

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université 8 Mai 1945 de Guelma**



**Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre  
et de l'univers**

**Département d'écologie et génie de l'environnement**

**Filière : Sciences Alimentaires**

**Option : Production et Transformation Laitières**

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Thème**

**Contribution à l'étude physico-chimique et  
bactériologique du lait de chèvre et essais de fabrication  
de fromages frais.**

Présenté par : **Idrissa Hawa** et **Coulibaly Lévi**

**Devant le jury composé de :**

Président

**Dr. Boudalia Sofiane**

MCA

Encadreur

**Mr Chemmam Mabrouk**

Professeur

Examinatrice

**Mme Leksir Choubaïla**

MAA

**Juin - 2018**

## **Remerciements :**

Nos remerciements les plus profonds et sincères notre encadreur :

**Pr. Chemmam Mabrouk**

Un grand merci aux membres du jury

**Mr. Boudalia Sofiane**, président

**Mme Leksir Choubaila**, examinatrice.

Notre gratitude s'élève à l'ensemble du corps enseignant ayant contribué à notre formation depuis la maternelle jusqu'à ce stade.

Une reconnaissance particulière à **Mr. Tadjine Dahmane** pour tous les efforts qu'il a déployés pour permettre la réalisation de ce travail.

## Dédicace

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

Avec fierté et gratitude, je dédie ce travail :

- ❖ A la mémoire de mes parents : j'espère être toujours à la hauteur de vos espérances et puisse Allah : vous pardonner, vous accueillir dans son immense paradis et vous accorder sa miséricorde.
- ❖ A mon très cher grand frère : **Abdourhamane IDRISSA**, tes conseils, encouragements et sacrifices ont été une source de motivation pour moi et m'ont permis d'affronter les difficultés de la vie afin d'aboutir à un tel résultat. Que Dieu te récompense.
- ❖ A mes frères, mes sœurs : la plus belle chose que la vie m'a donnée c'est de vous avoir. Je tiens à vous remercier pour votre affection, votre soutien, votre confiance et aussi pour les encouragements sans lesquels je n'aurais jamais pu tenir la distance. Notre force résidera toujours dans notre sincère entente et notre esprit de fraternité.
- ❖ A mon binôme **Lévi Coulibaly**, pour sa compréhension, sa patience.
- ❖ A tous ceux qui m'ont aidé, d'une façon ou d'une autre lors de la réalisation de ce travail, merci à tous.

***IDRISSA Hawa.***

## **Dédicace**

Ce travail, je le dédie :

### **A mes parents**

**Pasteur Niara Jérémie Coulibaly et Mme Coulibaly Mariam Coulibaly,**  
pour les nombreux sacrifices ainsi que les efforts consentis à mon  
éducation.

**A mes frères et ma sœur** pour leur soutien.

**A ma grande mère, mes oncles, tantes, cousins et cousines** pour les  
encouragements.

**A mes camarades de classe** et à l'ensemble de la promotion " 013 " de  
**Guelma.**

**Coulibaly Lévi**

**Résumé :**

C'est dans un souci de couverture des besoins en protéines animales, de plus en plus élevés, que cette étude a été entreprise, en utilisant le lait de chèvre dans la production de fromage frais. L'objectif est d'évaluer d'abord les qualités physico-chimiques et bactériologiques du lait et par la suite sa transformation fromagère par une série d'essais avec divers procédés de fermentation.

Les conclusions auxquelles nous sommes parvenus sont entre autres, l'hétérogénéité de la qualité de ce type de lait, en fonction des élevages dans la quasi-totalité des paramètres étudiés, et particulièrement dans ses taux de matières sèches allant de 13,24% à 15,48% et de l'absence totale à  $3,97 \cdot 10^3$  ufc/ml de staphylocoques pathogènes (dépassant la norme limite du JORA qui est de  $10^3$  ufc/ml) suivant les fermes, pour ne citer que ces deux (2) paramètres.

La comparaison des fromages fabriqués a montré que l'usage de ferments lactiques (originels du lait ou ajoutés) pour la coagulation, réduisait d'environ 1,4 point le pourcentage de matières minérales par rapport à celui de la présure (employée seule).

**Mots clés :** lait de chèvre – fromages frais – qualités physico-chimiques – qualités bactériologiques.

## **Summary**

In order to cover animal proteins needs, which are more and more, increasing, that this study was conducted by using goat milk for fresh cheese making. The aim is first, to assess the physicochemical and bacteriological qualities of goat milk and after its transformation into cheese by using different fermentation methods.

Among the conclusions that we have come to, the heterogeneity of this kind of milk, based on farms have been shown in almost all the analyzed parameters; particularly its dry matter rates ranging from 13, 24 % to 15, 48 % and from total absence to  $3, 97 \cdot 10^3$  cfu/ml of pathogenic staphylococci (higher than the JORA standard limit which is  $10^3$  cfu/ ml) from one farm to another.

The comparison of the manufactured cheeses have shown that the use of lactic ferments for the coagulation reduced the ashes rates for about 1, 4 percentage point compared to the use of rennet (used alone) for the same goal.

**Key words:** goat milk – fresh cheeses – physicochemical qualities – bacteriological qualities.

## ملخص

ومن أجل تغطية احتياجات البروتينات الحيوانية ، أكثر وأكثر ، تم إجراء هذه الدراسة ، وذلك باستخدام حليب الماعز في إنتاج الجبن الطازج. والهدف من ذلك هو تقييم الصفات الفيزيو كيميائية للحليب ، ومن ثم تحويل الجبن من خلال سلسلة من الاختبارات مع عمليات التخمير المختلفة.

الاستنتاجات التي توصلنا إليها هي عدم التجانس لجودة هذا النوع من الحليب ، اعتمادًا على مزارع التربية في جميع الخصائص التي تمت دراستها تقريبًا ، ولا سيما في معدلات المادة الجافة التي تتراوح من 13.24% إلى 15.48% و الغياب التام  $10^3$  ufc / مل من المكورات العنقودية المسببة للأمراض (يتجاوز المعايير القياسية JORA التي هي  $10^3$  ufc / مل) اتباعا للمزارع، للدلاء الا هذين الخاصتين.

أظهرت مقارنة بين الألبان المنتجة أن استخدام التخمير اللاكتيكي (الحليب الأصلي أو المضاف) للتخثر قلل نسبة المادة المعدنية بحوالي 1.4 نقطة مئوية مقارنة مع المنقحة (المستخدمة وحدها).

**الكلمات المفتاحية:** حليب الماعز، الجبن الطازج، الخصائص الفيزيوكيميائية، الخصائص البكتيريولوجية.

# Sommaire

Liste des abréviations	i
Liste des tableaux	ii
Liste des figures	iii
Liste des photos	iv
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Etude bibliographique</b>	
<b>Chapitre I : Le Lait</b>	
<b>1.1. Généralités</b>	<b>4</b>
1.1.1. Définitions	4
1.1.2. Aspect	5
1.1.3. Lait de chèvre	5
<b>1.2. Les caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre</b>	<b>6</b>
1.2.1. Densité	6
1.2.2. pH	6
1.2.3. Acidité	7
1.2.4. Conductivité électrique	7
1.2.5. Point de congélation	7
1.2.6. Point d'ébullition	7
1.2.7. Extrait sec	7
<b>1.3. La composition du lait de chèvre</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1. Composition chimique</b>	<b>8</b>
1.3.1.1. Eau	8
1.3.1.2. Lactose	8
1.3.1.3. Matière grasse	9
1.3.1.4. Matière protéique	9
1.3.1.5. Minéraux	11
1.3.1.6. Vitamines	11
1.3.1.7. Autres constituants	12
<b>1.3.2. Composition microbiologique</b>	<b>13</b>

1.3.2.1. Flore originelle	13
1.3.2.2. Flore contaminante	13
<b>Le lait de chèvre : Avantages nutritionnels et technologiques</b>	<b>14</b>
<b>Chapitre II : Le fromage</b>	
<b>2.1. Généralités</b>	<b>16</b>
2.1.1. Historiques	16
2.1.2. Production mondiale	16
2.1.3. Définition	<b>17</b>
<b>2.2. Classification des fromages de chèvre</b>	<b>17</b>
2.2.1. Types de fromages selon le mode de coagulation	17
2.2.2. Types de fromages selon la pâte fromagère	18
2.2.3. Types de fromages selon la forme	19
<b>2.3. Fabrication du fromage</b>	<b>19</b>
2.3.1. Phase de coagulation	19
2.3.2. Phase d'égouttage	21
2.3.3. Phase d'affinage	21
<b>2.4. Problèmes de fabrication</b>	<b>22</b>
2.4.1. Problèmes de coagulation	24
2.4.2. Problèmes d'affinage	24

# Etude expérimentale

## I. Matériel et Méthodes

1.1. Prélèvement du lait	27
1.2. Matériel, réactifs et milieux de cultures utilisés	28
<b>1.3. Analyses pratiquées</b>	<b>29</b>
1.3.1. Analyses physico-chimiques du lait cru de chèvre	29
1.3.1.1. pH	29
1.3.1.2. Acidité	30
1.3.1.3. Densité	31
1.3.1.4. Matière sèche	31
1.3.1.5. Cendres	32

1.3.2. Analyses bactériologiques du lait cru de chèvre	32
1.3.2.1. FMAT	33
1.3.2.2. Coliformes totaux et fécaux	33
1.3.2.3. Clostridium sulfito-réducteurs	34
1.3.2.4. Staphylocoques pathogènes	35
1.3.2.5. Salmonelles	36
<b>1.4. Essais de fabrication de fromages frais</b>	<b>37</b>
1.4.1. Diagrammes de fabrication : Coagulation uniquement lactique	38
1.4.2. Diagramme de fabrication : Coagulation mixte	40
1.4.3. Diagramme de fabrication : Coagulation enzymatique	41
<b>II. Résultats et discussions</b>	
2.1. Analyses physico-chimiques	42
2.2. Analyses bactériologiques	48
2.3. Essais de fabrication de fromages frais	51
• <b>Discussion des résultats</b>	<b>55</b>
<b>Conclusion</b>	<b>57</b>
Références bibliographiques	58
Annexes	62

## Liste des abréviations

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

**pH** : Potentiel Hydrogène

**FMAT** : Flore Mésophile Aérobie Totale

**BLBVB** : Bouillon Lactosé Bilié au Vert Brillant

**PCA** : Plate Count Agar

**UFC** : Unité Formant Colonie

**MS** : Matière Sèche

**SFB** : Bouillon Sélénite-cystéine

**CE** : Commission Européenne

**JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne

**°C** : Degré Celsius

**°D** : degré Dornic

**Cm** : Centimètre

**µm** : Micromètre

**A<sub>w</sub>** : Activité d'eau

**MP** : Matière Protéique

**MG** : Matière Grasse

**Staph** : Staphylocoque

**I.A.A** : Industries Agroalimentaires

**AFoCG** : inter Associations de Formation Collective à la Gestion

**CMP** : CaséinoMacroPeptide.

## Liste des tableaux

<b>Tableaux</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Tableau 1</b>	Répartition mondiale de la population caprine	<b>6</b>
<b>Tableau 2</b>	Quelques caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre en comparaison au lait de vache et de femme	<b>8</b>
<b>Tableau 3</b>	Composition du lait de chèvre en minéraux	<b>11</b>
<b>Tableau 4</b>	Composition comparée (lait de chèvre, lait de vache et lait de femme) en quelques vitamines	<b>12</b>
<b>Tableau 5</b>	Composition chimique comparée du lait de chèvre à celui de vache et de femme	<b>12</b>
<b>Tableau 6</b>	Les microorganismes utiles du lait	<b>13</b>
<b>Tableau 7</b>	Les microorganismes défavorables du lait	<b>14</b>
<b>Tableau 8</b>	Quelques paramètres de comparaison entre les fromages typés en fonction du mode de coagulation	<b>18</b>
<b>Tableau 9</b>	Quelques composants de la pâte fromagère ciblés par les réactions enzymatiques en cours d'affinage	<b>22</b>
<b>Tableau 10</b>	Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Acidité en °D)	<b>43</b>
<b>Tableau 11</b>	Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Densité)	<b>44</b>
<b>Tableau 12</b>	Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (MS)	<b>45</b>
<b>Tableau 13</b>	Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Cendres)	<b>46</b>
<b>Tableau 14</b>	Résultats des analyses physico-chimiques du lait cru de chèvre	<b>47</b>
<b>Tableau 15</b>	Résultats des analyses bactériologiques du lait cru de chèvre	<b>51</b>
<b>Tableau 16</b>	Taux de MS et de cendres des différents fromages fabriqués	<b>55</b>

## Liste des figures

<b>Figures</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Figure 1</b>	Composition de la matière azotée totale du lait de chèvre	<b>10</b>
<b>Figure 2</b>	Activité d'eau minimale pour les microorganismes	<b>23</b>
<b>Figure 3</b>	Carte géographique partielle de la willaya de Guelma	<b>27</b>
<b>Figure 4</b>	Diagramme de fabrication fromage lactique (coagulation spontanée lait pasteurisé seul)	<b>38</b>
<b>Figure 5</b>	Diagramme de fabrication fromage lactique (lait pasteurisé + ferments)	<b>39</b>
<b>Figure 6</b>	Diagramme de fabrication fromage mixte	<b>40</b>
<b>Figure 7</b>	Diagramme de fabrication fromage type présure (lait pasteurisé + présure)	<b>41</b>
<b>Figure 8</b>	Résultats pH des laits analysés	<b>42</b>
<b>Figure 9</b>	Résultats de la mesure des acidités	<b>43</b>
<b>Figure 10</b>	Résultats des densités évaluées	<b>44</b>
<b>Figure 11</b>	Résultats du taux des MS	<b>45</b>
<b>Figure 12</b>	Résultats taux de cendres des échantillons	<b>46</b>

## Liste des photos

<b>Photos</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Photo 1</b>	Des échantillons de lait dans les flacons de 500 ml	<b>28</b>
<b>Photo 2</b>	Détermination de l'acidité titrable	<b>30</b>
<b>Photo 3</b>	Les échantillons de lait dans le four	<b>32</b>
<b>Photo 4</b>	Colonies de la FMAT sur le milieu PCA	<b>48</b>
<b>Photo 5</b>	Croissance des coliformes dans le milieu BLBVB	<b>49</b>
<b>Photo 6</b>	Représentation des colonies noires de clostridies dans la gélose viande-foie	<b>49</b>
<b>Photo 7</b>	Colonies non et caractéristiques de staphylocoques sur le milieu Chapman	<b>50</b>
<b>Photo 8</b>	Exemple d'un test api staph (après culture)	<b>50</b>
<b>Photo 9</b>	Colonies caractéristiques de salmonelles (couleur verte)	<b>51</b>
<b>Photo 10</b>	Images de fabrication de fromage lactique sans présure	<b>52</b>
<b>Photo 11</b>	Images de fabrication de fromage avec présure	<b>54</b>

## Introduction

S'il y a bien un nutriment dont l'importance nutritionnelle n'est plus à prouver, c'est bien la protéine (qu'elle soit d'origine animale ou végétale). Cependant, les protéines animales ont une valeur biologique plus prééminente par rapport aux protéines végétales (d'après le **site web 1**).

