

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed Zabana- Relizane

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Nutrition



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Biochimie de la nutrition

Intitulé

Qualité hygiénique du lait cru dans les élevages de
la Wilaya de Relizane

Présenté par :

Belkadi Nesrine & Bensaad Aoued

Devant les membres de jury :

Président : Mme Benhmed Fatiha Maître de conférences (A) (U. Relizane)

Encadrant: Mr Meskini Zakaria Maître de conférences (B) (U. Relizane)

Examineur : Mr Benaissa-Keddar Youcef Maître assistant (B) (U. Relizane)

Année universitaire : 2024/2025

Remerciement

Avant tout, je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à **mon encadrant, Dr. Meskini Zakaria**, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, sa rigueur scientifique et son accompagnement tout au long de ce travail.

Je remercie également

Dr. Benahmed Fatiha, Professeur à l'université de Relizane pour
L'honneur qu'il me fait de présider ce jury de mémoire de Master.

Dr. Benaissa-Keddar Youcef, Professeur à l'université de RELIZANE
Pour avoir bien voulu examiner ce travail.

Je remercie également l'ensemble des enseignants du département Sciences de la Nutrition, pour la qualité de l'enseignement dispensé durant ces années de formation.

Ma reconnaissance va aussi à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, notamment les laboratoires, les techniciens, les collègues de promotion, et les personnes interrogées ou sollicitées dans le cadre de cette étude.

Enfin, mes remerciements les plus sincères à ma famille, pour leur soutien moral et affectif, essentiel à l'aboutissement de ce projet.

Dédicace

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien sans faille, et leurs innombrables sacrifices qui ont rendu ce parcours possible.

À mes frères et sœurs, pour leur encouragement constant, leur patience et leur présence bienveillante à chaque étape de ce chemin.

À mes ami(e)s sincères, qui ont cru en moi même dans les moments les plus difficiles.

Cette réussite est autant la leur que la mienne.

Abréviation

Abréviation	Signification
°C	Degré Celsius
°D	Degré Dornic
%	Pourcentage
CAC	Commission du Codex Alimentarius
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CFU	Colony Forming Unit (équivalent anglais de UFC)
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control
EFSA	European Food Safety Authority
EHEC	Escherichia coli entérohémorragique
EIEC	Escherichia coli entéroinvasif
EPEC	Escherichia coli entéropathogène
ETEC	Escherichia coli entérotoxigène
FAO	Food and Agriculture Organization
FTAM	Flore Totale Aérobie Mésophile
HCl	Acide chlorhydrique
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
ISO	International Organization for Standardization
JNGTV	Journal National de la Gestion des Toxi-infections et des Virus
LMR	Limite Maximale de Résidu
mL	Millilitre
mPa·s	millipascal-seconde
mS/cm	millisiemens par centimètre
NaCl	Chlorure de sodium
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCA	Plate Count Agar
pH	Potentiel Hydrogène
SEPAIC	Société d'Édition et de Presse Agricole et Industrielle de la Coopération

UFC Unité Formant Colonie
VRBG Violet Red Bile Glucose Agar
VRBL Violet Red Bile Lactose Agar
WHO/OMS World Health Organization / Organisation Mondiale de la Santé
WOAH World Organisation for Animal Health

Résumé

Le lait cru est un produit riche en nutriments, mais particulièrement vulnérable à la contamination microbienne. Cette étude vise à évaluer la qualité microbiologique et physico-chimique du lait cru issu d'élevages bovins dans la région de Relizane. Quinze échantillons ont été analysés à l'aide de méthodes microbiologiques standards pour le dénombrement de la flore mésophile totale, des coliformes totaux et fécaux. Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au moyen d'un Lactoscan.

Les résultats montrent une charge bactérienne élevée dans plusieurs échantillons, en particulier pour la flore mésophile totale (atteignant jusqu'à $4,96 \times 10^7$ UFC/mL), dépassant largement les normes admises pour le lait cru. De même, les coliformes totaux étaient présents à des concentrations supérieures à 10^3 UFC/mL dans plusieurs échantillons, tandis que les coliformes fécaux affichaient une moyenne de $5,66 \times 10^5$ UFC/mL. Ces données traduisent des conditions d'hygiène insuffisantes lors de la traite, du stockage ou du transport.

Sur le plan physico-chimique, les échantillons ont présenté des valeurs globalement conformes, sans anomalies majeures, notamment en ce qui concerne la densité, l'extrait sec ou la teneur en eau, ce qui suggère l'absence de fraude. Les légères variations observées au niveau des teneurs en matière grasse et en protéines sont compatibles avec les fluctuations naturelles liées à l'alimentation, la saison ou le stade de lactation.

En conclusion, l'étude met en évidence une qualité microbiologique préoccupante du lait cru dans la région étudiée, malgré une stabilité physico-chimique acceptable. Elle souligne la nécessité de renforcer les bonnes pratiques d'hygiène à tous les niveaux de la chaîne laitière.

