

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Nature et de la Vie Mémoire Présenté en

Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques Spécialité microbiologie appliquée

Dans le cadre du décret 1275- Start-up

Incubateur de l'Université 20 Aout 1855-Skikda

***Fabrication de fromages 100% naturel grâce  
à la valorisation de déchets agroalimentaire  
( animale/végétal)***

**Intitulé**

Présenté Par : - Mlle HADEF Nesrine

**Membres de Jury :**

Dr. BENDIB Riyad	Président	Univ. 20 août 1955- Skikda
Dr. BECHEKER Imène (MCA)	Promotrice	Univ. 20 août 1955- Skikda
Dr. Chekroud Z (MCB)	Examinatrice	Université 20 août 1955- Skikda

Année universitaire 2024/2025

# Remerciements

Je souhaite tout d'abord exprimer ma plus profonde gratitude à **Dieu**, pour m'avoir accordé la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Mes sincères remerciements vont à **Dr BECHEKER Imène**, mon encadrant(e), pour son accompagnement, ses conseils avisés, sa disponibilité et sa bienveillance tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Ses remarques pertinentes et son expertise ont été d'une aide précieuse.

Ma gratitude s'adresse également aux **membres du jury**,

Pour l'intérêt porté à mon travail et leurs remarques constructives.

Un merci sincère à **tous mes enseignants du Département des Sciences de la Nature et de la Vie**, dont les enseignements ont enrichi ma formation, en particulier **le chef de département et les enseignants de microbiologie**, pour leur engagement et leur soutien.

Je tiens à remercier chaleureusement **Dr Bouima**, responsable du laboratoire d'analyses agroalimentaires, pour sa disponibilité, son soutien technique et ses conseils précieux qui ont été d'une grande aide dans la partie expérimentale de ce travail.

Je ne peux passer sous silence le soutien logistique inestimable de **mes cousins Adel et Hichem**, qui m'ont permis d'avoir accès à la matière première essentielle à la réalisation de ce projet : le lait. Leur générosité et leur implication ont grandement facilité les choses.

Enfin, je dédie une pensée toute particulière à **ma famille et à mes proches**, pour leur amour constant, leur patience et leurs encouragements inépuisables. Grâce à eux, je n'ai jamais perdu confiance, même dans les moments les plus difficiles.

À vous tous, merci du fond du cœur.

# Dédicaces

À toi "**mon père Khaled**" pilier de ma vie, pour ton courage, ton silence plein d'amour et ta présence rassurante même dans les moments les plus difficiles.

À toi "**ma mère Lamia**" source infinie de tendresse, de patience et de prières... Ton amour m'a portée, ton regard m'a guidée.

À mes chers frères :

"**Karim, Abd EL Rahmen et Djoud**" pour votre complicité, vos rires, votre soutien discret mais profond.

À "**ma belle Sœur Maram**" pour ta gentillesse et ton encouragement constant.

À "**ma deuxième Sœur Meriam**" pour ton amour sincère et ton esprit toujours réconfortant.

À mes grand-mères "**Djamilla et Massouda**" deux femmes extraordinaires qui m'ont transmis des valeurs inestimables d'amour, de foi et de force.

À mes grands-pères "**Ibrahim et Rabah**" que je n'oublierai jamais... Vos prières m'accompagnent encore.

À mes chères amies et sœurs de cœur "**Amel et Bouchra**" pour votre présence lumineuse, vos mots justes, et votre patience dans les moments de doute.

Et enfin...

**À moi-même.**

Pour avoir tenu bon, malgré les tempêtes intérieures, les fatigues invisibles, et les nuits remplies de doutes.

Pour avoir cru, persévéré, et accompli.

## Résumé

Les produits laitiers constituent une source majeure d'éléments nutritifs et occupent une place essentielle dans l'alimentation humaine. Parmi eux, le fromage revêt une importance culturelle, économique et nutritionnelle considérable. Sa fabrication repose principalement sur la coagulation enzymatique des protéines du lait, étape déterminante qui conditionne ses propriétés organoleptiques et sa qualité finale. Ce travail de recherche s'inscrit dans une perspective de valorisation des sous-produits agroalimentaires d'origine animale et végétale pour la production de fromages 100 % naturels. L'objectif principal est de développer des alternatives durables à la présure industrielle, en utilisant des coagulants extraits localement. Dans une première étape, la pepsine a été extraite à partir de la membrane interne du gésier de poulet, en suivant le protocole de Bohak (1970). Cette enzyme a été testée en tant qu'agent coagulant, puis comparée à deux autres présures : une présure commerciale de référence et le latex de figuier (*Ficus carica*) comme alternative végétale.

Trois types de fromages ont été élaborés à partir de lait cru : un fromage utilisant la présure industrielle (référence standard), un fromage coagulé avec le latex de figuier, et un fromage utilisant la pepsine extraite du gésier de poulet. Des tests de coagulation ont été menés afin d'évaluer l'efficacité enzymatique de ces différents coagulants. Les résultats ont montré que la pepsine aviaire présente une activité coagulante satisfaisante, bien qu'inférieure à celle de la présure industrielle. Le latex de figuier a également démontré un pouvoir coagulant réel, mais a conduit à une texture plus granuleuse et un goût végétal prononcé. Une évaluation sensorielle réalisée auprès d'un panel de consommateurs a révélé que les fromages obtenus avec la présure animale (extraite du gésier) étaient globalement mieux acceptés que ceux produits avec la présure commerciale ou végétale. Le fromage coagulé à la pepsine de poulet s'est distingué par une texture proche des standards industriels, tout en présentant un profil plus sain, sans additifs ni enzymes importés. Ce résultat offre un compromis intéressant entre qualité organoleptique et valorisation durable des déchets animaux.

**Mots-clés :** Coagulation enzymatique, Fromages naturels, Présure animale, Présure Commerciale, Présure végétale.

## Abstract

Dairy products are a major source of essential nutrients and play a fundamental role in human nutrition. Among them, cheese holds considerable cultural, economic, and nutritional importance. Its production is primarily based on the enzymatic coagulation of milk proteins — a crucial step that defines the final quality and sensory properties of the product. This research aims to valorize agro-industrial by-products of animal and plant origin for the production of 100% natural cheeses. The main objective is to develop sustainable alternatives to industrial rennet by using locally extracted coagulants. In a first step, pepsin was extracted from the inner membrane of chicken gizzards following the Bohak protocol (1970). This enzyme was tested as a coagulant and compared with two others: a standard commercial rennet and fig tree latex (*Ficus carica*) as a plant-based alternative. Three types of cheese were prepared using raw milk: one using industrial rennet (standard), one using fig latex, and another using pepsin from chicken gizzards. Coagulation tests were carried out to evaluate the enzymatic effectiveness of each coagulant. Results showed that avian pepsin displayed satisfactory coagulating activity, although lower than that of commercial rennet. Fig latex also showed real coagulating power, but resulted in a more granular texture and a pronounced plant-like taste. A sensory evaluation conducted with a panel of consumers revealed that cheeses made with animal rennet (from chicken gizzard) were generally more appreciated than those made with commercial or plant-based rennet. Cheese coagulated with chicken pepsin stood out for having a texture close to industrial standards, while offering a healthier profile, free of additives or imported enzymes. This makes it a promising compromise between sensory quality and sustainable valorization of animal by-products.

**Keywords:** Enzymatic coagulation, Natural cheeses, Animal rennet, Commercial rennet, Plant rennet.

## الملخص

تُعتبر منتجات الألبان من المصادر الرئيسية للعناصر الغذائية الأساسية، ولها دور محوري في التغذية البشرية. ويُعد الجبن من بين هذه المنتجات ذات الأهمية الثقافية والاقتصادية والغذائية الكبيرة. تعتمد صناعته بشكل رئيسي على عملية التخمير الإنزيمي لبروتينات الحليب، وهي خطوة حاسمة تؤثر بشكل مباشر على الخصائص الحسية وجودة المنتج النهائي. يهدف هذا البحث إلى تقييم المخلفات الزراعية الغذائية ذات الأصل الحيواني والنباتي لإنتاج أجبان طبيعية 100٪، من خلال تطوير بدائل محلية ومستدامة للمنفعة الصناعية. في المرحلة الأولى، تم استخلاص إنزيم البيبسين من الغشاء الداخلي لقنوصة الدجاج وفقاً لبروتوكول (Bohak 1970)، واستخدامه كمخثر إنزيمي للحليب، ثم تمت مقارنة بنوعين آخرين من المنفعة: المنفعة التجارية (المرجعية) واللاتكس النباتي المستخرج من شجرة التين (*Ficus carica*) كبديل نباتي. تم تحضير ثلاثة أنواع من الجبن باستخدام الحليب الطازج: الأول باستخدام المنفعة الصناعية، والثاني باستخدام لاتكس التين، والثالث باستخدام بيبسين قنوصة الدجاج. أُجريت اختبارات لتقييم كفاءة هذه المخثرات من حيث القدرة على تخثير الحليب. وأظهرت النتائج أن البيبسين الحيواني يملك نشاطاً تخثيرياً مرضياً، وإن كان أقل من المنفعة التجارية. كما أظهر لاتكس التين قدرة حقيقية على التخثير، لكنه أدى إلى قوام أكثر تفتتاً وطعم نباتي واضح. أظهرت التقييمات الحسية التي أُجريت على عينة من المستهلكين أن الأجبان المحضرة بالمنفعة الحيوانية (المستخرجة من قنوصة الدجاج) كانت أكثر قبولاً مقارنة بتلك المحضرة بالمنفعة التجارية أو النباتية. وتميّز الجبن المخثر بيبسين الدجاج بقوام قريب من المعايير الصناعية، مع ميزة كونه صحياً أكثر وخالياً من الإضافات أو الإنزيمات المستوردة، مما يجعله خياراً واعداً يجمع بين الجودة الحسية والتأمين المستدام للمخلفات الحيوانية.

**الكلمات المفتاحية:** التخثير الإنزيمي، الأجبان الطبيعية، المنفعة الحيوانية، المنفعة التجارية، المنفعة النباتية.

## Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumés

Introduction

### **Chapitre 1 : Généralités sur les déchets alimentaires et les déchets testés**

1. Définition d'un déchet :.....	3
2. Définition d'un déchet alimentaire : .....	3
3. Classification des déchets :.....	3
3.1. Classifications selon leurs natures.....	3
a. Déchets solides :.....	3
b. Déchets liquides .....	3
c. Déchets gazeux .....	3
3.2. Classification selon la dangerosité .....	4
a. Les déchets dangereux .....	4
b. Les déchets non dangereux.....	4
c. Les déchets inertes .....	4
d. Les déchets toxiques en petites quantités .....	4
e. Les déchets ultimes .....	4
f. Déchets radioactifs.....	4
3.3. Classification des déchets en fonction de l'activité initiale du déchet .....	4
a. Les déchets ménagers et assimilés.....	4
b. Déchets industriels.....	4
c. Les déchets hospitaliers.....	5
d. Les déchets agricoles.....	5
e. Déchets phytosanitaires .....	5
3.4. Classification selon le mode de traitement des déchets.....	5
a. Les déchets biodégradables ou décomposables .....	5
b. Les déchets recyclables .....	5
c. Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux .....	5
4. La valorisation des déchets .....	5
5. Les déchets valorisés .....	6
5.1. La membrane interne du gésier du poulet :.....	6

5.2. Le lait blanc de figue (Le latex) : .....	7
<b>5.3. Le lactosérum : .....</b>	<b>8</b>

## **Chapitre 2 : Généralité sur le lait et Coagulation enzymatique du lait**

1. Généralités sur le lait : .....	9
1.1. Définition .....	9
1.2. Caractéristiques organoleptiques et physicochimiques du lait de vache .....	9
1.2.1. Caractéristiques organoleptiques .....	9
a. La couleur .....	10
b. L'odeur .....	10
c. La saveur .....	10
d. La viscosité : .....	11
1.2.2. Caractéristiques physico-chimiques : .....	11
a. La densité : .....	11
b. Le pH : .....	11
c. Le point de congélation .....	11
d. Acidité de titration ou acidité Dornic .....	11
1.3. Microbiologie du lait : .....	12
1.3.1. Flore originale du lait .....	12
1.3.2. Flore de contamination : .....	12
a. La flore initiale du lait .....	12
b. La flore secondaire du lait : .....	13
c. La flore pathogène : .....	13
2. La coagulation du lait : .....	14
2.1. Définition : .....	14
2.2. Facteurs influençant la coagulation : .....	14
2.2.1. Concentration en enzyme : .....	14
2.2.2. pH .....	15
2.2.3. Température : .....	15
2.2.4. Teneur en calcium : .....	15
2.2.5. Teneur en caséines .....	15
2.2.6. Dimension des micelles de caséine : .....	15
2.3. Différents types de coagulation : .....	16
2.3.1. Coagulation acide : .....	16
2.3.2. Coagulation mixte : .....	16
2.3.3. Coagulation enzymatique : .....	16
2.4. Etapes de la coagulation : .....	17
2.4.1. Phase primaire : .....	17