De nos jours, la croissance démographique, les changements dans les habitudes alimentaires, ainsi que le degré de développement économique, occasionnent un accroissement de la demande en protéines animales (essentiellement viandes, lait et œufs). Pour répondre à cette demande la production laitière occupe la part la plus importante avec 818 millions de tonnes en 2015 (**site web 2**).

L'adaptation des chèvres aux conditions difficiles (climatiques, géographiques), leurs particularités d'élevage (faible coût de production et cycle de reproduction court) et leur production laitière (quantités non négligeables) font d'elles une alternative pour l'Afrique, dont cheptel est le plus imposant après celui de l'Asie.

Le lait frais est un produit altérable, s'il n'est consommé ou conservé, la transformation fromagère constitue une opportunité par laquelle on peut bénéficier de cette ressource alimentaire.

Ce procédé pratiqué durant des années, permet non seulement la conservation du lait mais aussi l'amélioration de sa valeur nutritionnelle (dépendante de la composition des constituants du lait de départ) ; puisque suivant les technologies de fabrication, certains fromages peuvent renfermer jusqu'à 30% de protéines (plus que la viande). Pour réussir ce produit dérivé qu'est le fromage, un lait de qualité tant dans sa composition microbiologique que physico-chimique est indispensable.

C'est dans le but de contribuer aux études réalisées sur l'évaluation de ce lait et sur les techniques de transformation fromagère que cette étude a été menée.

Nous l'aborderons de la manière suivante :

- ✓ Une première partie bibliographique portant sur des généralités concernant le lait et les fromages de chèvre,

- ✓ Une seconde partie qui traite les différentes analyses du lait (physico-chimiques et bactériologiques) et quelques procédés de fabrication de fromage ainsi qu'une comparaison entre les produits issus de ces procédés.

# **Etude bibliographique**

## Chapitre I : Le lait

### 1.1. Généralités

#### 1.1.1. Définitions

##### 1.1.1.1. Définition physiologique

Le lait est le produit élaboré par les glandes mammaires de femelles de mammifères après la naissance du jeune dont il constitue l'aliment exclusif pendant la période post natale (**Eeckoutte cité par Fall, 1997**).

##### 1.1.1.2. Définition légale

En 1908, au cours du 1<sup>er</sup> congrès international de la répression des fraudes à Genève le lait a été défini 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 doit pas contenir de colostrum »

Selon le règlement de la commission européenne (CE) N° 1234/2007 annexe XII ;

La dénomination « lait », est réservée exclusivement au produit de la sécrétion mammaire normale, obtenu par une ou plusieurs traites, sans addition ni soustraction.

Toutefois, elle peut être utilisée :

- ✓ Pour le lait ayant subi un traitement n'entraînant aucune modification de sa composition ou pour le lait dont on a standardisé la teneur en matière grasse,
- ✓ Conjointement avec un ou plusieurs termes pour désigner le type, la classe qualitative, l'origine et/ou l'utilisation envisagée du lait, ou pour décrire le traitement physique auquel il a été soumis ou les modifications qu'il a subies dans sa composition, à condition que ces modifications soient limitées à l'addition et/ou à la soustraction de ses constituants naturels.

### 1.1.2. Aspect

C'est un fluide liquide de couleur blanche, tendant vers le jaune en fonction de sa teneur en carotène, d'une saveur douceâtre avec un pH faiblement acide, qui avoisine la neutralité.

Le lait est une émulsion de matière grasse dans une solution aqueuse avec des colloïdes et biens d'autres éléments sous forme dissoute.

L'appellation simple « lait » sans indication de l'espèce animale de provenance, est réservée au lait de vache. Tout lait d'une femelle laitière autre que la vache est désigné par « lait » suivi du nom de l'espèce animale dont il émane. C'est ainsi que se trouve entre autres le lait de brebis, lait de chèvre, lait de chamelle,...etc.

### 1.1.3. Le lait de chèvre

Comme ci-dessus évoqué, c'est le lait provenant de la chèvre. Un peu plus acide que le celui de vache, il est en même plus clair à cause de sa quasi absence de  $\beta$ -carotène, il est caractérisé par une odeur particulière due aux acides gras caproïque, caprylique et caprique.

#### ❖ Classification de la chèvre domestique

**Règne :** Animal

**Embranchement :** Chordé vertébré

**Classe :** Mammifère placentaire

**Ordre :** Cétartiodactyle ruminant

**Famille :** Bovidé capriné

**Genre :** Capra

**Espèce :** aegagrus hircus.

N'étant pas sous un interdit religieux ou social, l'élevage caprin est présent dans le monde entier (tableau 1) jouant un rôle important sur le plan socio-économique.

D'après **Solaiman, (2010)**, les caprins sont appréciés premièrement pour leur lait, leur pelage et leur viande dans les pays développés ; tandis qu'ils sont prisés dans les pays

en voies de développement essentiellement pour la viande ensuite pour le lait, le pelage et la peau.

**Tableau 1 :** Répartition mondiale de la population caprine (compilation de données FAO, 2007 et Pradal, 2014).

Région	Effectif (en million)			% du total	
	Année 1986	Année 2007	Année 2011	En 2007	En 2011
Afrique	153.4	245	312.8	28.8	34
Asie	288	545	552	64.1	60
Europe	20	18.1	18.4	2.1	2
Amériques	34.6	41.1	36.8	4.8	4
Océanie	1.5	1.0	---	0.1	---
<b>Total</b>	<b>497.5</b>	<b>850.2</b>	<b>920</b>	---	---

## 1.2. Les caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre

Certaines caractéristiques sont exposées dans le tableau 2.

### 1.2.1. La densité

C'est le rapport entre deux masses volumiques (celle du lait et de l'eau), tout en utilisant la même quantité pour les deux fluides.

Elle oscille entre 1.027 et 1.035 à la température de 20°C. Cette variation est due notamment à la concentration du lait en substances dissoutes et sa teneur en corps gras en suspension. Plus le lait est pauvre en matière grasse plus la densité est élevée.

La densité du lait écrémé s'élève à plus de 1.035 selon **Fall, (1997)**.

### 1.2.2. Le pH (potentiel hydrogène)

Il détermine la concentration du lait en ions H<sup>+</sup>. Le pH neutre qui est de 7 indique un équilibre entre les substances acides et basiques.

Sa valeur pour le lait de chèvre est comprise entre 6.45 et 6.60 à 20°C.

D'après **Sina, (1992)**, la légère acidité de ce pH serait due aux ions phosphoriques et citriques ainsi qu'aux caséines ; et la forte teneur en albumine et une baisse des caséines du lait mammitieux sont la raison de l'alcalinité de ces types de lait.

### **1.2.3. L'acidité du lait**

Cette caractéristique est une résultante de l'acidité ionique du lait et celle développée suite à la transformation du lactose en acide lactique par des microorganismes.

Elle n'a pas une valeur stable (basse pour le lait frais et élevée pour le vieux lait). C'est d'ailleurs un paramètre de contrôle au niveau des industries de transformation laitière.

L'acidité du lait de chèvre frais varie de 14 à 18°D.

### **1.2.4. La conductivité électrique**

C'est la mesure de l'aptitude du lait à conduire le courant.

La conductivité électrique du lait est de 43 à 56.10<sup>-4</sup>Siemens/cm lorsque la température est de 25°C. Elle est due à la présence d'électrolytes minéraux (chlorures, phosphates, citrates) qui abaissent la résistance au passage du courant (**Fall, 1997**).

D'une certaine manière, cette mesure permet une estimation de la quantité des sels dissouts dans le lait.

### **1.2.5. Le point de congélation**

Il se définit comme étant la température à laquelle il y'a un équilibre entre le pourcentage de lait congelé (constituant la phase solide) et celui du lait toujours liquide.

Le point de congélation du lait de chèvre se situe entre -0.550°C et -0.583°C. Il est utilisé pour la détection des fraudes de mouillage du lait.

En effet, plus le lait est sujet au mouillage plus son point de congélation s'élève.

### **1.2.6. Le point d'ébullition**

D'après **Vignola, (2002)**, c'est la température à laquelle la pression de la vapeur du lait est égale à la pression appliquée. En terme simplifié, c'est la température où le lait passe de l'état liquide à l'état gazeux.

Il joue un rôle essentiel dans l'industrie laitière notamment lors des traitements thermiques du lait.

### **1.2.7. Extrait sec**

Il est aussi appelé résidu sec ou matière sèche ; et désigne l'ensemble des autres éléments du lait en dehors de l'eau. Cet extrait est dépendant de facteurs comme

l'espèce, et surtout la matière grasse du lait. On parle d'extrait sec dégraissé lorsque les éléments en question n'incluent pas la matière grasse.

**Tableau 2 :** Quelques caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre en comparaison au lait de vache et de femme (**Compilation de données**).

Caractéristiques	Lait de chèvre	Lait de vache	Lait humain
Densité à 20°C	1.027 – 1.035	1.028 – 1.033	1,026 – 1,037
pH à 20°C	6.45 – 6.60	6.60 – 6.80	6,13 – 7,24
Acidité titrable en °D	14 – 18	15 – 17	2 – 12,5
Conductivité électrique à 25°C en Siemens/cm	49.10 <sup>-4</sup>	48,70.10 <sup>-4</sup>	13 – 18,9.10 <sup>-4</sup>
Point de congélation en °C	-0.583 – (-0.550)	-0.550 – (-0.520)	-0,519 – (-0,550)
Point d'ébullition en °C	---	100.15 – 100.17	---

### 1.3. La composition du lait de chèvre

#### 1.3.1. La composition chimique

D'une manière générale, le lait se compose essentiellement :

D'eau, de lipides, de protéines, de lactose, de sels minéraux et des vitamines (tableau 5).

Quel que soit le type de lait considéré, seule la teneur de ces composants ci-dessus peut varier d'un lait à un autre.

##### 1.3.1.1. L'eau

C'est le constituant majeur du lait d'un point de vue pondéral, pouvant être sous forme libre ou liée. Elle sert de solvant pour tous les éléments hydrosolubles du lait (le lactose, les minéraux, une part des protéines et aussi des vitamines) et également de milieu dispersant pour les composants non hydrosolubles présents dans le lait (la matière grasse, des protéines, des vitamines).

##### 1.3.1.2. Le lactose

Souvent appelé sucre du lait, c'est un disaccharide formé par la combinaison de deux (2) molécules glucidiques : le glucose et le galactose.

Il constitue un substrat pour les microorganismes (bactéries lactiques) qui le transforment en acide lactique ; un processus capital dans certains procédés de transformation laitière.

#### **1.3.1.3. La matière grasse**

Composant le plus énergétique du lait, la matière grasse du lait de chèvre est constituée majoritairement de triglycérides. Elle se présente sous forme de globules qui sont de taille plus petite que ceux du lait de vache : 3,49  $\mu\text{m}$  pour le lait de chèvre et 4,55  $\mu\text{m}$  pour celui de vache selon **Park et al., (2007)**. En réalité, c'est la proportion des acides gras de petite taille du lait de chèvre qui dépasse de très loin celle du lait de vache.

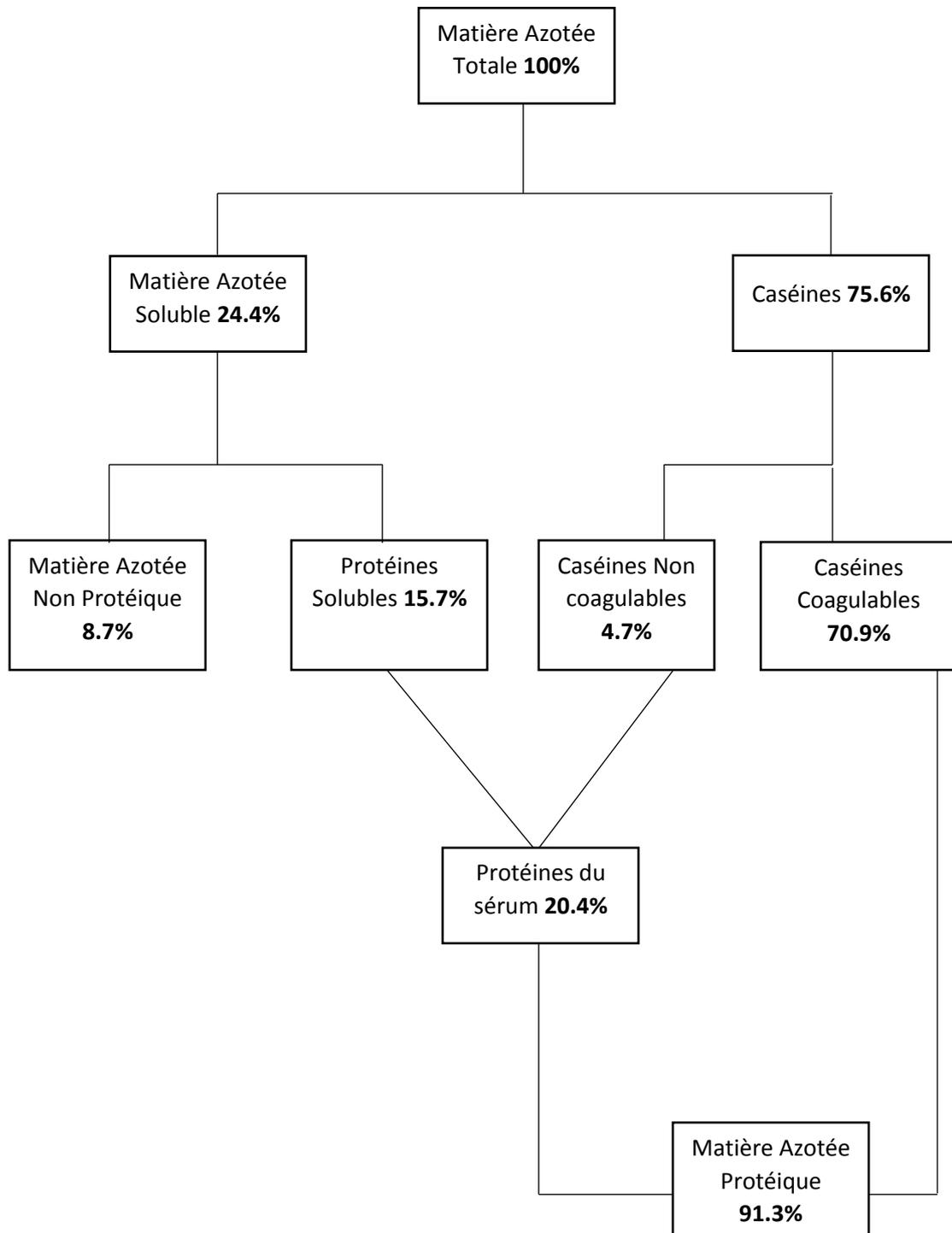
Cette taille des globules gras du lait de chèvre fait qu'il est plus facile à homogénéiser (importance dans la technologie laitière).

#### **1.3.1.4. La matière protéique**

C'est la plus grande portion de la matière azotée totale du lait. En effet dans cette dernière se trouve de la matière azotée (protéique) et une autre fraction non azotée (matière azotée non protéique) ; illustration de ces fractions dans la figure 1.