Mots clés : Coliformes, Lait, Physicochimique, Qualité, Vache

ملخص

الحليب الخام منتج غني بالعناصر الغذائية، ولكنه شديد التأثر بالتلوث الميكروبي. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الجودة الميكروبيولوجية والفيزيائية والكيميائية لحليب الأبقار الخام من مزارع الألبان في منطقة غليزان. حُللت خمس عشرة عينة باستخدام طرق ميكروبيولوجية قياسية لتحديد إجمالي البكتيريا الهوائية المحبة للحرارة المتوسطة، وإجمالي البكتيريا القولونية، والبكتيريا القولونية البرازية. أُجريت التحاليل الفيزيائية والكيميائية باستخدام جهاز لاكتوسكان كشفت النتائج عن حمولات بكتيرية عالية، خاصةً للبكتيريا الهوائية المحبة للحرارة المتوسطة (تصل إلى 4.96×10^7 وحدة تشكيل مستعمرة/مل)، متجاوزةً بشكل كبير الحدود التنظيمية للحليب الخام. وبالمثل، تم الكشف عن البكتيريا القولونية الكلية بتركيزات تزيد عن 10^3 وحدة تشكيل مستعمرة/مل في عدة عينات، بينما بلغ متوسط البكتيريا القولونية البرازية 5.66×10^5 وحدة تشكيل مستعمرة/مل. تعكس هذه النتائج سوء ظروف النظافة أثناء الحلب أو التخزين أو النقل كانت المعايير الفيزيائية والكيميائية مقبولة بشكل عام، ولم تُظهر أي اختلالات جوهرية، لا سيما في الكثافة أو محتوى المواد الصلبة أو محتوى الماء، مما يشير إلى أن الحليب غير مغشوش. وكانت الاختلافات الطفيفة في محتوى الدهون والبروتين متوافقة مع التأثيرات البيولوجية والبيئية الطبيعية. وفي الختام، تُسلط الدراسة الضوء على الجودة الميكروبيولوجية للحليب الخام في المنطقة المدروسة، على الرغم من خصائصه الفيزيائية والكيميائية المقبولة. وتؤكد الدراسة على ضرورة تعزيز ممارسات النظافة الجيدة على طول سلسلة إنتاج الألبان.

الكلمات المفتاحية: البكتيريا القولونية، الحليب، الفيزيائية والكيميائية، الجودة، البقرة

Abstract

Raw milk is a nutrient-rich product, but highly susceptible to microbial contamination. This study aims to evaluate the microbiological and physicochemical quality of raw cow's milk from dairy farms in the Relizane region. Fifteen samples were analyzed using standard microbiological methods to quantify total mesophilic aerobic flora, total coliforms, and fecal coliforms. Physicochemical analyses were carried out using a Lactoscan device.

The results revealed high bacterial loads, especially for total mesophilic flora (up to 4.96×10^7 CFU/mL), significantly exceeding regulatory limits for raw milk. Similarly, **total coliforms** were detected at concentrations above 10^3 CFU/mL in several samples, while **fecal coliforms** averaged 5.66×10^5 CFU/mL. These findings reflect poor hygiene conditions during milking, storage, or transportation.

Physicochemical parameters were generally acceptable, showing no major abnormalities, particularly in terms of density, solids content, or water content, indicating that the milk was not adulterated. Slight variations in fat and protein content were consistent with natural biological and environmental influences.

In conclusion, the study highlights concerning microbiological quality of raw milk in the studied region, despite acceptable physicochemical characteristics. It underlines the need to **reinforce good hygiene practices** throughout the dairy production chain.

Keywords: Coliforms, Milk, Physicochemical, Quality, Cow

Table des matières

Remerciement.....	ii
Dédicace.....	iii
Abréviation.....	iv
Résumé.....	vi
ملخص.....	vii
Abstract.....	viii
Table des matières	ix
Liste des tableaux	xi
Liste des figures.....	xii
Introduction.....	1

Partie Bibliographique

Chapitre I. GENERALITE SUR LE LAIT

1	Définition du lait cru.....	2
2	Composition du lait.....	2
2.1	L'eau.....	3
2.2	Matière grasse	3
2.3	Vitamine	3
2.4	Lactose.....	4
3	Facteurs influençant la qualité du lait	4
3.1	Facteurs extrinsèques	5
3.1.1	Alimentation	5
3.1.2	Effet de saison et climat.....	5
3.1.3	Traite.....	5
3.2	Facteurs intrinsèques	5
3.2.1	Stade de lactation	5
3.2.2	Âge et numéro de lactation	5
3.2.3	Race.....	6
3.2.4	Facteur génétique	6
4	Importance de la qualité physico-chimique	6
4.1	Potentiel Hydrogène.....	7
4.2	Densité.....	7
4.3	Acidité Dornic.....	7
4.4	Point de congélation	7

Chapitre II. Généralités sur les Entérobactéries

1	Caractéristiques microbiologiques des entérobactéries dans le lait cru.....	8
1.1	Classification fonctionnelle des entérobactéries dans le lait cru	8
1.1.1	Flore d'altération.....	8
1.1.2	Flore pathogène.....	9
2	Importance de la surveillance microbiologique	10
3	Rôles pathogènes des entérobactéries dans le lait cru	11
3.1	Principales espèces bactériennes contaminant le lait cru	12
3.2	Entérobactéries pathogènes	12
3.3	Entérobactéries opportunistes	12
3.4	Entérobactéries indicatrices d'hygiène.....	12

Chapitre III. Propriétés physico-chimiques du lait cru

1	Propriétés physiques du lait cru.....	13
1.1	Point de congélation.....	13
1.2	Densité.....	13
1.3	Viscosité.....	13
1.4	Couleur.....	14
1.5	Conductivité électrique.....	14
2	Propriétés chimiques du lait cru.....	14
2.1	Potentiel hydrogène.....	14
2.2	Teneur en matière grasse.....	15
2.3	Protéines.....	15
2.4	Lactose.....	15
2.5	Lipides.....	15
2.6	Minéraux.....	15

