cite comme supérieur dans le lait de chèvre par rapport au lait de vache (**Sharma et Roy, 1976**), montrant une relation linéaire entre la conductivité électrique et la température.

1.2.2.8. Viscosité

Exprimée en centpoises (cp), elle diminue avec l'élévation de la température. La viscosité du lait de chèvre serait plus basse que celle du lait de vache (**Parkash et Jenness, 1968**).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des laits (1)

Constantes	Vache	Chèvre	Brebis
Energie (kcal/litre)	705	600-750	1100
Densité du lait entier à 20 °C	1,028-1,033	1,027-1,035	1,034-1,039
Point de congélation (°C)	(-0,52)-(-0,55)	(-0,55)-(0,583)	-0,57
ph à 20°C	6,6-6,8	6,45-6,6	6,5-6,85
Acidité titrable (°D)	15-17	14-18	22-25
Tension superficielle du lait entier à 20°C (dynes/cm)	50	52	45-49
Conductivité électrique à 25 °C (siemens)	45 x 10 ⁻⁴	43-56 x 10 ⁻⁴	38 x 10 ⁻⁴
Indice de réfraction	1,45-1,46	1,35-1,46	1,33-1,4
Viscosité du lait entier à 20 °C (centpoises)	2-2,2	1,8-1,9	2,86-3,93

1.2.3. Caractéristiques microbiologiques

1.2.3.1. La flore microbienne du lait

On répartit les microorganismes du lait, selon leur importance, en deux grandes classes: la flore indigène ou originelle et la flore contaminant, Cette dernière est

Etude bibliographique

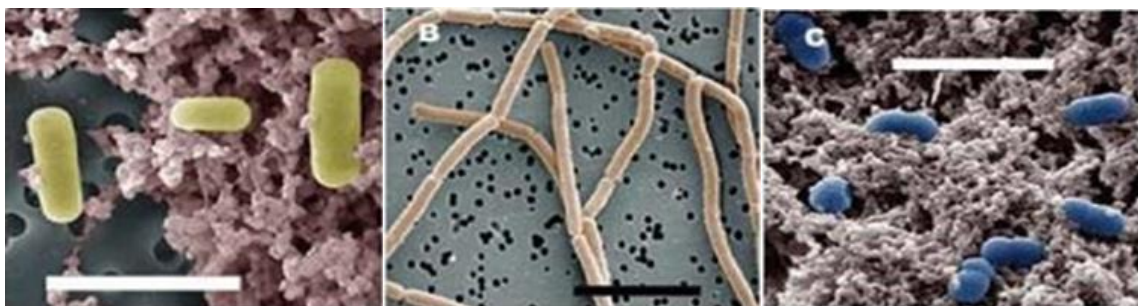
subdivisée en deux Sous classe : la flore d'altération et la flore pathogène (**Vignola, 2002**).

a. Flore originelle ou indigène

Le lait contient relativement peu de microorganisme quand il est sécrété à partir de la mamelle d'un animal en bonne santé. Il devrait contenir moins de 5000UFC (unités formant colonies). La flore naturelle du lait cru est un facteur essentiel particulièrement à ces propriétés organoleptiques (**Fotou et al., 2011**). Le Lait cru est protégé contre les bactéries par des substances inhibitrices appelées «lacténines» mais leur action est de très courte durée environ 1 heure (**Guiraud, 2003**). D'autres microorganismes peuvent se retrouver dans le lait cru issus d'un animal malade, ils sont généralement pathogènes et dangereux au point de vue sanitaire.

➤ Les bactéries lactiques

Les bactéries lactiques (**Figure 1**) sont des bactéries Gram positif produisant de l'acide lactique par fermentation des glucides simples tels que le glucose et le galactose (**Desmazeaud, 1992**). Elles se développent généralement dans des conditions anaérobies, voire anaérobies facultatives, et jouent un rôle majeur dans l'acidification du lait et du caillé. Ce sont également des agents de l'affinage des fromages, par leurs aptitudes protéolytiques et lipolytiques (développement du goût, des arômes et de la texture). Ces bactéries lactiques sont principalement constituées de *lactocoques*, *leuconostoc*, *pédiocoques*, *streptocoques thermophiles*, *lactobacilles mésophiles* et *thermophiles*, et *entérocoques* (**Beuvier et Feutry, 2005**).



(A) *Lactobacillus helveticus*

(B) *Lactobacillus delbrueckii*

(C) *Lactococcus lactis*

Figure 1. Les bactéries lactiques (Prescott et al., 2010).

b. Flore de contamination

✚ Flore de contamination endogène

Les bactéries de ce groupe accompagnent le lait depuis sa sécrétion et sont constituées des gènes pathogènes pour l'homme pouvant être source d'intoxication (agents de mammites) ou d'infection (responsable de zoonoses). Les principaux agents de mammites sont les Staphylocoques, certains Mycoplasmes, Escherichia-coli, alors que ceux des zoonoses sont représentés essentiellement par Brucella et Listeria (**Fresse et pascal, 1993 ; Bosset *et al.*, 2000**).

✚ Flore de contamination exogène

Les sources multiples de contamination sont responsables de la diversité des gènes. Une contamination élevée par ces derniers peut avoir des conséquences néfastes allant de l'altération du produit par la flore d'altération à la transmission de maladies d'origine alimentaire par la flore pathogène (**Doutoum, 1995 ; Njassap, 2001**).

➤ Flore d'altération

Elle est à l'origine des pertes de lait (cru ou transformé). Les gènes impliqués sont :

-Les Pseudomonas : qui par leur rôle protéolytique ou lipolytiques sont souvent responsables des anomalies du goût et /ou de l'odeur du lait ou des produits laitiers.

-Les entérobactéries : quant à elles, sont indésirables en fromagerie car elles produisent des gaz et des acides pouvant induire des défauts de texture (gonflement précoce), des saveurs désagréables ou un mauvais caillage.

➤ Les flores pathogènes

Les germes pathogènes auxquels on accorde une importance particulière, en raison de la gravité ou de la fréquence des risques qu'ils présentent sont cités ci-dessous : Les principales bactériennes infectieuses sont : *Salmonella sp*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium perfringens* et *Campylobactersp*. Les principales bactéries toxigènes sont *Staphylococcus sp* *Clostridium botulinum* (**Vignola, 2002**).

c. Levures et moisissures

c.1. Les Levures

C'est un groupe hétérogène de champignons microscopiques qui, à un certain stade de leur développement se présentent sous forme unicellulaire et se multiplient par bourgeonnement ou par scissiparité. En fromagerie, ils jouent un rôle indéniable dans la saveur et l'arôme de la pâte mais peuvent souvent induire des changements indésirables (**Doutoum, 1995**).

c.2. Les moisissures

Ont cité que les moisissures sont des champignons microscopiques filamenteux (**Figure 2**), dix fois plus grosse que les levures. Certaines comme pénicillium sont utilisées en fromagerie. Cependant, beaucoup d'autres espèces sont redoutées par leur pouvoir de production de mycotoxines. Substances très puissantes (thermostables et liposolubles), elles présentent des activités mutagènes, cancérigènes, toxiques pour l'embryon et le système immunitaire. La contamination de l'homme peut se faire par consommation d'aliments souillés ou après biotransformation par les animaux. Par exemple, l'aflatoxine M₁ produite par *Aspergillus flavus* est véhiculé par le lait. (**Doutoum, 1995 ; INRA, 2002**). Les altérations du lait par ces microorganismes constituent l'une des raisons de la transformation du lait frais en dérivés moins périssables.



(A) *Alternaria alternata*



(B) *Penicillium pupurogenum*



(C) *Cladosporium hebarum*

Figure 2. Différents genres de moisissures (Labrie, 2012).

1.3. Compositions de lait de chèvre

Le lait de chèvre est une émulsion de matière grasse sous forme de globules gras dispersés dans une solution aqueuse (sérum) comprenant de nombreux éléments, les uns à l'état dissous (lactose protéines du lactosérum,...etc.), les autres sous forme colloïdale (caséines) (Dayon, 2005). Avec la présence des autres nutriments (vitamines, minéraux...) en raison de l'absence de β -carotène, le lait de chèvre est plus blanc. Et de goût légèrement sucré, il est caractérisés par une flaveur particulière et un goût plus relevé que le lait de vache (Zeller, 2005 ; Jouyandah et Abroumand, 2010). Le tableau 2 suivant résume les caractéristiques des trois principales espèces laitières.

Tableau 2. Composants de lait de différentes espèces (Alais, 1984 ; Amiot *et al.*, 2002).

Animaux	Eau (%)	Matière grasse (%)	Protéines (%)	Glucide (%)	Minéraux (%)
Vache	87,5	3,7	3,2	4,6	0,8
Chèvre	87	3,8	2,9	4,4	0,9
Brebis	81,5	7,4	5,3	4,8	1

1.3.1. L'eau

L'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion. La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confères un caractère polaire .Ce caractère polaire est ce qui 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 de sérum. Le lait de chèvre est constitué de 87% d'eau (Amiot *et al.*, 2002).

1.3.2. La matière grasse

Elles sont présentes dans le lait sous forme d'émulsion de globules gras. Elles sont produites dans la mamelle à partir de précurseurs provenant de la circulation sanguine. Constituées de lipides simples (99 % de triglycérides) et de lipides complexes (phospholipides, stérols, caroténoïdes...). Les matières grasses du lait de chèvre sont sous forme globulaire dont le diamètre peut varier entre 1 à 10 μ m en fromagerie, elles contribuent à la saveur et à la texture de la pâte (Boss *et al.*, 2000 ; Gelais, 2002).

Etude bibliographique

Le lait de chèvre est pauvre en carotène et donc, peu coloré par rapport aux autres laits, il est plus riche en acides gras à 10 atomes de carbone et présente un pourcentage plus élevé de petits globules gras il ne contient pas d'agglutinines et présente une activité lipasique faible (**Chilliard, 1996**).

La matière grasse est présente essentiellement 96,8% sous forme de triglycérides (glycérol associé à trois acides gras) (**Figure 3**). La proportion d'acides gras à chaîne carbonée courte (de 4 à 10 atomes de carbone) est importante dans le lait de chèvre, par contre elle est plus riche en acides gras à chaîne moyenne (C_6 acide caproïque, C_8 acide caprylique, C_{10} acide caprique) (**Chilliard, 1996**). La matière grasse du lait joue un rôle essentiel dans le développement du goût mais aussi de la texture du fromage.