Elle intervient surtout dans la transformation fromagère avec la proportion des protéines coagulables qui s'y trouvent. Plus cette part des protéines est élevée dans un lait destiné à cette fin, plus il sera apprécié.

**Figure 1** : Composition de la matière azotée totale du lait de chèvre (données selon Grappin et al, 1981).



### 1.3.1.5. Les minéraux

Se présentant sous forme libre dans la phase aqueuse et encore sous forme liée à d'autres constituants du lait comme les caséines dans la phase micellaire, le lait est très riche en minéraux. En fromagerie, c'est le calcium et le phosphore qui influencent directement la fabrication du fromage. Leur composition est résumée dans le tableau 3.

Ces deux (2) minéraux par leur teneur, interviennent dans le pouvoir tampon du lait en s'opposant à la diminution de son pH.

**Tableau 3** : Composition du lait de chèvre en minéraux (Mahaut et al., 2000).

Minéraux	Concentration g/L
Calcium (Ca)	1.30
Phosphore (P)	0.95
Magnésium (Mg)	0.12
Potassium (k)	1.60
Sodium (Na)	0.40
Chlore (Cl)	1.40

### 1.3.1.6. Les vitamines

Elles sont de deux types : les liposolubles et les hydrosolubles. Le lait de chèvre se démarque de celui de vache par une faible quantité de vitamine A, une quasi absence de  $\beta$ -Carotène qui est d'ailleurs à l'origine de sa blancheur ; et une forte quantité de niacine (vitamine B3 ou encore PP). Cette dernière jouerait un rôle non négligeable dans l'utilisation des lipides dans l'organisme (**Site web 3**). Le tableau 4 ci-dessous résume leur composition en comparaison à d'autres laits.

**Tableau 4** : Composition comparée (lait de chèvre, lait de vache et lait de femme) en quelques vitamines (FAO, 1995 et Lentner, 1981).

Vitamines (mg/L)	L. de Chèvre	L. de Vache	L. de femme
<b>Vitamine A</b>	0.24	0.37	0,53
<b>β-Carotène</b>	< 0.10	0.21	0,27
<b>Vitamine E</b>	2.3	1.1	5,6
<b>Vitamine B1</b>	0.41	0.42	0,16
<b>Vitamine B2</b>	1.38	1.72	0,43
<b>Vitamine B6</b>	0.60	0.48	0,11
<b>Niacine (Ac. Nicotinique)</b>	3.28	0.92	1,72
<b>Vitamine C</b>	4.20	18	43

**1.3.1.7. Autres constituants**

Il s'agit des enzymes (les hydrolases, les oxydoréductases qui constituent les principaux groupes enzymatiques du lait (Mathieu, 1998), des gaz dissouts tels que le CO<sub>2</sub>, l'O<sub>2</sub> et N (Sina, 1992) et enfin des microorganismes.

**Tableau 5** : Composition chimique comparée du lait de chèvre à celui de vache et de femme.

Auteurs	Types	Eau	MP	MG	Lactose	Ca	P	MS
<b>Brugère, (2003)</b>	Lait de vache (g/L)	900	32	40,4	48	1,25	0,95	-
	Lait de chèvre (g/L)	900	30,8	34,4	48	1,25	0,95	-
<b>Oliveira, (2007)</b>	Lait de vache (g/L)	-	35	38	50	1,25	0,95	132
	Lait de chèvre (g/L)	-	34	35	45	1,35	1	115
	Lait de femme (g/L)	-	<b>13</b>	<b>39</b>	<b>70</b>	<b>0,3</b>	<b>0,15</b>	<b>120</b>

### 1.3.2. La composition microbiologique

Quel que soit le type de lait, il constitue toujours un milieu favorable pour une multitude de microorganismes dont des levures, des moisissures et des bactéries (fraction la plus importante).

Bien qu'il existe une grande diversité de ceux-ci dans le lait, ils peuvent être classés en deux (2) principaux groupes de flore : une première qualifiée de flore originelle ou indigène et la seconde appelée flore contaminante.

#### 1.3.2.1. La flore originelle ou indigène

Le lait frais provenant de la chèvre saine à la sortie du pis et recueilli stérilement ne contient quasiment pas de germes, que des microorganismes utiles (tableau 6). Cette flore qu'il renferme en cet instant et en ces conditions est la flore originelle. En général, elle serait moins de  $5.10^3$  microorganismes/ml (Richard et Desmazeaud, 2006). La presque totalité de cette flore est représentée par des bactéries lactiques intervenant dans la transformation future du lait.

**Tableau 6** : Les microorganismes utiles du lait (Pradal, 2012).

Bactéries	Levures	Moisissures
<i>Streptococcus thermophilus</i>	<i>Candida</i>	<i>Penicillium album</i>
<i>Streptococcus lactiscremoris</i>	<i>Candida utilis</i> ou encore	<i>Penicillium glaucum</i> ou
<i>Streptococcus diacetilactis</i>	<i>Candida torvlopsis</i>	<i>roquefortis</i>
<i>Leuconostocs</i>		<i>Penicillium candidum</i> ou
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>		<i>caseicolum</i>
<i>Lactobacillus helveticus</i>		<i>Geotrichumlactis</i>
<i>Lactobacillus lactis</i>		

#### 1.3.2.2. La flore contaminante

Elle représente l'ensemble des microorganismes présents dans le lait à la suite d'une contamination. Celle-ci pouvant avoir lieu à plusieurs étapes (de la traite jusqu'à la consommation) tels que :

- ✓ Au moment de la traite (hygiène du pis, des mains du trayeur ou de la salle de traite,...etc.),

- ✓ Au moment de la transformation du lait en produits laitiers (fromages, yaourts,...etc.) ;
- ✓ Au moment du transport et même durant la commercialisation.

La flore contaminante peut se diviser en deux groupes : la flore d'altération et celle pathogène ; toutes deux étant nuisibles d'une manière ou d'une autre (tableau 7).

#### 1.3.2.2.1. La flore d'altération

C'est une flore responsable pour les laits de transformation de défauts de fabrication et aussi de problèmes d'odeurs, de saveurs et d'aspects tant pour le lait consommation que pour celui de transformation.

#### 1.3.2.2.2. La flore pathogène

Quant à cette flore, elle est composée de microorganismes causant des pathologies chez les consommateurs de lait la contenant.

Leur présence peut être due à une infection de l'animal dont provient le lait ou d'un manque d'hygiène (de l'élevage à l'unité de transformation).

**Tableau 7** : Les microorganismes défavorables du lait (**Pradal, 2012**).

<b>Bactéries</b>	<b>Levures</b>	<b>Moisissures</b>
<i>Brevibacterium</i> <i>LenensetErythrogenes</i> <i>Streptococcus faecalis,</i> <i>durans</i> ou <i>liquefaciens</i> <i>Lactobacillus fermenti</i> <i>Bactéries coliformes</i>	<i>Rhodotorula</i> <i>Levures gonflantes</i>	<i>Penicillium funiculosum</i> <i>Geotrichum</i> ou « oïdium »

#### ❖ **Le lait de chèvre : Avantages nutritionnels et technologiques**

S'agissant des intérêts de ce lait, ils sont multiples entre autres : son utilisation par des individus aux besoins spécifiques tels les nourrissons puisqu'il est semblable au lait maternel comparé aux autres laits ; en plus le lait de chèvre est bénéfique d'un point de vue diététique avec des teneurs de matière grasse et de lactose faibles, une richesse en calcium, en antioxydants et des propriétés antimicrobiennes ; et par-dessus il est plus digeste (**Wang et al., 2018**).

La particularité de sa digestion est due à des types d'acides gras qui s'y trouvent en quantité : des acides gras de courtes et moyennes chaînes notamment caproïque (C6), caprylique (C8) et caprique (C10) se digérant plus rapidement que les acides gras à longues chaînes.

D'un point de vue technologique, le lait de chèvre est constitué par des globules gras de petites tailles (3.49 µm de diamètre contre 4.55 µm pour ceux du lait de vache), ce qui facilite son homogénéisation lors des traitements, **(Solaiman, 2010)**.

La grande taille de ces micelles de caséines fait qu'il a un temps de coagulation court, mais avec comme conséquence un caillé moins ferme et friable ; ce qui par contre augmente la digestibilité des fromages **(Sylvain, 2004)**.

## Chapitre II : Le fromage

### 2.1. Généralités

#### 2.1.1. Historique

L'histoire du fromage est difficile à établir. En effet, la détermination d'une date précise pour les toutes premières fabrications de fromage serait juste incertaine tellement il est ancien. Mais il semblerait que sa genèse remonte avec l'apparition de l'élevage (des milliers d'année avant Jésus-Christ).

Le fromage pourrait être originaire d'Europe, d'Asie centrale ou même du Moyen-Orient puisqu'aucune preuve ne permet de nos jours de définir avec certitude une quelconque région.

Le transport du lait dans des contenants réalisés avec des panses de ruminants (sources de présure) est sans doute à l'origine de sa réalisation.

En l'an 60 après Jésus-Christ, le romain Columelle fut le premier à énoncer distinctement les différentes étapes nécessaires à la fabrication du fromage dans son traité d'agronomie (**site web 4**).

#### 2.1.2. Production mondiale

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

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

En 2012, la France a produit 605 millions de litres et 110 000 tonnes de fromages avec 12.5 % du cheptel européen (**bulletin d'informations AFOCG n° 119**).

En 2016, elle est classée le premier producteur et en même temps premier consommateur de fromages de chèvre (**site web 5**).

### 2.1.3. Définition

D'après le **décret français n° 2007-628** du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères ;

La dénomination « fromage » est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir de matières d'origine exclusivement laitière suivantes : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse.

La teneur minimale en matière sèche du produit ainsi défini doit être de 23 grammes pour 100 grammes de fromage.

Quant au fromage de chèvre, ce terme fait référence aux fromages de forme et de poids variables préparés exclusivement avec du lait de chèvre et présentant une teneur minimale de 23 g de matières sèches pour 100 g de fromage (**Pradal, 2012**).

## 2.2. Classification des fromages de chèvre

Il existe une très grande diversité de fromages depuis le type de lait utilisé, en passant par le genre de coagulation jusqu' à la pâte obtenue au final.

Trois (3) sortes de classification peuvent s'appliquer aux fromages de chèvre, (**Pradal, 2012**) ; selon :

- ✓ le mode de coagulation,
- ✓ le type de pâte fromagère et
- ✓ la forme des fromages.

### 2.2.1. Les types de fromages selon le mode de coagulation :

En se basant sur le genre de coagulation on distingue quatre (4) types de fromages dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau 8.

#### 2.2.1.1. Fromages lactiques

Caractérisés par un temps de coagulation long (de 24 à 48 h) sous l'action seule des ferments lactiques et une teneur en eau élevée dans le produit final.

### 2.2.1.2. Fromages mixtes à dominance lactique

Leur coagulation est aussi obtenue à partir de ferments lactiques sauf qu'à la différence de la précédente coagulation, il y a une légère addition de présure qui réduit ainsi le temps de cette dernière d'environ une douzaine d'heures.

### 2.2.1.3. Fromages mixtes à dominance présure

Ils sont réalisés à partir du même principe de mélange de ferments lactiques et avec une quantité de présure ; qui est supérieure à celle utilisée dans les fromages antérieurs. Le temps de coagulation est entre 1 à 2 heures.

### 2.2.1.4. Fromages types présure

Ces fromages ont la caractéristique d'un temps de coagulation court (30 mn à 1h 30 mn) suite à l'ajout de présure en quantité.

**Tableau 8 :** Quelques paramètres de comparaison entre les fromages typés en fonction du mode de coagulation.

Types de fromages	Lactiques	Dominance lactique	Dominance présure	Type présure
Temps de coagulation	24 - 48 h	24 - 36 h	1 - 2 h	30 - 1h 30 mn
Température de coagulation	17 - 20°C	20 - 24°C	32 - 34°C	28 - 34°C
Quantité de présure* (pour 100 litres de lait)	-	5 à 10 ml	15 à 25 ml	25 à 40 ml

\* : présure de force 1/ 10 000°.

### 2.2.2. Les types de fromages selon le type de la pâte fromagère

Dans cette classification on peut énumérer :

- ✓ Les fromages à pâte fraîche,
- ✓ Les fromages à pâte molle (croûte fleurie et croûte naturelle),
- ✓ Les fromages à pâte molle et persillée et enfin
- ✓ Les fromages à pâte pressée non cuite (croûte lavée et croûte fleurie).

### **2.2.3. Les types de fromages selon leur forme**

Lors du moulage, des formes sont communes aux différentes espèces tandis que d'autres sont particulières aux fromages de chèvre. Les formes réservées aux fromages de chèvre (annexe II) sont :

- ✓ La forme cylindrique,
- ✓ La forme cylindrique en bonde,
- ✓ La forme pyramidale et
- ✓ Le tronc de pyramide.

### **2.3. La fabrication du fromage**

Elle passe par un ensemble d'étapes, des étapes qui diffèrent selon le type de fromage à réaliser (lactique ou présure). Mais quel que soit le type voulu, il existe trois (3) principales phases : la phase de coagulation du lait, la phase d'égouttage et la phase d'affinage (sauf pour les fromages frais).

Avant la mise en coagulation du lait, celui-ci peut passer par une toute première étape :

#### **❖ La préparation du lait**

Cette étape regroupe un certain nombre d'opérations : la filtration du lait après la traite pour l'élimination d'impuretés comme les débris de paille, les poils de l'animal ; la standardisation du lait (en matière grasse, en protéines, en microorganismes ou en minéraux) ; la maturation du lait pour favoriser le développement des ferments lactiques.

#### **2.3.1. La phase de coagulation**

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

##### **2.3.1.1. La coagulation par voie acide**

Son principe est basé sur la neutralisation des charges négatives des micelles de caséine suite à quoi elles précipitent.

L'addition d'un acide comme l'acide citrique ou le développement de l'acide lactique par les bactéries lactiques est responsable de cette neutralisation de charges grâce aux ions  $H^+$  de l'acide. Elle est utilisée pour les fromages de types lactiques.

### **2.3.1.2. La coagulation enzymatique**

Cette fois-ci, le principe est fondé sur l'hydrolyse d'un type de caséine : la caséine kappa.

En effet il existe trois (3) types de caséines : la caséine alpha  $\alpha$  (comprenant  $\alpha_{s1}$  et  $\alpha_{s2}$ ), la caséine bêta  $\beta$  et enfin la caséine kappa ( $\kappa$ ).

La particularité de la caséine k est due sa propriété amphiphile contrairement aux autres qui sont uniquement hydrophobes. Dans la structure micellaire, les caséines hydrophobes se retrouvent liées aux pôles hydrophobes de la caséine k et cette dernière grâce à son autre pôle hydrophile permet la solubilité de l'ensemble dans la phase aqueuse du lait.

L'hydrolyse de la caséine stabilisante par l'enzyme provoque ainsi une scission de la molécule en deux (2) : la para-caséine k (hydrophobe) et la caséinomacropéptide (hydrophile). Les groupements hydrophobes s'agrègent de cette manière tandis que la CMP (pôle stabilisant) rejoint les constituants de la phase aqueuse.

Quant aux enzymes utilisées pour la coagulation, se trouvent certaines d'origine animale ; d'origine végétale et d'autres d'origine microbiologique.