Partie Experimentale

Chapitre I. Materiel et Methodes

1	Problématique & objectifs.....	17
2	Durée et lieu de l'étude.....	17
3	Analyse microbiologique du lait cru.....	18
3.1	Échantillonnage.....	18
3.2	Préparation des Milieux de culture.....	19
3.2.1	Milieu Plate Count Agar.....	19
3.2.2	Milieu Violet Red Bile Glucose Agar.....	20
3.2.3	Milieu Violet Red Bile Lactose Agar.....	21
3.3	Préparation de l'eau peptonée salée.....	21
3.4	Dilution des échantillons.....	22
3.5	Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale.....	23
3.6	Dénombrement des coliformes fécaux.....	24
3.7	Dénombrement des coliformes totaux.....	24
3.8	Comptage des colonies et calcul des résultats.....	25
4	Analyse physico-chimique du lait cru :.....	25
4.1	Procédure d'analyse.....	26

Chapitre II. Resultats et Discussion

1	Résultats de l'analyse microbiologique.....	28
1.1	Flore Totale Aérobie Mésophile.....	28
1.2	Coliformes fécaux.....	30
1.3	Coliformes totaux.....	33
2	Analyses Physicochimique.....	35
2.1	Matière grasse.....	36
2.2	Eau ajouté.....	37
2.3	sels.....	37
2.4	Protéines.....	38
2.5	Densité.....	39
2.6	Lactose.....	40
2.7	Potentiel Hydrogène.....	41

Liste des tableaux

Tableau 1. Composition moyenne du lait entier (Linehan et al., 2024)	2
Tableau 2. Composition vitaminique moyenne du lait cru (Wang et al., 2021)	4
Tableau 3. Caractéristiques physico-chimiques du lait de vache (Park, 2017).....	6
Tableau 4 . Flore Totale Aérobie Mésophile (FTAM)	29
Tableau 5. Coliformes fécaux	31
Tableau 6. Coliformes totaux.....	34
Tableau 7 Résultats des analyses physico-chimiques du lait cru	36

Liste des figures

Figure 1 Composition de la matière grasse du lait. adapté de (Wang et al. 2022).....	3
Figure 2 Les différentes bactéries infectieuses du lait.....	9
Figure 03. Échantillons de lait conditionnés en flacons stériles	19
Figure 4. Gélose PCA en cours de dissolution sur agitateur magnétique chauffant ...	20
Figure 5. Gélose VRBG en cours de dissolution sur agitateur magnétique chauffant.	20
Figure 6. Gélose VRBL en cours de dissolution sur agitateur magnétique chauffant (photo originale).....	21
Figure 7. Préparation des dilutions décimales du lait cru pour l'analyse microbiologique	23
Figure 8. Appareil de mesure physico-chimique du lait.....	26
Figure 9. Flore totale aérobie mésophile (photo original)	28
Figure 10. Gélose VRBL pour le dénombrement des coliformes totaux.	31
Figure 11. Gélose VRBG pour le dénombrement des entérobactéries.....	33
Figure 12. Teneur en MG du lait cru comparée à la norme réglementaire	37
Figure 13. Teneur en sels du lait cru comparée à la norme réglementaire	38
Figure 14. Teneur en Protéine du lait cru comparée à la norme réglementaire	39
Figure 15. Densité du lait cru comparée à la norme réglementaire	40
Figure 16. Teneur en MG du lait cru comparée à la norme réglementaire	40

INTRODUCTION

Introduction

Le lait cru, issu directement de la traite sans traitement thermique, est un aliment naturel reconnu pour sa richesse nutritionnelle. Il contient des éléments essentiels tels que les protéines à haute valeur biologique, les lipides, les glucides, ainsi que divers minéraux et vitamines indispensables à l'organisme (Panesar & Kennedy, 2012).

Ces caractéristiques en font une matière première utilisée pour produire fromages, yaourts et beurres, tirant parti non seulement de sa composition chimique mais aussi de sa diversité microbienne (Claeys et al., 2013; Quigley et al., 2013).

Cependant, cette richesse biologique constitue un terrain favorable au développement de micro-organismes. La flore naturellement présente dans le lait cru joue un double rôle : bénéfique pour les fermentations et les qualités organoleptiques, mais potentiellement dangereuse si elle inclut des germes pathogènes ou témoigne de conditions d'hygiène inadéquates (Claeys et al., 2013; EFSA BIOHAZ Panel, 2022).

La composition de cette flore dépend de plusieurs facteurs : l'état sanitaire de l'animal (comme les mammites), les conditions de traite, la désinfection du matériel, ainsi que les procédés de collecte, transport et stockage (Park, 2017).

Parmi les micro-organismes, les entérobactéries méritent une attention particulière. Membre de la famille des *Enterobacteriaceae*, elles incluent des espèces potentiellement pathogènes comme *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, ou *Klebsiella spp.* Leur présence dans le lait cru est souvent associée à une contamination fécale, en faisant de bons indicateurs d'hygiène. Au-delà du risque infectieux, certaines peuvent altérer les propriétés sensorielles du lait et nuire à la qualité finale (Quigley et al., 2013; Robinson, 2002).

Dans ce contexte, l'analyse microbiologique du lait cru est essentielle pour évaluer sa qualité sanitaire. Le présent travail vise à :

- Quantifier la flore totale aérobie mésophile (FTAM),
- Identifier et dénombrer les coliformes totaux et fécaux
- Evaluer les caractéristiques physico-chimiques du lait cru collecté localement.