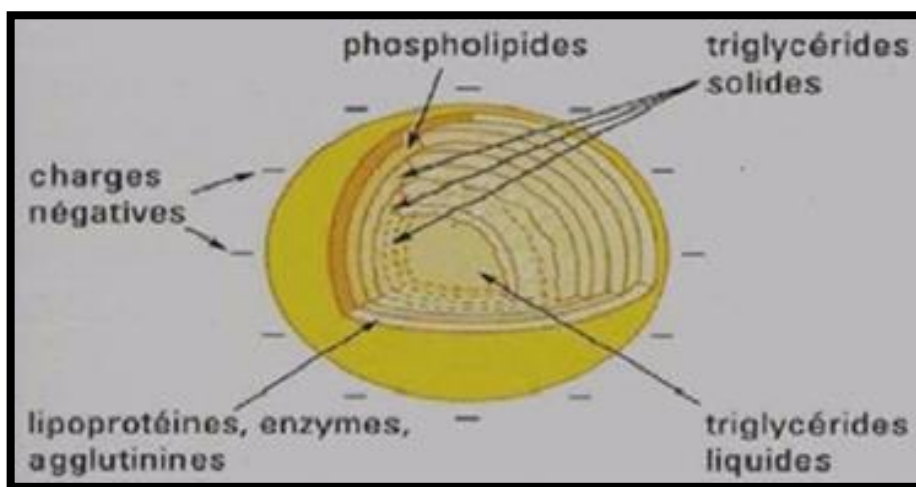


Figure 3. Composition de la matière grasse du lait (Bylund, 1995).

1.3.3. Les protéines

Sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers. Le lait de chèvre contient en moyenne 30,8 g/kg de protéines totales (**Institut de l'élevage, 2003**). On comprend aisément que le but est d'obtenir un TP maximum, pour un rendement fromager maximum.

1.3.3.1. Les caséines

Elles représentent la partie la plus importante des protéines leur concentration intervient dans la coagulation du lait. La caséine forme de petits conglomerats avec le calcium et le phosphore, appelés micelles (**Figure 4**), qui vont ensuite se lier les uns aux autres et ainsi former le caillé du lait lors de la fabrication du fromage.

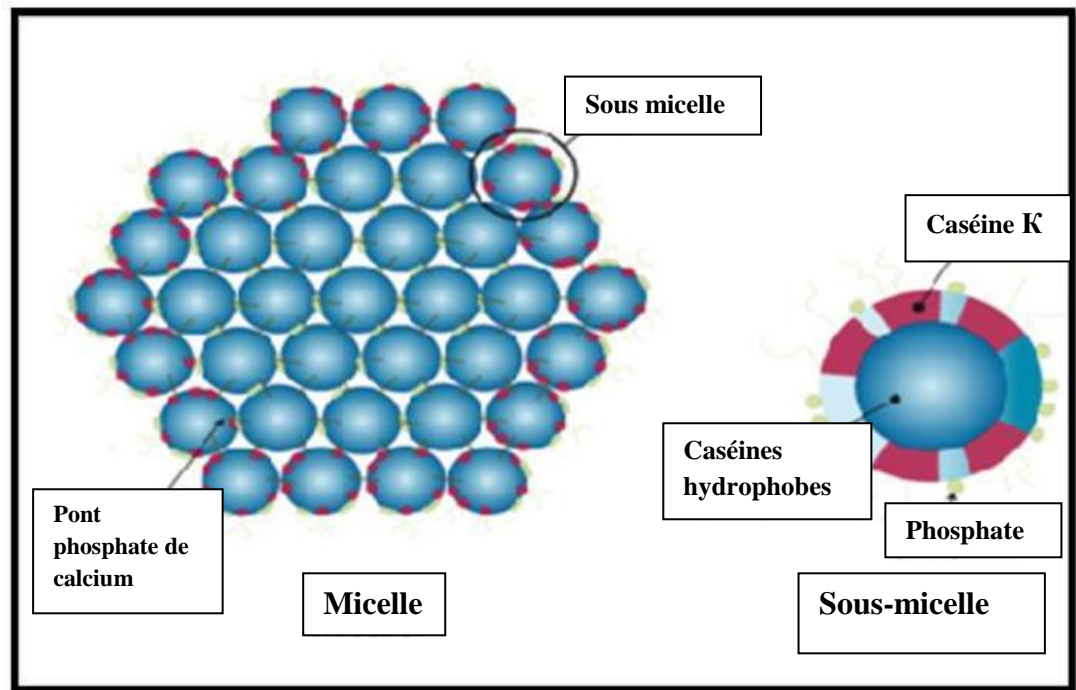


Figure 4. Micelle de caséine et sous micelle de caséine (Vignola, 2002).

Il existe différents types de caséines ($\alpha S1$, $\alpha S2$, β et κ), le lait de chèvre est contient 21% de caséines $\alpha S2$ et de 48% de caséines β , il est plus pauvre en caséine $\alpha S1$. En ce qui concerne la caséine κ , les teneurs sont équivalentes (environ 15%) (Gelais, 2000). Cette caséine κ jouant un rôle prépondérant dans la formation du caillé, la vitesse de coagulation sera la même pour le lait de chèvre que pour le lait de vache (voir Tableau 3).

Tableau 3. Caractéristiques des caséines caprines et bovines (Martin, 1996).

Caséines	$\alpha S1$		β		$\alpha S2$		κ	
	C	V	C	V	C	V	C	V
C= chèvre V= vache								
Acides aminés	199	199	207	209	208	207	171	169
% de la caséine totale	10	38	48	38	20	11	22	13
Groupements phosphate	7/9	8/9	5/6	5	9/11	10/3	2/3	1/2

Etude bibliographique

1.3.4. Glucides

Le lait contient des glucides essentiellement représentés par le lactose, son constituant le plus abondant après l'eau. Sa molécule est constituée d'un résidu galactose uni à un résidu glucose. Le lactose est synthétisé dans les cellules des acini à partir du glucose sanguin.

Les glucides constituent d'une manière générale les sucres du lait. Ils sont formés principalement d'oligosaccharides, de saccharides azotés et non azotés. Le lactose, galactosido (1-4) glucose, dioloside réducteur, principal sucre du lait est fermentescible. Il est transformé en acide lactique par la flore lactique lorsque les conditions sont réunies et est à l'origine de la coagulation via l'abaissement du pH. La teneur moyenne en lactose d'un lait normal de chèvre est d'environ 50 g/l (FTLQ, 2002).

1.3.5. Les Vitamines

Le lait de chèvre apporte des quantités intéressantes de vitamines du groupe B : **B1** (système nerveux et musculaire...), **B2** (renouvellement et entretien des tissus...), **B5** (peau, ongles, cheveux...), **B6** (formation des globules rouges...) et **B3** (croissance, peau...). De la vit **A** (vision, protection de la peau et muqueuses, croissance, résistance aux infections). Il apporte également lorsqu'il est entier de la vitamine **D** (métabolisme du calcium et du phosphore, propriétés antirachitiques chez l'enfant...) et un peu de vit **K** (coagulation du sang...). A la traite, le lait de chèvre contient peu de vitamine **B9** (formation des globules rouges, cellules nerveuses...) mais les laits de consommation sont généralement enrichis.

1.3.6. Les Minéraux

Ils sont présents en faible quantité dans le lait mais jouent un rôle important dans l'organisme et dans la transformation du lait. Le lait contient tous les minéraux considérés comme essentiels pour la nutrition humaine (Kebchaoui, 2013).

La composition minérale du lait de chèvre est proche de celle du lait de vache. Il est légèrement plus riche en Calcium (Ca) et phosphate (P) et nettement plus riche en Magnésium, Potassium et Chlore (Gueguen, 1996).

Oligo-éléments : Le lait de chèvre contient de nombreux oligo-éléments indispensables à l'organisme (fer, cuivre, manganèse, sélénium, molybdène, chrome, fluor etc) à l'état

Etude bibliographique

de trace. Le zinc y apparaît en revanche en quantité importante tout comme l'iode (teneurs variables selon les régions et les saisons).

1.3.7. Les enzymes

Les enzymes définissent par (**Pougeon, 2001**), comme les 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.

Les enzymes du lait de chèvre sont principalement des estérases, c'est-à-dire les lipases, les phosphatases alcalines et des protéases. Il est bon de noter que le lait de chèvre contient environ trois fois moins de phosphatase alcaline que lait de vache.

II. LE FROMAGE

2.1. 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 est 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 (**Carole, 2002**).

Les fromages de chèvre : l'appellation est réservée aux fromages exclusivement fabriqués au lait de chèvre. Sans préjudice des dispositions applicables spécifiquement aux produits sous signe de qualité, cette disposition ne s'applique pas au lait ayant servi de support de culture aux ferments utilisés pour la fabrication, dans la mesure où les bonnes pratiques de fabrication sont respectées. Par contre, lorsque les ferments utilisés sont cultivés sur un lait de même espèce animale que le lait matière première, la mention « pur chèvre » peut, selon le cas, être utilisée, en complément ou en remplacement de la mention de chèvre (**3**).

2.2. Les grandes familles de fromage

Les différents types de fromages présentent des caractères spécifiques liés à la fois au mode de coagulation et d'égouttage et à la flore microbienne, qui libère des enzymes responsables de la saveur, de la texture et de l'aspect de la pâte. Le monde des fromages s'organise autour de 9 grandes familles :

2.2.1 Fromages frais

Le fromage dans son plus simple appareil. Les fromages frais sont élaborés à base de lait de vache, de chèvre ou de brebis (**photo 1**). Cependant, la majeure partie des fromages frais est réalisée à partir de lait de vache pasteurisé. Il s'agit d'un caillé issu d'une fermentation lactique uniquement. Normalement aucun enzyme n'est ajouté pour accélérer la coagulation. Leur fabrication est la plus simple et la plus ancienne.



Photo 1. Fromages à pâte fraîche.

✚ Fabrication

La coagulation : Elle se fait à l'aide des ferments lactiques ajoutés au lait tiédi à 18°C. Ces ferments remplacent ceux détruits lors de la pasteurisation. Le caillage : ne dépasse pas 24h.

L'égouttage: spontané plus ou moins long (faisselle), lissage, essorage pour l'onctuosité (petits suisses).

L'affinage: aucun.

La consommation : Le plus souvent consommés en desserts, avec du sucre, de la confiture ou des fruits, les fromages frais s'accrochent particulièrement bien en cuisine (sauces, pâtisseries, crudités...).

Exemples de fromages frais : Tartare, Saint-Môret, Chavroux, Carré frais, Bousin, Cerveille de Canut...

2.2.2 Fromages à pâte molle et croûte fleurie

L'appellation croûte fleurie vient du duvet de moisissures généralement blanches (*penicillium candidum*) qui recouvre les fromages de cette famille (**photo 2**). D'une texture souple et fondante, les pâtes molles à croûte fleurie sont pour la plupart fabriqués au lait de vache, cru ou pasteurisé, entier enrichi ou écrémé. « Un fromage à pâte molle est un fromage affiné ayant subi indépendamment de la fermentation lactique, d'autres fermentations et dont la pâte n'est ni cuite ni pressée ».



Photo 2. Fromages à pâte molle et croûte fleurie.

✚ Fabrication

Le caillage: C'est un caillage mixte (présuré). Le lait doit être suffisamment riche en ferments lactique, le lait mûrit pendant 15 à 20h à 10/15°C puis chauffé à environ 30°C et emprésuré).