### **2.3.1.3. La coagulation par voie combinée**

Une acidification du lait est enclenchée avec l'addition ou le développement d'acide suivie par l'ajout d'une certaine quantité d'enzyme. Elle est utilisée pour tous les fromages à caractère mixte.

Après la coagulation du lait, une étape intermédiaire prend place avant la phase d'égouttage. Elle est spécifique aux fromages de coagulation mixte et de type présure : "le travail en cuve".

#### **❖ Le travail en cuve**

Le terme regroupe un ensemble de travail comme le découpage, le brassage et le pressage du coagulum ayant pour but de favoriser la séparation entre le caillé et le lactosérum. L'intensité de ce travail en cuve conditionne de façon indirecte la teneur future du fromage en matière sèche.

### 2.3.2. La phase d'égouttage

C'est le stade où le lactosérum est éliminé du caillé conduisant au durcissement du gel.

L'égouttage fait appel à un phénomène dénommé « synérèse » qui consiste en une rétraction du gel ; elle est plus importante pour les fabrications de type présure disposant d'un réseau de caséines plus élaboré contrairement aux types lactiques qui sont déminéralisés. La rapidité et l'efficacité de la contraction du caillé sont fortement liées à la teneur en calcium et en matières protéiques du lait (**Pradal ,2012**).

Le caillé obtenu en fin d'égouttage est une pâte constituée essentiellement de matières grasses, protéiques, des minéraux et de vitamines surtout liposolubles tandis que le lactosérum évacué est riche en éléments dissous comme le lactose, de matières azotées sériques, de minéraux et de vitamines.

Après cette phase, des étapes surviennent avant l'affinage entre autres :

- ❖ **Le moulage** : la mise en moule du caillé qui définit la forme ultérieure du fromage ; mais il intervient avant l'égouttage pour les fromages lactiques
- ❖ **Le retournement** : permettant une meilleure élimination du lactosérum,
- ❖ **Le démoulage** : c'est le retrait des moules,
- ❖ **Le salage** : ayant plusieurs objectifs tels que la poursuite de l'égouttage, l'amélioration de la saveur du fromage, la sélection de la flore d'affinage et le croûtage. Cette dernière étape peut être effectuée soit par saumure, soit par pulvérisation de sel sec.

### 2.3.3. La phase d'affinage

Autrement phase de finition du fromage, c'est le moment où les réactions enzymatiques s'enchaînent dans la pâte. Elle est caractéristique à chaque fromage d'une durée de quelques jours à des mois.

La grande diversité des fromages en termes de compositions, de saveurs, d'arômes, d'aspect, de textures et même de consistances dépend principalement de cette phase

dans la fabrication fromagère. Le tableau 9 présente les résultats de quelques réactions enzymatiques sur des composants de la pâte du fromage au cours de l'affinage.

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

**Tableau 9 :** Quelques composants de la pâte fromagère ciblés par les réactions enzymatiques en cours d'affinage.

<b>Composants du fromage avant affinage</b>	<b>Constituants obtenus de ces composants après affinage</b>	<b>Rôles dans le fromage</b>
<b>Le lactose</b>	Acides, alcool et gaz	Saveurs et aspect
<b>La matière grasse</b>	Acides gras et glycérides	Saveurs et arômes
<b>La matière protéique</b>	Acides aminés et peptides	Texture et saveurs

## 2.4. Les problèmes de fabrication

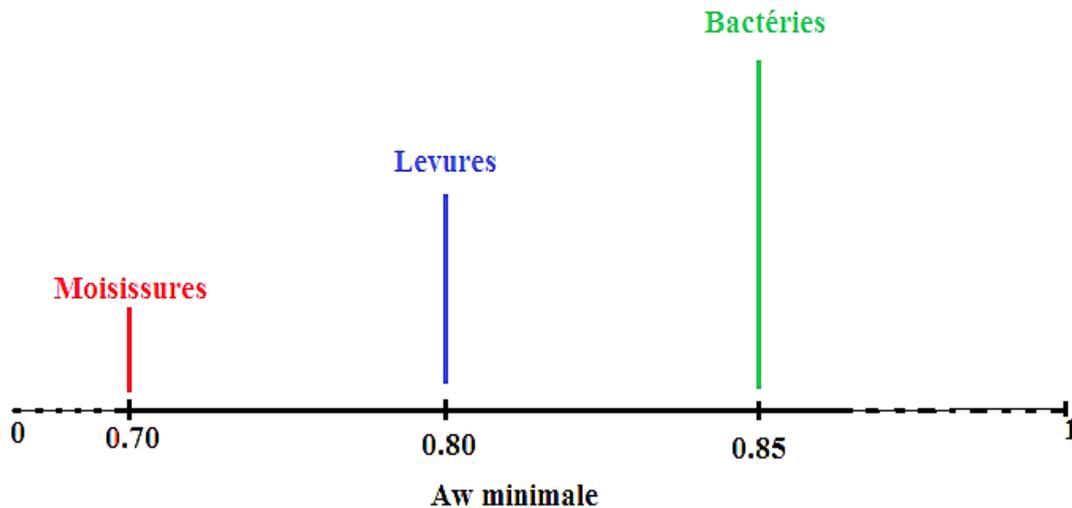
Ces problèmes peuvent se présenter essentiellement lors de la coagulation du lait ou lors de l'affinage du fromage. Mais pour comprendre les problèmes pouvant se causer dans la technologie fromagère, la détermination du rôle de certains acteurs est nécessaire.

### ❖ Eau

Elle a une autre importance que celle de son influence sur la teneur du produit en matière sèche. En effet, à travers le paramètre de l'activité d'eau (proportion d'eau non liée aux constituants avec une valeur comprise entre 0 et 1), la croissance des microorganismes change (figure 2) de même que l'ampleur de leur rôle dans la transformation (moins de production d'acide par les bactéries lactiques pour la coagulation ou d'arômes par les levures et moisissures pour l'affinage).

L'eau interviendrait dans la durée de conservation des fromages. En plus l'obtention des caractéristiques recherchées en fin d'affinage serait aussi dépendante de la teneur en eau du jeune fromage.

**Figure 2 :** Activité d'eau minimale pour les microorganismes (élaborée à partir des chiffres de **Pradal, 2012**)



#### ❖ Les protéines

La coagulation du lait est fortement liée à la fraction caséique des protéines. Bien qu'il existe d'autres fractions protéiques comme les sériques, ce sont les caséines qui précipitent pour former le caillé. Une pauvreté du lait en celles-ci causerait des difficultés au moment de la coagulation. De plus les protéines participent lors de l'affinage à la saveur et l'arôme du fromage affiné.

#### ❖ Le lactose

Il est la base de la fabrication des fromages de type lactique. Le lactose est utilisé par les bactéries lactiques (du lait ou ajoutées via les ferments lactiques) comme source de carbone.

C'est après utilisation du lactose par ces microorganismes qu'apparaît l'acide lactique (un métabolite) qui acidifie le lait jusqu'à la formation du coagulum.

#### ❖ Les minéraux

Nombreux dans le lait, cependant dans la coagulation du lait intervient principalement le calcium Ca et le phosphore P et plus particulièrement dans celle de la voie enzymatique (pour établissement du réseau caséique favorisant la synérèse).

Dans les fabrications lactiques, les deux (2) minéraux interviennent dans la transformation grâce au pouvoir tampon du lait.

#### ❖ **Les microorganismes**

Ils participent tant à la coagulation du lait qu'à l'affinage du fromage. On trouve :

##### ✓ **Les bactéries**

Elles sont responsables de la coagulation acide par l'acide lactique et par les enzymes bactériennes participent à la protéolyse et à la lipolyse lors de l'affinage.

##### ✓ **Les levures et les moisissures**

Celles-ci interviennent surtout à l'affinage : production d'arômes, développement des saveurs, les aspects du fromage et aussi la désacidification du fromage (consommation de l'acide lactique) selon **Pradal, (2012)**.

#### **2.4.1. Les problèmes de coagulation**

Une des raisons possibles est la qualité des enzymes coagulantes ou des ferments lactiques pour la coagulation (défauts de conservation, les dates de péremption, le respect des quantités).

Néanmoins, la qualité du lait à transformer est pour la plupart des cas responsable du problème :

- Sa pauvreté en matières utiles : caséines, Ca et P, lactose...
- La présence d'éléments inhibiteurs : antibiotiques dans l'organisme animal passant dans le lait suite aux traitements, des résidus de produits désinfectants du matériel de traite,
- La présence de colostrum dans le lait,
- Une forte contamination du lait en germes indésirables entravant le développement de la flore lactique.

#### **2.4.2. Les problèmes d'affinage**

On peut évoquer les problèmes de saveur, de goût, d'aspect, de texture...

Ils sont provoqués par des paramètres qui font défauts pendant l'affinage (température, humidité, aération).

Ces défauts touchent la pâte du fromage (des trous à l'intérieur dus à la production de gaz), la croûte (développement de moisissures sur les fromages) et le goût du fromage (goût d'amertume causé par la production de peptides amers par les caséines, goût de rance et goût de savon dus à la lipolyse).

# **Etude expérimentale**

## I. Matériels et méthodes

### 1.1. Prélèvements

Les échantillons de lait proviennent dans des fermes de quatre (4) communes de la willaya de Guelma (figure 3) :

- Commune d'Ain Makhoulf
- Commune de Tamlouka
- Commune d'Ain Larbi
- Commune de Belkheir

**Figure 3** : Carte géographique partielle de la willaya de Guelma (Google maps 2018).



Ils ont été transportés des sites de prélèvement au laboratoire d'analyse de l'eau de la faculté des sciences de la nature et la vie et des sciences de la terre et de l'univers (SNVSTU) de l'université 8 mai 1945 de Guelma (où les analyses et les expériences se sont tenues) dans des flacons stériles de 500 ml contenus dans des glacières (photo 1).



**Photo 1 :** Des échantillons de lait dans les flacons de 500 ml.

Les prélèvements ont été faits sur des femelles caprines locales (race arbia) élevées en système extensif. Ceux sont des laits de mélange (les femelles en lactation présentes au niveau de la ferme).

## 1.2. Matériel, réactifs et milieux de cultures utilisés

### ❖ Le matériel

- Flacons stériles
- Tubes à essai stériles
- Boîtes de pétri,
- Des anses de platine
- Balance de précision,
- Autoclave,
- Etuve,
- Four Pasteur,
- Agitateur-plaque chauffante,
- Pipettes Pasteur,
- Eprovettes graduées,
- pH mètre électrique,
- Dessiccateurs
- Burette,

- Thermo lactodensimètre,
- verreries usuelles (erlenmeyers, béchers, pipettes graduées, entonnoirs, verres de montre...).

❖ **Les réactifs**

- Phénolphtaléine,
- NaOH (0.1 mol/L),
- Nit 1 et Nit 2,
- VP 1 et VP 2,
- Alun de fer,
- Sulfate de Sodium,
- Réactif de Kovacs.

❖ **Les milieux de culture**

- Gélose PCA,
- Gélose viande-foie (VF),
- Eau peptonée tamponnée,
- Gélose Hektoen,
- Milieu BLBVB,
- Milieu Schubert,
- Milieu Chapman,
- Bouillon SFB,
- Eau physiologique,
- Galeries Api 20 Staph.

### **1.3. Les analyses pratiquées**

#### **1.3.1. Les analyses physico-chimiques du lait cru de chèvre**

Les paramètres physico-chimiques concernés sont : le pH, l'acidité titrable, la densité, l'extrait sec total, et les cendres.

##### **1.3.1.1. Le pH**

Sa détermination est effectuée en versant dans un bécher une quantité suffisante de lait capable de submerger l'électrode du pH-mètre. La valeur correspond à celle affichée par l'appareil après stabilisation.

### 1.3.1.2. L'acidité titrable

#### ❖ Principe :

Il est basé sur le titrage d'hydroxyde de soude (NaOH) à  $0.1 \text{ mol} \times \text{L}^{-1}$  dans 10 ml de lait en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré.

#### ❖ Mode opératoire

Dans un bécher contenant 10 ml de lait, trois (3) à quatre (4) gouttes de phénolphtaléine sont ajoutées.

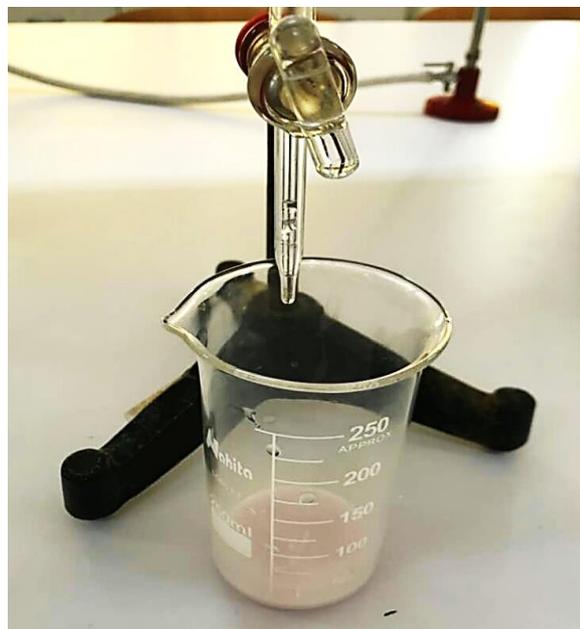
Puis le titrage avec la solution de NaOH est réalisé jusqu'à l'apparition de la coloration rose qui persiste durant une dizaine de secondes (photo 2). C'est alors qu'on procède à la lecture de la quantité d'hydroxyde utilisée.

#### ❖ Résultat

Il est exprimé en degré Dornic ( $^{\circ}\text{D}$ ) de la manière suivante :

$$\text{Acidité titrable} = V \times 10$$

Où V représente la quantité de NaOH.



**Photo 2 :** Détermination de l'acidité titrable.

### 1.3.1.3. La densité

#### ❖ Principe

Son principe est fondé sur l'usage d'un appareil spécifique : le lactodensimètre à 20°C (muni de graduations).

#### ❖ Mode opératoire

Une éprouvette de 250 ml est remplie de lait en évitant toute formation de mousse puis l'appareil est plongé.

Après la stabilisation du lactodensimètre, la lecture se fait directement suivant ses différentes graduations.

### 1.3.1.4. L'extrait sec total ou matière sèche

#### ❖ Principe

Il consiste en une évaporation de l'eau d'une quantité de lait (5 ml) dans une étuve à la température de 105°C durant 3 heures de temps.

#### ❖ Mode opératoire

Les capsules devant contenir les échantillons, sont pesées :

- ✓ En un premier temps à vide,
- ✓ Puis à nouveau avec les échantillons avant évaporation et
- ✓ Enfin, après séjour dans l'étuve avec les contenus.

#### ❖ Résultat

Le taux de matière sèche exprimé en pourcentage (%) est obtenu de la manière suivante :

$$\text{Taux de MS} = \frac{P2 - P0}{P1 - P0} \times 100$$

Avec :

P0 : poids de la capsule vide,

P1 : poids de la capsule avec l'échantillon de lait,

P2 : poids de la capsule avec la matière sèche après évaporation dans l'étuve.

#### 1.3.1.5. Les cendres

La détermination du taux de cendres est effectuée de la même façon que pour celle du taux de la matière sèche à quelques détails près.