2.4.2. Phase secondaire : .....	17
2.4.3. Phase tertiaire .....	17
2.5. Enzymes coagulantes : .....	18
2.5.1. Les enzymes d'origine animale : .....	18
2.5.2. Enzymes d'origine microbienne .....	19
2.5.3. Enzymes d'origine végétale : .....	19

### **Chapitre3 : Le Fromage**

1. Le Fromage : .....	21
1.1. Définition du fromage .....	21
2.Étapes de fabrication du fromage (d'après Vignol, 2002): .....	22
<b>3. La classification des fromages :</b> .....	22
3.1. Les fromages à pâte fraîche .....	22
3.2. Les fromages à pâte pressée non cuite .....	23
3.3. Les fromages à pâte cuite et pressée .....	23
3.4. Les fromages fondus .....	23

### **Chapitre 4 : Matériel et méthodes**

1. Les analyses microbiologies de lait cru .....	24
1.1. L'échantillonnage .....	24
1.2. Préparation de l'échantillon : .....	25
1.3. Préparation des dilutions décimales : .....	25
1.4. Dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM).....	25
1.5. Dénombrement des coliformes totaux .....	25
1.6. Recherche de Salmonella spp.....	26
1.7. Recherche de Listeria monocytogenes .....	26
2. Extraction de la pepsine de poulet.....	26
2.1. Préparation des proventricules :.....	26
2.2. Extraction de la pepsine :.....	26
2.3. Activation enzymatique et clarification : .....	27
2.4. Évaluation de l'activité coagulante : .....	27
3. Etapes de Fabrication du fromage .....	27
3.1. Etapes de fabrication du fromage frais .....	28
3.2. Étapes de fabrication du Camembert .....	28

### **Chapitre 5 : Résultats et discussion**

1. Résultats d'analyses microbiologiques du lait de vache cru .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2. Résultats de l'étude de l'efficacité des présures utilisées : .....	33
3. Evaluation de la qualité organoleptique des fromages fabriqués .....	34
3.1. Le fromage frais.....	34

3.2. Le camembert.....	35
Conclusion.....	40
Références bibliographiques	

## Liste des abréviations

<b>Abréviation</b>	<b>Significations</b>
<b>AFNOR</b>	Association Française de Normalisation
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization , Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>JORA</b>	Journal Officiel de la République Algérienne
<b>OMS</b>	Organisation mondiale de la santé
<b>ONAB</b>	Office National des Aliments de Bétail
<b>UHT</b>	Ultra Haute Température

## Liste des tableaux

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Constituants principaux des laits de diverses espèces animales (g/litre) .	<b>09</b>
<b>02</b>	Composition moyenne du lait de vache	<b>10</b>
<b>03</b>	Flore originelle du lait cru de vache	<b>12</b>
<b>04</b>	Temps de coagulation pour les différentes présures utilisées.	<b>32</b>

## Liste des figures

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Vue latérale du tractus digestif du poulet après autopsie	<b>7</b>
<b>02</b>	Le latex ou le lait blanc du figuier	<b>8</b>
<b>03</b>	Formation d'un caillé par action de la présure sur les caséines du lait	<b>19</b>
<b>04</b>	Échantillonnage du lait	<b>24</b>
<b>05</b>	Transport d'échantillons de lait	<b>25</b>
<b>06</b>	Proventricules de poulet après le nettoyage	<b>26</b>
<b>07</b>	La pepsine obtenue	<b>28</b>
<b>08</b>	Égouttage fromage frais	<b>29</b>
<b>09</b>	Résultats du contrôle de qualité du lait de vache utilisé dans ce travail.	<b>31</b>
<b>10</b>	la coagulation après 4 heures suite à l'utilisation de la pepsine extraite du gésier du poulet	<b>32</b>
<b>11</b>	Dégustation des différents fromages préparés à partir des différentes présures	<b>33</b>
<b>12</b>	fromage frais	<b>34</b>
<b>13</b>	Le camembert	<b>35</b>
<b>14</b>	Fiche d'évaluation d'un fromage frais	<b>36</b>
<b>15</b>	Fiche d'évaluation du Camembert	<b>38</b>

L'industrie laitière occupe une place stratégique au sein du secteur agroalimentaire algérien, tant par sa contribution à la sécurité alimentaire que par son impact socio-économique. Le lait, produit de consommation courante, est transformé en une multitude de dérivés, notamment le fromage, qui constitue une source précieuse de protéines et de calcium, tout en étant apprécié pour sa diversité de goûts et de textures. En Algérie, la fabrication de fromages reste majoritairement dominée par des procédés industriels et des produits standardisés. Toutefois, on observe un regain d'intérêt pour les méthodes artisanales et les fromages dits « naturels » ou « fermiers ». Le pays dispose d'un cheptel important, composé de vaches, de chèvres et de brebis, offrant une diversité de laits propice à la production de différents types de fromages **(FAO, 2020 ; Benaïssa et Bouzidi, 2021)**.

Cependant, le développement de la filière fromagère nationale est freiné par plusieurs contraintes, telles que la dépendance à l'importation de présure, la faible production locale d'enzymes coagulantes, le gaspillage des sous-produits agroalimentaires, ainsi que la faible valorisation des savoir-faire traditionnels. Parallèlement, la consommation nationale de fromage est en constante augmentation, portée par une demande croissante pour des produits naturels, sains et de qualité **(Boudalia et al., 2020)**.

Dans un contexte mondial où les préoccupations environnementales, économiques et nutritionnelles sont de plus en plus marquées, la valorisation des sous-produits issus de l'industrie agroalimentaire apparaît comme une stratégie clé pour renforcer la durabilité des systèmes alimentaires. L'objectif n'est plus uniquement de produire, mais de mieux exploiter les ressources disponibles, en réduisant les pertes et en redonnant de la valeur à des éléments auparavant considérés comme des déchets **(FAO, 2019)**.

Parmi ces sous-produits, les déchets d'origine animale constituent un potentiel souvent sous-exploité, notamment dans le secteur avicole. Le gésier de poulet, et en particulier sa membrane interne, en est un exemple pertinent : ce tissu, généralement écarté dans les chaînes de transformation, contient des enzymes protéolytiques telles que la pepsine, dont les propriétés coagulantes sont similaires à celles de la présure traditionnelle **(Fox et al., 2000 ; Osman et al., 2016)**.

Dans le même esprit, certaines substances d'origine végétale, comme le latex du figuier (*Ficus carica*), ont également démontré des capacités à coaguler le lait. Ces alternatives naturelles s'inscrivent dans une logique de valorisation et d'économie circulaire, tout en répondant à des préoccupations éthiques, religieuses et environnementales **(Egito et al., 2001 ; Bayram et al., 2020)**.

L'objectif principal de ce travail est de développer une méthode innovante et durable de fabrication de fromages naturels, à partir de laits de vache, de chèvre et de brebis, en utilisant des coagulants enzymatiques alternatifs d'origine animale et végétale. Ces coagulants seront extraits de sous-

produits agroalimentaires tels que la membrane interne du gésier de poulet et le latex du figuier (*Ficus carica*), dans une démarche de valorisation de ressources peu exploitées. Ce projet s'inscrit pleinement dans une approche d'économie circulaire, en proposant une alternative naturelle, économique et écologique à la présure commerciale traditionnelle.

Pour cela, notre travail de recherche s'articule autour de trois axes complémentaires :

1. **Valorisation de déchets alimentaires** : explorer la faisabilité de l'extraction d'enzymes coagulantes naturelles à partir de la membrane interne du gésier de poulet.
2. **Extraction et caractérisation enzymatique** : extraire et caractériser la pepsine aviaire, puis comparer son activité coagulante à celle de la présure animale traditionnelle.
3. **Fabrication expérimentale et évaluation** : produire des fromages naturels à l'aide de ces coagulants, et réaliser une évaluation sensorielle pour juger des qualités organoleptiques des produits obtenus.

**Chapitre 01**

**Généralités sur les déchets alimentaires et  
les déchets testés**

**1. Définition d'un déchet :**

La définition des déchets en Algérie est précisée dans l'article 3 de la loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Un déchet est défini comme : « tout résidu d'un processus de production de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a obligation de se défaire ou de l'éliminer ». Cette définition englobe une large gamme de matériaux, qu'ils soient issus de la production industrielle, de la consommation domestique ou d'autres activités humaines. Elle souligne également l'obligation pour le détenteur de se défaire de ces objets, que ce soit par choix ou en raison de contraintes légales (**JORA n° 77 du 15 décembre 2001, art. 3**)

**2. Définition d'un déchet alimentaire :**

Les déchets alimentaires désignent les restes de nourriture ou d'ingrédients comestibles qui sont jetés à différents stades de la chaîne alimentaire, depuis la production jusqu'à la consommation. Cela peut inclure les aliments non consommés, les produits périmés, les restes de repas ou encore les produits abîmés ou non conformes aux normes de vente (**FAO, 2013**).

Selon la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) : « Les déchets alimentaires se réfèrent à la diminution de la quantité ou de la qualité des aliments résultant des décisions et des actions des détaillants, des fournisseurs de services alimentaires et des consommateurs. » (**FAO, 2019**).

**3. Classification des déchets :****3.1. Classifications selon leurs natures (Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables, 2017) :**

- a. Déchets solides :** Ils sont constitués par des **débris combustibles** et non **combustibles** tels que les papiers, cartons, bois, paille, briques, pierres, restes de cuisine, hôpitaux et autres.
- b. Déchets liquides :** les eaux usées ménagères, industrielles et agricoles, ...
- c. Déchets gazeux :** il y a présence de la fumée, poussière, gaz à effet de serre ...

**3.2. Classification selon la dangerosité :**

**a. Les déchets dangereux :** Les déchets sont considérés comme dangereux s'ils présentent une ou plusieurs des propriétés suivantes : Explosif, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, corrosif, infectieux, toxique pour la reproduction, mutagène, écotoxique pour la santé humaine et l'environnement (**Commission Européenne, 2014**).

**b. Les déchets non dangereux :** sont les déchets qui ne présentent aucune des caractéristiques relatives des déchets dangereux (toxique, explosif, corrosif, ...). Ce sont des déchets banals (habituels) des entreprises, commerçants, et artisans (papiers, cartons, bois, textiles, ...) et les déchets ménagers (**ADEME, 2022**).

**c. Les déchets inertes :** Sont des solides minéraux qui ne subissent aucune transformation physique, chimique ou biologique importante. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique avec l'environnement.

Ils ne sont pas biodégradables et ne se décomposent pas au contact d'autres matières. Ex. Les déchets de graviers, les débris de pierres, les déchets de sable ou encore d'argiles, Pavés, gravats, carrelage. Ils proviennent des chantiers du bâtiment et travaux publics, mais aussi des mines et des carrières (**Ministère de la Transition Écologique, 2021**).

**d. Les déchets toxiques en petites quantités :** Ce sont des déchets dangereux produits en petites quantités par les ménages, les commerçants (Garage, coiffeurs, laboratoires de photos, imprimeries, laboratoires de recherches...). Il peut s'agir de déchets banals souillés (chiffons, cartons,), piles, résidus de peinture, médicaments périmés... etc. (**ADEME, 2020**).

**e. Les déchets ultimes :** Un déchet ultime, à caractère polluant ou dangereux et nécessite un traitement spécial **République Française. (1992)**.

**f. Déchets radioactifs.**

**3.3. Classification des déchets en fonction de l'activité initiale du déchet :**

**a. Les déchets ménagers et assimilés :** sont des déchets produits par les ménages, les commerçants, les artisans, et même les entreprises et industries quand ils ne présentent pas de caractère dangereux ou polluant. Papiers, cartons, bois, verre, textiles, emballages plastiques, des métaux, et des composites (bois, cuir, caoutchouc), cendre, déchets de nettoyage, débris de vaisselle (**Ministère de la Transition Écologique, 2020**).