La durée de la coagulation : Elle est variable selon l'acidité initiale du lait et de la quantité de présure utilisée. Si la coagulation est à dominante présure, on obtient rapidement un caillé compact et une pâte douce (Camembert, Coulommiers). Si la coagulation est à dominante lactique, elle est plus lente et le goût est plus acidulé (Brie, Carré de l'Est).

L'égouttage : spontané, parfois léger malaxage ou pressage. Une fois démoulés, ils sontensemencés au *penicillium candidum*, salés à sec mis en salle humide, tiède (15°C), et ventilée où ils vont « prendre la fleur ».

L'affinage : De 2 à 6 semaines en caves humides, retournés souvent.

Exemples de fromages à pâte molle et croûte fleurie : Camembert, Brie, Coulommiers, Neufchâtel.

2.2.3 Fromages à pâte molle et croûte lavée

Leur fabrication est très similaire à celle des croûtes fleuries, pourtant le résultat est très différent. Les différences se trouvent au niveau de l'égouttage et de l'affinage. Leur croûte est régulièrement lavée d'où leur nom (**photo 3**).



Photo 3. Fromages à pâte molle et croûte lavée.

Fabrication

L'égouttage : spontané, mais lors de la mise en moule un léger rompage du caillé accélère le processus. Le poids même du fromage accélère l'égouttage et le résultat est une pâte plus serrée. Une fois démoulés, ils sont salés au sel sec en hâloir et « prennent le bleu » (moisissures naturelles à ne pas confondre avec la famille des « Bleus ») Ils sont lavés aussitôt.

L'affinage : De 4 à 8 semaines, (plus long que pour les croûtes fleuries) au cours duquel ils sont régulièrement lavés ou brossés (dans la saumure). Certaines variétés sont colorées (rocou) ou aromatisées (cidre, bière, thé, huile)

Exemples de fromages à pâte molle et croûte lavée : Pont l'Evêque, Maroilles, Munster, Vieux Lille...

2.2.4 Fromages à pâte molle et croûte naturelle

La fabrication de ces fromages (**photo 4**) débute soit comme celle des croûtes fleuries, soit comme celle des croûtes lavées. La seule différence réside dans le fait que leurs croûtes ne sont niensemencées de penicillium, ni lavées, ni brossées.



Photo 4. Fromages à pâte molle et croûte naturelle.

Exemples de fromages à pâte molle et croûte naturelle : Olivet cendré, cendré de Champagne... Les chèvres bien que formant une famille à part entière peuvent entrer dans cette catégorie.

2.2.5 Fromages à pâte pressée non cuite

On les appelle parfois demi -durs parce que leur pâte, nettement plus ferme que les pâtes molles réserve une certaine tendreté surtout quand ils sont jeunes. Cela est dû au fait que le caillé est pressé. Ces fromages (**photo 5**) pour la plupart sont élaborés à partir de lait de vache. « Un fromage à pâte ferme ou demi-ferme est un fromage affiné, ayant subi, indépendamment de la fermentation lactique, d'autres fermentations et dont la pâte est soit cuite, soit pressée, soit cuite et pressée ».



Photo 5. Fromages à pâte pressée non cuite.

Fabrication

Le caillage : C'est un caillage mixte (présuré). Le lait est chauffé à 32-36°C dans une pièce à 25-30°C. Dès qu'il est formé, le caillé est tranché en morceaux (grains) aussi petits que possible. Parfois on lave le caillé pour accélérer le processus. L'égouttage : Il n'est pas spontané mais accéléré par une pression plus ou moins poussée pour se débarrasser du sérum. Une fois démoulés, ils sont salés au sel sec ou trempés en bain de saumure puis séchés en hâloir aéré.

L'affinage : De 15 jours à plusieurs mois en cave plus ou moins humide où ils sont lavés, brossés, retournés régulièrement.

Exemples de fromages à pâte pressée non cuite : Cantal, Saint Nectaire, Laguiole, Salers, Port-Salut, Morbier, Tommes...

2.2.6 Fromages à pâte pressée cuite

Cette famille est par tradition montagnarde (**photo 6**). Le nom de cette famille vient du fait que le lait, à un moment de la fabrication est chauffé à plus de 50°C. A l'origine c'était pour une meilleure conservation. Cela permettait en effet de profiter du fromage lors des longs hivers rigoureux. C'est de là que vient également leur nom de fromage de « garde ».



Photo 6. Fromages à pâte pressée cuite.

Fabrication

Il faut souvent 10L de lait pour obtenir 1Kg de fromage à pâte pressée cuite. Ainsi parfois des laits de différents moments de la journée sont mélangés.

Le caillage : C'est un caillage mixte. Le lait est d'abord chauffé à 30-35°C. Dès qu'il est formé, le caillé est tranché et chauffé dans le sérum à 65°C, cela augmente la plasticité et la résistance de la pâte (les meules peuvent en effet peser jusqu'à 50kg). Ensuite, le caillé est rebrassé et laissé à 52-55°C pour qu'il s'agglutine.

L'égouttage : Il est effectué par l'intermédiaire de toiles puis en presse (24h) retournée toutes les 2 heures. Une fois démoulés, ils sont plongés et frottés en bain de saumure saturée.

L'affinage : Long (plusieurs mois, avec salage et retournement en caves plus ou moins chaudes. Les ferments nécessaires à la maturation produisent dans la pâte du gaz carbonique qui en se dilatant forme les trous. Plus la température de la cave est élevée, plus la fermentation augmente et plus les trous grossissent. C'est pourquoi les fromages à pâte pressée cuite présentent des trous.

Exemples de fromages à pâte pressée cuite : Emmental, Comté, Beaufort.

2.2.7. Fromages à pâte persillée

Communément appelés « Bleus », les fromages à pâte persillée sont fabriqués comme des pâtes molles à croûte lavée (**photo 7**), ils se distinguent par les moisissures qui veinent une pâte lisse, de couleur jaune ivoire clair. Leur nom vient du fait que la couleur bleu vert des moisissures fait songer au persil frisé. La dénomination « Bleu » est réservée à un fromage affiné, à pâte légèrement salée, malaxée et persillée en raison de la présence de moisissures internes de couleur bleue.

Fabrication

Le caillage : C'est un caillage mixte à 32°C. Une fois formé, le caillé est tranché.

L'égouttage : Comme les pâtes molles mais avant la mise en moule ils sont souventensemencés de spores de penicillium. Certains bleus s'ensemencent spontanément dans des caves couvertes de moisissures. Une fois démoulés, ils sont salés pendant plusieurs jours, puis dans des hâloirs ils sont transpercés de longues aiguilles afin de favoriser la pénétration de l'air et la répartition des veines bleues ou vertes dans la pâte.

Etude bibliographique

L'affinage : De 4 à 6 mois en caves naturelles très humides (95%).

Exemples de fromages à pâte persillée : Fourme d'Ambert, Roquefort, Bleus d'Auvergne, de Bresse, de Sassenage.



Photo 7. Fromages à pâte persillée.

2.2.8. Fromages de chèvre

Cette famille se distingue par l'origine de son lait : le lait de chèvre. Sa production est saisonnière et les meilleurs fromages sont fabriqués entre mars et novembre (période d'allaitement des chevreaux) (**photo 8**).

Fabrication

Le caillage : C'est un caillage mixte avec peu de présure. L'emprésurage se fait à 30-32°C puis le caillé est rompu.

L'égouttage : Spontané, de 12 à 24 heures. Les chèvres sont salées au sel sec puis placés en hâloir de 3 à 5 semaines.

L'affinage : De quelques semaines à plusieurs mois en cave fraîche. La surface se couvre de moisissures spontanées blanches (*penicillium candidum*), qui bleuissent (*penicillium album*), puis jaunissent (*penicillium glaucum*) selon la durée d'affinage. Ils sont souvent enrobés de cendres, herbes ou feuilles...

Exemples de fromages de chèvre : Chabichou, Crottins de Chavignol, Picodons, Pélardon, Pouligny Saint Pierre, Sainte Maure de Touraine, Selles sur Cher, Valençay...



Photo 8. Fromages de chèvre.

2.2.9. Fromages fondus

Leur origine se situe en Montagne dans les chalets où les bergers faisaient recuire le babeurre restant après la fabrication du beurre, ou le petit lait extrait du caillé à fromage (**Photo 9**).

Fabrication

Aujourd'hui il s'agit plus souvent de restes de fromages à pâte pressée, cuite ou non, qui sont fondus. Ils sont conditionnés sous forme individuelle, se râpent, ou entrent dans la composition de préparations fromagères.

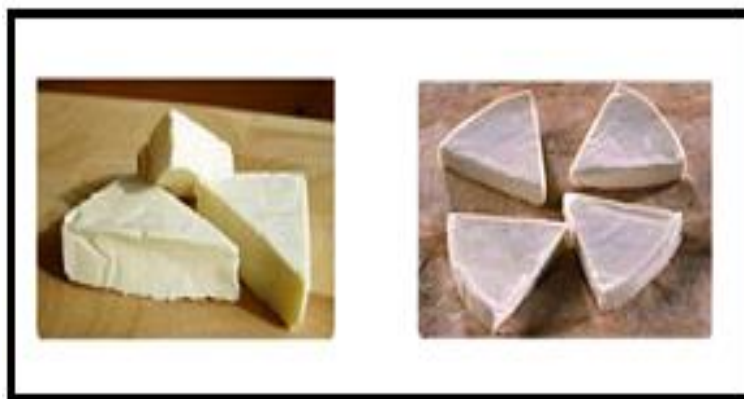


Photo 9. Fromages fondus.

La dénomination « fromage fondu » est réservée au produit de la fonte du fromage ou d'un mélange de fromages, additionné éventuellement avec d'autres produits laitiers, présentant une teneur minimale en matière sèche de 43g pour 100g de produit fini, et

une teneur minimale en matière grasse de 40g pour 100g de produit après complète dessiccation.

Exemples de fromages fondus : Rambol aux noix.

2.3. La fabrication de fromage

Le fromage sont obtenus à partir de différents lait (brebis, vache, chèvre) soit pur soit mélangés. La fabrication du fromage à l'origine était un moyen de conservation du lait. Elle permettait de ne stocker que la partie solide du lait et la fabrication de ce produit basé sur trois étapes principale : la coagulation, l'égouttage et l'affinage, cette dernière étape n'existe pas dans le cas des fromages frais.

La qualité du lait de fromagerie est fonction de son aptitude à donner un bon fromage, dans des conditions de travail normales, avec un rendement satisfaisant. Elle dépend d'un certain nombre de caractéristiques du produit tels que sa composition chimique, sa richesse en caséines, sa charge microbienne et la nature de sa microflore, son aptitude au développement des bactéries lactiques. Elle dépend aussi de son comportement vis-à-vis de la présure (**Remeuf *et al.*, 1991**).

La qualité de fromage est liée directement à la qualité microbiologique de lait cru et leur matière première. Des progrès indéniables ont été faits pour maîtriser les contaminations de la production de lait. Il en résulte des mesures d'hygiène drastiques et de plus en plus rigoureuses.