Ces analyses permettront de dresser un état des lieux de la qualité du lait cru dans la région étudiée, d'évaluer les risques pour la santé du consommateur et de formuler des recommandations en matière d'hygiène et de sécurité des produits laitiers.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I.
GENERALITE SUR LE LAIT

Chapitre 1. Généralité sur le lait

1 Définition du lait cru

Le Le lait a été défini dès 1908, lors du Congrès international de la répression des fraudes à Genève, comme étant le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière en bonne santé, bien nourrie et non surmenée. Il devait être recueilli proprement et ne contenir aucun colostrum.

Selon la norme internationale du Codex Alimentarius (2020), le lait est la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite, obtenue à partir d'une ou plusieurs traites, sans aucun ajout ou retrait, destinée à la consommation directe ou à une transformation ultérieure. Le lait est un liquide blanc, opaque, légèrement sucré, d'une viscosité environ deux fois supérieure à celle de l'eau. Ce fluide complexe, altérable et de composition variable, est produit par les femelles mammifères pour nourrir leur progéniture, mais joue également un rôle fondamental dans l'alimentation humaine et l'industrie laitière.

2 Composition du lait

La composition chimique du lait varie selon plusieurs facteurs : la race de l'animal, son âge, son alimentation et même la saison. Il contient une grande diversité de micro-organismes, dont la présence et la quantité dépendent de l'état sanitaire de la vache, des conditions d'hygiène lors de la traite et du stockage ultérieur.

Des bactéries saprophytes, comme les microcoques d'origine mammaire, ainsi que des ferments lactiques naturels sont souvent présents dans le lait cru (Bałowska et al., 2011). Ces éléments biologiques influencent directement la qualité hygiénique et technologique du lait destiné à la transformation.

Tableau 1. Composition moyenne du lait entier (Linehan et al., 2024)

Composants	Teneurs (g / 100g)
Eau	89.5
Dérivés azotés	3.44
Protéines	3.27
Caséine	2.71
Protéines solubles	0.56
Azote non protéique	0.17
Matières grasses	3.5
Lipides neutres	3.4
Lipides complexes	<0.05
Composés liposolubles	<0.05
Glucides	4.8
Lactose	4.7
Gaz dissous	5% du volume du lait
Extrait sec total	12.8

2.1 L'eau

L'eau constitue le composant majoritaire du lait sur le plan proportionnel. En raison de sa polarité liée à la présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres, elle peut dissoudre les substances polaires comme les glucides et les minéraux, formant ainsi une solution véritable. Elle permet également la formation d'une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum. En revanche, les matières grasses, de nature non polaire ou hydrophobe, ne se dissolvent pas dans l'eau et forment plutôt une émulsion de type huile dans l'eau. De même, les micelles de caséines, étant des particules solides, donnent lieu à une suspension colloïdale (García-Carrascal, A., et al. 2022).

2.2 Matière grasse

Il est rapporté que la matière grasse (Figure 1) du lait de vache fournit à elle seule environ la moitié de l'apport énergétique total du lait. Elle est composée d'environ 65 % d'acides gras saturés et de 35 % d'acides gras insaturés. (Acquavia, M. A., et al. 2025))

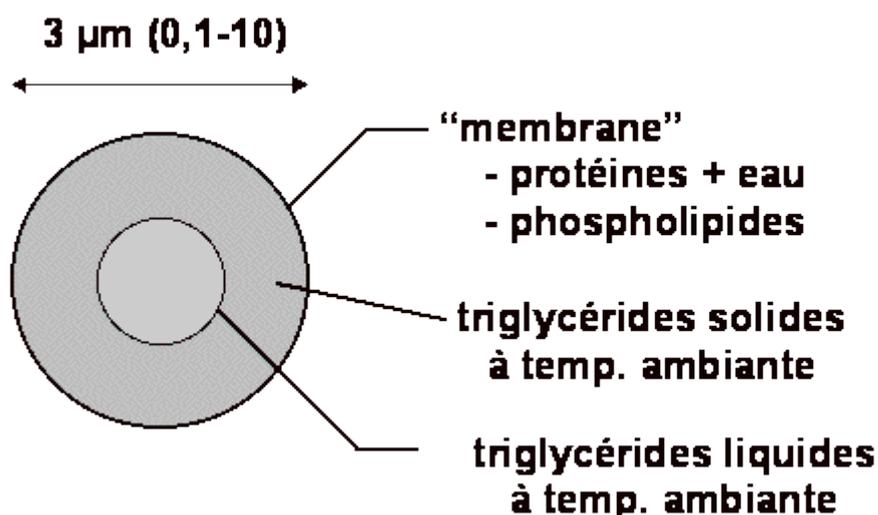


Figure 1 Composition de la matière grasse du lait. adapté de (Wang et al. 2022).

2.3 Vitamine

Ce sont des molécules complexes de plus petite taille que les protéines, aux structures variées, ayant un rôle crucial en tant que coenzymes associées à des apoenzymes protéiques. On classe les vitamines du lait en deux grandes catégories :

- **Vitamines hydrosolubles** : notamment celles du groupe B et la vitamine C, présentes dans la phase aqueuse du lait.
- **Vitamines liposolubles** : vitamines A, D, E et K, associées aux matières grasses du lait. Certaines se trouvent au centre des globules gras, d'autres à leur périphérie (Macdonald et al., 2011).