Son principe repose sur la dessiccation de 5 ml de lait dans un four Pasteur à 550°C pendant 4 heures de temps (photo 3).

Le mode opératoire est identique à celui du taux de MS et les résultats sont obtenus et exprimés pareillement.



**Photo 3 :** Les échantillons de lait dans le four.

**Remarque :** l'utilisation d'une balance de précision est nécessaire pour les pesées en raison des quantités infimes.

#### 1.3.2. Les analyses bactériologiques du lait cru de chèvre

Elles concernent la flore mésophile aérobie totale, les coliformes totaux et fécaux, les staphylocoques pathogènes, les clostridies et les salmonelles.

##### ❖ Préparation des dilutions décimales

Lorsque le lait est homogénéisé par des mouvements répétés de retournement dans le flacon, il constitue la solution mère à partir de laquelle 1 ml sera prélevé et ajouté à 9 ml d'eau physiologique dans un tube stérile : c'est la dilution  $10^{-1}$  (encore appelée dilution mère) et de cette dilution par le même principe la dilution  $10^{-2}$  est obtenue et ainsi de suite jusqu'à la dernière dilution voulue.

### 1.3.2.1. Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale

Ce dénombrement est fait en profondeur sur milieu solide (milieu PCA).

A partir des dilutions décimales réalisées, 1 ml de chaque dilution décimale est introduit dans une boîte de pétri (préalablement étiquetée) y compris la suspension mère. Puis la gélose PCA liquéfiée et ramené à la température de 45°C est versée dessus en raison de 15 ml dans chaque boîte. L'ensemble est homogénéisé par des mouvements en forme de « huit 8 ».

Après solidification une seconde couche de gélose est appliquée dans un but de protection contre les contaminations.

Les boîtes sont ensuite incubées à 30°C pour une durée de 72 heures. Les colonies se présentent sous formes lenticulaires en masse (photo 4).

Sont retenues pour le comptage les boîtes contenant des colonies supérieures 30 et même temps inférieures 300. Les résultats (nombre de microorganismes/ml) sont exprimés en ufc/ml suivant l'équation suivante :

$$N = \frac{\Sigma C}{(N1 + 0.1 \times N2) \times D} \quad \text{ou} \quad \frac{\text{Nombre de colonies comptées}}{\text{Volume d'échantillon ensemencé}}$$

Avec :

N : nombre de microorganismes par ml,

C : colonies comptées sur les boîtes retenues,

N1 : nombre de boîtes comptées à la dilution la plus faible,

N2 : nombre de boîtes comptées à la dilution la plus élevée et

D : dilution des premières boîtes retenues pour le dénombrement.

### 1.3.2.2. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Le dénombrement-ci est opéré en milieu liquide (BLBVB) pour la présomption et en milieu liquide Schubert pour la confirmation.

### ❖ Principe

Le principe repose sur la capacité des coliformes à causer un trouble du milieu (fermentation du lactose avec la production de gaz dans les cloches de Durham). La photo 5 en est une illustration.

### ❖ Mode opératoire

\* Pour les coliformes totaux, des séries de tubes contenant le milieu BLBVB et des cloches de Durham sontensemencées avec 1 ml de l'échantillon (de la suspension mère jusqu'à la sixième 6<sup>e</sup> dilution décimale). Trois (3) tubes par dilution.

Une incubation pendant 48 heures à 37°C est pratiquée.

Les tubes considérés positifs sont ceux présentant un trouble du milieu (dégagement gazeux observé dans les cloches de Durham).

En se référant sur le tableau de Mac Grady, le nombre le plus probable (NPP) de coliformes totaux est déterminé.

\* Pour les coliformes fécaux, leur particularité à supporter des températures élevées (44°C) est la base du principe de ce dénombrement.

Après la lecture des tubes BLBVB pour les coliformes totaux, les tubes retenus comme positifs sont repiqués dans les tubes au milieu Schubert en raison de trois (3) tubes pour chaque tube BLBVB positif.

Après incubation à 44°C pendant 24 heures, les tubes renfermant du gaz dans les cloches sont additionnés de deux (2) à trois (3) gouttes du réactif de Kovacs.

Les tubes positifs sont ceux montrant la formation d'un anneau rouge. Tout comme pour les coliformes totaux, la détermination du NPP des coliformes fécaux se fait en utilisant le tableau de Mac Grady.

### 1.3.2.3. Dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs

On peut affirmer qu'il s'agit d'un dénombrement des spores de ces clostridium puisque les formes végétatives sont éliminées par un traitement thermique.

**❖ Principe**

Le principe repose sur la capacité qu'ont ces bactéries de réduire le sulfite de sodium en sulfure en présence de fer donnant lieu à une coloration noire.

**❖ Mode opératoire**

Cinq (5) ml de lait et de certaines de ses dilutions ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  et  $10^{-4}$ ) ont été pris dans des tubes et portés à la température de 80°C durant 10 mn.

Après refroidissement, quatre (4) gouttes de sulfite de sodium et deux (2) gouttes d'alun de fer sont ajoutées avant de compléter les tubes avec de la gélose viande-foie tout en minimisant l'exposition à l'air pour permettre l'anaérobiose (qui peut être instaurée en appliquant une couche d'huile de vaseline dans les tubes).

Les préparations sont ensuite incubées pendant 24 à 48 heures à 37°C. Les colonies sont caractérisées par une couleur noire (photo 6).

**1.3.2.4. Dénombrement des staphylocoques pathogènes (à coagulase positive)****❖ Principe**

Leur aptitude à utiliser le mannitol du milieu Chapman avec virage de l'indicateur coloré (rouge) au jaune est la base du principe.

**❖ Mode opératoire**

La gélose Chapman est préalablement coulée dans les boîtes de pétrie et 0.1 ml de chaque dilution décimale est étalé sur la surface de la gélose. Les dilutions concernées sont les quatre (4) premières dilutions et la solution mère (lait).

L'incubation se fait à 37°C durant un temps de 24 à 48 heures.

La présence des colonies de staphylocoques (jaunes) se caractérise par le changement de la couleur du milieu rouge au jaune (photo 7).

Pour l'identification des différentes espèces, l'usage de test Api 20 Staph est pratiqué pour la recherche de profil numérique.

**❖ Utilisation des galeries Api Staph**

Les galeries Staph utilisées sont constituées de vingt (20) tubules renfermant des milieux déshydratés. Les colonies caractéristiques sont alors prélevées sur les boîtes incubées et homogénéisées dans l'ampoule medium Staph puis à l'aide de pipette, les tubules sont remplis avec ce mélange ; les deux (2) derniers sont additionnés de quelques gouttes de vaseline. Les galeries sont ensuite incubées pour 24 heures à 37°C.

La lecture se fait par observation de changement ou non des couleurs des différents milieux des tubules (photo 8) en se référant à la fiche de lecture Staph.

#### **1.3.2.5. Recherche des salmonelles**

Plusieurs opérations sont nécessaires pour cette recherche :

➤ **Un pré enrichissement**

Cette opération consiste à additionner 25 ml du lait à analyser dans un erlenmeyer contenant 225 ml d'eau peptonée tamponnée. Le tout est incubé à 37°C pendant 16 à 24 heures.

➤ **Un enrichissement :**

A partir du mélange de pré enrichissement, 1 ml de ce mélange est prélevé et ajouté à un tube de bouillon SFB. L'incubation dure 24 heures à la température de 37°C.

C'est après que l'isolement se fait sur la gélose Hektoen déjà coulée dans les boîtes de pétri et bien sèche. Les boîtes sontensemencées par stries à partir des tubes du bouillon SFB. Elles sont incubées pour 24 heures à 37°C.

Les colonies caractéristiques de salmonelles de couleur bleue verte après incubation sur le milieu (photo 9).

## 1.4. Les essais de fabrication de fromages frais

Quatre (4) essais ont été réalisés suivant le mode de coagulation à partir du même échantillon de lait à raison de 500 ml pour chaque essai :

➤ **Pour la coagulation uniquement lactique**, deux (2) essais :

-Un premier essai sans un quelconque ajout : **lait pasteurisé seul** (figure 4)

-Un second essai avec addition de ferments : **lait pasteurisé + ferments commerciaux** (figure 5).

➤ **Concernant la coagulation mixte**

Un (1) essai : **lait pasteurisé + ferments commerciaux + présure** (3<sup>e</sup> essai) résumé dans la figure 6.

➤ **Pour celle enzymatique**

Un (1) essai de fabrication : **lait pasteurisé + présure** (4<sup>e</sup> essai) résumé dans la figure 7.

Les fabrications ont nécessité plusieurs étapes dont une d'entre elles est :

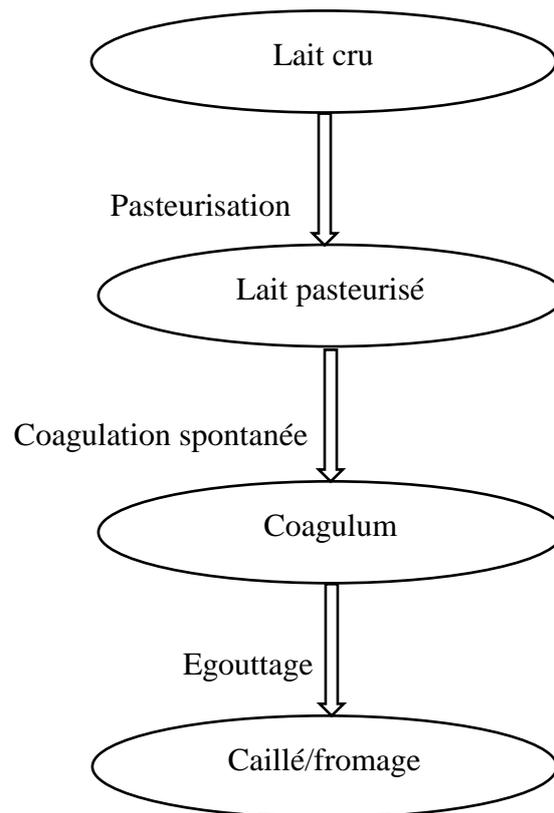
❖ **La standardisation du lait**

Elle concerne celle du lait en microorganismes par la réalisation d'un traitement thermique de 72°C pendant 15 secondes (soit l'équivalent d'une pasteurisation). Pour cela, lors que le lait est mis sur une source de chaleur, la température est constamment contrôlée. Quand elle a atteint 72°C, il y est maintenu pour 15 s au bout desquelles prend fin le traitement.

Ceci garantit une élimination d'un grand nombre de germes pouvant être présent dans le lait cru.

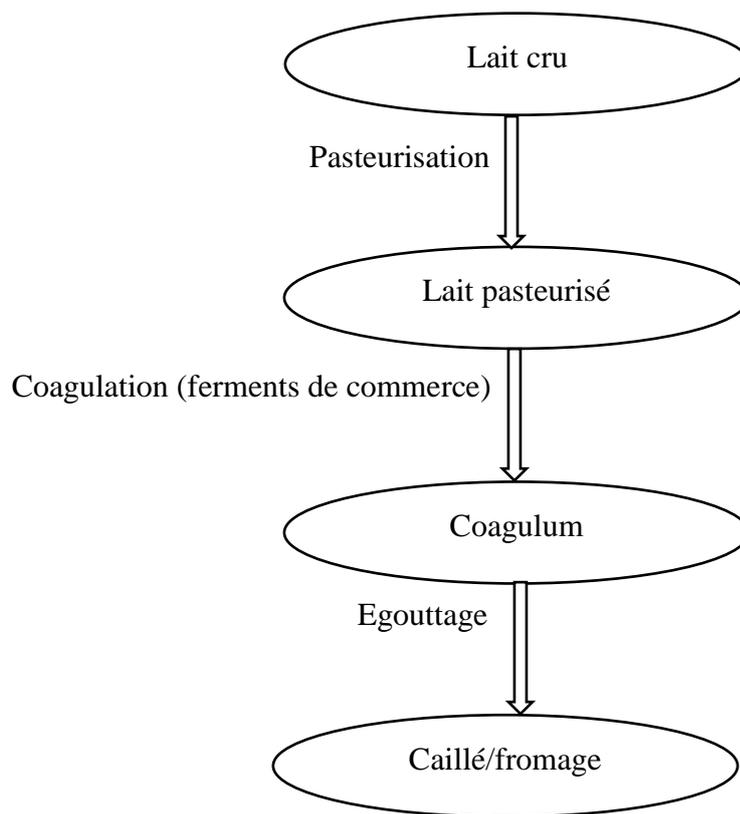
#### 1.4.1. Diagrammes de fabrication (coagulation uniquement lactique)

- Premier essai :



**Figure 4 :** Diagramme de fabrication fromage lactique (coagulation spontanée lait pasteurisé seul).

- **Deuxième essai :**



**Figure 5 :** Diagramme de fabrication fromage lactique (lait pasteurisé + ferments)

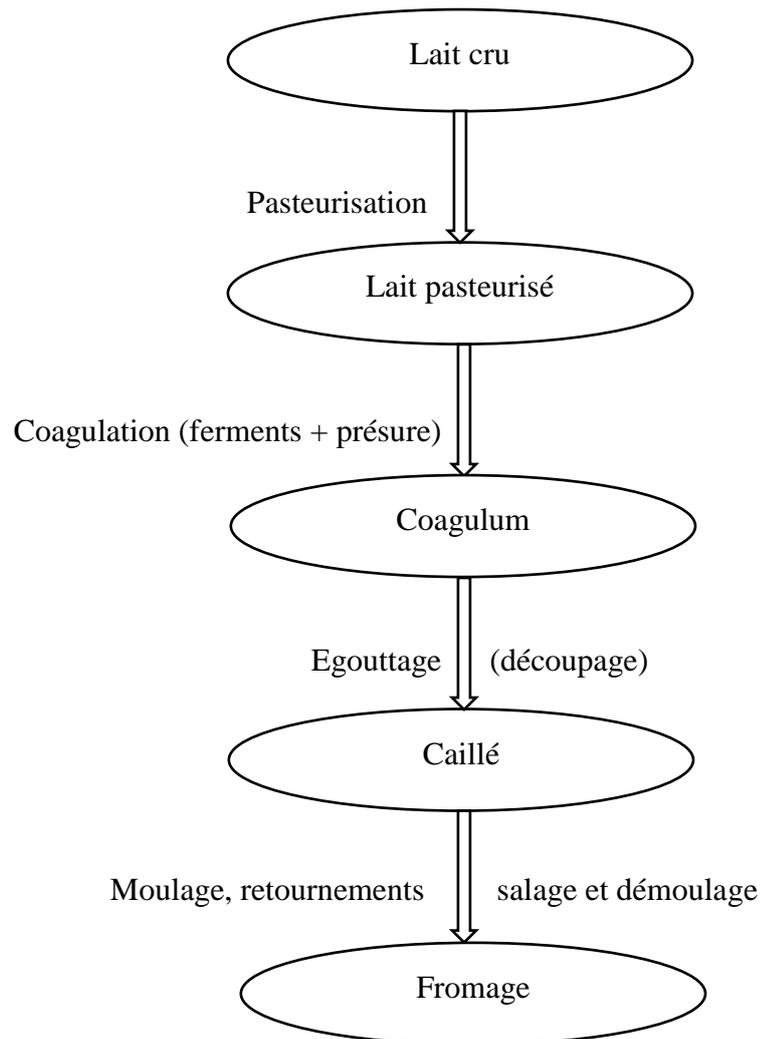
**Détail du procédé :**

Après le traitement thermique, le lait a été refroidi et maintenu à une température aux environs de 25°C (optimale de croissance des bactéries lactiques) pour 24 heures et ensuite à 40°C durant 24 heures à nouveau. Cette augmentation de la température a pour but d'améliorer la formation du coagulum.