2.3.1. Techniques de Fabrication

2.3.1.1. La fabrication artisanale

Est souvent à l'origine de productions faibles, privilégiant la qualité et l'histoire du fromage. Cette fabrication est en général destinée à une distribution locale avec de simple matériel. Les fromages artisanaux sont eux aussi le plus souvent au lait cru. L'artisan lui-même ne produit pas le lait qui est de plusieurs fermes proches. Les structures de production sont souvent petites (entre 1 et 10 personnes maximum) ce sont des fromages de saison, traditionnels mais dont la forme et le goût sont plus réguliers que les fromages fermiers.

2.3.1.2. Le fromage fermier

Un fromage ne peut porter la mention « **fermier** » (ou tout autre indication laissant entendre une origine fermière) que s'il est « 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 ».

Les fromages fermiers développent un goût puissant, héritage d'un savoir-faire traditionnel et d'un terroir particulier. Plus le délai entre la traite et la transformation est court, meilleur est le fromage. Les quantités sont limitées et les variations de qualité sont nombreuses, en raison des différents aléas pouvant affecter une petite production (climat, alimentation, etc.).

Traditionnellement, la production fermière de fromages à partir du lait de chèvre se base sur l'action des bactéries lactiques (**Lefrileux et al., 2009**). Ces dernières interviennent dans de nombreuses transformations du lait en crème maturée, en laits fermentés, en yaourts, en fromages frais et affinés (**Desmazeaud, 1998**). L'ensemencement est assuré par le repiquage du lactosérum issu de la fabrication précédente (technique de pieds de cuve) (**Lefrileux et al., 2009**).

Le lait de chèvre est plus pauvre en caséines que le lait de vache. Son rendement fromager est par conséquent plus faible. Ce sont les spécificités de la composition de sa matière grasse qui donnent au fromage de chèvre son goût caractéristique. Le lactose et surtout les l'équilibre minéral (Ca, P), facteurs de variations qui sont : la race et la conduite d'élevage (nutrition, reproduction, saisonnalité) sont à l'origine des particularités de ce lait (**Zeller, 2005**). Même si un certain nombre de recherches ont permis de faire le point sur les facteurs alimentaires influant par exemple sur le taux butyreux (TB) ou le taux protéique (TP) du lait caprin, ainsi que leurs effets sur l'aptitude à la coagulation, le lien entre l'alimentation des animaux et la composition azotée et minérale du lait et des produits laitiers a fait l'objet de peu de travaux concernant cette espèce. A partir de données collectées dans des exploitations caprines, un lien entre l'alimentation des chèvres et le profil des courbes d'acidification en technologie lactique a été mis en évidence. La présence d'urée en excès dans le lait de cette espèce a été suspectée dans l'apparition de défauts de caillage en technologie lactique, ou dans un ralentissement de l'acidification en technologie pâte pressée non cuite (**Lefrileux et al., 2009**). Il existe deux procédés de fabrication du fromage de chèvre. Le plus répandu utilise des bactéries lactiques pour la coagulation. C'est un procédé naturel, lent qui donne un caillé friable et perméable. L'autre technique consiste

à ajouter de la présure et on obtient assez rapidement un caillé ferme et imperméable (Zeller, 2005).

2.3.1.3. Les fromages l'industrielles

Sont majoritairement fabriqués à partir de lait pasteurisé. Leur forme et leur goût répondent aux exigences de la grande distribution et ont peu de personnalité. La fabrication est la plus automatisée possible. Le lait est pasteurisé, thermisé ou micro-filtré pour supprimer au maximum les aléas. L'approvisionnement peut venir de partout : ce qui compte ce n'est pas le terroir mais le rapport de rendement. Ces laits mélangés sont standardisés en matière grasse, en protéines avant d'être transformés en fromages, tout ce "brassage" donne des produits uniformes sans beaucoup de goût.

Un fromage industriel en revanche est un fromage élaboré avec des techniques permettant de grands volumes de production. Cela implique de grandes installations, et un outillage très important (4 ; 5).

Les fromages laitiers reposent sur des productions beaucoup plus larges. Le rayon de ramassage s'élargit, le lait peut parfois venir de très loin. La production est souvent automatisée et standardisée dans un souci de rendement moyen, afin d'allier sécurité et productivité. Le goût et la diversité de ces fromages sont bien inférieurs à leurs pendants fermiers et artisanaux.

2.3.2. Les étapes de fabrication

2.3.2.1. 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.

2.3.2.2. La coagulation

La coagulation de lait est une étape importante dans la préparation du fromage, il s'agit de la transformation de lait liquide en un gel, appelé aussi coagulum, ou caillé (Tableau 4). On distingue deux types de coagulation : la coagulation acide et la coagulation enzymatique. Cependant, en fromagerie la coagulation de lait résulte le plus souvent de l'action combinée d'un enzyme et de l'acidification, seul varie l'importance relative de leur action coagulante respective.

Etude bibliographique

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**).

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 (**Miton, 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 électronégatives : la répulsion électrostatique diminue au fur et à mesure de l'enrichissement du milieu en ions H^+ , puis disparaît. A 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**). Si l'acidification intervient sur un lait au repos, il y a formation d'une structure continue occupant tout le volume initial du lait : le gel ou coagulum ; si le lait est en mouvement, il y a apparition d'un précipité baignant dans la phase dispersante.

La coagulation acide est fortement dépendante de la température : pour des températures croissantes du lait supérieures à + 5°C, la floculation apparaît à des valeurs d'acidité de plus en plus basses. Un lait acide peut aussi coaguler de manière imprévue lors du chauffage : il y a donc lieu de contrôler l'acidité avant tout traitement thermique, lorsqu'on redoute cette floculation. Au contraire, une acidification sera souhaitable lorsqu'on réalise la précipitation thermique des protéines comme cela est pratiqué dans plusieurs procédés artisanaux de fabrication de fromages.

Etude bibliographique

Tableau 4. Les mécanismes de la coagulation (2000).

	Caille Lactique	Caille Présure
Obtention	Action des bactéries lactiques	Action de la présure (mélange de chymosine et de pepsine)
Mécanisme	L'apport d'une quantité croissante d'acide lactique déstabilise progressivement les micelles de caséines, les H ⁺ neutralisant les charges négatives présentes en périphérie des micelles. Les micelles déstabilisées vont s'unir pour former un gel, réseau protéique qui piège la matière grasse et la phase aqueuse.	L'action de la présure se décompose en 2 phases : phase primaire enzymatique où la présure lyse spécifiquement la caséine κ et lui fait perdre ses propriétés stabilisantes, phase secondaire où les micelles déstabilisées s'agrègent grâce à des liaisons minérales essentiellement calciques pour former un gel homogène
Facteurs de coagulation	Lait riche en protéines coagulables Acidification lent et progressive	Lait riche en caséines et en calcium dissous Température et pH au moment de l'emprésurage (température et pH optimaux de la présure voisins de 40°C et pH 5)
Structure physique	Faible cohésion entre les micelles et les submicelles.	Micelles soudées entre elles par des liaisons calciques.
Propriétés du caillé	Déminéralisé car l'acidification induit la solubilisation des sels minéraux dans le sérum Fragile et friable	Minéralisé déformable et élastique
Egouttage	Le sérum s'écoule spontanément entre les micelles. Egouttage spontané, lent et limité Niveau d'égouttage faible	A cause de la cohésion entre les micelles le sérum ne peut s'écouler qu'en périphérie. Egouttage mécanique rapide et poussé Niveau d'égouttage fort
Conséquence en fromagerie	Fromage humide de petit format Extrait Sec 10-35% pH caillé $\leq 4,6$ Conservation courte (Quelques semaines si affinage)	Fromage sec de gros format Extrait Sec 50-60% pH caillé $\geq 5,2$ Conservation longue (Plusieurs mois)

Etude bibliographique

A l'opposé, pour les températures inférieures à 5°C, la floculation par voie acide ne se fait plus, seule la viscosité du lait s'accroît et il n'est pas possible d'obtenir un gel véritable. En pratique fromagère la température choisie pour la coagulation est généralement comprise entre 20 et 35°C, elle contribue à une déstabilisation dans des délais raisonnables.

Au cours des fabrications fromagères, l'acidification développée en cours de coagulation et d'égouttage conduit toujours à une déminéralisation plus ou moins poussée du coagulum. Le contrôle constant de cette évolution permet de suivre et de régler la charge minérale du caillé ; cette dernière conditionne directement l'aptitude à l'égouttage et détermine, en grande partie, la composition et l'extrait sec final du fromage.

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).

➤ 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).

Etude bibliographique

Comme toutes les enzymes, l'activité protéolytique de la présure est fortement influencée par les facteurs de 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 augment 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 (Dagleish et law, 1989 ; le Great et Brul, 1993 ; visser *et al.*, 1980). La diminution de la charge nette et la dissociation de la caséine de micelle (Dagleish 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 à 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 de 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 utilisés pendant des siècles dans la fabrication artisanale de fromage ovine ou caprine principalement en Portugal dans les régions frontalières de l'Espagne et de 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 utilisé 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**).

2.3.2.3. 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 restant 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.

Etude bibliographique

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 décaillage), consistant en la découpe de portion 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. On va ensuite augmenter la température afin de favoriser encore (6).

2.3.2.4 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 (7).

2.3.2.5. Le salage

Habituellement, le sel est déposé à la volée sur les fromages moulés. Le caillé peut aussi être salé directement dans la masse au cours d'un brassage délicat dans un pétrin essentiel pour relever le goût du fromage de lait de chèvre, le sel fait obstacle à la prolifération de micro-organismes. Après le moulage, les fromages peuvent également

être saupoudrés d'une fine poudre de cendre de charbon de bois, issue le plus souvent du chêne : on parle alors de fromages cendrés.

2.3.2.6. 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 **(8)**.

Il est aujourd'hui difficile de connaître exactement le rôle d'un micro-organisme spécifique. Néanmoins, ces derniers font pleinement partie du mécanisme d'affinage. Le bois d'épicéa est aujourd'hui le matériau plus utilisé dans le monde de l'affinage car il permet un meilleur développement du biofilm. Le biofilm est une flore microbienne qui va protéger le fromage en lui apportant de bonnes bactéries, lui permettant de s'affiner correctement. Par ailleurs, l'échange entre le bois et le fromage est très important du point de vue de l'hygrométrie. En effet, si le fromage est trop humide, le bois va absorber ce surplus ; et à l'inverse si le fromage est trop sec, le bois va lui apporter l'humidité nécessaire.

Le rôle du bois dans l'affinage des fromages, pour certains fromages seront consommés frais, après avoir été égouttés, tandis que d'autres vont poursuivre leur maturation **(9)**.

Le caillé frais devient peu à peu une pâte qui, en fonction des flores d'affinage utilisées, se recouvre d'une fine croûte de couleur blanche, jaune ou brune. L'air ambiant dans le hâloir a une influence non négligeable sur la saveur des fromages.

Etude bibliographique

Le fromager ou l'affineur apprécie leur maturation au toucher, au coup d'œil, à l'odorat et au goût.

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.

Tableau 5. Caractéristiques de durée de fabrication pour les différentes catégories de fromages (Ramet, 1985).