Chapitre 1. Généralité sur le lait

Tableau 2. Composition vitaminique moyenne du lait cru (Wang et al., 2021)

Les vitamines	Les teneurs moyennes ($\mu\text{g}/100\text{ ml}$)
Vitamines liposolubles	
Vitamine A (+carotènes)	40
Vitamine D	2.4
Vitamine E	100
Vitamine K	5
Vitamines hydrosolubles	
Vitamine C (acide ascorbique)	2 mg/100 ml
Vitamine B1 (thiamine)	45
Vitamine B2 (riboflavine)	175
Vitamine B6 (pyridoxine)	50
Vitamine B12 (cyanocobalamine)	0.45
Niacine et niacinamide	90
Acide pantothénique	350
Acide folique	5.5
Vitamine H (biotine)	3.5

2.4 Lactose

Le lactose est le principal sucre du lait, représentant plus de la moitié de l'extrait sec total. Il est synthétisé dans les glandes mammaires à partir du glucose et du galactose. Dans le lait, il existe principalement sous deux formes isomériques : l' α -lactose monohydraté (forme naturelle et stable à température ambiante) et le β -lactose anhydre, qui diffèrent par la configuration stérique autour du carbone C1 du glucose (Panesar & Kennedy, 2012).

À l'état sec, le lactose peut être amorphe (s'il est rapidement séché), cristallisé sous forme anhydre (α ou β), ou monohydraté (α). Le lactose α -monohydraté est la forme la plus stable à température ambiante et la plus courante dans le lait (Fox et al., 2015).

3 Facteurs influençant la qualité du lait

La qualité du lait varie sous l'influence de facteurs intrinsèques (liés à l'animal) et extrinsèques (environnement, conduite d'élevage, etc.).

3.1 Facteurs extrinsèques

3.1.1 Alimentation

L'alimentation influence les taux de matières grasses et de protéines. Un apport énergétique élevé accroît le taux protéique, tout comme l'apport en acides aminés essentiels (lysine, méthionine). Le taux butyreux dépend aussi de la nature des concentrés et de leur mode de distribution (Bionaz et al., 2020).

3.1.2 Effet de saison et climat

La composition du lait varie selon les saisons. Les taux de matières grasses et de protéines sont plus faibles en été (photopériode longue) et plus élevés en hiver. En été, on observe souvent une hausse des cellules somatiques et une augmentation de la charge microbienne en raison des températures élevées et des risques d'hygiène. En hiver, certaines flores comme les psychrotrophes ou lactobacilles deviennent dominantes (Bionaz et al., 2020 ; Boudalia et al., 2019).

3.1.3 Traite

Une traite hygiénique comprend le lavage de la mamelle et l'extraction des premiers jets. Le nombre de traites influe sur la quantité et la composition du lait : deux traites par jour sont courantes ; le lait du matin est souvent moins gras que celui de l'après-midi. Passer à trois traites augmente la production de 10 à 20 % (Gouaidia et al., 2023).

3.2 Facteurs intrinsèques

3.2.1 Stade de lactation

La composition biochimique varie au cours de la lactation. En début de lactation, le lait est plus dilué ; en fin de lactation, la production baisse, mais les concentrations en matières grasses et protéines augmentent. Cette relation est inversement proportionnelle à la quantité de lait produite (Kaouche-Adjlane, 2019).

3.2.2 Âge et numéro de lactation

Les quatre premières lactations n'ont qu'un faible effet sur la qualité du lait. Avec l'âge, le risque de mammite augmente, ce qui dégrade la glande mammaire et modifie la composition du lait (protéines sériques, matière sèche) (Bougara & Melha, 2020).

3.2.3 Race

Les races bovines locales (Brune de l'Atlas, Guelmoise, Cheurfa, etc.) produisent entre 3 et 15 litres/jour mais sont plus résistantes. Les races européennes (Holstein, Montbéliarde...) atteignent 20 à 30 litres/jour en élevage intensif. Le croisement vise à combiner rusticité et rendement (Boudalia et al., 2019 ; Ghozlane et al., 2022).

Enfin, la mammité (infection mammaire) modifie la perméabilité des tissus et permet la migration de protéines sériques, enzymes et ions dans le lait. Cela change ses propriétés physico-chimiques (protéines, lipides, pH), augmente la charge microbienne, et affecte sa qualité technologique .

3.2.4 Facteur génétique

La composition du lait varie selon les races et les espèces, influencée à la fois par la génétique et les conditions d'élevage. Les facteurs génétiques ont un impact plus marqué sur la composition chimique du lait (notamment les taux de matières grasses et de protéines) que sur la quantité produite. Le coefficient d'héritabilité est relativement élevé pour ces taux (entre 0,45 et 0,70), contre environ 0,25 pour le volume produit (Bionaz et al., 2020 ; Hohenboken, 2021).

4 Importance de la qualité physico-chimique

Les principales propriétés physico-chimiques (Tableau 3) utilisées dans l'industrie laitière sont la masse volumique, la densité, le point de congélation, le point d'ébullition et l'acidité (Park, 2017)

Tableau 3. Caractéristiques physico-chimiques du lait de vache (Park, 2017)

Composition	Parametres
Energie	705
Densité du lait entier à 20°C	1,028 – 1,033
Point de congélation (°C)	-0,520 -0,550
pH 20°C	6,60 – 6,80
Acidité titrable (°Dornic)	15-17
Tension superficielle du lait entier à 15 °C (dynes cm)	50
Conductivité électrique à 25 °C (siemens)	45 x 10 ⁻⁴
Indice de réfraction	1,45-1,46
Viscosité du lait entier à 20 °C (centipoises)	2,0-2,2

4.1 Potentiel Hydrogène

Le pH constitue un paramètre fondamental pour évaluer la fraîcheur et la qualité du lait cru. Le lait de vache sain et récemment traité présente généralement un pH compris entre 6,6 et 6,8, ce caractère légèrement acide étant dû à la présence naturelle de phosphates, de citrates et de protéines (Robinson, 2002). Lorsqu'une activité microbienne débute, notamment celle des bactéries lactiques, le lactose est métabolisé en acide lactique, entraînant une augmentation de la concentration en ions hydronium (H_3O^+) et une baisse du pH.