Pour le deuxième essai, les ferments lactiques de commerce (annexe III) furent ajoutés juste après le refroidissement du lait pasteurisé en raison de 2% (soit 0.01g pour les 500 ml de lait).

La photo 14 montre certaines étapes de fabrication des fromages frais à coagulation uniquement lactique.

#### 1.4.2. Diagramme de fabrication (coagulation mixte) : 3<sup>e</sup> essai



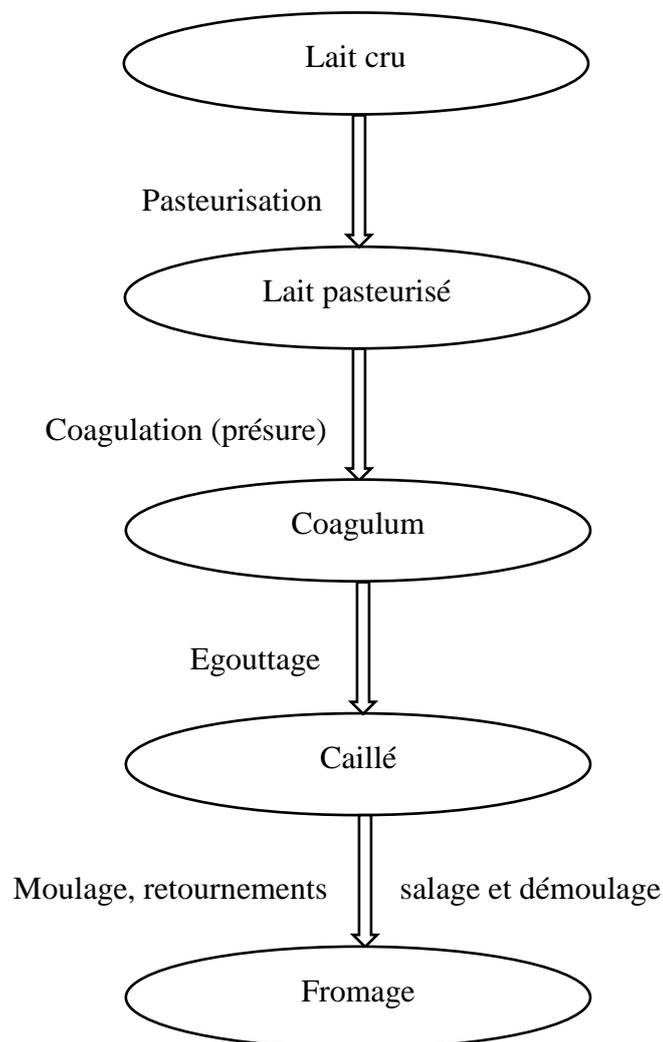
**Figure 6 :** Diagramme de fabrication fromage mixte (lait pasteurisé + ferments + présure)

#### Détail du procédé :

Après l'addition des ferments de commerce (la même quantité que précédemment) au lait pasteurisé refroidi, une courte maturation est réalisée (3 heures à 25°C). Ensuite,

une quantité de 0,05 ml de présure est ajoutée (soit 10 ml de présure/100 ml de lait). Après 24 heures, l'égouttage fut effectué.

#### 1.4.3. Diagramme de fabrication (coagulation enzymatique) : 4<sup>e</sup> essai



**Figure 7 :** Diagramme de fabrication fromage type présure (lait pasteurisé + présure).

#### Détail du procédé :

Seule la présure est additionnée au lait et le tout étant amené à la température de 32°C. L'opération d'égouttage commença après 45 minutes de temps. La quantité de présure

est toujours de 0,05 ml pour les 500 ml de lait. Quelques étapes de fabrication avec la présure sont illustrées dans la photo 15.

**Remarque :**

La présure utilisée est d'origine animale et titre 1/10 000<sup>e</sup>.

## II. Résultats et discussions

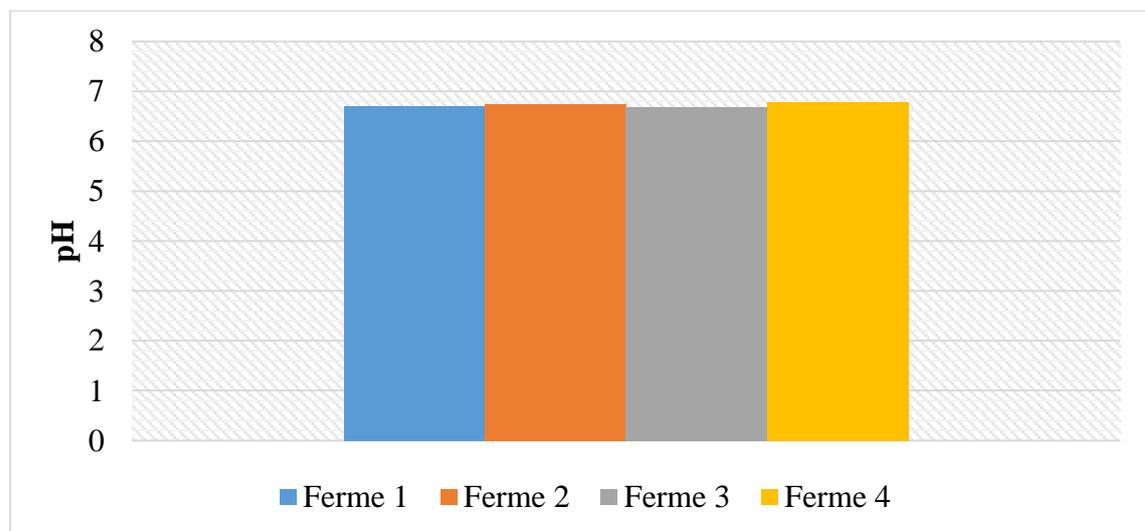
### 2.1. Les analyses physico-chimiques

#### 2.1.1. Le pH

Les échantillons de lait analysés ont eu des valeurs de pH parsemées avec une moyenne de 6,73. La valeur maximale est observée dans la ferme 4 (6,78) et la minimale dans la ferme 3 (6,69).

Ces résultats (Figure 8) restent dans la plage de pH obtenue par l'étude de **Serhan, (2008)** sur des chèvres locales du Liban (6,69 à 6,89).

Par contre, ils sont supérieurs aux valeurs de pH caprin (6,45 à 6,60) énoncées par les données de la **FAO, (1995)**. Cette légère augmentation peut être expliquée par des infections dans les élevages.



**Figure 8** : Résultats pH des laits analysés.

#### 2.1.2. L'acidité

La moyenne obtenue pour tous les échantillons de lait est de 19,2°D avec une valeur minimale de 18,6°D (pour le lait de la ferme 4) et maximale de 19,6°D (pour celui de la ferme 2).

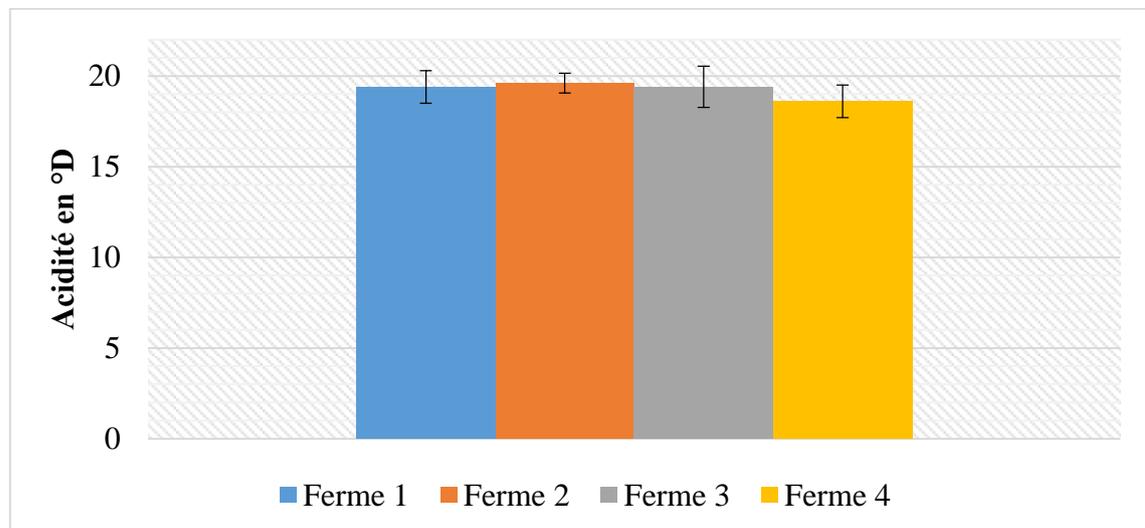
La figure 9 représente les moyennes des fermes. Les analyses statistiques n'ont pas révélé de différences significatives entre les moyennes des fermes (Tableau 10).

**Tableau 10** : Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Acidité).

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
<b>F2 vs F4</b>	1,000	1,768	2,861	0,324	Non
<b>F2 vs F1</b>	0,200	0,354	2,861	0,984	Non
<b>F2 vs F3</b>	0,200	0,354	2,861	0,984	Non
<b>F3 vs F4</b>	0,800	1,414	2,861	0,509	Non
<b>F3 vs F1</b>	0,000	0,000	2,861	1,000	Non
<b>F1 vs F4</b>	0,800	1,414	2,861	0,509	Non

Selon les mêmes données de la **FAO, (1995)** cité ci-dessus, elle devrait se situer entre 14 et 18°D ; des valeurs légèrement inférieures à nos résultats.

Par contre, l'acidité de tous les échantillons demeure inférieure à celle du lait de chèvre de système extensif qui s'élevait à 20,4 °D d'après l'étude récente faite par **Arroum et al., (2016)** sur le lait de chèvre de différents systèmes d'élevage. Les plantes halophiles sur les parcours pourraient être à l'origine de cette différence observée d'après cette étude.



**Figure 9** : Résultats de la mesure des acidités.

### 2.1.3. La densité

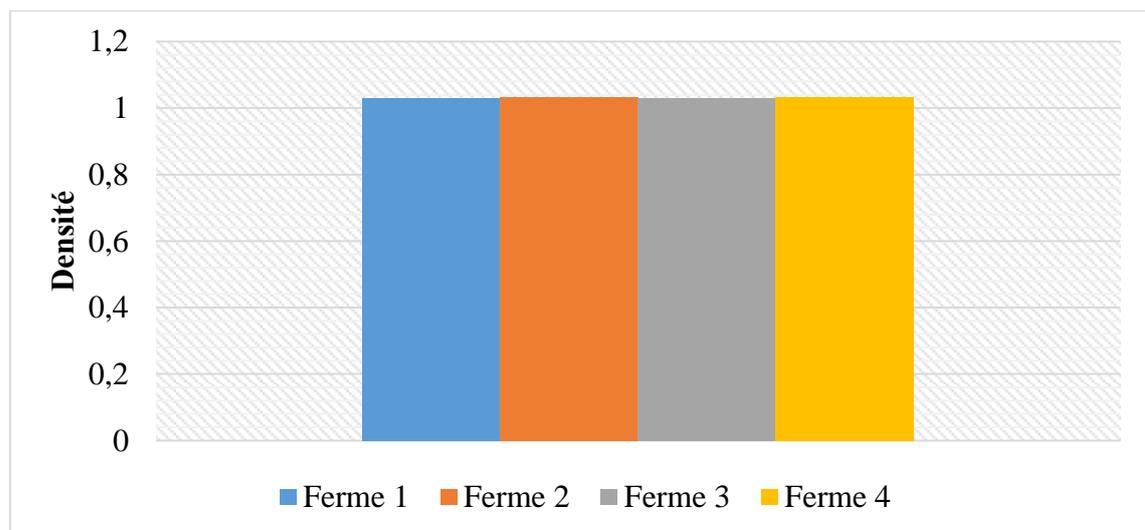
Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 10. La densité maximale observée parmi les différents échantillons est de 1,032 (il s'agit de celle du lait de la ferme 2 et 4) ; alors que la ferme 3, détient la valeur minimale qui est de 1,030. La densité moyenne étant de 1,031 pour l'ensemble des échantillons.

Les moyennes des fermes sont présentées dans la figure 10. Aucune différence significative n'a été révélée entre les moyennes des fermes par les analyses statistiques (Tableau 11).

**Tableau 11 :** Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Densité).

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
F4 vs F3	0,002	2,449	2,861	0,107	Non
F4 vs F1	0,001	1,361	2,861	0,540	Non
F4 vs F2	0,000	0,000	2,861	1,000	Non
F2 vs F3	0,002	2,449	2,861	0,107	Non
F2 vs F1	0,001	1,361	2,861	0,540	Non
F1 vs F3	0,001	1,089	2,861	0,701	Non

Ce paramètre (pour les laits étudiés) est en conformité avec les valeurs de référence de la **FAO, (1995)** évoquées qui sont entre 1,027 et 1,035.



**Figure 10 :** Résultats des densités évaluées.

#### 2.1.4. L'extrait sec ou matière sèche

Le lait de la ferme 1 est détenteur du taux le plus élevé de MS (15,48%) et celui de la ferme 2 le taux le plus bas (13,24%). Le taux moyen s'élève à (14%).

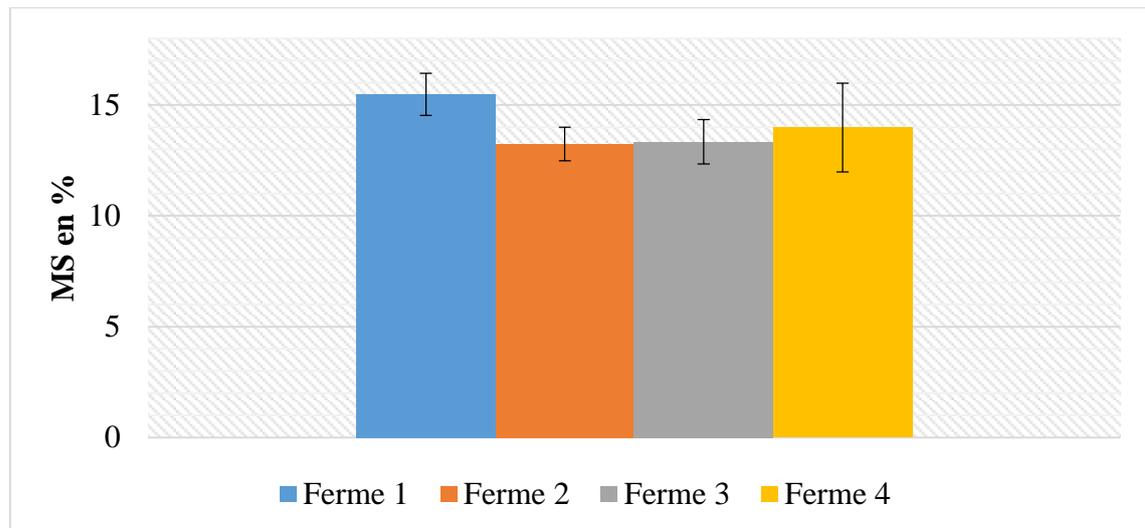
Les moyennes des fermes sont représentées dans la figure 11. A la suite des analyses statistiques, aucune différence significative n'a été observée entre les moyennes des fermes (Tableau 12).