Catégories de fromages	Coagulation	Durée 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



REFERENCES

Introduction

Le maintien d'activités agricoles viables constitue un enjeu majeur pour la plupart des zones rurales défavorisées. Or chacun sait qu'aujourd'hui les schémas classiques de production ne permettent généralement pas en agriculture une rentabilité et un niveau de rémunération acceptables dans ces zones.

Les handicaps structurels d'un grand nombre de régions de montagne par exemple (surfaces réduites, morcellement des parcelles, pentes, éloignement des centres d'approvisionnement et de consommation) aggravent une situation déjà difficile pour les régions bénéficiant de conditions nettement plus favorables.

La seule voie envisageable dans beaucoup de ces régions est **d'apporter un fort coefficient de valeur ajoutée par la transformation de la matière première agricole en produit alimentaire de qualité**. Associée à une commercialisation performante, cette démarche peut montrer toute sa pertinence par des résultats incontestables.

L'élevage caprin par son importance numérique et son rôle socio-économique occupe une place de choix au sein des systèmes de production agricoles dans les zones montagneuses. L'élevage extensif sylvo-pastoral est le plus répandu. Les politiques de développement des zones rurales ont lancé différents projets de développement de l'élevage caprin ces dernières années. L'objectif global était l'amélioration des revenus des éleveurs à travers l'amélioration de la productivité de leurs troupeaux et la valorisation du lait de chèvre. Le lait de chèvre essentiellement destiné à l'autoconsommation, est devenu de plus en plus mis au niveau du commerce et à un prix dépassant le double de celui du lait de vache. Dans le centre du pays des éleveurs se sont regroupés en association et tente de dynamiser la région par la création de fromageries dans le secteur de production de fromage de chèvre.

Dans d'autres régions cette dynamique n'est pas encore en place, et la fabrication de fromage de chèvre est encore pratiquement inconnue. Le présent travail se propose d'étudier les différentes modalités et étapes liées à la production artisanale du fromage de chèvre.

Le présent travail a été réalisé au niveau de l'atelier transformation laitière du centre de formation professionnel d'AinMakhlouf. La collecte du lait a été effectuée au niveau d'élevages extensifs de races locales élevées dans la région de Guelma. La finalité de ce travail est d'adopter une méthode simple de fabrication artisanale de fromage qui sera opérationnelle en milieu rural et la portée de l'éleveur.

1. Matériels et méthodes

La qualité du fromage dépend avant tout de la qualité de l'alimentation des chèvres, qui va favoriser un bon lait. La composition du lait varie selon les saisons et l'alimentation.

Le lait est la matière première du fromage, avant d'être utilisé, il faut le contrôler. Le fromager doit faire attention à respecter toutes les conditions sanitaires pendant les étapes de fabrication du fromage. La fromagerie doit rester propre. Le lait peut être infecté (comme la salmonellose).

Dans le cadre de la réalisation de notre étude, nous avons procédé d'une part à des essais de fabrication de fromage à base de lait de chèvre, les essais ont été réalisés au niveau de la wilaya de Guelma dans le centre de formation professionnel Ben Chettah Messaoud à Ain Makhoulouf pour apprendre et maîtriser les techniques de fabrication de fromage. Pour apprécier nos travaux, nous avons testé les qualités sensorielles des résultats obtenus auprès d'étudiants de l'université de Guelma pour avoir des jugements sur le fromage préparé.

1.1. Principales étapes du processus de fabrication du fromage

1.1.1. Traitements des laits

Tout d'abord donnons la définition des différents traitements que peut subir le lait avant d'être transformé en fromage:

- **Lait cru:** A sa mise en œuvre, le lait ne subit aucun traitement thermique (chauffage). **On conserve intégralement la flore bactérienne du lait** (les microbes). Ce sont en principe des laits frais qui sont mis en œuvre au maximum quelques heures après la traite des animaux. C'est généralement le cas des fromages fermiers ou artisanaux qui traitent des laits de « proximité » et dont la qualité initiale est plus facile à gérer par le fabricant du fromage. En conservant cette flore bactérienne naturelle et sauvage on favorise la production de goûts, d'odeurs et d'arômes dans les fromages, qui sont plus subtils et élaborés. Il faut cependant dire que cela entraîne plus de variations gustatives et qualitatives sur le produit fini.
- **Lait thermisé:** La thermisation est un léger chauffage que subit le lait (de 45°C pendant 30 minutes à 72°C pendant 1 seconde). Le but est d'aseptiser en partie le lait et donc éventuellement détruire certains germes pathogènes (mauvais microbes) comme la listéria qui pourraient être présents tout en préservant une bonne partie de

la flore bactérienne naturelle et initiale du lait. Ce procédé peut être appliqué par certains artisans et industriels qui utilisent des laits de provenance géographique plus étendue. Il est peu appliqué par les fermiers car cela requiert des équipements spécifiques et souvent onéreux pour des petites structures. Dans ce cas, **l'addition de ferments lactiques sélectionnés pour réactiver l'activité enzymatique sera un peu plus importante** que dans les laits crus. Au final les fromages auront un peu moins de variations gustatives et qualitatives mais un peu moins aussi de typicité propre au produit.

- **Lait pasteurisé:** C'est un traitement thermique du lait (63°C pendant 30 minutes ou 72°C pendant 15 secondes) qui a pour but d'éliminer tout germe pathogène (mauvais microbes) présent dans le lait. C'est en particulier un moyen de protection qu'ont trouvé les industriels pour se préserver des « mauvais laits » qui peuvent être présents dans leur fabrications de grand mélange et de provenance diverse et parfois lointaine. Dans ce cas **la proportion de ferments lactiques à rajouter sera plus importante** et nous aurons des fromages plus « standardisés » avec des goûts et des saveurs plus uniformes et moins atypiques. Ce procédé est rarement utilisé par les fermiers car ils maîtrisent mieux leur matière première et le coût d'un tel procédé est trop important.

- **Lait micro filtré:** c'est un traitement particulier uniquement appliqué par les industriels pour des fabrications de masse. La crème qui est séparée du lait est pasteurisée. Le lait écrémé quant à lui passe à travers un système de membranes extrêmement fines qui retiennent les bactéries. Le résultat final sera des fromages très homogènes au niveau goût mais sans grand caractère.

1.1.2. Ramassage et stockage

Le fromage artisanal ou fermier peut être réalisé de deux manières, selon la provenance du lait, si le lait provient du même troupeau élevé à la ferme, il est dit fromage fermier, si le lait provient d'un mélange de laits collectés dans différentes fermes de la même région il est dit artisanal. Le lait frais cru est collecté et peut subir le processus de transformation fromagère à condition d'être sain et traité dans un local où la T° ne doit pas excéder 40°C. Le lait est transporté et stocké à une T° de 4 à 6°C à l'atelier de fabrication (**Photo 10**). La transformation peut se faire quotidiennement ou périodiquement selon les quantités de laits disponibles, les facilités techniques et économiques et le type de fromage recherché.



Photo 10. Tank de stockage

1.1.3. La filtration

Le lait cru est d'abord filtré au travers d'un tissu à mailles très fines afin d'éliminer les impuretés grossières qu'il peut contenir (poils, débris organiques ...) utilisé dans la fabrication de fromage (**Photo 11**).



Photo 11. Filtration de lait

1.1.4. Pasteurisation

La température du lait est ramenée progressivement à 72°C pendant 15s elle est contrôlée à l'aide d'un thermomètre (**photo 12**), cette opération a pour but d'éliminer certains germes présents dans le lait.



Photo 12. La Pasteurisation

1.1.5. Refroidissement

Une fois pasteurisé, le lait chaud est plongé dans une cuve de refroidissement (**photo 13**), pour ramener le lait progressivement à la température adéquate selon le type de caillé. Cette température est favorable pour préparer le bon déroulement des opérations suivantes.



Photo 13. Refroidissement

1.1.6. La Coagulation

Le lait est ensuite additionné de ferments lactiques, mis en œuvre depuis toujours pour fabriquer du fromage, pour permettre une coagulation lente du lait, pendant un ou deux jours. On y ajoute également de la présure à une température est par la suite ramenée à un niveau voulu selon le type de fromage à fabriqué exemples :

Fromages frais : T° 15 à 20°C + peu de présure = caillé lactique

Pâtes molles : T° 28 à 32°C + présure = coagulation mixte »

Pâtes cuites : T° >32°C + beaucoup de présure = « caillé présuré »

Ce passage peut se faire naturellement grâce aux ferments lactiques du lait qui coagulent au contact de l'air. Le caillage peut se faire aussi artificiellement. On pratique alors « l'emprésurage » : on ajoute au lait de la présure (enzyme) qui joue le rôle d'agent coagulant. L'emprésurage et l'augmentation modérée de la température ont la faculté d'accélérer le processus.

Partie expérimentale

Dans le procédés que nous avons adopté on a additionné **un pot de petit suisse comme ferment lactique (photo 14)** dans le lait à une T° de 33°C, une fois refroidi, avec cette opération la coagulation s'installe lentement, pour activer cette opération on a **rajoute de la présure qui est un agent coagulant très actif (photo 15)**.

Le dosage est très important pour la texture. Le type de coagulation, la quantité de présure, la durée et la température varient en fonction des fromages que l'on veut obtenir. Le travail du caillé s'effectue lorsque le maître fromager estime la coagulation optimale.



Photo 14. L'ajout de petite suisse



photo 15. L'ajout de présure

La vérification de l'obtention d'un **bon caillage** se fait par une légère pression à la surface du caillé (**bon moulage et sortie de sérum**) c'est la séparation du petit lait (**lactosérum**) et d'une matière gélatineuse, c'est cette pâte qui nous donne la base du fromage (**photo 16**).



Photo 16. Le caillage

1.1.7. Tranchage et élimination du lactosérum

Le caillé est tranché en plusieurs morceaux, cette étape est réalisée afin de favoriser l'opération l'élimination du lactosérum (**photo 17**). Une fois tranché le caillé est brassé manuellement pour faciliter l'élimination du lactosérum (**photo 18**). L'égouttage du lactosérum est compléter au moyen d'une louche et une passoire, durant cette ultime étape un tiers du lactosérum est éliminé (**photo 19, 20 et 21**).