En complément du pH, l'acidité titrable permet d'évaluer la charge totale en composés acides du lait. Cette acidité inclut l'acidité naturelle (due aux protéines et aux sels minéraux) ainsi que l'acidité produite au cours de la fermentation. Contrairement au pH, qui mesure la concentration en ions H^+ libres, l'acidité titrable prend en compte les formes dissociées et non dissociées, fournissant ainsi une indication plus complète de la charge acide du produit. Elle est généralement exprimée en degrés Dornic ($^{\circ}D$), où $1^{\circ}D$ correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de lait. La valeur normale pour le lait frais varie entre $15^{\circ}D$ et $18^{\circ}D$ (Walstra et al., 2006).

4.2 Densité

La densité du lait cru varie en fonction de sa composition, notamment de la concentration en éléments dissous (lactose, sels minéraux, protéines) et de la teneur en matière grasse. La densité du lait de vache se situe généralement entre $1,030$ et $1,033$ g/cm³ à $20^{\circ}C$. Le lait écrémé, dont la teneur en matière grasse est réduite, présente une densité légèrement plus élevée. Inversement, l'ajout d'eau (mouillage) réduit la densité du lait. Une baisse significative peut donc signaler une adultération (Parmar et al., 2020).

4.3 Acidité Dornic

L'acidité Dornic, ou acidité titrable, représente la quantité totale d'acides présents dans le lait. Elle est mesurée par titrage à l'hydroxyde de sodium (NaOH) et exprimée en degrés Dornic ($^{\circ}D$). Cette mesure prend en compte à la fois l'acide lactique produit par fermentation et l'acidité naturelle des constituants du lait. Un lait cru sain présente une acidité Dornic comprise entre 15 et $18^{\circ}D$. Une augmentation de cette valeur peut indiquer un début de fermentation ou une dégradation microbologique (Walstra et al., 2006).

4.4 Point de congélation

Le point de congélation du lait est une propriété physique constante et spécifique. En raison des solutés présents (lactose, minéraux, protéines), il est inférieur à celui de l'eau pure. Le lait cru de vache présente un point de congélation moyen situé entre $-0,545$ et $-0,550^{\circ}C$. Cette valeur est utilisée comme critère de détection d'un mouillage éventuel. Une addition d'eau modifie la concentration totale de solutés, ce qui élève le point de congélation. Une variation de 1 % d'eau ajoutée entraîne une hausse

Chapitre 1. Généralité sur le lait

approximative de 0,0055 °C. Un point de con (International Dairy Federation (IDF).2019; Parmar et al., 2020). Congélation supérieur à $-0,530$ °C constitue un indicateur fiable de dilution frauduleuse

Chapitre II. Généralités sur les Entérobactéries

1 Caractéristiques microbiologiques des entérobactéries dans le lait cru

Les entérobactéries sont des bacilles à Gram négatif, aérobies-anaérobies facultatives, appartenant à la famille des Enterobacteriaceae. Elles sont omniprésentes dans l'environnement et sont fréquemment détectées dans le lait cru en raison de contaminations

(Goff, 2021).

Leur présence dans le lait cru peut avoir différentes implications. Certaines espèces, comme *Escherichia coli*, sont considérées comme des indicateurs d'hygiène et de contamination fécale (Codex Alimentarius, 2023). D'autres, telles que *Enterobacter cloacae* ou *Serratia marcescens*, bien que parfois inoffensives, peuvent provoquer des altérations organoleptiques et compromettre la qualité du produit

Les coliformes, un sous-groupe des entérobactéries, sont particulièrement surveillés car ils possèdent la capacité de dégrader le lactose, les protéines et les lipides du lait, entraînant ainsi des défauts sensoriels (odeurs, goût, texture) et une réduction significative de la durée de conservation (Robinson, 2002 ; Walstra et al., 2006). La présence excessive de ces bactéries peut également résulter en la production de gaz, pouvant gonfler les emballages ou provoquer une séparation de phase (Uzoh et al., 2023).

Selon l'EFSA (2022), la charge bactérienne en entérobactéries dans le lait cru est généralement faible si les pratiques d'hygiène sont respectées. Toutefois, lorsque des conditions de traite, de stockage ou de nettoyage sont inadéquates, cette charge peut dépasser les seuils réglementaires.

1.1 Classification fonctionnelle des entérobactéries dans le lait cru

La flore entérobactérienne peut être classée fonctionnellement en deux catégories principales selon son impact sur le lait : la flore d'altération et la flore pathogène (Loor-Giler et al., 2021).

1.1.1 Flore d'altération

Certaines entérobactéries sont qualifiées de flore d'altération lorsqu'elles modifient les caractéristiques sensorielles du lait sans pour autant représenter un danger direct pour la santé du consommateur. Ces bactéries, telles que *Hafnia alvei*, *Enterobacter spp.*, *Serratia spp.* ou encore *E. coli* non pathogène, produisent des métabolites secondaires (amines biogènes, acides organiques, composés soufrés) à l'origine de défauts sensoriels majeurs (Quigley et al., 2013 ; Robinson, 2002).