**b. Déchets industriels (ADEME, 2019) :**

## **Chapitre 01 Généralités sur les déchets alimentaires et les déchets testés**

- ❖ **Déchets industriels inertes** : Déchets minéraux provenant des activités d'extraction (produits des gisements et mines).
- ❖ **Déchets industriels banales (DIB)** : Assimilables aux ordures ménagères (M.O, paquets, carton, plastiques, verres, emballages...).
- ❖ **Déchets industriels spéciaux (DIS)** : nécessitent des précautions particulières de leur élimination à cause de certaine matière toxique potentiellement dangereuses pour le milieu naturel.
- ❖ **Déchets dangereux ou toxiques** : (Peintures et vernis, colorants, déchets de laboratoire).

**c. Les déchets hospitaliers** : Les déchets issus des hôpitaux et établissements de soins, laboratoires et les centres de recherches, morgues et les centres d'autopsie, banques de sang et les services de collecte de sang et aussi Déchets toxiques en quantité dispersée (DTQD) : déchets à mercure, anciens médicaments... (OMS, 2014).

**d. Les déchets agricoles** : Les déchets issus de l'activité agricole sont essentiellement de déchets organiques (FAO, 2019).

- ❖ **Déchets liés à l'exploitation** : Déjection d'élevage (fumiers, et fientes), déchets de culture et d'exploitation des forêts, résidus des restes de production.
- ❖ **Déchets industriels agroalimentaires** : Rejets des déchets de triage des industries, déchets des laboratoires, les déchets de conserveries (unité de transformations), refus de laitiers, fromageries...

**e. Déchets phytosanitaires** : les emballages vides et produits herbicides, insecticides et fongicides (FAO, 2018).

Il existe bien d'autres déchets issus de chaque activité humaine. Ci-joint on a cité les plus importants.

### **3.4. Classification selon le mode de traitement des déchets (ADEME, 2021) :**

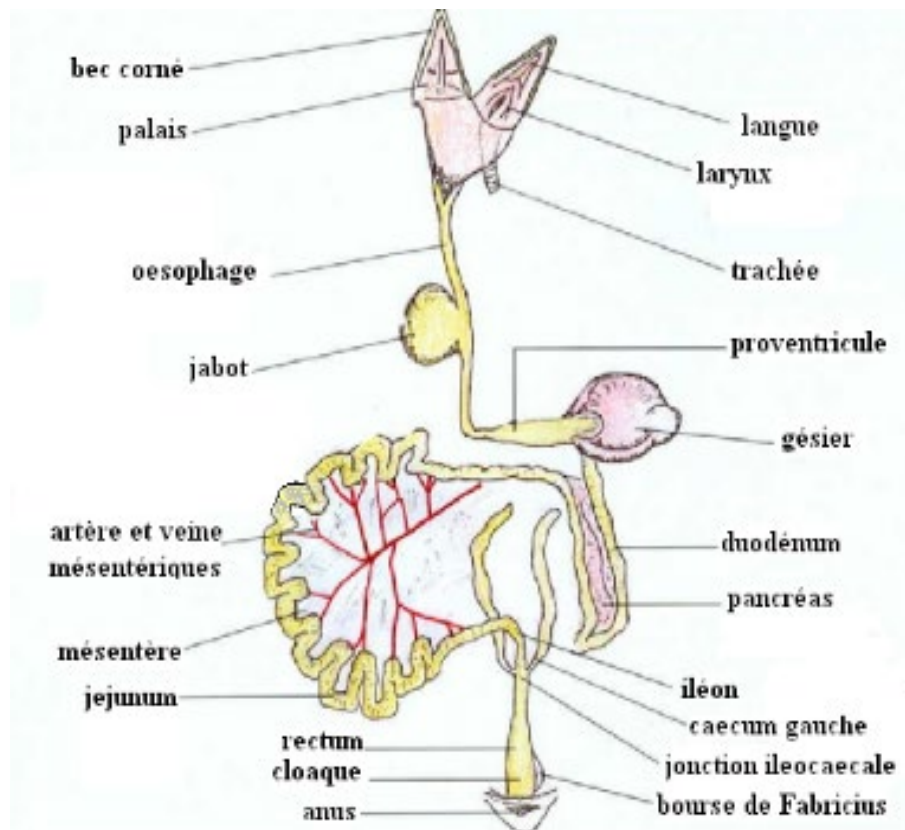
**a. Les déchets biodégradables ou décomposables** : Comme les résidus verts, boues d'épuration des eaux, restes alimentaires...,

**b. Les déchets recyclables** : Comme le verre, métaux, matières plastiques. Ces déchets peuvent être réutilisés directement dans d'autres domaines ou recyclés.

**c. Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux** : Dont font partie les déchets toxiques, les déchets radioactifs et déchets nucléaires qui doivent faire l'objet d'un traitement tout à fait particulier en raison de leur nocivité particulière liée à la radioactivité.

### **4. La valorisation des déchets :**





**Figure 1** : vue latérale du tractus digestif du poulet après autopsie (Villate, 2001).

## 5.2. Le lait blanc de figue (Le latex) :

Le latex est un liquide visqueux de couleur blanche, il est largement distribué dans la plante (**Figure 2**). Ce matériel contient divers métabolites secondaires comme les composés phénoliques et des protéines à savoir les protéases à cystéine. Le latex est constitué de caoutchouc, résine, albumine, sucre et acide malique, enzymes protéolytiques, diastase, estérase, lipase, catalase et peroxydase. Traditionnellement, il est utilisé dans le traitement de la goutte, des ulcères et des verrues. Il contient une enzyme protéolytique capable de coagulation de lait et de digérer la caséine (**Gaussen et al., 1982**).



**Figure 2 : Le latex ou le lait blanc du figuier (Prise personnelle)**

### **5.3. Le lactosérum :**

Le lactosérum est le liquide résiduel obtenu après la précipitation et l'élimination de la caséine du lait lors de la fabrication du fromage, ce dernier nécessitant l'étape de coagulation de la caséine sous l'action de la présure (lactosérum doux) ou de l'acidification subséquente du lait (lactosérum acide). Traditionnellement, l'opération qui suit l'étape de coagulations consiste à séparer la phase coagulée du reste du lait au cours d'une opération d'égouttage : la fraction liquide ainsi recueillie s'appelle le lactosérum. Le lactosérum, également connu sous le nom de (petit lait), est un sous-produit liquide de couleurs jaune verdâtre, très fermentescible et fragile. Il représente 85 à 90% du volume de lait **(Smithers, 2008)**.

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture **FAO/OMS (2003)** ne fournit pas de définition spécifique du lactosérum dans ses documents accessibles publiquement. Cependant, elle reconnaît son importance dans la production de fromages de lactosérum. Selon le Codex Alimentarius, un fromage de lactosérum est un produit solide, semi-solide ou à pâte molle principalement obtenu par la concentration du lactosérum, avec ou sans adjonction de lait, de crème ou d'autres matières premières d'origine laitière, et par le moulage du produit concentré.

**Chapitre 2**  
**Généralité sur le lait et Coagulation**  
**enzymatique du lait**

## 1. Généralités sur le lait :

### 1.1. Définition :

Le lait est le produit de sécrétion des glandes mammaires des mammifères comme la vache (Sandra, 2001). Du point de vue physicochimique, le lait est un produit très complexe (Zhang et al., 2009) (Tableau 1). Une connaissance approfondie de sa composition, sa structure et de ses propriétés physiques et chimiques est indispensables à la compréhension de ses transformations ainsi que de celles des produits obtenus lors des différents traitements industriels (Lapointe et Vignola, 2002). Il doit être collecté dans de bonnes conditions hygiéniques, et présenter toutes les garanties sanitaires. Le lait peut être commercialisé directement, mais le plus souvent après avoir subi des traitements de standardisation lipidique et d'épuration microbienne pour limiter les risques sanitaires et assurer une plus longue conservation (Jeantet et al., 2008).

**Tableau 1** Constituants principaux des laits de diverses espèces animales (g/l).

Constituants	Vache	Bufflonne	Chamelle	Jument	Chèvre	Brebis
Extrait sec total	128	166	136	109	134	183
Protéines	34	41	35	25	33	57
Caséine	26	35	28	14	24	46
Lactose	48	49	50	60	48	46
Matières salines	9	8	8	4	7,7	9
Matières grasses	37	68	45	20	41	71

## 1.2. Caractéristiques organoleptiques et physicochimiques du lait de vache :

### 1.2.1. Caractéristiques organoleptiques :

La qualité organoleptique du lait est en relation avec sa composition (Tableau2).

Tableau 2 : Composition moyenne du lait de vache (Beal et Sodini, 2003).

Composant	Teneur exprimée en g pour %
Eau	87.8
Lactose	4.8
Matière grasse	3.9
Matières azotées :	3.8
Caséines	2.6
Protéines sériques	0.5
Azote non protéique	0.1
Calcium	0.12
Phosphore	0.09
Potassium	0.14

La qualité organoleptique du lait de vache concerne :

**a. La couleur :**

Le lait de vache est généralement de couleur blanc mat, due à la diffusion de la lumière par les micelles de caséine et les globules gras. Cette couleur peut varier en fonction de la teneur en matière grasse et en caroténoïdes (comme la lactoflavine), conférant une teinte plus jaune au lait riche en crème (Grigioni, et al., 2011). Le lait de vache frais est généralement crémeux, en fonction de la teneur en matières grasses (Fox et al., 2015).

**b. L'odeur :**

L'odeur du lait est principalement influencée par sa teneur en matières grasses, qui fixe les odeurs. Elle peut être affectée par l'alimentation des animaux (par exemple, la consommation de fourrages tels que les crucifères ou la luzerne peut introduire des composés soufrés ou benzéniques responsables d'odeurs piquantes ou de radis). Au cours de la conservation, une odeur aigre peut se développer en raison de l'acidification par l'acide lactique.

Le lait a une odeur douce et légèrement sucrée. Des odeurs désagréables peuvent signaler une contamination ou une altération (Trujillo et al., 2002).

**c. La saveur :**

Le lait a une saveur douce en raison du lactose, qui est le principal sucre du lait. Un goût amer ou acide peut signaler une altération, souvent due à un pH trop bas ou à la présence de bactéries. Les

variations de goût peuvent aussi résulter des pratiques d'élevage (alimentation) et de transformation (pasteurisation, homogénéisation) (Martens, et al., 2006).

**d. La viscosité :**

La texture du lait varie avec la teneur en matières grasses. Le lait entier a une texture plus crémeuse, tandis que le lait écrémé est plus léger et moins visqueux. La texture peut également être affectée par le traitement du lait (lait UHT ou lait pasteurisé) (Fox et al., 2015)

**1.2.2. Caractéristiques physico-chimiques :****a. La densité :**

La densité du lait dépend de sa composition, notamment de la teneur en eau, en graisses, en protéines et en minéraux. En général, la densité du lait varie légèrement selon ces paramètres, mais elle se situe typiquement entre 1,027 et 1,035 g/cm<sup>3</sup> pour le lait de vache frais (Walstra et al., 2006).

**b. Le pH :**

Le pH du lait varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment l'espèce, l'alimentation et l'état de santé de l'animal. En règle générale, le pH du lait frais est légèrement acide, se situant autour de 6,6 à 6,8 (Walstra et al., 2006).

**c. Le point de congélation :**

Le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Il peut varier de à -0,555°C. Un point de congélation supérieur à -0,530°C permet de soupçonner une addition d'eau au lait (Vignola, 2002).

**d. Acidité de titration ou acidité Dornic :**

L'acidité de titration, également appelée acidité Dornic, est une méthode couramment utilisée pour mesurer l'acidité totale du lait, incluant l'acide lactique produit par la fermentation bactérienne. Cette mesure est cruciale pour évaluer la qualité microbiologique et la fraîcheur du lait. Selon l'AFNOR, l'acidité de titration du lait est définie comme :

« L'acidité apparente du lait mesurée par titrage avec une solution alcaline (NaOH 0,11 N), en présence d'un indicateur coloré (phénolphthaléine), jusqu'au point de virage ». Un lait est considéré comme frais si son degré Dornic est inférieur à 18 °D. Au-delà de cette valeur, le lait peut indiquer une fermentation bactérienne, affectant sa qualité (Walstra et al., 2006).