**Tableau 12** : Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (MS).

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
<b>F1 vs F2</b>	2,244	2,455	2,861	0,106	Non
<b>F1 vs F3</b>	2,140	2,341	2,861	0,130	Non
<b>F1 vs F4</b>	1,504	1,645	2,861	0,383	Non
<b>F4 vs F2</b>	0,740	0,810	2,861	0,849	Non
<b>F4 vs F3</b>	0,636	0,696	2,861	0,897	Non
<b>F3 vs F2</b>	0,104	0,114	2,861	0,999	Non

Les taux obtenus sont proches de 13% (sauf pour la ferme 1) qui est le pourcentage de référence pour de nombreux auteurs : **Arroum et al., (2016)** ; **Vignola et al., (2002)** et **Mahaut et al., 2000**).

Le taux de matière sèche étant une estimation des constituants du lait, une hausse de ce dernier est juste une richesse du lait en ces constituants.



**Figure 11** : Résultats du taux des MS.

### 2.1.5. Les cendres

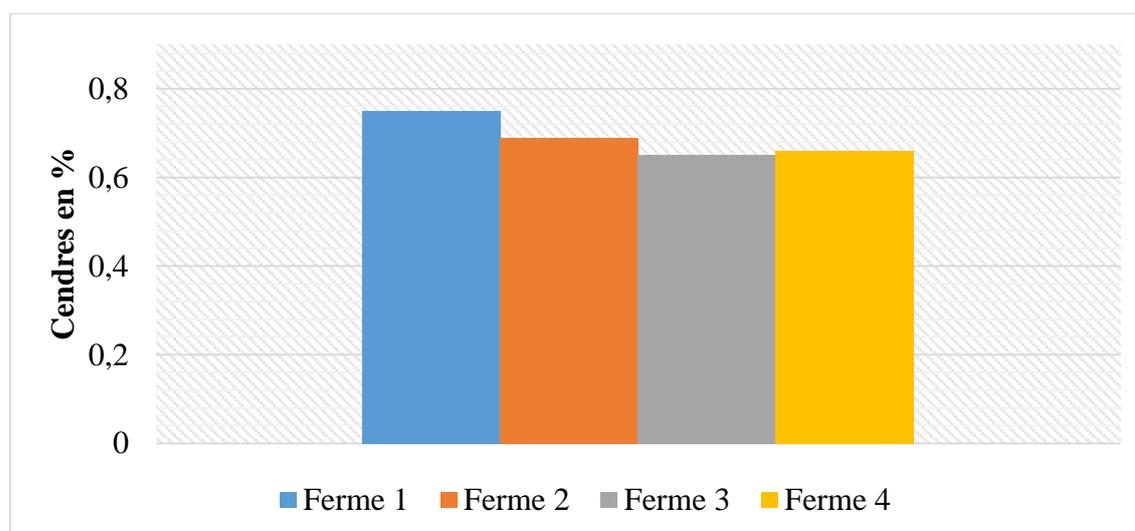
Le taux moyen de cendres pour l'étude est de 0,69% ; le taux le plus élevé de 0,75% pour le lait de la ferme 1 et enfin le taux minimal de cendres s'est trouvé dans la ferme 3 (0,65%). La figure 12 montre la moyenne enregistrée au niveau de chaque ferme. Les analyses statistiques ont montré une absence de différences significatives entre les moyennes des fermes (tableau 13).

**Tableau 13** : Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Cendres).

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
<b>F1 vs F3</b>	0,104	2,386	2,861	0,120	Non
<b>F1 vs F4</b>	0,093	2,137	2,861	0,184	Non
<b>F1 vs F2</b>	0,061	1,400	2,861	0,517	Non
<b>F2 vs F3</b>	0,043	0,986	2,861	0,759	Non
<b>F2 vs F4</b>	0,032	0,737	2,861	0,881	Non
<b>F4 vs F3</b>	0,011	0,249	2,861	0,994	Non

Les valeurs de ce paramètre sont éloignées de celle rapportée par **Mahaut et al., (2000)** qui est de 0,86%. Le taux moyen quant à lui est très proche de celui énoncé par les travaux de **Arroum et al., (2016)** pour le système extensif (0,7%) et de **Serhan, (2008)** pour des chèvres locales du Liban (0,69 – 0,72%).

Ces faibles taux de observés en élevage extensif pourraient être justifiés par une absence de compléments minéraux dans l'alimentation.



**Figure 12** : Résultats taux de cendres des échantillons.

Le tableau 14 ci-dessous regroupe les différents résultats obtenus à la suite des analyses physico-chimiques (il s'agit de la moyenne des échantillons par ferme).

**Tableau 14** : Résultats des analyses physico-chimiques du lait cru de chèvre.

<b>Fermes</b>	<b>°D</b>	<b>Densité</b>	<b>MS</b>	<b>Cendres</b>
<b>F1</b>	19,400	1,031	15,482	0,750
<b>F2</b>	19,600	1,032	13,238	0,690
<b>F3</b>	19,400	1,030	13,342	0,647
<b>F4</b>	18,600	1,032	13,978	0,658
<b>Pr &gt; F</b>	0,332	0,073	0,091	0,116
<b>Significatif</b>	Non	Non	Non	Non

**pH** : potentiel hydrogène ; **T°** : température ; **A°** : acidité ; **MS** : Matière sèche.

## 2.2. Les analyses bactériologiques

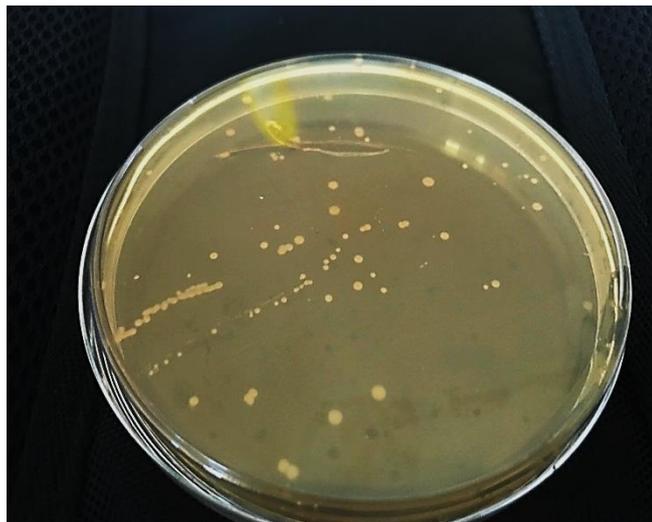
Toutes ces analyses ont été réalisées sur le lait cru de chèvre.

### 2.2.1. La flore mésophile aérobie totale

Les valeurs observées dans les échantillons sont de  $1,1.10^5$  ufc/ml (valeur minimale) et de  $3,7.10^7$  ufc/ml (valeur maximale).

Selon les normes du **JORA n°39 du 2 juillet 2017**, le nombre de cette flore doit être inférieur à  $3.10^6$  ufc/ml de lait cru. Et ce seuil est largement dépassé dans notre échantillon à valeur plafond.

L'absence de bonne pratique d'hygiène (environnement de l'élevage et conditions de traite) dans les systèmes extensifs pourrait expliquer ces chiffres élevés (qui dépendent aussi du degré d'attention dans les différentes fermes).



**Photo 4 :** Colonies de la FMAT sur le milieu PCA.

### 2.2.2. Les coliformes totaux et fécaux

Le maximum de coliformes totaux dans nos analyses est de  $1,4.10^6$  ufc/ml de lait de cru tandis que le minimum est de  $2.10^3$  ufc/ml. S'agissant des coliformes fécaux, les valeurs sont de  $7,5.10^2$  ufc/ml pour la maximale et  $3.10^2$  ufc/ml de lait cru pour la valeur minimale.

Toujours selon les normes du même **JORA, (2017)** précédemment cité, la limite de germes pour les coliformes fécaux est de  $5.10^3$  ufc/ml. Tous les échantillons analysés sont donc en conformité pour ces germes.

Nos résultats pour les coliformes totaux restent inférieurs à ceux obtenus par **Imane et Saliha, (2016)** qui s'élevaient à  $1,1.10^8$  ufc/ml, mais cela n'exclut pas le fait qu'il existe un problème de salubrité (car les chiffres sont imposants).



**Photo 5 :** Croissance des coliformes dans le milieu BLBVB.

### 2.2.3. Les clostridiens sulfito-réducteurs

Les résultats eus pour ces germes sont de 2 et 30 ufc/ml pour les échantillons contaminés ; inférieurs au seuil limite du **JORA n°035 de 1998** (moins de 50 ufc/ml) et une absence totale dans les autres échantillons. Leur absence dans le lait est le signe de pratiques hygiéniques au sein de l'étable.



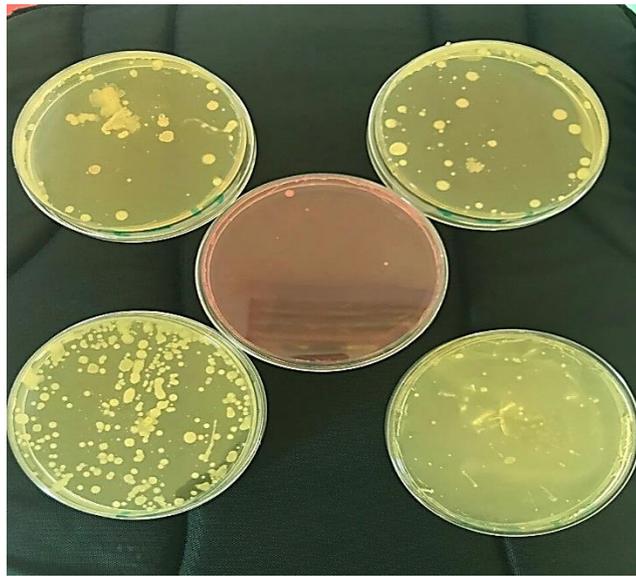
**Photo 6 :** Représentation des colonies noires de clostridies dans la gélose viande-foie.

### 2.2.4. Les staphylocoques pathogènes

Les staphylocoques à coagulase positive observés sont essentiellement représentés par l'espèce aureus. C'est le lait d'une seule ferme qui a présenté des colonies de cette espèce en raison de  $3,97 \cdot 10^3$  ufc/ml.

Cette valeur est supérieure à celle énoncée dans les normes du **JORA n° 39** (limite en dessous de  $10^3$  ufc/ml).

Les infections mammaires en sont surtout responsables.



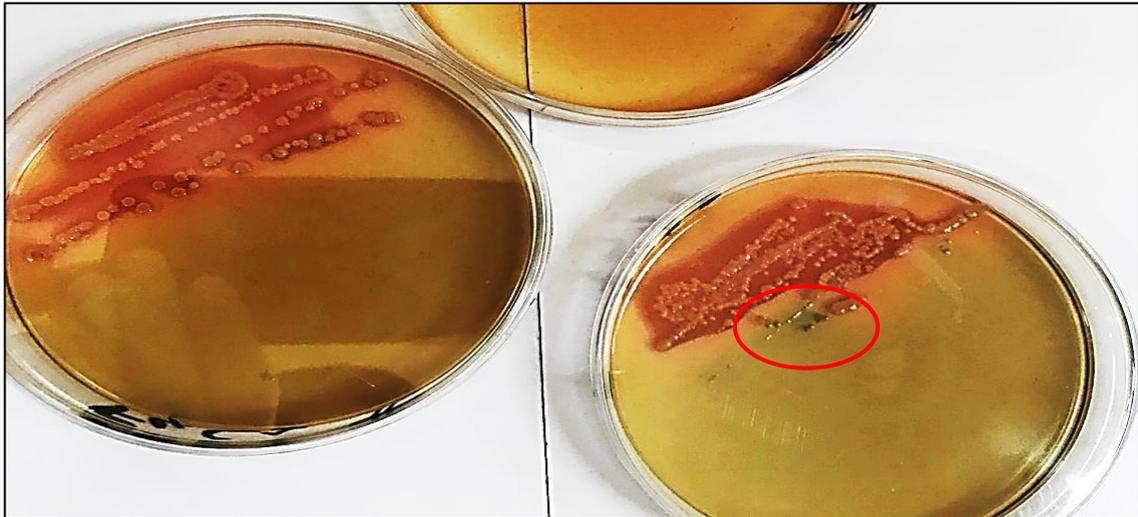
**Photo 7 :** Colonies non et caractéristiques de staphylocoques sur le milieu Chapman.



**Photo 8 :** Exemple d'un test api staph (après culture).

### 2.2.5. Les salmonelles

Les normes exigent leur absence dans 25 ml des échantillons analysés. A l'exception d'un seul échantillon (où des colonies caractéristiques ont été observées), les résultats du reste sont en accord avec les normes.



**Photo 9** : Colonies caractéristiques de salmonelles (couleur verte).

Le tableau 15 ci-dessous regroupe les différents résultats obtenus à la suite des analyses bactériologiques.

**Tableau 15** : Résultats des analyses bactériologiques du lait cru de chèvre.

Germes	Valeurs ufc/ml		Normes du JORA n°39 2017
	minimale	maximale	
<b>FMAT</b>	$1,1.10^5$	$3,7.10^7$	$3.10^6$
<b>Coliformes totaux</b>	$2.10^3$	$1,4.10^6$	---
<b>Coliformes fécaux</b>	$3.10^2$	$7,5.10^2$	$5.10^3$
<b>Staphylocoques pathogènes</b>	0	$3,97.10^3$	$10^3$
<b>Clostridies sulfito-réducteurs</b>	0	30	50 *
<b>Salmonelles **</b>	0		0 dans 25 ml

\* : JORA n°035 de 1998,

\*\* : Un échantillon a présenté des colonies caractéristiques de salmonelles dans une quantité de 25 ml de lait analysé.

### 2.3. Les essais de fabrication de fromages frais

C'est la même quantité de lait qui fut utilisée pour toutes les fabrications (500 ml).

#### 2.3.1. Le premier essai

Le coagulum obtenu est mou et très chargé en sérum.

Ces caractères, sont liés à un faible développement d'acidité par les microorganismes lactiques du lait de départ. En effet, ils ont été éliminés en grande partie par la pasteurisation et seule une légère quantité résiduelle assure cette acidification.

Le produit final après un temps de séchage renferme 34% de MS et 0,92% de cendres avec un rendement fromager de 14,8% en fin égouttage et de 10% après le temps de séchage.

### 2.3.2. Le deuxième essai

Tout comme le premier essai, son coagulum a les mêmes caractéristiques ; mais il est plus ferme que pour le précédent. Cette différence est due à l'ajout de ferments lactiques de commerce qui favorise plus le développement de l'acidité.

Le taux de matière sèche après le séchage est de 41% et 0,87% pour celui des cendres. Les rendements fromagers sont respectivement de 15,2% et 11,2% en fin d'égouttage et après séchage.