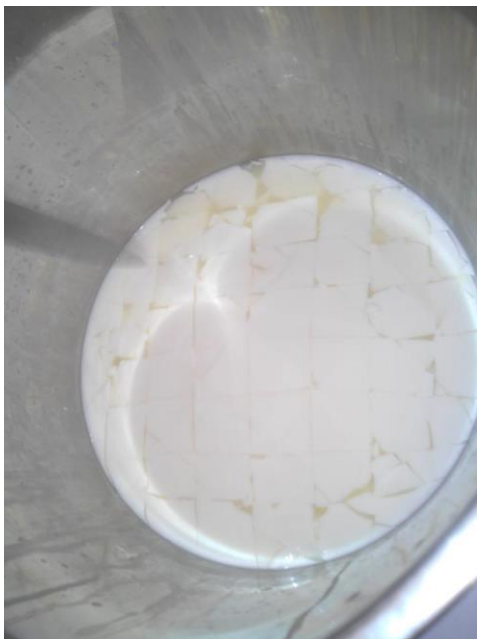


Photo 17 et 18. Le tranchage



Photo 19. Brassage



Photo 20. L'élimination de lactosérum

1.1.8. Le moulage

Le caillé est positionné dans les moules à l'aide d'une louche, cette étape permettra de donner la forme définitive et particulière au fromage ; c'est à ce moment qu'on lui donne une reconnaissance visuelle et qui influe sur le processus d'égouttage. On peut utiliser différentes formes et matières : Cylindre allongé ou aplati, bouchon, pyramide, brique ou bûche...c'est à ce stade qu'est déterminée la forme définitive du fromage. Le moulage est 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 (**photo 21 et 22**).

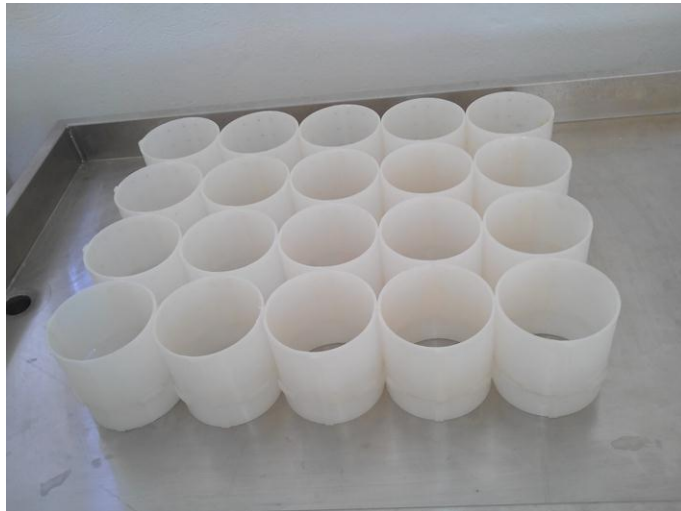


Photo 21. Faisselles

Le moulage à trois fonctions :

- Il donne la forme définitive et particulière au fromage; c'est à ce moment qu'on lui donne une reconnaissance visuelle.
- Il influe sur la fin du processus d'égouttage
- Il constitue un facteur important de goût dans la mesure où la forme du fromage influe sur son affinage.



Photo 22. Le moulage

1.1.9. L'égouttage

Ce fait naturellement en laissant le caillé dans son emballage et laisser son propre poids exercer la pression le petit lait s'écoule lentement et l'opération qui dure environ 24 heures, cette étape joue un rôle très important, notamment dans la qualité et la conservation du fromage (**Photo 23**).

L'égouttage est le passage de l'état semi-solide à l'état solide. Le caillé réagit différemment selon sa nature (lactique, mixte, ou présuré). De plus, le caillé doit être plus ou moins compact selon le fromage désiré.

On peut le faire soit mécaniquement, en utilisant une presse, soit naturellement en laissant le caillé dans un linge et laisser son propre poids exercer la pression. Ce stade de la fabrication permet d'évacuer la proportion d'eau encore en trop dans le caillé. Selon le type de fromage, on pressera plus ou moins longtemps et fortement.



Photo 23. L'égouttage

Fromages frais : T° 15 à 20°C + peu de présure = caillé lactique

Pâtes molles : T° 28 à 32°C + présure = coagulation mixte »

Pâtes cuites : T° > 32°C + beaucoup de présure = « caillé présuré »

Le ressuyage est une étape, qui dure environ 24 heures, joue un rôle très important, notamment dans la qualité de conservation du fromage. L'égouttage

concerne le reste de « petit lait » contenu dans le caillé et s'effectue dans un lieu frais et sec.

1.1.10. Le Salage

Habituellement, le sel est déposé «à la volée» sur les fromages moulés (**Photo 24**). Le caillé peut aussi être salé directement «dans la masse» au cours d'un brassage délicat dans un pétrin. Cette opération est essentielle **pour relever le goût du chèvre**, le sel fait obstacle à la prolifération de micro-organismes. Après le moulage, les fromages peuvent également être saupoudrés d'une fine poudre de cendre de charbon de bois, issue le plus souvent du chêne : on parle alors de fromages «cendrés».

Le sel est un élément indissociable de la fabrication du fromage. Le salage est une phase à quatre fonctions :

- Il parfait l'égouttage
- Il constitue un élément indispensable à la saveur du fromage, il agit en exhausteur de goût et sa concentration aura un effet sur la souplesse du fromage, la texture et l'aspect du fromage (La croûte)
- Il régularise l'évolution bactérienne, c'est un conservateur
- Il favorise l'action de certains ferments

Le salage peut s'effectuer de plusieurs manières : saupoudrage au sel sec, bains de saumure... Il est ajouté à différents moments de la fabrication du fromage, jusqu'à l'affinage.



Photo 24. Le salage

1.2. Autres étapes

1.2.1. Le pressage

Cette étape est une prolongation de l'égouttage. Pour certains fromages, il convient d'égoutter le fromage plus fortement; en le plaçant sous une presse on extrait davantage d'eau permettant une plus grande possibilité de garde. Le cas des fromages de grandes tailles. La pâte est plus sèche et la conservation meilleure. L'affinage pourra atteindre plusieurs mois.

Certains fromages seront consommés frais, après avoir été égouttés, tandis que d'autres vont poursuivre leur maturation.

1.2.2. L'affinage

L'affinage s'effectue sur des clayettes disposées dans une pièce fraîche dont la température est maintenue à 10 -11°C. Cette cave ou réserve bien ventilée, avec 80% d'humidité, est appelée le hâloir. Les fromages sont alors régulièrement retournés à la main.

Le caillé frais devient peu à peu une pâte qui, en fonction des flores d'affinage utilisées, se recouvre d'une fine croûte de couleur blanche, jaune ou brune. L'air ambiant dans le hâloir a une influence non négligeable sur la saveur des fromages. Le fromager ou l'affineur apprécie leur maturation au toucher, au coup d'oeil, à l'odorat et au goût.

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.

C'est une étape cruciale de la vie du fromage. Après démoulage et salage; les fromages à pâtes molle ou demi-dure sont placés en hâloir (séchoir) c'est-à-dire dans un environnement où il pourra s'épanouir gustativement et visuellement pour y terminer leur égouttage et :

- Soit y « prendre la fleur « pour les croûtes fleuries »
- Ou bien y «prendre le bleu» pour les croûtes lavées en fait pour y prendre le duvet de la moisissure.

Le temps d'affinage définit (il peut durer des mois), les ferments naturels du lait vont donc agir sur la pâte obtenue. La protéolyse commence ; il s'agit de la création de la croûte naturelle du fromage, elle va renfermer les odeurs et les saveurs jusqu'à son optimal de dégustation. C'est là que le fromage prend son caractère.

Il est placé en cave, à des températures, aérations et degrés d'humidité divers. A cette étape on rencontre plusieurs acteurs : le fabricant, l'affineur et le fromager (qui peut être les 3 à la fois). L'affineur va surveiller l'évolution du fromage, le sonder, le juger ... retourné, salé, brossé; le fromage va enfin atteindre son état final.

La finesse des dosages est essentielle pour la stabilité du gout ; La texture du chèvre varie en fonction du degré de présure utilisé pour obtenir le caillé.

- Le mode de fabrication "**lactique**" concerne entre 80% et 85% des produits consommés aujourd'hui, soit tous les chèvres frais et affinés. Pour obtenir lentement un caillé de lait, on ajoute peu de présure, environ une goutte par litre de lait, et plus de ferments lactiques.

- **Le caillé "mixte"** est utilisé pour 10% à 15% des produits, en majorité des chèvres avec trois fois plus de présure qu'en mode lactique, on obtient un caillage plus rapide.

- Pour fabriquer des fromages à **pâte pressée** tels que les tommes de chèvre, on utilise six fois plus de présure qu'en mode lactique.

Pour des raisons de temps (durée de l'autorisation des étudiants sur le lieu de déroulement des essais) d'une part et la disponibilité de matière première d'autre part, les essais ont porté sur le mode de fabrication lactique.

Le chèvre est un fromage peu connu et sa consommation reste le privilège de peu de consommateurs. Sa fabrication et sa commercialisation commence à prendre une place dans le marché des fromages classiques (lait de vache), est restée l'exclusivité de la région centre et particulièrement du grand Alger.

Après avoir réalisé des essais qui ont aboutis à l'obtention de fromage, nous avons voulu le tester sur des consommateurs novices, puisque la quasi-totalité le déguste pour la première fois. Etant donné l'absence de connaissances de bases sensorielles de comparaison vécues par le public soumis à la dégustation, nous avons proposé des variantes de modes de consommation du chèvre frais.

Le chèvre souple et humide, à peine sorti du moule et déjà doté d'une saveur délicate, il s'accommode très bien d'un saupoudrage de fines herbes fraîches ou séchées, persil, ciboulette, coriandre..., voire du trait d'un bon poivre en moulin ou de fleur de sel. Présenté en faisselle, le chèvre frais peut aussi se déguster en dessert, sucré d'un filet de miel, accompagné d'une cuillère de confiture de figues ou de compote d'abricots...

1.3. Dégustation du fromage frais

Devant cette palette de mode de dégustation nous avons retenue trois variantes **(Photo 25)** :

- La variante classique en accompagnement d'une tranche de pain en fin de repas
- La variante aigre-épicee en entrée (tomate salade saucisse épicee et olive noir)
- La variante dessert avec un filet de miel.

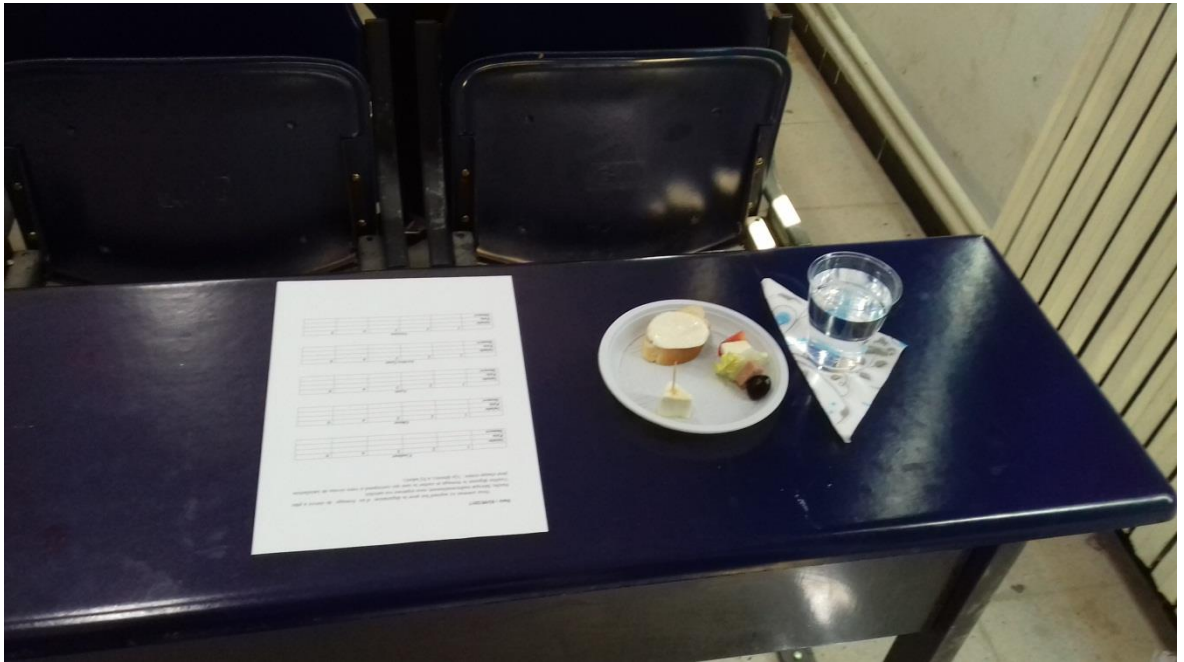


Photo 25. Variantes de consommation du chèvre proposé à la dégustation

Chaque candidat à la dégustation dispose d'une assiette assortie des trois variantes proposées à l'appréciation comme le montre le (**tableau 6**), ce type de tableau est répété pour les sensations de GOUT, d'ODEUR, de COULEUR, de TEXTURE et d'ARRIERE GOUT.