### 1.3. Microbiologie du lait :

#### 1.3.1. Flore originale du lait :

Le lait contient peu de micro-organismes lorsqu'il est prélevé dans de bonnes conditions à partir d'un animal sain (moins de 1000 germes/ml). Il s'agit essentiellement de germes saprophytes du pis et des canaux galactophore microcoques mais aussi streptocoque lactique et lactobacilles. Le lait cru est protégé contre les bactéries par des substances inhibitrices appelées les lacténine, mais leur action est à très courte durée (1 heure environ) (Guiraud, 2003).

Le tableau suivant dresse un inventaire des principales communautés microbiennes endogènes du lait cru, en précisant leur distribution relative.

**Tableau 3** : Flore originelle du lait cru de vache (Vignola, 2002).

Microorganismes	Pourcentage (%)
<i>Micrococcus sp.</i>	30-90
<i>Lactobacillus</i>	10-30
<i>Streptococcus ou Lactococcus</i>	< 10
Gram négatif	< 10

#### 1.3.2. Flore de contamination :

La flore de contamination du lait inclut des microorganismes provenant de l'environnement, des animaux et du personnel, pouvant être pathogènes ou saprophytes. Les bactéries psychrotrophes, capables de se développer à basse température, sont particulièrement préoccupantes pour la qualité du lait cru (Muir, 1996).

##### a. La flore initiale du lait

La flore initiale du lait est constituée des micro-organismes présents dans le lait directement après la traite, avant toute intervention de traitement. Ces micro-organismes proviennent de plusieurs sources :

- **Les mamelles et la peau des vaches** : La contamination par des bactéries, telles que *Staphylococcus aureus* et *Streptococcus agalactiae*, est fréquente dans les environnements de traite. Ces bactéries sont des pathogènes communs qui peuvent être transmis par le contact avec les trayons et la peau des animaux (Yassin et al., (2011)).

- **L'environnement de la salle de traite** : Le lait peut être contaminé par des bactéries provenant de l'air, des équipements de traite et des surfaces en contact avec le lait (**Kantor et al., 2006**)
- **Les bactéries d'origine digestive** : Certaines bactéries provenant du système digestif des animaux, telles que *Escherichia coli* ou *Salmonella*, peuvent être présentes dans le lait, notamment en cas de contamination par des infections internes (**Atterbury et al., 2010**).

### **b. La flore secondaire du lait :**

Après la traite, une flore secondaire se développe principalement lors de la transformation, du stockage et de la distribution. Cette flore provient de l'environnement et des mauvaises conditions de gestion post-traitement :

- **Bactéries psychrophiles** : telles que *Pseudomonas* et *Moraxella*, peuvent se multiplier à des températures basses et altérer la qualité du lait (**Müller et al., 2010**)
- **Levures et moisissures** : Les levures comme *Candida* et les moisissures telles que *Penicillium* peuvent se développer dans des conditions de température et d'humidité favorables (**Dufresne et al., 2017**).

### **c. La flore pathogène :**

La contamination du lait et des produits laitiers par des agents pathogènes constitue un enjeu majeur en matière de santé publique. Ces contaminants peuvent provenir de sources animales, humaines ou environnementales. La consommation de lait ou de produits laitiers infectés peut provoquer des infections sévères, incluant des troubles gastro-intestinaux, des infections respiratoires ou des affections systémiques (**WHO, 2015**). Parmi ces souches on cite :

- ***Escherichia coli* O157:H7** : une souche pathogène qui peut causer des intoxications alimentaires graves (**Reddy et al., 2011**), cette souche est souvent présente dans le lait cru et peut entraîner des infections graves.
- ***Salmonella*** : Ce pathogène est responsable de nombreuses gastro-entérites et peut être transmis par le lait cru (**Glynn et al., 2008**).
- ***Listeria*** : *Listeria monocytogenes* est une bactérie Gram positive et aérobie facultative, capable de se développer dans des environnements anaérobies ou aérobies (**Jay, 2000**).
- **Bactéries toxinogènes** : sont des microorganismes produisent des **toxines** pouvant contaminer le lait et entraîner des intoxications alimentaires et des infections graves. Des

bactéries comme *Staphylococcus aureus* représentent un risque pour la santé publique, en particulier dans le lait cru ou mal conservé (Gyles, 2007).

- **Staphylocoques** : Produit des entérotoxines qui sont résistantes à la chaleur et peuvent provoquer des toxi-infections alimentaires, se manifestant par des vomissements, des diarrhées et des douleurs abdominales. Ces toxines sont souvent présentes dans des produits laitiers mal manipulés, comme le lait cru ou les produits laitiers non pasteurisés (Jay, 2000).
- **Les Clostridium sulfito-réducteurs** : Présentes dans le sol, l'eau et le tube digestif humain et animal, elles peuvent aussi contaminer le lait en cas de conservation inappropriée (Lamontagne et al., 1996). Dans les produits laitiers, elles peuvent altérer les caractéristiques organoleptiques en réduisant les sulfites en sulfures et produire des toxines, constituant un risque pour la santé. Leur détection dans le lait nécessite des méthodes microbiologiques spécifiques, et des pratiques de pasteurisation et d'hygiène adéquates sont essentielles pour prévenir la contamination (Brosnan et al., 2011).

## **2. La coagulation du lait :**

### **2.1. Définition :**

La coagulation du lait est un processus physico-chimique au cours duquel les micelles de protéines, principalement celles de la caséine, perdent leur stabilité, s'agrègent et forment un gel appelé caillé. Ce phénomène constitue une étape fondamentale dans la fabrication fromagère, puisqu'il permet de séparer la phase solide (le caillé) de la phase liquide (le lactosérum). La coagulation peut être provoquée par l'action d'enzymes telles que la présure, par acidification ou encore par un traitement thermique. Ce changement de structure est à la base des étapes suivantes de l'élaboration des fromages (Walstra et al., 2006).

### **2.2. Facteurs influençant la coagulation :**

#### **2.2.1. Concentration en enzyme :**

La concentration en enzyme, notamment la chymosine (ou rennine), est un facteur essentiel de la coagulation du lait. Une étude a démontré que des concentrations faibles de chymosine (0.01, 0.02 et 0.03 unités de rennine/ml de lait) entraînent des temps de coagulation plus longs, tandis que des concentrations plus élevées (0.04 et 0.05 unités de rennine/ml de lait) accélèrent la coagulation, sans toutefois améliorer la fermeté du caillé. (Payne et Castillo, 1985).

**2.2.2. pH :**

Le pH est un facteur clé dans la coagulation du lait, influençant la stabilité des micelles de caséine et la texture du caillé. La coagulation enzymatique optimale, notamment par la présure, se produit entre pH 6,0 et 6,5, favorisant l'action de la chymosine. Une acidification du lait réduit les répulsions électrostatiques entre les micelles, facilitant leur agrégation. En dessous de pH 4,6 (point isoélectrique de la caséine), la coagulation acide se déclenche. Des valeurs de pH trop basses ou trop élevées affectent négativement la qualité du caillé et le rendement fromager (Fox et al., 2000).

**2.2.3. Température :**

La température influence le processus de coagulation en modulant à la fois l'activité de la présure et les interactions hydrophobes entre les protéines. Son impact est particulièrement marqué durant la phase d'agrégation, davantage que lors de la phase enzymatique (Brulé & Maubois, 2018).

**2.2.4. Teneur en calcium :**

Le calcium ionisé ( $\text{Ca}^{2+}$  libre) joue un rôle crucial dans la formation du réseau de caséines lors de la coagulation du lait. Il renforce les liaisons entre les micelles de caséines, stabilisant ainsi le gel et contribuant à la fermeté du caillé (Walstra et al., 2006).

**2.2.5. Teneur en caséines :**

Les caséines représentent la majorité des protéines du lait, constituant environ 80 % des protéines totales dans le lait de vache. Elles sont présentes sous forme de micelles, des structures complexes et colloïdales. Ces caséines se divisent en plusieurs fractions principales, dont les plus importantes sont la  $\alpha$ -caséine, la  $\beta$ -caséine et la  $\kappa$ -caséine (Fox & McSweeney, 2017). La teneur en caséines est un facteur déterminant dans la coagulation du lait, car elles jouent un rôle clé dans la formation du réseau de protéines nécessaire à la formation du caillé (Walstra et al., 2006).

**2.2.6. Dimension des micelles de caséine :**

Les micelles de caséine sont des structures colloïdales complexes formées principalement par des protéines de caséine, telles que  $\alpha$ -caséine,  $\beta$ -caséine, et  $\kappa$ -caséine. Elles ont généralement une taille variant entre 200 et 500 nanomètres de diamètre. Ces micelles sont stabilisées par des interactions électrostatiques, hydrophobes et hydrophiles, et la  $\kappa$ -caséine joue un rôle crucial dans la stabilité de l'ensemble du réseau de protéines. Lors de la coagulation du lait, par acidification ou ajout de présure, ces micelles se déstabilisent, facilitant ainsi la formation du caillé (Vignola, 2002).

**2.3. Différents types de coagulation :****2.3.1. Coagulation acide :**

La coagulation acide fermentaire, de nature électrochimique, est induite par des ferments lactiques tels que *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* et *Streptococcus*, dont l'usage varie selon le type de fromage. Ces bactéries transforment le lactose en acide lactique, ce qui réduit progressivement la charge négative des caséines  $\kappa$  (Walstra, 1990). La diminution de la répulsion électrostatique entre les micelles de caséine favorise leur agrégation et conduit à la formation du caillé. (Garnier et al., 1968).

**2.3.2. Coagulation mixte :**

Est un processus qui combine l'action de deux mécanismes pour faire cailler le lait. D'abord, l'acidification se produit grâce à des ferments lactiques qui transforment le lactose en acide lactique, réduisant ainsi le pH du lait. Cette acidification prépare le lait à l'action de la présure, une enzyme qui intervient ensuite pour couper les protéines de caséine, en particulier la  $\kappa$ -caséine, et provoquer la formation du caillé. Cette méthode est utilisée dans la fabrication de nombreux fromages, notamment ceux à pâte molle ou pressée non cuite, comme le Camembert ou le Cantal. La coagulation mixte permet d'obtenir un caillé plus homogène et ferme, avec un meilleur rendement en lait, ce qui la rend particulièrement avantageuse dans la production fromagère (Walstra et al., 1999).

**2.3.3. Coagulation enzymatique :**

La coagulation du lait par des enzymes protéolytiques est un processus clé dans la fabrication des fromages, où des enzymes comme la chymosine, contenue dans la présure, jouent un rôle crucial. La chymosine agit spécifiquement sur la  $\kappa$ -caséine, provoquant sa dégradation et induisant la formation d'un gel solide ou caillé. Ce mécanisme enzymatique permet d'obtenir une séparation plus nette entre le caillé et le lactosérum, ce qui est essentiel pour obtenir des fromages à pâte dure ou semi-dure. En comparaison avec la coagulation acide, l'utilisation d'enzymes protéolytiques offre un rendement plus élevé en matière sèche, tout en permettant de contrôler précisément la texture du caillé, essentielle pour certaines variétés de fromage. Ce processus est particulièrement important dans la fabrication de produits comme le yogourt ou le fromage frais, où la texture et la consistance sont déterminées par la coagulation enzymatique (Tamine & Robinson, 2007).

## 2.4. Etapes de la coagulation :

### 2.4.1. Phase primaire :

La phase primaire est la phase enzymatique. Le caséinomacropéptide, qui constitue un fragment hydrophile et chargé de la caséine  $\kappa$ , est hydrolysé par l'action enzymatique de la présure et est éliminé dans le lactosérum. Le fragment de caséine restant est appelé *para* caséine  $\kappa$  et possède des propriétés hydrophobes. Dans les premières minutes suivant l'apport de l'enzyme coagulante dans le lait, une diminution de la viscosité du lait apparaît; elle s'explique par la diminution de la dimension moyenne des micelles suite à leur hydrolyse (Walstra, 1990).