(A)

(B)

**Photo 10 :** Images de fabrication de fromage lactique sans présure.

A : Caillé partiellement égoutté,

B : fromage après séchage.

**2.3.3. Le troisième essai**

Contrairement aux deux (2) premiers essais (coagulation uniquement lactique), l'addition de la présure couplée à l'action des microorganismes lactiques, permet l'obtention de coagulum bien plus structuré (ferme, souple).

Le taux de MS et de cendres sont respectivement de 44% et 0,9%. Quant aux rendements fromagers, ils sont de 16% et de 14% lors des deux (2) contrôles.

**2.3.4. Le quatrième essai**

Le coagulum obtenu, présente une grande fermeté et une souplesse qui surpassent les autres types.

Les taux de MS et de cendres sont de 60% pour le premier et 2,34% pour le second. Les rendements sont de 13% au départ et de 11% à la fin.

Les valeurs des taux de MS et de cendres des différents fromages sont regroupées dans le tableau 16.



(a)

(b)



(c)

(d)

**Photo 11** : Images de fabrication de fromage avec présure.

a : Emprésurage du lait,

c : Egouttage du caillé,

b : Tranchage du caillé,

d : Retournement du fromage.

**Tableau 16 :** Taux de MS et de cendres des différents fromages fabriqués.

Fromages	Taux de MS	Taux de cendres
Fromage du premier essai	34%	0,92%
Fromage du deuxième essai	41%	0,87%
Fromage du troisième essai	44%	0,9%
Fromage du quatrième essai	60%	2,34%

- **Discussion des résultats :**

Pour les fromages réalisés uniquement à partir du développement de l'acidité par les ferments lactiques (ajoutés ou propres au lait), leur taux de cendres témoigne du degré de déminéralisation que subit ces types de fabrication. Lorsque l'acidité du lait augmente, les minéraux associés aux micelles se solubilisent et passent dans le sérum en appauvrissant ainsi le futur fromage en minéraux.

Plus le degré d'acidification est élevé plus le taux de cendres du fromage est faible. Chose prouvée par nos résultats :

- Lait seul : nombre faible de bactéries lactiques, acidité développée faible par rapport au deuxième essai, le taux est de 0,92%.
- Lait + ferments lactiques : plus d'acidité développée suite nombre de bactéries lactiques élevé en comparaison au premier essai, le taux est de 0,87%.

Pour le troisième essai, son taux est de 0,9% légèrement faible à celui du lait seul (0,92%) du fait de l'ajout des ferments, mais supérieur à celui du second essai (0,87%) conséquence de la durée de maturation (juste 3 heures).

Quant au dernier essai avec la présure, le taux de cendres est de 2,34% ; très proche du taux obtenu dans une étude sur les caractéristiques physico-chimiques de coagulum à partir d'enzymes animale et végétale par **Rayanatou et al., (2017)** qui était de 2,55% pour l'enzyme animale.

S'agissant du taux de la matière sèche, elle est fonction du temps que passe le fromage en séchage. Plus ce temps augmente, plus le fromage perd son humidité et plus le taux de MS augmente.

Ainsi d'après **Favier, (1991)**, les taux de MS des fromages de chèvre évoluent de la manière suivante :

- Fromage frais (moins de 20% de MS),
- Fromages frais moulés (20 – 40% de MS),
- Fromages demi-secs (40 – 65% de MS) et
- Fromages secs (plus de 65% de MS).

## Conclusion

L'excellente qualité nutritive du lait n'est pas uniquement appréciée par l'Homme mais aussi par des microorganismes dont certains sont bénéfiques et d'autres indésirables voire même pathogènes. En plus, les techniques de fabrication du fromage ont des répercussions sur les qualités de ce dernier tant sur ses composants mineurs (surtout les minéraux) que majeurs (principalement les protéines et les lipides).

La présente étude n'a fait que renforcer la véracité de ces affirmations.

Les analyses relatives aux paramètres physico-chimiques ont mis en évidence les conditions propices (nécessaires à la croissance des germes) qu'offrent certains échantillons notamment des taux de MS élevé (substrats) atteignant 15,48% et des valeurs de pH très proches de la neutralité ; parfaites pour de nombreux microorganismes.

De même, les analyses bactériologiques ont montré que certains de nos échantillons étaient de qualité satisfaisante (car en dessous de la limite autorisée) comme l'absence totale des foies et d'autres qui étaient inacceptables selon les normes du **JORA n°39, (2017)**.

Les essais de fabrication effectués ont juste prouvés l'influence que pouvait avoir les divers procédés sur les composants du fromage et particulièrement les minéraux ; leur proportion passant de 2,34% pour les fabrications avec seulement la présure à 0,87% pour celles impliquant des ferments lactiques.

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

- ✓ Une étude sur les faisabilités de l'intensification de l'élevage caprin en Afrique tout en évaluant ses avantages et ses inconvénients,
- ✓ Une étude comparée des qualités physico-chimiques et microbiologiques du lait de chèvre en systèmes extensif et intensif,
- ✓ Une étude sur les appréciations des fromages de chèvre de fabrications différentes par les consommateurs.

## Références bibliographiques :

**Arroum S., Zmouli K., Gaddour A., Fguiri I., Naziha A., Khorchani T,** Étude comparative des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques du lait caprin en fonction du mode d'élevage. CIHEAM, 2016. p. 429-433 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 115).

**Berlin. P,** kumiss, International dairy federation annual bulletin, 1962, pp 4-16.

**Brugère H.,** cours sur Le lait et les produits laitiers, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 2003.

**Bulletin of the International Dairy Federation,** World Dairy situation 458/2012, p 10.

**Daoudi Ahlem,** Qualité d'un fromage local à base de lait de chèvre, Mémoire de magistère : Univ-Chlef, 2006, 148 pages.

**Fall Coudou Latyr,** Etude des fraudes du lait cru : Mouillage et écrémage, Thèse de l'Ecole Inter Etats des Sciences et Médecine Vétérinaire (EISMV) de Dakar, 1997, 80 pages.

**Favier J.C,** Composition des fromages de chèvre, ORSTOM fonds documentaire, 1991.

**Grappin R., R. Jeunet, R. Pillet, A. Le Toquin,** Etude des laits de chèvre. I. Teneur du lait de chèvre en matière grasse, matière azotée et fractions azotées, Le lait, INRA Editions, 1981, 61 (603-604), pp 117-133.

**Imane Khémis, Saliha Bachi,** Contrôle de la qualité microbiologique d'un produit laitier fermenté traditionnel (j'ben), mémoire Univ-Ourgla, 2016, p 32.

**Journal officiel de l'Union européenne,** Annexe XII : Définitions et dénominations relatives au lait et aux produits laitiers, le 16.11.2007, L 299, p 105.

Le panorama des industries agroalimentaires, Edition 2014, Sous classe 10.51C (Fabrication de fromages), p 07.

**Lentner. C,** Body fluids, composition of the body nutrition, Geigy scientific tables, Ciba Geigy 8<sup>th</sup> edition, Volume 1: units of measurement, P 213-216.

**Leymarios Florence Courtet**, qualité nutritionnelle du lait de vache et de ses acides gras. Voies d'amélioration par l'alimentation, Thèse de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 2010 112 pages.

**Mahaut Michel, Romain Jeantet et Gérald Brulé**, Initiation à la technologie fromagère, Lavoisier Tec & Doc, 2000, p 194.

**Ministère français de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt :**

**Niemczcki Stanislas, Galecki Jules**, Conductibilité électrique spécifique du lait et nouveaux dispositifs pour sa détermination, Le lait, INRA Editions, 1938 N°180, pp 1009-1033.

**Oliveira Alves**, Composition chimique du lait, Cours de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, Alimentation des Animaux, 2007.

**Park Y.W., Jurez M., Haenlein M. G.F.W.**, Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk, Elsevier, Small Ruminant Research 2007, 68 pp 88-113.

**Pradal Magali**, La transformation fromagère caprine fermière, Paris Lavoisier Tec et Doc 2012, p 295.

**Pradal Magali**, le guide de l'éleveur de chèvres, Paris Lavoisier Tec et Doc 2014, pages 3-4.

**Rayanatou Issa Ado, El Hadji Gounga Mahamadou, Gilles Garric, Marielle Harel-Oger, Arlette Leduc, Julien Jardin, Valérie Briard-Bion, Chantal Cauty, Hassane Adakal, Jean François Grongnet, Frédéric Gaucheron**, Physico-chemical characterization of dairy gel obtained by a proteolytic extract from Calotropis procera – A comparison with chymosin, Food chemistry – Elsevier, 2017 pp 405-412.

**République Algérienne**, Annexe I : Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires, Journal Officiel de la République Algérienne N°39, 2017, p 13.

**République Algérienne**, Annexe I : Critères microbiologiques relatifs à certaines denrées alimentaires, Journal Officiel de la République Algérienne N°035, 1998.

**République française** : Filière caprine, Bulletin d'informations de l'inter Associations de Formation Collective à la Gestion (AFoCG), n°119, p 08.

**Richard J. et Desmazeaud M.**, Chapitre 6 : le lait de fromagerie, In André Eck et Jean-Claude Gillis, le fromage 3<sup>e</sup> édition, Lavoisier Tec & Doc, 2006, p 202.

**Serhan Mireille**, Valorisation durable des laits de chèvre de la région du nord Liban. Transformation en fromage Darfiyeh et établissement des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques en vue de la création d'une appellation d'origine, Thèse de l'institut national polytechnique de Lorraine, 2008, p 101.

**Sina Laurent**, Contrôle de qualité du lait et des produits laitiers fabriqués par la SOCA, Thèse de l'EISMV de Dakar, 1992, p 09.

**Slavica Sunarić, Tatjana Jovanović, Ana Spasić, Marko Denić, Gordana Kocić**, Comparative analysis of the physicochemical parameters of breast milk, starter infant formulas and commercial cow milks in Serbia, Acta facultatis medicae naissensis, Niš-Serbie, , 2016, 33(2), pp 101-108.

**Solaiman Sandra G**, Goat Science and Production, Wiley Blackwell Publishing, 2010, p 04.

**Sourîa Badidja, Zohra Djellabi Fatma**, Etude comparative de la composition physico-chimique de lait camelin et humain, Mémoire univ. de Ouargla, 2014, 46 pages.

**Sylvain Nathalie**, Positionnement des produits laitiers caprins auprès des professionnels de la santé, Harmonie santé, 2004, p 14.

**Vignola Carole L**, Science et technologie du lait : Transformation du lait, Presses internationales Polytechnique, 2002, p 29.

**Wang Zhaoxia, Shuaiming Jiang, Chenchen Ma, Dongxue Huo, Qiannan Peng, Yuyu Shao, and Jiachao Zhang**, Evaluation of Nutrition and Function of the Cow and Goat Milk Based on Intestinal Microbiota by Metagenomic-wide analysis, Food and Function, 2018.

**Zeller Bruno**, Le Fromage de chèvre : spécificités technologiques et économique, thèse ENV Toulouse, 2005.

**Sites web :**

**1 : [www.nutripro.nestle.fr](http://www.nutripro.nestle.fr)** , Les protéines et acides aminés, date de publication 2012, date de consultation 20 mai 2018.

**2 : [www.planetoscope.com](http://www.planetoscope.com)** , Production mondiale de lait, date de consultation 20 mai 2018.

**3 : [www.vidal.fr/](http://www.vidal.fr/) **acide nicotinique**** , dernière date de mise à jour le 16 janvier 2013, date de consultation le 09 mai 2018.

**4 : [www.histoiresdefromages.fr](http://www.histoiresdefromages.fr)** , date de consultation le 18 mai 2018.

**5 : [www.fromagesdechèvres.com](http://www.fromagesdechèvres.com)** , date de consultation le 18 mai 2018.

## Les annexes

### Annexe I : Les milieux de culture

#### ➤ PCA (Plate Count Agar)

Ce milieu fut utilisé pour le dénombrement des germes de la flore mésophile aérobie totale (FMAT).

##### ▪ Composition pour 1 litre

Tryptone	5g
Extrait autolytique de levure	2,5g
Glucose	1g
Agar agar bactériologique	12g

##### ▪ Préparation

Mettre 20,5g du milieu déshydraté dans 1 litre d'eau distillée. Homogénéiser la préparation en la portant lentement à ébullition sous constante agitation ; repartir en des flacons puis stériliser pendant 15 mn à 121°C dans une autoclave.

#### ➤ VP (Viande-Foie)

Ce milieu fut utilisé pour le dénombrement des clostridies sulfito-réducteurs.

##### ▪ Composition pour 1 litre

Base viande foie	30g
Glucose	0,2g
Amidon	0,2g
Agar bactériologique	11g

##### ▪ Préparation

Dissoudre 41.4g du milieu déshydraté dans 1 litre d'eau distillée. Pour s'assurer de la dissolution complète, porter la préparation à ébullition et l'y maintenir pendant 1 mn sous une agitation constante. Après répartition dans les flacons, procéder à la stérilisation 15 mn dans l'autoclave à 121°C.

#### ➤ Hektoen

Ce milieu fut utilisé pour l'isolement des colonies caractéristiques de salmonelles.

##### ▪ Composition

Peptone de viande	12g
Lactose	12g

Saccharose	12g
Sels biliaires	9g
Chlorure de sodium	5g
Thiosulfate de sodium	5g
Extrait de levure	3g
Salicine	2g
Citrate ferrique ammoniacal	1,5g
Fuchsine acide	0,1g
Bleu de bromothymol	0,4g
Agar agar bactériologique	14g

▪ **Préparation**

Mélanger 76g du milieu déshydraté avec 1 litre d'eau distillée. L'homogénéisation est identique aux autres milieux. Ne pas stériliser dans l'autoclave après répartition.

➤ **Eau physiologique**

Ce produit fut utilisé pour la préparation des dilutions décimales.

▪ **Composition pour 1 litre**

Eau distillée	1000 ml
Chlorure de sodium (NaCl)	9g

▪ **Préparation**

9 g de NaCl sont pesés puis ajoutés à 1 litre d'eau distillée et le tout est homogénéisé et enfin reparti dans des flacons puis stérilisé dans l'autoclave à la température de 121°C pendant 15 mn.

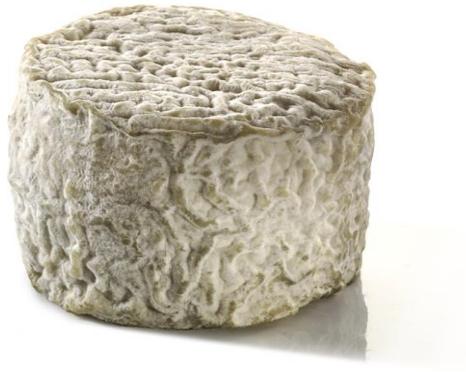
**Annexe II : Les formes réservées aux fromages de chèvre.**

➤ **La forme cylindrique**



Fourme de chèvre

➤ **La forme cylindrique en bonde**



Bonde de chèvre

➤ **La forme pyramidale**



Pouligny Saint-Pierre

➤ Le tronc de pyramide



Valençay

**Annexe III** : Le ferment de commerce Danisco utilisé pour les essais.