Tableau 6. Les trois variantes proposées dans le teste de dégustation

Variantes	Note du plus mauvais au plus bon				
	1	2	3	4	5
Fromage pain					
Fromage salade entrée					
Fromage dessert					

Les candidats au nombre de 37 ont été introduit par petit groupe pour pouvoir leur expliquer ce qui attendu de ce test (**Photos 26 et 27**).



Photo 26. Dégustation



Photo 27. Dégustation

1.4. Traitement statistique des résultats d'appréciation sensorielle

Après le test la normalité en utilisant le test de **Shapiro-Wilk** notre échantillon elle ne suit pas la normale donc on a été contraint d'utiliser un test non paramétrique : **Kruskal-Walis** suivi par un test de comparaison multiple : **Dunn** pour comparaison de plusieurs moyennes.

Partie expérimentale

Tableau 7. Etude descriptive : GOUT

Variable	N	Min	Max	Moyenne	Moyenne des rangs	Ecart-type	P
F. pain	37	1	5	3.35	45.27 ^a	1.33	0.04
F. salade	37	1	5	3.35	61.28 ^b	1.39	
F. dessert	37	1	5	2.64	61.44 ^b	1.29	

Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les chiffres) qui leurs correspondent sont différente ; valeurs significatives au seuil alpha = P<0,05.

Tableau 8. Etude descriptive : COULEUR

Variable	N	Min	Max	Moyenne	Moyenne des rangs	Ecart-type	P
F. pain	37	1	5	4,05	53,73 ^a	1,10	0,69
F. salade	37	2	5	4,27	54,85 ^a	0,83	
F. dessert	37	1	5	4,05	59,41 ^a	1,02	

Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les chiffres) qui leurs correspondent sont différente ; valeurs significatives au seuil alpha = P<0,05.

Tableau 9. Etude descriptive : ODEUR

Variable	N	Min	Max	Moyenne	Moyenne des rangs	Ecart-type	P
F. pain	37	1	5	3,05	48,60 ^a	1,47	0,15
F. salade	37	1	5	3,32	56,66 ^a	1,41	
F. dessert	37	1	5	2,70	62,73 ^a	1,30	

Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les chiffres) qui leurs correspondent sont différente ; valeurs significatives au seuil alpha = P<0,05.

Tableau 10. Etude descriptive : TEXTURE

Variable	N	Min	Max	Moyenne	Moyenne des rangs	Ecart-type	P
F. pain	37	2	5	3,94	45,01 ^a	1,02	0,02
F. salade	37	1	5	3,73	59,13 ^{ab}	1,21	
F. dessert	37	1	5	3,13	63,85 ^b	1,35	

Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les chiffres) qui leurs correspondent sont différente ; valeurs significatives au seuil alpha = P<0,05.

Tableau 11. Etude descriptive : ARRIERE-GOUT

Variable	N	Min	Max	Moyenne	Moyenne des rangs	Ecart-type	P
F. pain	37	2	5	3,10	46,05 ^a	1,24	0,05
F. salade	37	1	5	2,91	58,54 ^{ab}	1,36	
F. dessert	37	1	5	2,40	63,40 ^b	1,21	

Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les chiffres) qui leurs correspondent sont différente ; valeurs significatives au seuil alpha = P<0,05.

1.5. Discussion

La comparaison des moyennes des 5 variables sensorielles proposées à l'appréciation des consommateurs montre d'abord que pour les variables ODEUR et COULEUR (**Tableaux 8 et 9**), il n'existe pas de différences significatives, ce qui est logique puisqu'il s'agit du même produit. Si les moyennes présentent de petites différences ceci est dû à l'influence des ingrédients rajoutés surtout en entrée et dessert.

Par contre pour les variables sensorielles GOUT, TEXTURE et ARRIERE-GOUT (**Tableaux 7, 10, 11**) ils existent des différences significatives marquant un démarquage surtout lorsque le chèvre est proposé en entrée (apport acide des ingrédients) ou en dessert apport adoucissant du miel.

Il faut savoir qu'avec le temps les variantes testées du chèvre se transforment, faute de moyens adéquats de conservation et de spécialistes de la dégustation nous apportons ces informations complémentaires en auto-appréciation.

- au bout d'une semaine: la pâte toujours très blanche devient plus homogène. La sensation de fraîcheur et le "goût de lait" laissent place à une saveur plus subtile propre aux produits caprins.
- au bout de deux semaines : une croûte fine blanche, jaune, brune ou bleutée, selon les flores de couverture utilisées lors de l'affinage, commence à se former sur la surface du fromage demi-sec.
- Au bout de 3-4 semaines : le fromage sec a maintenant une pâte compacte et ferme qui s'effrite légèrement sous la lame du couteau. Son goût plus affirmé séduit les amateurs.
- Au-delà, un chèvre bien égoutté et bien affiné peut se conserver plusieurs semaines (voire même plusieurs mois), dans un hâloir ou une cave répondant aux critères de température et d'humidité requis.

Conclusions

Les essais engagés ont été réussis, il serait intéressant de reprendre ses essais avec des mesures sur les paramètres physico-chimiques d'une part et faire des essais sur des laits de provenances différentes d'autre part. Ce travail pourra viser l'éleveur fromager fermier, car il se trouve naturellement inscrit dans une logique individuelle; il doit apprendre à assumer seul:

- la production laitière,
- la fabrication du fromage,
- la commercialisation de celui-ci.

Sur le plan commercial, la **vente directe** (à la ferme, en bord de la route et/ou sur les marchés) est généralement privilégiée. Puis vient le **circuit court** (approvisionnement d'un certain nombre de détaillants et de restaurants, dans un rayon relativement proche). Enfin, lorsque les potentialités locales s'épuisent et que le volume de production augmente, le fromager fermier s'adresse à des **grossistes** d'autres régions et, parfois même, à la **grande distribution**. La transformation collective à petite échelle du lait en fromage dans un atelier artisanal est une option d'organisation économique qui peut être alternative ou complémentaire à l'option fromage fermier. Elle peut regrouper un effectif limité de producteurs de lait, et là il s'agit d'une autre façon de revaloriser la matière première lait au bénéfice du producteur, en la transformant en produit alimentaire de qualité (fromage traditionnel au lait cru).

Référence bibliographique

A

1. **Alais C., (1984).** Science de lait : principes des techniques laitières. 4ème édition, SEPAIC, Paris, 814 p.
2. **Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R. et Turgeon H., (2002).** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait In VIGNOLA C.L. Science et technologie du lait - Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, 600 p.
3. **Amroun.Laga T. et Zerrouki N., (2011).** Influence des saisons et de l'alimentation sur la composition du lait de chèvres bédouines (*capra hircus*). Le 22^{ème} Forum des Sciences Biologiques de L'Association Tunisienne des Sciences Biologiques. 4 p.
4. **Ansartm H.G., (1995).** Les industries agricoles et alimentaires, progrès des sciences et techniques, p, 46 in ANDRIATSIDIKANA D. (2010). Projet de création d'une unité de fabrication semi – industrielle de fromage à partir de lait de chèvre dans la région d'ambatolampy. Mémoire du diplôme d'ingénieur. Université d'Antananarivo, 135p.

B

5. **Balcons .,Olano A. et Calvo M. M., (1996).** Factors affecting the rennet clotting properties of ewe's milk *J. Agric. Food chem*, 44,1993-1996.
6. **Beuvier E. et Feutry F., (2005).** Quelques bases sur la microbiologie du lait et du fromage.
7. **Bosset J. O., Albrecht B., Badertscher R. et al., (2000).** Caractéristiques microbiologiques, chimiques et sensorielles de lait, de caillés et de fromage de chèvre de type fromaggini (buexion, robiola) et Foermagella. Péd. LAIT. -France : C N R S, 2000, 95 (5) :546-580.
8. **Brulé G., Lenoir J. et Remeuf F., (2006).**La micelle de caséine et la coagulation du lait in : <<le fromage>>éd. Eck et Gillis. Technique et documentation, 3ème éd., Lavoisier, paris.
9. **Bylund G., (1995).**Dairy processing handbook-Tetra pak processing systems. Lund, Sweden, 436 p.

C

10. **Carole L. et Vignola ., (2002).** Science et Technologie du lait. 598p.
11. **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): 445-451.
12. **Cattaneo T. M. P., Nigro F., Messina G. et Gianiacomo R., (1994).**
13. **Centre D'Enseignement Laitier Par Correspondance., (2000).** Lexique. Ecole Nationale d'Industrie Laitière et des Industries Agro-Alimentaires. Surgères : 99-105p.
14. **Chilliard Y., (1996).** Caractéristiques biochimiques des lipides du lait de chèvre : comparaison avec les laits de vache et humain. Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre. Actes du colloque : le lait de chèvre, un atout pour la santé, INRA. Niort, France, pp. 51-65.
15. **Claverie M. et Vega H., (2007).** Aspartic Proteases Used in Chees making In <<Industrial enzymes>> Ed Polaina and A P. MacCab, Springer.
16. **Coulin J. B. et Rock E., (2003).** Caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers et variations selon leur origine. INRA. Prod. Anim. 16: 275-278.

D

17. **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.*, 56,727-735.
18. **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): 397-415.
19. **Dayon A., (2005).** Influence de l'alimentation sur la composition du lait de chèvre : revue des travaux récents ; colloque sur la chèvre, CRAAQ 7 Octobre, Québec, canada.
20. **Desmazeaud M., (1992).** Les bactéries lactiques. In : les groupes microbiens d'intérêts laitiers CEPIL (Ed), Paris, 9-60.
21. **Desmazeaud M., (1998).** Bactéries lactiques et qualité des fromages. INRA Jouy-en Josas, p. 1.