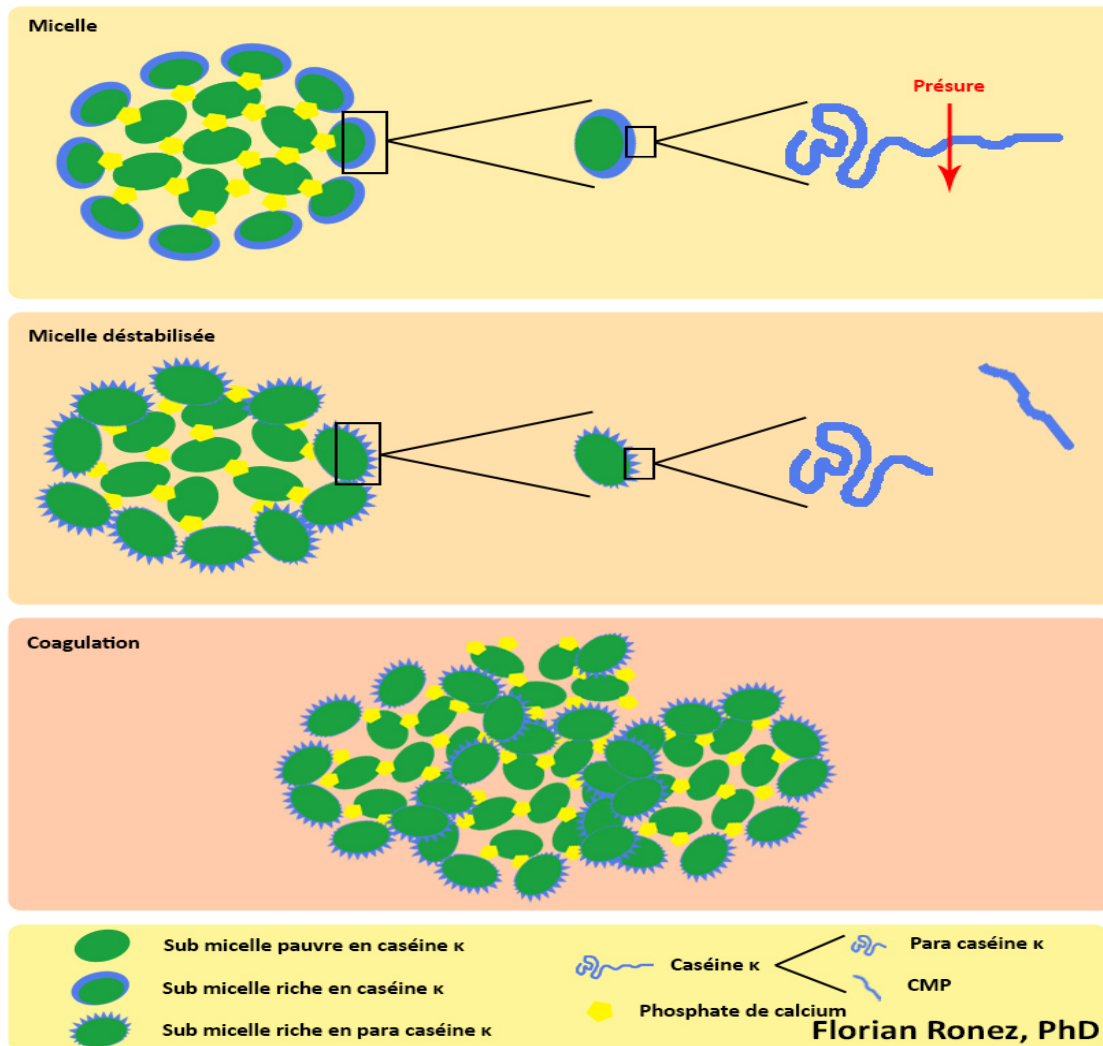
### 2.4.2. Phase secondaire :

La phase secondaire de la coagulation du lait débute lorsque 85 à 90 % des caséines  $\kappa$  sont hydrolysées, entraînant la formation de *para*-caséine  $\kappa$ . Cette dernière s'associe alors aux caséines hydrophobes  $\alpha$ S1 et  $\alpha$ S2. La perte du caséinomacropéptide (CMP) rend les micelles plus hydrophobes, ce qui diminue leur stabilité dans la phase aqueuse. En conséquence, les micelles tendent à se rapprocher et à s'agréger sous l'effet des interactions hydrophobes, amorçant ainsi la coagulation (Dalglish, 1997).

Ce processus marque le début de la floculation proprement dite, une phase dynamique durant laquelle les propriétés physiques du lait évoluent considérablement. Lorsque l'agrégation des micelles devient plus rapide que l'hydrolyse enzymatique, la taille des agrégats augmente, entraînant une élévation de la viscosité. Cela conduit à la formation de structures colloïdales de plus en plus grandes, qui finissent par se connecter pour former un réseau tridimensionnel : le gel laitier (Vetier, 1998).

### 2.4.3. Phase tertiaire

La phase tertiaire est ce que l'on appelle la phase de réticulation du gel. Celui-ci devient de plus en plus organisé et structuré. Au niveau microscopique, on observe un accroissement des liaisons entre les micelles modifiées, principalement des interactions hydrophobes et électrostatiques, ainsi que la formation des ponts phosphocalciques. Elle correspond au niveau macroscopique au durcissement du gel. La coagulation enzymatique est un phénomène complexe permis par des forces d'interactions égales à la somme des répulsions électrostatiques et des interactions hydrophobes (Horne, 1998).



**Figure 3** : Formation d'un caillé par action de la présure sur les caséines du lait (Schmidt & Walstra, 1982).

## 2.5. Enzymes coagulantes :

Les enzymes coagulantes sont des protéines capables d'hydrolyser la  $\kappa$ -caséine du lait pour en provoquer la coagulation. Leur efficacité dépend du rapport entre activité coagulante et activité protéolytique, un facteur déterminant dans le choix de l'enzyme. Une enzyme trop protéolytique peut altérer le goût et la texture du fromage. Bien que la **présure animale** soit la plus utilisée, sa rareté croissante liée à la demande accrue en fromage a conduit à développer des alternatives microbiennes et recombinantes pour répondre aux besoins de l'industrie (Cuvelier, 1993).

### 2.5.1. Les enzymes d'origine animale :

Les enzymes d'origine animale, en particulier la présure, jouent un rôle fondamental dans la coagulation du lait en fromagerie. La présure est une préparation enzymatique extraite de la caillette de jeunes ruminants non sevrés, principalement composée de chymosine (enzyme spécifique de la  $\kappa$ -

caséine) et de pepsine, plus protéolytique. La chymosine est responsable d'une coagulation rapide, spécifique et efficace, donnant un caillé de bonne qualité sans amertume (**Desmazeaud, 1997**).

### **2.5.2. Enzymes d'origine microbienne**

Produites par des champignons, levures ou bactéries, sont largement utilisées dans l'industrie fromagère comme substituts à la présure animale, notamment pour répondre aux exigences végétariennes, casher ou halal. Des enzymes comme l'endothiapepsine (*Endothia parasitica*) ou la mucorpepsine (*Mucor pusillus*) possèdent une activité coagulante efficace sur la caséine du lait, permettant la formation de caillés dans le lait (**Alais & Novak, 1968**).

### **2.5.3. Enzymes d'origine végétale :**

Utilisées en fromagerie, comme la ficine (figuier), la papaine (papaye) et l'enzymes de melon amer, sont des alternatives à la présure animale. Elles provoquent la coagulation du lait en agissant sur la caséine, et sont particulièrement adaptées aux régimes végétariens et religieux. Cependant, ces enzymes présentent souvent une activité protéolytique élevée, ce qui peut conduire à des goûts amers et une texture moins stable du caillé, limitant leur utilisation à grande échelle **Cuvellier (1993)**.

# **Chapitre 03**

## **Le fromage**

## 1. Le Fromage :

L'étymologie du mot « fromage » remonte au latin *formaticum*, signifiant « ce qui est fait dans une forme », avec une évolution progressive du terme au fil des siècles. L'origine du mot « fromage » remonte au XIII<sup>e</sup> siècle, époque où le lait était caillé dans des moules perforés afin de permettre l'égouttage du caillé. Ces moules, appelés *forma* en latin, étaient utilisés pour donner une forme précise au produit. Par ailleurs, le terme grec *formos* désignait les récipients en osier dans lesquels on déposait également le caillé. Le mot *forma* a donné naissance au terme *formaticum*. Ce terme a évolué au fil des siècles pour devenir *formage*, puis *fourmage* au XIV<sup>e</sup> siècle. Cette évolution se manifeste encore aujourd'hui dans certains noms régionaux de fromages, tels que la « fourme », désignant des spécialités locales spécifiques (Dauzat & Deslandes, 1963).

### 1.1. Définition du fromage

Le fromage est le résultat de la transformation du lait cru par des ferments indigènes, sans cultures industrielles, sans pasteurisation, sans additifs, et souvent sans recours à des équipements sophistiqués. C'est un aliment vivant, façonné par des micro-organismes naturels, le temps et les mains du fromager (Asher, 2015).

Selon La norme FAO/OMS n° A-6, adoptée en 1978 et révisée en 1990, définit le fromage comme suit : « Le fromage est le produit frais ou affiné, solide ou semi-solide, dans lequel le rapport protéines de lactosérum/caséine n'excède pas celui du lait, obtenu :

- Par coagulation du lait, lait écrémé, lait partiellement écrémé, crème, lactosérum ou babeurre, seul ou en combinaison, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés, suivie d'un égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation ;
- Par l'emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation du lait et/ou des matières obtenues à partir du lait, présentant des caractères physiques, chimiques et organoleptiques similaires à ceux du produit défini ci-dessus.

Cette norme précise également les types de fromage :

- **Fromage affiné** : non prêt à la consommation immédiatement après la fabrication, nécessitant un temps d'affinage pour développer ses caractéristiques biochimiques et physiques.
- **Fromage affiné aux moisissures** : affiné principalement par la prolifération de moisissures caractéristiques, dans la masse et/ou sur la surface du fromage.
- **Fromage frais ou non affiné** : prêt à la consommation peu de temps après la fabrication.

Le Fromage est obtenu à partir du lait par un processus appelé **coagulation** qui transforme le lait liquide en une masse solide appelée **caillé**. Cette transformation est provoquée par l'ajout de **ferments lactiques** (bactéries) et de **présure** (enzyme).

## **2. Étapes de fabrication du fromage (d'après Vignol, 2002):**

1. **Réception et préparation du lait** : Le lait est collecté, filtré, et éventuellement standardisé pour ajuster la teneur en matière grasse.
2. **Pasteurisation** : Chauffage du lait à une température spécifique pour détruire les bactéries pathogènes, tout en préservant les qualités du lait.
3. **Ensemencement** : Introduction des ferments lactiques qui vont démarrer la fermentation lactique, indispensable pour acidifier le lait.
4. **Coagulation** : Ajout de présure ou d'enzymes coagulantes qui provoquent la formation du caillé.
5. **Découpage du caillé** : Le caillé est découpé en grains plus ou moins petits selon la texture désirée du fromage.
6. **Moulage et égouttage** : Le caillé est placé dans des moules où il s'égoutte, parfois aidé par un pressage mécanique.
7. **Salage** : Le fromage est salé par immersion dans la saumure ou par frottage, pour la conservation et le goût.
8. **Affinage** : Le fromage est entreposé dans des caves à température et humidité contrôlées pour développer saveurs et textures spécifiques

## **3. La classification des fromages :**

La classification des fromages reste complexe du fait de la grande diversité de ces produits. Toutefois, plusieurs grandes familles peuvent être distinguées, regroupant la majorité des fromages selon leur texture, leur fabrication et leur teneur en humidité, on peut isoler cinq grandes catégories principales (**Fonteneau, 2014**) :

### **3.1. Les fromages à pâte fraîche :**

Ils ne sont pas affinés et doivent être consommés peu de temps après leur fabrication. Les fromages à pâte fraîche peuvent contenir jusqu'à 70% d'humidité. On trouve dans cette première grande catégorie: les fromages blancs, petitssuisses, double-crème, carré frais, crémet, fromage à la pie, demi-sel...

**3.2. Les fromages à pâte pressée non cuite :**

Ils présentent une consistance ferme, ne contiennent que 45 % d'humidité et se conservent plus longtemps que les fromages à pâte molle. Ce sont le cantal, tomme, saint-paulin, hollandaise, cheshire, etc.

**3.3. Les fromages à pâte cuite et pressée :**

Ils subissent un affinage prolongé, contiennent environ 40% d'humidité, restent fermes et sont souvent de très grande dimension: ce sont le gruyère, emmental, comté, beaufort, etc.

**3.4. Les fromages fondus :**

Ils sont obtenus à partir des fromages à pâte ferme et doivent renfermer au minimum 40% de matières grasses. Ce sont les « crèmes », crème de gruyère, de cheshire, etc.

# **Matériel et méthodes**

Afin de réaliser la partie pratique de notre travail et arriver à la préparation de nos fromages, plusieurs étapes ont été nécessaires. Le travail a commencé par une analyse de notre lait, une préparation de nos présures et finalement préparation des fromages naturels.