Leur activité enzymatique entraîne des réactions d'hydrolyse des protéines (protéolyse) et de dégradation des lipides (lipolyse), causant une modification de la texture (grumeaux, viscosité) et parfois le gonflement de l'emballage du lait en raison de la libération de gaz. Ces altérations réduisent

non seulement l'acceptabilité du lait, mais aussi sa stabilité microbiologique et sa durée de conservation (Walstra et al., 2006).

1.1.2 Flore pathogène

Le lait cru peut transmettre des micro-organismes pathogènes tels que *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* et *Campylobacter jejuni*, responsables de maladies graves comme la listériose, la salmonellose ou le syndrome hémolytique et urémique. Ces bactéries peuvent contaminer le lait à différents moments de la production, que ce soit par des infections mammaires chez les animaux, un équipement de traite insuffisamment désinfecté ou une hygiène défailante lors de la manipulation (EFSA, 2023).

Ces pathogènes représentent un risque particulièrement élevé pour les populations vulnérables, notamment les jeunes enfants, les femmes enceintes, les personnes âgées et les personnes immunodéprimées. Plusieurs études ont démontré que la consommation de lait cru est associée à un taux d'hospitalisation plus important que celle de produits pasteurisés, en raison de la virulence des souches bactériennes impliquées (public Health England, 2016).

Dans ce cadre, le contrôle microbiologique du lait cru est crucial pour assurer la sécurité sanitaire. Les méthodes employées comprennent la culture sur milieux sélectifs, l'identification biochimique des colonies et les techniques moléculaires telles que la PCR en temps réel (**Codex Alimentarius, 2023**).

Par ailleurs, l'application de bonnes pratiques d'hygiène à la ferme, la surveillance régulière de la santé des animaux et le maintien strict de la chaîne du froid sont des mesures essentielles pour réduire ces risques (EFSA, 2022 ; Robinson, 2002).



Figure 2 Les différentes bactéries infectieuses du lait

2 Importance de la surveillance microbiologique

L'importance de la surveillance microbiologique du lait réside dans sa capacité à garantir la sécurité sanitaire et la qualité de ce produit hautement périssable. Le lait cru constitue un milieu de culture favorable au développement d'une flore variée, incluant des microorganismes pathogènes tels que *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* et *Staphylococcus aureus*. Une surveillance régulière permet non seulement de prévenir les risques de toxi-infections alimentaires, mais également de prolonger la durée de conservation et de répondre aux exigences réglementaires nationales et internationales en matière de santé publique. Elle constitue ainsi un outil essentiel pour protéger les consommateurs, améliorer la qualité des produits laitiers et soutenir la compétitivité de la filière laitière. (EFSA, 2022).

La réglementation impose notamment la recherche et le dénombrement de plusieurs germes spécifiques : la flore totale aérobie mésophile, les coliformes totaux et fécaux, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.* ainsi que d'autres bactéries pathogènes. Ces indicateurs permettent de juger du niveau d'hygiène lors de la traite et du stockage du lait. Parmi eux, les coliformes fécaux occupent une place particulièrement importante : ils sont considérés comme des indicateurs fiables de contamination d'origine fécale. Leur présence en quantité significative suggère un manquement dans les conditions d'hygiène, et un risque potentiel de contamination par d'autres agents pathogènes plus virulents (EFSA, 2020).

L'absence ou la faible concentration d'entérobactéries pathogènes constitue un indicateur fondamental de la qualité hygiénique du lait cru. Ces bactéries, bien que parfois opportunistes, peuvent provoquer des infections sévères, en particulier chez les individus immunodéprimés ou vulnérables. Une charge microbienne élevée ne se limite pas à un risque sanitaire, elle peut également altérer les propriétés organoleptiques du lait, réduire sa durée de conservation et nuire à la qualité technologique des produits laitiers transformés. Ainsi, une surveillance microbiologique rigoureuse, couplée à des pratiques d'élevage, de traite et de manipulation exemplaires, s'impose comme un pilier de la sécurité et de la durabilité de la filière laitière (Mancini et al., 2019).

Par ailleurs, les entérobactéries, bactéries Gram négatif à métabolisme facultatif, sont considérées comme des indicateurs classiques de contamination fécale ou environnementale. Présentes dans la flore de contamination du lait cru, elles peuvent être à la fois des germes d'altération ou des agents pathogènes. Leur détection et leur quantification sont donc essentielles pour évaluer la qualité microbiologique du lait cru et prévenir les risques pour la santé publique (FAO and WHO, 2023).

3 Rôles pathogènes des entérobactéries dans le lait cru

Les entérobactéries, appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*, constituent une composante importante de la flore microbienne du lait cru. Si leur présence est fréquemment associée à des préoccupations sanitaires, ces micro-organismes exercent également des fonctions d'ordre indicateur, métabolique et technologique, selon les espèces concernées et les conditions de production. Gram négatif et anaérobies facultatives, ces bactéries sont naturellement présentes dans le tube digestif des animaux, sur la peau, dans l'environnement immédiat des élevages, ainsi que sur les équipements de traite. Cette diversité écologique et fonctionnelle permet de les regrouper en trois grandes catégories : bactéries indicatrices d'hygiène, souches opportunistes et agents pathogènes (Jongman and Korsten, 2016).