22. **Doutoum A. A., (1995).** Contribution à l'étude de la qualité du lait des ceintures laitières périurbaines de la zone cotonnière du Sénégal. Th. Méd.Vét. : Dakar : 1995 ; 21.
23. **Dybowska E. et Fujio Y., (1996).** Effect of temperature and gluconolactone (GDL). Concentration on milk aggregation and gelation process as revealed by optical method. *Milchwissenschaft*, 51,557-560.

E

24. **Eck A., (1990).** Le Fromage, Paris Ed. sepaic.
25. **Egito A. S., Girardet J. M., Laguna L. E., Poirson C., Miclo L., Humbert G. et Gaillard J.L., (2007).** Milk clotting activity of enzyme extracts from. Sunflower and alfalfa seeds, speeds, and specific. Hydrolysis bovine casein. *Int.Dairy J.*17, 816-825.
26. **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. Alford .2ème Ed, the Avi Publishing Company Inc, p. 662-771, 929p.
27. **Evette J. L., (1975).** La fromagerie. -Paris : presse universitaire de France, 1975 - 140p.

F

28. **FAO (Food and Agricultural Organization) (2006).** Major Food and agricultural commodities and producers. Country by commodity. [Cited 2006].
29. **Farkye N. Y., (2004).** Cheese technology. *INT.j.Dairy.Tech.*57, 91-98.
30. **Fotou K., Tzorz A., Voidarou Ch., Alexopoulos A., Plessas S., Avgeris I., Bezirtoglou E., Akrida-Demertzi K. et Demertzi P G., (2011).** Isolation of Microbiological pathogens subclinical mastitis from raw Sheep milk of Epirus (Greece) and their role in its hygiene.
31. **Fresse O. M. et Paul-pascal M. P., (1993).** Listeria monocytogene dans le lait et les produits laitiers. Th. Méd. Vét. : Toulouse : 4115.17.
32. **Ftlq. (2002).** Science et Technologie du lait. Fondation de Technologie Laitière du Québec.

G

33. **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, 1-7.
34. **Gastaldi E., Pelle Grini O., Lagaude A., et Tarodo de la Fuente B., (1994).** Function of added calcium in acid milk coagulation *.J.Foodsci*, 59,310-320.
35. **Gelais S. T., (2002).** Composition du lait de chèvre et son aptitude à la transformation-Canada, Québec.
36. **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.
37. **Gueguen L., (1996).** La valeur nutritionnelle minérale du lait de chèvre. Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre. Actes du colloque : Le lait de chèvre, un atout pour la santé, INRA. Niort, France, pp.67-80.
38. **Guiraud J. P., (2003).** Microbiologie Alimentaire. Edition DUNOD. Paris. Pp : 136-139.

H

39. **Haenlein G. F. W., (2004).** Goat milk in human nutrition. *Small Rumin. Res.* **51**, 155-163.

I

40. **INRA (Institut National de Recherche Agronomique) (2002).** Sécurité des aliments à INRA. -France : INRA, 2002.-21p.
41. **Institut de l'élevage, Résultats de contrôles laitiers – Espèce caprine. (2003b).** [en ligne]. Site de l'institut de l'élevage. URL : <http://www.inst-elevage.asso.fr/> (page consultée le 05/08/04).

J

42. **Janhøj 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.

43. **Jooyandeh H. et Abroumand A., (2010).** Physico-chemical, nutritional, heat treatment effects and Dairy product aspects of goat and sheeps milks. *World Applied Science Journal*. 11 (11), 1316-1322.

K

44. **Kebchaoui J., (2013).** Le lait compositions et propriétés. 37 p.
45. **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*, 60,1256-1259.

L

46. **Labrie S., (2012).** Impact de la qualité du lait sur les produits laitiers, institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels (INAF). Centre de recherche en sciences et technologie du lait (STELA), 55 p.
47. **Le Great Y. et Brul G., (1993).** Les équilibres minéraux du lait : influence de ph et de la force ionique. *Lait*, 73,51-60.
48. **Lefrileux Y., Raynaud S., Morge S., Barral J., Gauzere Y., Doutart E. et Laithier C., (2009).** Influence de deux systèmes d'alimentation sur la production et la composition du lait de chèvres hautes productrices et incidences technologiques en fabrication fermière lactique. *Renc. Rech. Ruminants*. p. 139.
49. **Lornete B. E., Brutic. B. et Caffini N. O., (2004).** Purification and Characterization of a milk clotting asprticiprotéinases from globe artichoke. (*Cynarascolym. L*).*J. Agric, Food, chem*, 52, 8182-8198.
50. **Low Y. H., Agboola S., Zaho H. et LIM M .y., (2006).** Clottingandproteolytic of plant coagulants in regular and ultrafilteredbovin skim milk. *Int.Dairy. J*, 16,335-343.

M

51. **Mahaut M., Jeantet R., Schuck P. et Brule G., (2000).** Les produits industriels laitiers. Ed, TEC & DOC, Lavoisier, paris, pp. 2-14.
52. **Mami A., (2013).** Recherche des bactéries lactiques productrices de bactériocines à large spectre d'action vis-à-vis des germes impliqués dans les toxi-infections alimentaires en Algérie. Thèse de doctorat. Université d'Oran.176p.

53. **Martin P., Leroux C., 1994.** Characterization of a further goat α s1- casein variant generated by exon skipping. XXIV International Conference on Animal Genetics, Prague, p 88
54. **Mauhaut M., Jeantet R. et Brule G., (2005).** Initiation à la technologie fromagère. Tec. & Doc, paris, France. 1-21.
55. **McMahon D. J., Rdchardson 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., 67,1185_1193.
56. **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, 245p.
57. **Montel N. C., (2003).** Pratiques d'élevage, microflore du lait et qualité des produits laitiers. Prod. Anim.-France : INRA, 16, (4) : 279-282.
58. **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, 1908-1911.
59. **Moualek I., (2011).** Caractérisation du lait de chèvre collecté localement : séparation chromatographiques et contrôles électrophorétiques des protéines. Mémoire de magister.

N

60. **Najera de Renobales 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, 345-352.
61. **Njassap H. V. N., (2001).** Contribution à l'étude de la qualité microbiologique du lait fermenté kossam commercialisé dans les rues de Yaoundé (Cameroun). Th. Méd. Vét. : Dakar : 11.

P

62. **Parkash S. et Jenness R., (1968).** The composition and characteristics of goat's milk: A review. In DairySci. Abstr (Vol. 30, No. 2, pp. 67-87).

63. **Pougheon S., (2001).** Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière. Thèse doctorat d'état en médecine vétérinaire, université Paul Sabatier de Toulouse, France.
64. **Prescott L. M., Harley J. et Klein D. A., (2010).** Microbiologie 2ème édition. De Boeck, paris, p. 979.

Q

65. **Qvist K. B., (2010).** The formation of cheese curd ;intechology of cheesemaking.2 nded, law, B, A, tammie, A, Y, Eds, Wiley-blackwell: oxord, UK pp 98-129.

R

66. **Ramet J. P., (1985).** La fromagerie, les variétés de fromages du bassin méditerranéen. Collection. Production et santé Animales. FAO, Rome, Italie.187p.
67. **Raposo S. et Domingos A., (2008).** Purification and characterization milk-clotting aspartic protéinases from centaurea calcitrapa cell suspension cultures. Process biochem.43, 139-144.
68. **Raynal-Ljutovac K., Lagriffoul G., Paccard P., Guillet I. et Chilliard Y., (2008).** Composition of goat and sheep milk products.ELSEVIER. Small Ruminant Research. France. 79: 57.
69. **Remeuf F., Cossin V., Dervin C. et Tomasson R., (1991).** Relation entre les paramètres physico-chimiques des laits et son aptitude fromagère. Lait 71, 397-421.
70. **Roseiro L. B., Barbosa M., Ames J. M., etWilbey 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, 76-85.

S

71. **Sharma G. S. et Roy N. K., (1976).**Electrical conductivity of milk from of the beetal breed. National dairy research institute, karnal-132001(Haryana), india.
72. **Simois I. et Faro C., (2004).** Stucture and function of plant aspartiqueprotiénases. *Eur.J. Biochem* 271, 2067-2075. Cattaneo T.M.P., Nigro F., Missina G. and Giangiacomo.R (1994).effet of an enzymatic complex from pineapple pulp on the primary clotting phase.milchwissenschaft.49.269-272.

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

T

74. **Tejani K., (2010).** Le pastoral de la nature et l'écologie en Algérie. Revue de web et article sur l'environnement en l'Algérie. Réseau de compétence et de bonnes volontés. Outil web de recherche : Ecologie et environnement en Algérie en Afrique de Nord, en Méditerranée et dans le reste du monde. Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou, 101 p.

V

75. **Veinoglou B., Baltadjieva M., Kalatzopoulos G., Stamenova V. et Papadopoulou E., (1982b).** La composition de lait de chèvre de la région de Plovdiv et en Bulgarie et de Ioninna en Grèce. *Lait*, 65, 155-165.
76. **Vierling E., (2008).** Aliments et boissons filières et produits. 3^{ème} édition Biosciences et techniques .Paris. pp : 15-16.
77. **Vignola C., (2002).** Science et Technologie du Lait Transformation du Lait. Edition Anaerobe 17, 315, 319.
78. **Visser S., Van Rooyen P. J. et Slangen C. J., (1980).** Peptide substrates for chymosin (renin). Isolation and substrate behaviour of two tryptic fragments of bovine k-casein, *Eur. J. Biochim.* 108, 415-421.

W

79. **Wehrmüller K. et Ryffel S., (2007).** Produits au lait de chèvre et alimentation AgroscopeLiebefeld-Posieux ALP Posieux, n° 28, Suisse.
80. **Wehrmüller K. et Ryffel S., (2007).** Produit au lait de chèvre et alimentation, fiche technique destinée à la pratique, ALP ACTUEL 2007, n° 28.

Z

81. **Zeller B. (2005).**Le fromage du chèvre : Spécificités technologiques et économiques Thèse de Doctorat de l'Université Paul-Sabatier, Toulouse, France. P.79.

LES SITES WEB

1 -<http://www.fao.org/docrep/t4280f/T4280F07.htm>Laits d'autres animaux d'élevage

2 -<http://gfoli.laitdejumentjumvital.com/download/comparatifdeslaitsdemammiferesws2538588>

3- http://www.minefe.gouv.fr/directions_services/daj/guide/gpem/table.html

4-www.fromagesdesuisse.fr/news.../fromage-artisanal-fermier-laitier-et-industriel.html

5-<http://web04.univlorraine.fr/ENSAIA/marie/web/ntic/pages/2012/deseiss.html#2partie>

6-www.azaquar.com - site internet sur les Sciences et Techniques des Aliments

7-www.fromagesdechevre.com

8-www.inra.fr - La fabrication du fromage - Étude sur la flore microbienne des fromages par Catherine Foucaud-Scheunemann de la Mission Communication

9-www.bois.com, octobre 2011