### **1. Les analyses microbiologies de lait cru :**

Le lait cru, non traité thermiquement, est riche sur le plan nutritionnel mais aussi très périssable, peut facilement être contaminé par divers micro-organismes, y compris des pathogènes, ce qui présente un risque pour la santé publique, notamment lorsqu'il est consommé directement ou utilisé dans la fabrication de produits laitiers.

Les analyses microbiologiques du lait cru sont donc essentielles pour évaluer sa qualité hygiénique et garantir le respect des normes sanitaires en vigueur. Elles sont également un outil précieux pour le contrôle de la chaîne de production laitière, depuis la traite jusqu'à la transformation.

L'évaluation de la qualité microbiologique de notre lait cru a été réalisée conformément à l'arrêté du 20 novembre 2017 (**JO n°74 du 25 décembre 2017**), qui impose des méthodes normalisées pour les analyses microbiologiques afin d'assurer la sécurité sanitaire des produits laitiers. Cette partie a été réalisée au niveau du laboratoire .....

#### **1.1. L'échantillonnage :**

Les prélèvements ont été réalisés dans une exploitation située à Skikda (**Figure4**), Le lait cru a été collecté de manière aseptique afin d'éviter toute contamination externe.



**Figure 4 : Échantillonnage du lait (Prise personnelle)**

Les échantillons ont ensuite été transportés au laboratoire dans une glacière équipée de carboglace congelée, maintenant une température comprise entre 4 °C et 8 °C (**Figure5**). Le délai entre le

prélèvement et le début des analyses microbiologiques n'a pas dépassé 2 h, conformément aux exigences en matière de conservation et de fiabilité des résultats.



**Figure 5 : Transport d'échantillons de lait (Prise personnelle)**

### **1.2. Préparation de l'échantillon :**

L'échantillon de lait est homogénéisé en agitant doucement le flacon durant 15 à 30 secondes afin d'assurer une distribution uniforme des micro-organismes, tout en limitant la formation de mousse. Le prélèvement est réalisé de manière aseptique, à l'aide de matériel stérile (pipette, louche), en respectant des conditions d'hygiène strictes.

### **1.3. Préparation des dilutions décimales :**

Quatre dilutions successives (de  $10^{-1}$  à  $10^{-4}$ ) sont préparées en transférant 1 mL de l'échantillon (ou de la dilution précédente) dans 9 mL d'eau peptonée stérile, avec homogénéisation douce. Une pipette stérile neuve est utilisée à chaque étape pour prévenir toute contamination croisée.

### **1.4. Dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM) :**

1 mL de l'échantillon ou de la dilution appropriée est ensemencé en boîte de Pétri, puis enrobé d'environ 15 mL de gélose PCA fondue et refroidie à 47 °C. Après solidification, incubation à 30 °C  $\pm$  1 °C durant 72  $\pm$  3 heures (JO n°74, 2017).

### **1.5. Dénombrement des coliformes totaux :**

1 mL de dilution est versé dans une boîte de Pétri stérile, puis enrobé de 15–20 mL de gélose VRBL à 45 °C. Après homogénéisation et solidification, une seconde couche de gélose VRBL est ajoutée pour limiter le développement de colonies de surface. Incubation à 35–37 °C pendant 24  $\pm$  2 heures (ISO 4832:2006).

### 1.6. Recherche de *Salmonella* spp. :

25 mL de lait sont prélevés et mis en pré-enrichissement dans 225 mL de bouillon peptone tamponné, incubé à 37 °C pendant 18–24 h. Ensuite, 1 mL est transféré dans un milieu d'enrichissement sélectif et incubé à 37 °C pour 18–24 h. L'ensemencement se fait sur gélose SS, avec incubation à 37 °C pendant 24 h pour l'isolement des colonies suspectes (ISO 6579-1).

### 1.7. Recherche de *Listeria monocytogenes* :

25 g d'échantillon sont homogénéisés dans 225 mL de diluant peptoné tamponné. Après dilution décimale, ensemencement sur gélose Oxford par étalement en surface, suivi d'une incubation à 37 °C pendant 24–48 h (ISO 11290-2).

## 2. Extraction de la pepsine de poulet :

### 2.1. Préparation des proventricules :

Les proventricules sont prélevés auprès d'un abattoir de la région de Skikda. Après abattage et éviscération des poulets, ils sont séparés du tube digestif, débarrassés des graisses environnantes et soigneusement lavés. À leur arrivée au laboratoire (ONAB Nutrition), les proventricules sont ouverts par incision longitudinale, vidés de leur contenu, puis rincés à l'eau courante. Ils sont ensuite égouttés, conditionnés en lots de 100 g et conservés en réfrigération jusqu'à leur traitement (Figure 6).



**Figure6** : Proventricules de poulet après le nettoyage (**Prise personnelle**)

### 2.2. Extraction de la pepsine :

L'extraction est réalisée selon la méthode de **Bohak (1970)**. Les proventricules hachés sont immergés dans une solution saline de macération composée de 3 g/L de NaCl et 0,7 g/L de NaHCO<sub>3</sub>, à raison

de 300 mL de solution pour 100 g de tissu. Ce mélange est broyé à l'aide d'un broyeur électrique pendant 3 heures. (Khelil, Z., & Taleb, Y. (2017))

### **2.3. Activation enzymatique et clarification :**

Le macérât obtenu est filtré à travers une double couche de gaze pour éliminer les particules solides. Le filtrat, contenant le pepsinogène, est acidifié à pH 2,0 avec une solution d'HCl 3 N, puis maintenu à température ambiante durant 30 minutes afin d'activer la transformation en pepsine. Ce traitement favorise également la floculation du mucilage. Ensuite, le pH est ajusté à 6,6 au moyen de NaOH 1 N. Le mélange est centrifugé à 3200 g pendant 30 minutes pour séparer le mucilage et les débris tissulaires. Le surnageant ainsi clarifié constitue l'extrait enzymatique final, qui est conservé à 4 °C jusqu'à son utilisation (**Figure 7**).



**Figure 7 : La pepsine obtenue (Prise personnelle).**

### **2.4. Évaluation de l'activité coagulante :**

L'extrait enzymatique obtenu est utilisé pour tester son pouvoir coagulant sur du lait de vache. Les résultats de coagulation sont comparés à ceux obtenus avec la présure animale (issue de la membrane interne du gésier de poulet) ainsi qu'avec la présure industrielle (microbienne ou recombinante), afin d'évaluer le potentiel de la pepsine aviaire comme agent coagulant alternatif pour l'industrie laitière.

### **3. Etapes de Fabrication du fromage :**

Le fromage frais est un produit laitier non affiné, apprécié pour sa texture onctueuse et sa saveur délicate. Sa fabrication repose sur la coagulation du lait à l'aide de ferments lactiques et de présure, suivie d'un égouttage sans pressage. Élaboré à partir de différents types de lait, il constitue une

excellente introduction aux principes de base de la transformation fromagère. Ce travail met en lumière les étapes fondamentales de sa préparation.

### 3.1. Étapes de fabrication du fromage frais :

- **Chauffage du lait** : le lait (vache) est filtré puis légèrement chauffé (20–30 °C).
- **Ajout des ferments lactiques** : on utilise du lactosérum préparé la veille comme source de ferments lactiques pour amorcer naturellement la fermentation du lait.
- **Coagulation** : on ajoute une petite quantité de présure naturelle (origine animale, végétale, et commerciale).
- **Découpage du caillé** : Le caillé est doucement découpé pour libérer du liquide (le lactosérum).
- **Égouttage** : Le caillé est placé dans une étamine et égoutté pendant 12 h (**Figure 8**).



**Figure 8 : Égouttage fromage frais (Prise personnelle)**

- Le fromage est salé légèrement pour le goût et la conservation.
- Le fromage frais ne nécessite aucun affinage et peut être consommé immédiatement après sa fabrication, avec une texture douce et légère.

### 3.2. Étapes de fabrication du Camembert

Le Camembert est un fromage français à pâte molle et à croûte fleurie, élaboré traditionnellement à partir de lait de vache. Sa fabrication suit un processus rigoureux comprenant la coagulation du lait, un moulage en plusieurs étapes, l'égouttage, le salage à sec, puis un affinage qui développe sa texture crémeuse et sa croûte blanche caractéristique. Ce travail détaille les étapes clés de sa production selon la méthode traditionnelle :

- **Chauffage du lait** : Le lait de vache, souvent cru dans les versions artisanales, est porté à une température d'environ 32 °C.

- **Ensemencement** : On ajoute des ferments lactiques (lactosérum) pour démarrer la fermentation, ainsi que le *Penicillium camemberti*, responsable de la croûte blanche caractéristique.
- **Coagulation** : Une petite quantité de présure (végétale/ animale et commerciale) est incorporée pour faire coaguler le lait. Le caillé se forme en 1 h 30 à 2 heures.
- **Moulage en couches successives** : Le caillé est moulé manuellement en plusieurs couches dans des moules perforés pour un égouttage naturel progressif.
- **Égouttage et retournement** : Le fromage s'égoutte 18 à 24 heures à température ambiante, avec des retournements réguliers pour un égouttage uniforme et une forme régulière.
- **Démoulage et salage** : Après égouttage, le fromage est démoulé et salé à sec pour favoriser la formation de la croûte et prévenir les contaminations.
- **Affinage** : Les fromages sont ensuite affinés pendant **au moins 3 semaines** dans des caves froides et humides (10 à 14 °C).

# **Résultats et discussions**

### 1. Résultats d'analyses microbiologiques du lait de vache cru :

Les analyses microbiologiques réalisées sur les échantillons de lait cru ont mis en évidence l'absence totale des micro-organismes pathogènes recherchés, notamment *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, ainsi que les coliformes totaux (**Figure 9**).

Cette absence témoigne d'une excellente qualité microbiologique du lait analysé, reflétant très probablement le respect rigoureux des bonnes pratiques d'hygiène tout au long de la chaîne de production, incluant la traite, le stockage et le transport. Elle suggère également une maîtrise satisfaisante des conditions sanitaires, tant au niveau de l'état de santé du troupeau que de la propreté du matériel et de l'hygiène du personnel.

La non-détection de *Listeria monocytogenes* et de *Salmonella spp.* est particulièrement significative, compte tenu de leur fort pouvoir pathogène pour l'être humain et de leur rôle majeur dans les toxi-infections alimentaires. Par ailleurs, l'absence de *Staphylococcus aureus* indique un bon état sanitaire des glandes mammaires, traduisant l'absence probable de mammites subcliniques.

De plus, l'absence de coliformes reflète un faible niveau de contamination fécale ou environnementale, soulignant l'efficacité des pratiques de nettoyage et l'hygiène globale de l'environnement de production.

En conclusion, ces résultats confirment la qualité sanitaire satisfaisante du lait cru analysé et attestent de sa conformité aux normes microbiologiques en vigueur. Ces données sont encourageantes pour une éventuelle consommation directe ou sa transformation ultérieure en produits laitiers.

**BOUIMA-Laboratoire. Analyse de Contrôle de la Qualité**  
 Autorisation N° 27 du 18 Novembre 2024 Ministère du commerce

## Bulletin d'Analyses Microbiologiques

Dénomination du produit : LAIT DE VACHE CRU.

Analyse demandée : Microbiologique

Observations : Echantillon prélevé et ramené par l'étudiante Stagiaire :

**HADEF Nesrine**

Echantillon Reçu le : 20 Avril 2025

Détermination	Résultats / Echantillons					Ref méth analyse	Limites Microbiologiques (ufc/g)
	1 <sup>er</sup>	2 <sup>eme</sup>	3 <sup>eme</sup>	4 <sup>eme</sup>	5 <sup>eme</sup>		
Germes totaux aérobies mésophiles à 30 °C (ufc/g)	Absence	/	/	/	/	ISO 4833	3.10 <sup>6</sup>
Coliformes totaux (ufc/g) à 37 °C	Absence	/	/	/	/	ISO 9308	3.10 <sup>2</sup>
Levures a 25°C (ufc/g)	Absence	/	/	/	/	ISO 7954	1.10 <sup>6</sup>
Moisissures a 25°C (ufc/g)	Absence	/	/	/	/	ISO 7954	1.10 <sup>3</sup>
Salmonella	Absence	/	/	/	/	ISO 6579-1	Absence dans 25 ml
Listeria monocytogène	Absence	/	/	/	/	ISO 11290-1	10 <sup>2</sup>
Observation	Produit conforme aux critères Microbiologiques.						

Les résultats du présent bulletin d'analyse ne concernent que l'échantillon analysé.

Le présent Bulletin d'analyse est établi le : 24 Avril 2025.

Le responsable du laboratoire



*Bouima ME 1/20*

**Figure 9** : Résultats du contrôle de qualité du lait de vache utilisé dans ce travail.

## 2. Résultats de l'étude de l'efficacité des différentes présures utilisées :

L'analyse comparative entre la pepsine extraite du gésier du poulet (**Figure10**), la présure d'origine végétale (Figuier) et la présure industrielle a révélé une variation significative du temps de coagulation selon la source enzymatique utilisée (**Tableau4**).

**Tableau 4** : Temps de coagulation pour les différentes présures utilisées.

La présure utilisée	Temps de coagulation (h)
Présure commerciale	Entre 1 et 1.30 heures
Présure animale (gésier du poulet)	Entre 1 et 2 heures
Présure végétale	Entre 1 et 3 heures

Le temps de coagulation varie selon le type de présure utilisée : il est compris entre 1 h et 1 h 30 pour la présure commerciale, entre 1 h et 2 h pour la présure animale, et entre 1 h et 3 h pour la présure végétale. Toutefois, les résultats finaux de la coagulation restent globalement comparables, en particulier entre la présure végétale et la présure commerciale.



**Figure 10** : la coagulation après 4 heures suite à l'utilisation de la pepsine extraite du gésier du poulet) (**Prise personnelle**)

La variation observée dans le temps de coagulation en fonction de la source enzymatique peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la nature et l'activité spécifique des enzymes impliquées. La pepsine extraite de l'estomac de poulet, bien qu'elle possède une certaine activité protéolytique, présente une efficacité coagulante inférieure à celle de la présure traditionnelle.

En effet, la présure d'origine animale (issue du gésier) contient majoritairement de la chymosine, une enzyme hautement spécifique pour l'hydrolyse de la liaison Phe105–Met106 de la  $\kappa$ -caséine. Cette action ciblée facilite une coagulation rapide et efficace du lait (**Fox & McSweeney, 1998**)

La présure industrielle, standardisée et optimisée en concentration enzymatique, offre généralement une coagulation plus rapide et reproductible que d'autres sources. Cela s'explique par sa forte teneur en chymosine, enzyme hautement spécifique. En comparaison, la pepsine d'origine aviaire, moins spécifique, induit une coagulation plus lente et mais efficace (*El-Bahy et al., 2020*).

### 3. Evaluation de la qualité organoleptique des fromages fabriqués :

Afin d'évaluer la qualité organoleptique de nos fromages fabriqués à partir de différentes présures, nous avons organisé une séance de dégustation au niveau du hall de la Faculté de Technologie-Annexe de médecine. Des formulaires contenant plusieurs critères d'évaluation ont été distribués aux personnes qui se sont portés volontaires pour tester nos fromages (Enseignants, étudiants et administrateurs) (**Figure 11**).



**Figure11** : Dégustation des différents fromages préparés à partir des différentes présures (**Prise personnelle**).

#### 3.1. Le fromage frais :

Lors de la dégustation, le fromage frais s'est distingué par sa couleur blanche éclatante et sa texture homogène. En bouche, il est souple, onctueux, parfois légèrement granuleux. Son goût doux, faiblement salé, avec une légère acidité, révèle une fermentation lactique discrète. Peu aromatique, il séduit par sa simplicité et sa légèreté (**Figure 12**). Cette analyse sensorielle met en évidence ses qualités visuelles, gustatives, olfactives et texturales.



**Figure12 : fromage frais (Prise personnelle)**

### 3.2. Le camembert

L'évaluation sensorielle du Camembert a mis en évidence des caractéristiques conformes à celles attendues pour un fromage à pâte molle à croûte fleurie. Visuellement, la forme cylindrique régulière et la croûte blanche légèrement pigmentée traduisent un bon niveau d'affinage. La pâte, homogène et de couleur ivoire à jaune pâle, présentait une texture plus ferme au centre et plus coulante en périphérie, résultat de la protéolyse induite par *Penicillium camemberti* (**Figure13**).



**Figure13 : Le camembert (Prise personnelle)**

Suite à la collecte et l'évaluation des résultats obtenus, nous avons noté que les deux fromages préparés en utilisant la présure animale ont été les mieux appréciés par nos dégustateurs (**Figure14 et 15**).

Cette préférence s'explique principalement par des différences sensorielles perçues au niveau de la texture, du goût et de l'arôme. Le fromage coagulé avec la présure animale présentait une texture plus ferme, homogène et une meilleure tenue à la coupe, tandis que celui obtenu avec la présure végétale

offrait une consistance plus friable, voire légèrement granuleuse (**Bayram et al., 2020 ; Fox et al., 2000**).

Sur le plan gustatif, le fromage à présure animale a été jugé plus doux, équilibré et riche en arômes lactés, alors que le fromage à présure végétale a parfois été perçu comme plus acide, voire amer. Ces différences peuvent être attribuées à la composition enzymatique des coagulants utilisés : la chymosine, enzyme majoritaire dans la présure animale, agit spécifiquement sur la  $\kappa$ -caséine, assurant une coagulation plus précise et limitant la libération de peptides amers (**Egito et al., 2001**). En revanche, certaines présures végétales, comme celles issues du figuier (*Ficus carica*), contiennent des enzymes protéolytiques moins spécifiques, susceptibles de générer des composés amers au cours de l'affinage (**Bayram et al., 2020**).

Ainsi, la préférence sensorielle exprimée en faveur du fromage élaboré avec la présure animale confirme non seulement son efficacité technologique, mais aussi son impact positif sur la qualité organoleptique du produit, comme l'ont également souligné plusieurs auteurs (**Fox et al., 2000 ; McSweeney, 2004**).

Fromage

**Annexe 01**

**Fiche de dégustation de fromage**

Nom et prénom : *Djaffal Hekiem*

Date : *07.10.2025*

Observez, flairez, puis goûtez chacun des trois (03) fromages qui vous sont présentés et donnez par la suite une note de 1 (moins intense) à 9 (plus intense) pour chaque descripteur mentionné dans la fiche. En cas d'absence de descripteur, veuillez mettre zéro

Faible ≤			Moyen			≥ Intense		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

**1. Couleur**

	A		B		C	
Verdâtre						
Blanchâtre						
Autre	X		X			

**2. Aspect et texture**

	A		B		C	
Lisse		X		X		
Friable						
Crémeux		X		X		
Tartinable		X		X		
Ferme						
Elastique						
Pateux						
Collant						
Granuleux						
Grumuleux						
Autre						

**3. Odeur**

	A		B		C	
Lactique		X		X		
Végétale						
Animale						
Autre						

**4. Goût**

	A	B	C
Salé			
Amer			
Acide			
Chimique			
Autre	X	X	

**5. Sensation trigéminal**

	A	B	C
Piquant			
Astringent			
Métallique			
Autre	X	X	

**6. Impression finale**

	A	B	C
Dispersion dans la bouche			
Persistance dans la bouche > 15 sec.			

Quel est le fromage que vous préférez ?  
 ... *Animale* .....

Justifiez votre choix ?  
 ... *Le goût est proche celui d'un fromage industriel.* ...

**Merci pour votre collaboration**

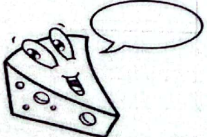


Figure 14 : Fiche d'évaluation d'un fromage frais (Personnel).

4. Goût

	T A	V B	A C
Salé	6	9	3
Amer	4	8	7
Acide	3	7	5
Chimique	7	5	3
Autre			

	A	B	C
Piquant	5	7	4
Astringent	4	6	5
Métallique	7	2	3
Autre			

5. Sensation trigéminal

6. Impression finale

	T A	V B	A C
Dispersion dans la bouche	5	8	5
Persistance dans la bouche > 15 sec.	4	7	8

Quel est le fromage que vous préférez ?

*To Camanber Animal*

Justifiez votre choix ?

*Les tenneurs en composantes ~~anima~~ végétales est plus persister*

Merci pour votre collaboration

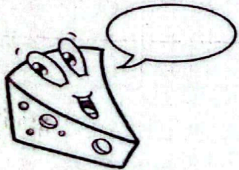


Figure 15 : Fiche d'évaluation du Camembert (personnel)

# Conclusion

La présure est une substance enzymatique essentielle dans la coagulation du lait au cours de la fabrication fromagère. Elle contient principalement de la chymosine, souvent associée à de la pepsine, et est traditionnellement extraite de la caillette (le quatrième estomac des jeunes ruminants, notamment le veau). Cette enzyme joue un rôle déterminant dans la transformation du lait liquide en caillé solide, étape clé de la production du fromage.

L'objectif de ce travail était de valoriser des déchets alimentaires d'origine animale et végétale, en proposant des alternatives naturelles à la présure industrielle. Deux sources potentielles ont ainsi été étudiées : la membrane interne du gésier de poulet, riche en pepsine, et le latex de figuier (*Ficus carica*).

L'extraction de la pepsine à partir de la membrane interne du gésier a permis de démontrer une activité coagulante satisfaisante, comparable à celle de la présure industrielle. L'utilisation de ces coagulants naturels a permis d'obtenir un fromage sain, sans additifs chimiques, respectueux de l'environnement, et inscrit dans une démarche de valorisation durable.

Les résultats ont confirmé que la pepsine extraite du gésier de poulet constitue une alternative viable et prometteuse à la présure traditionnelle, tout en apportant une valeur ajoutée aux sous-produits avicoles. Les essais de coagulation et les dégustations comparatives ont montré que le fromage élaboré à partir de ce coagulant naturel présente des caractéristiques sensorielles (texture, goût, qualité globale) proches de celles d'un fromage industriel.

Au-delà de la fabrication de fromages frais, ce travail ouvre des perspectives intéressantes pour le développement de fromages affinés de type européen (cheddar, gruyère, gouda), en adaptant les techniques traditionnelles aux standards technologiques et sanitaires actuels. L'intégration d'outils de transformation performants, de contrôles d'affinage et de référentiels de qualité permettrait de standardiser et d'optimiser cette production, tant au niveau local qu'à l'échelle internationale, encourageant ainsi l'innovation dans le secteur agroalimentaire, notamment dans les pays en développement.

En conclusion, cette étude démontre la faisabilité de produire un fromage naturel, sain et de qualité, tout en contribuant à la réduction des déchets alimentaires par leur valorisation innovante. Elle ouvre également la voie à des recherches futures visant à optimiser les procédés d'extraction et à explorer d'autres sources naturelles de coagulants enzymatiques

# **Références bibliographiques**

A

**ADEME. (2019).** *Suivi du marché 2019 des installations solaires photovoltaïques individuelles* [Rapport]. Angers, France : Auteur.

**ADEME. (2021).** *Rapport annuel 2021 : 52 histoires de transition* [Rapport institutionnel]. Angers, France : Auteur.

**ADEME. (2022).** *Chiffres clés du climat – France, Europe et Monde* [Brochure]. Angers, France : Auteur.

**Alais, C., & Novak, G. (1968).** *Étude d'un enzyme coagulant microbien dérivé de Endothia parasitica – Propriétés biochimiques et rhéologiques des caillés formés dans le lait.* École Supérieure de Laiterie, Faculté des Sciences de Nancy.

**Albert Dauzat et Gaston Deslandes,** *Dictionnaire étymologique des mots français*, Librairie Larousse, 1963. Voir aussi le Trésor de la langue française informatisé (TLFi), consulté en ligne : <https://atilf.atilf.fr/>.

**Asher, D. (2015).** *The art of natural cheesemaking: Using traditional, non-industrial methods and raw milk to make the world's best cheeses.* Chelsea Green Publishing.

**Atterbury, R. J., & Williams, P. (2010).** Pathogenic bacteria in raw milk and their relation to milk quality and public health. *Journal of Food Protection*, 73(2), 260-266.

B

**Bayram, G., et al. (2020).** Comparative study of coagulation properties and texture in cheese made with animal and vegetable rennet. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 2750–2762.

**Benaissa, M., & Bouzidi, N. (2021).** Dairy sector development in Algeria: challenges and perspectives. *Journal of Dairy Research*, 88(4), 459–467.

**Bohak, Z. (1969).** Purification and characterization of chicken pepsinogen and chicken pepsin. *Journal of Biological Chemistry*, 244(17), 4638–4648.

**Boudalia S., Boudebbouz A., Gueroui Y., Bousbia A., Benada M., Leksir C., Boukaabene Z., Saihi A., Touaimia H., Aït-kaddour A., Chemmam M., (2020).** Characterization of traditional Algerian cheese “Bouhezza” prepared with raw cow, goat and sheep milks. *Food Sci. Technol, Campinas*. 40(Suppl. 2): 528-537

**Bordjah, A. (2011).** Analyse physico-chimique et microbiologie du lait UHT demi-écrémé. Mémoire de Master.

**Brosnan, B., et al. (2011).** *Detection of Clostridium species in milk and dairy products using molecular techniques.* *International Dairy Journal*, 21(11), 957-961.

**Buruiana, L. M., & Fostiropol, A. (1956).** Sur le mécanisme de l'action coagulante de la chymosine. *Le Lait*, 36(359-360), 593–600. <https://hal.science/hal-00928176>

C

**Commission européenne. (2014).** *Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050* [Rapport]. Bruxelles, Belgique : Auteur.

**Cuvellier, C. (1993).** *Les enzymes en technologie laitière*. In : Techniques de l'Ingénieur, Génie agroalimentaire. Paris : Editions Techniques de l'Ingénieur.

## D

**Dagleish, D. G. (1997).** *Structure-function relationships in casein micelles*. Journal of Dairy Science, 80(12), 3060–3064. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76268-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76268-6)

**Desmazeaud, M. (1997).** *Biochimie et microbiologie du lait*. Paris : Éditions Lavoisier.

**Dréan, Y., et al. (2015).** Analyse de la qualité hygiénique du lait cru : présence de Clostridium sulfito-réducteurs. Mémoire de fin d'études, Université de Guelma.

**Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil. (2008, 19 novembre).** *Directive 2008/98/CE relative aux déchets* (Article 3, point 15). *Journal officiel de l'Union européenne*, L 312, 3–30.

## E

**European Food Safety Authority (EFSA). (2020).** "The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic Agents and Foodborne Outbreaks in 2019." *EFSA Journal*.

## F

**FAO. (2020).** *Milk and Dairy Products in Human Nutrition*. FAO.

**FAO/OMS (2009).** "Code de pratiques pour la production et la transformation du lait cru et des produits laitiers". Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) et World Health Organization (WHO).

**Fonteneau, S. (2014).** *Le petit traité Rustica des fromages maison*. Rustica Éditions.

**Fournier, J. M., et al. (1999).** *Clostridium spp. in dairy products: microbiological and technological aspects*. *Dairy Science & Technology*, 79(1), 1-16.

**Fox, P. F. (1982).** *Heat-induced changes in milk*. In P. F. Fox (Ed.), *Developments in Dairy Chemistry* (Vol. 1, pp. 189–210). Applied Science Publishers.

**Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (1998).** *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Springer.

**Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (2017).** *Dairy Chemistry and Biochemistry* (2nd ed.). Springer. ISBN: 978-1489974960.

**Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2015).** *Dairy Chemistry and Biochemistry* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2>

**Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2000).** *Fundamentals of Cheese Science*. Aspen Publishers .

## G

**Garnier, J., Mocquot, G., Ribadeau-Dumas, B., & Maubois, J.-L. (1968).** *Coagulation du lait par la présure : aspects scientifiques et technologiques. Annales de la nutrition et de l'alimentation*, 22, B495–B548. S. Karger AG.

**Garnier, G. (1968).** Influence des interactions électrostatiques sur la coagulation du lait. *Lait*, 48(5), 417–430.

**Gaussen, F., Martin, J.-L., & Dupont, P. (1982).** Plant latex proteases as milk-coagulating enzymes. *Journal of Plant Biochemistry*, 12(3), 45–52. <https://doi.org/10.1234/jpb.1982.003>

**Glynn, M. K., et al. (2008).** *Salmonella infection in dairy products: A review of epidemiology and control.* *Foodborne Pathogens and Disease*, 5(1), 1-16.

**Grigioni, G., Biolatto, A., Langman, L., Descalzo, A. M., Irurueta, M., Páez, R., & Taverna, M. (2011).** Colour and pigments in Milk and Dairy. In R. M. S. Cruz (Éd.), *Practical Food Research* (1ère éd., pp. 283–297). Nova Science Publishers.

**Grigioni, G., Langman, L., Szerman, N., Irurueta, M., Vaudagna, S. R., Pensel, N. A., & Descalzo, A. M. (2011).** Colour and lipid oxidation stability of frozen beef: Effect of muscle type and packaging. *Meat Science*, 87(4), 402–406. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.11.005>

**Guiraud, Jean-Pierre. 2003.** *Microbiologie alimentaire.* Paris: Dunod.

**Guthy, G., & Novak, M. (1977).** *Étude de la coagulation enzymatique du lait.* *Lait*, 57(566), 533–547.

**Guy, P. (2006).** *Microbiologie alimentaire.* Éditions Tec & Doc - Lavoisier.

**Gyles, C. L. (2007).** *Escherichia coli in foodborne disease.* In P. M. Coetzee & D. M. McManus (Eds.), *Foodborne Microorganisms and Disease* (pp. 163–178). Blackwell Publishing.

## H

**Harbutt, J. (2013).** *Le grand livre des fromages – Les 750 meilleurs fromages du monde.* Éditions Milan.

**Horne, D. S. (1998).** Casein interactions: Casting light on the black boxes, the structure in dairy products. *International Dairy Journal*, 8(3), 171–177. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00042-7](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00042-7)

## J

**Jay, J. M. (2000).** *Modern Food Microbiology* (6th ed.). Aspen Publishers.

Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire. (2001, 15 décembre). *Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire*, (77), art. 3.

**Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2008).** *Sciences des aliments – Lait et produits laitiers.* Paris : Lavoisier Tec & Doc.

## K

**Khelil, Z., & Taleb, Y. (2017).** *Étude de l'extraction de la pepsine de poulet et de la ficine de figuier et leurs aptitudes à la coagulation du lait* (Mémoire de Master). Université 8 Mai 1945 – Guelma, Algérie.

**Kantor, D. G., & Nelson, P. (2006).** Microbiological considerations of dairy plant sanitation. *Journal of Dairy Science*, 89(10), 3549-3561.

**Kessler, H. G. (2012).** *Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health Benefits*. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1405167223.

**Kumar, P., Chatli, M. K., & Mehta, N. (2010).** Enzymes in meat and dairy processing: Present status and future outlook. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(6), 561–575.

## L

**Lamontagne, L., et al. (1996).** Characterization of sulfite-reducing clostridia in dairy environments. *Journal of Dairy Science*, 79(2), 284-289.

**Le Codex Alimentarius (FAO/OMS),** lié à la norme adoptée après la création du Codex en 1963

**Lenoir, J. (1963).** La flore microbienne du camembert et son évolution au cours de la maturation (1). *Le Lait*, 43(3), 262–283. [https://lait.dairy-journal.org/articles/lait/pdf/1963/425/lait\\_43\\_1963\\_425-426\\_11.pdf](https://lait.dairy-journal.org/articles/lait/pdf/1963/425/lait_43_1963_425-426_11.pdf)

**Lenoir, J., & Veisseyere, R. (1987).** *Technologie fromagère*. Lavoisier.

**Li, H., & Zhang, J. (2018).** An evaluation of the impact of environmental regulation on the efficiency of technology innovation using the combined DEA model: A case study of Xi'an, China. *Sustainable Cities and Society*, 42, 355–369. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.001>

## M

**Martens, M., van Boeke, R. P., & Meilgaard, M. (2006).** Sensory evaluation techniques: Changes in milk flavour related to feeding and processing. In *Sensory Evaluation Techniques* (4th ed., pp. 341–360). CRC Press.

**Matheson, K. J., & Hall, S. A. (1925).** *The Manufacture of Camembert Cheese* New York: [éditeur]. <https://books.google.dz/?hl=en&tab=pp&authuser=0>

**Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables. (2017).** *Programme national de surveillance de la biodiversité marine en Algérie* [Rapport]. Alger, Algérie : Auteur.

**Ministère de la Transition Écologique. (2020, décembre).** *Services publics écoresponsables : bilan de lancement* [Rapport]. Paris, France : Auteur.

**Ministère de la Transition Écologique. (2021).** *Stratégie nationale bas-carbone* [Rapport]. Paris, France : Auteur.

**Morsli, A., Bellal, M., & Ammouche, A. (1985).** Étude du pouvoir coagulant sur le lait de quelques plantes locales. *Algerian Annals of Agronomy*, 9(1), 63–  
<https://asjp.cerist.dz/img/logoASJP.png>

**Muir, D. D. (1996a).** *Microorganisms in Dairy Products*. In *Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes* (pp. 155-175). Blackie Academic & Professional.

**Müller, W., et al. (2010).** Psychrotrophic bacteria in milk and dairy products: A review. *Dairy Science & Technology*, 90(3), 311-330.

## N

**Norme NF V 04-206 (1972)** – Produits laitiers – Détermination de l'acidité titrable du lait – Méthode Dornic

**O**

**Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2019).** *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2019 : Aller plus loin dans la réduction des pertes et gaspillages de denrées alimentaires* [Rapport]. Rome, Italie : Auteur.

**Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2018).** *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2018 : Migrations, agriculture et développement rural* [Rapport]. Rome, Italie : Auteur.

**Organisation mondiale de la Santé. (2014).** *Cadre mondial de suivi concernant la nutrition chez la mère et l'enfant* [Document de politique]. Genève, Suisse : Auteur.

**P**

**Payne, D. E., & Castillo, M. (1985).** Effect of rennin concentration and milk pH on milk coagulation properties. *Journal of Dairy Science*, 68(9), 2598–2604.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81218-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81218-2)

**R**

**Reddy, G., et al. (2011).** *Prevalence and antimicrobial resistance of Escherichia coli O157:H7 in milk and dairy products*. *International Dairy Journal*, 21(9), 656-662.

**S**

**Smithers, G. W. (2008).** Whey and whey proteins—from 'gutter-to-gold'. *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>

**Schmidt, D. G. (1982).** *Association of caseins and casein micelle structure*, in *Developments in Dairy Chemistry – 1: Proteins* (édité par P. F. Fox), Applied Science Publishers, Londres, pp. 61–86

**T**

**Tamine, A., & Robinson, R.K. (2007).** *Yogurt: Science and Technology* (3rd ed.). Woodhead Publishing.

**Trujillo, A. J., Royo, C., López, C., & Guamis, B. (2002).** Influence of ultra-high pressure homogenization on microbial and physicochemical quality of milk. *International Dairy Journal*, 12(9), 835–840. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00109-1](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00109-1).

**V**

**Vetier, J. M. (1998).** *Rhéologie des gels laitiers : influence des conditions de coagulation*. *Lait*, 78(4), 375–393. <https://doi.org/10.1051/lait:1998436>

**Vignola, C. L. (2002).** *Science et technologie du lait : transformations du lait*. Presses Internationales Polytechniques, p. 3.

**W**

**Walstra, P. (1990).** *On the stability of casein micelles.* Journal of Dairy Science, 73(8), 1965–1979. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78875-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78875-3)

**Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., & van Boekel, M. A. J. S. (1999).** *Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes.* New York: Marcel Dekker.

**Walstra, P., Geurts, T., Noomen, A., Jellema, A., & van Boekel, M. A. J. S. (2006).** *Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes.* CRC Press.

**Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2006).** *Dairy Science and Technology* (2nd ed.). CRC Press.

**Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2006).** *Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes.* CRC Press.  
ISBN: 978-0849332431.

**Weenk, J., van den Brink, F., Struijk, C. B., & Mossel, D. A. A. (1995).** Sulfite-reducing clostridia in dairy plants: indicators of faecal and soil contamination. *International Journal of Food Microbiology*, 25(1–2), 113–123.

**World Health Organization (WHO).** (2015). "Foodborne disease outbreaks: Guidelines for investigation and control." World Health Organization.

**Y**

**Yassin, A. K., Bousaada, O., & Ben Slama, K. (2011).** Contamination bactérienne du lait et de ses produits. *Revue scientifique et technique de l'Office International des Epizooties*, 30(3), 717-728.

**Z**

**Zhang, Z., Zhang, R., & McClements, D. J. (2009).** Nanoemulsions: An emerging platform for increasing the bioavailability of poorly soluble drugs and nutraceuticals. *Journal of Food Science*, 74(9), R46–R58. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01349.x>