Tout d'abord, certaines entérobactéries remplissent une fonction d'indicateurs microbiologiques. Les coliformes totaux, incluant notamment *Escherichia coli*, sont largement utilisés pour évaluer le niveau d'hygiène lors de la production laitière. À faibles concentrations, leur présence est généralement tolérée ; en revanche, des niveaux élevés traduisent une contamination d'origine fécale, souvent due à un matériel souillé, à une hygiène animale déficiente ou à des manipulations inappropriées (Bonfoh, et al., 2019).

Leur rôle est donc central dans les dispositifs de surveillance et de contrôle qualité, car ils constituent des indicateurs précoces de non-conformité sanitaire.

Par ailleurs, certaines entérobactéries sont qualifiées d'opportunistes. Si elles sont généralement inoffensives pour les individus en bonne santé, elles peuvent devenir pathogènes dans des contextes particuliers, notamment chez les sujets immunodéprimés. Sur le plan technologique, ces micro-organismes sont capables de produire des métabolites secondaires — tels que des gaz, des acides, ou encore des composés volatils ou visqueux — qui peuvent altérer les caractéristiques sensorielles du lait, nuire à sa stabilité et raccourcir sa durée de conservation (Robinson, 2002 ; Walstra et al., 2006 ; Martin et al., 2023).

En transformation artisanale, leur interaction avec d'autres flores microbiennes peut également influencer les fermentations et la qualité finale du produit.

Enfin, certaines espèces d'entérobactéries ont un rôle pathogène direct, avec des conséquences notables sur la santé publique. Des bactéries telles que *Salmonella* spp., *Yersinia enterocolitica* ou encore certaines souches pathogènes de *E. coli* (EHEC, ETEC, EPEC, EIEC) sont responsables de toxico-infections alimentaires parfois graves, pouvant provoquer des troubles gastro-intestinaux sévères ou des complications systémiques (ANSES (2022)). Leur détection dans le lait cru est presque toujours liée à une contamination d'origine fécale ou environnementale, souvent favorisée par une chaîne du froid

interrompue ou des pratiques de conservation inadéquates. Leur impact potentiel exige donc une surveillance rigoureuse à chaque étape de la filière laitière.

Les coliformes totaux, incluant *E. coli*, sont couramment utilisés comme indicateurs de la qualité hygiénique du lait cru. Leur détection est généralement interprétée comme un marqueur de contamination fécale ou environnementale, reflétant des pratiques d'hygiène insuffisantes lors de la traite, du stockage ou du transport. Leur présence suggère également un risque potentiel de contamination par des pathogènes plus sévères et met en évidence la nécessité de renforcer les mesures sanitaires tout au long de la chaîne de production laitière (Codex Alimentarius, 2020)

3.1 Principales espèces bactériennes contaminant le lait cru

Les entérobactéries constituent un groupe bactérien hétérogène dont certaines espèces présentent un risque sanitaire notable lorsqu'elles sont présentes dans le lait cru. Elles peuvent être classées en trois catégories principales selon leur rôle microbiologique et leur impact sur la qualité du lait.

3.2 Entérobactéries pathogènes

Certaines espèces telles que *Salmonella* spp., les souches entérohémorragiques d'*Escherichia coli* (EHEC), et *Yersinia enterocolitica* sont des agents pathogènes bien identifiés dans les infections d'origine alimentaire. Leur présence dans le lait cru représente un danger important pour la santé publique, en raison de leur capacité à provoquer des maladies gastro-intestinales aiguës (Koski et al., 2022).

3.3 Entérobactéries opportunistes

D'autres entérobactéries, dont certaines souches non pathogènes d'*Escherichia coli*, sont qualifiées d'opportunistes (Robinson, 2002 ; Walstra et al., 2006). Bien qu'elles n'induisent généralement pas de pathologies chez l'individu sain, elles peuvent être à l'origine d'infections chez les sujets fragiles. Par ailleurs, ces micro-organismes sont impliqués dans les altérations du lait cru, notamment par la dégradation des protéines et des lipides, affectant ainsi ses propriétés organoleptiques et sa valeur technologique lors de la transformation fromagère ou laitière.

3.4 Entérobactéries indicatrices d'hygiène

Les coliformes totaux, incluant *E. coli*, sont couramment utilisés comme indicateurs de la qualité hygiénique du lait cru. Leur détection est généralement interprétée comme un marqueur de contamination fécale ou environnementale, reflétant des pratiques d'hygiène insuffisantes lors de la traite, du stockage ou du transport. Leur présence suggère également un risque potentiel de contamination par des pathogènes plus sévères et met en évidence la nécessité de renforcer les mesures sanitaires tout au long de la chaîne de production laitière (Martin et al., 2016).

Chapitre III.

Propriétés physico-chimiques du lait cru

1 Propriétés physiques du lait cru

Les principales propriétés physiques du lait cru sont le point de congélation, la densité, viscosité, solubilité, couleur et conductivité électrique. (Walstra et al., 2006 ; Goff, 2021)

1.1 Point de congélation

Le point de congélation du lait cru est légèrement inférieur à celui de l'eau pure, puisque la présence de solides dissous l'abaisse. Cette propriété physique est mesurée pour détecter une éventuelle addition d'eau au lait cru. (Chandan, R. C., Kilara, A., et al. 2017; Goff, 2021)

Sa valeur moyenne se situe entre $-0,540$ et $-0,545$ °C, soit approximativement la température de congélation du sérum sanguin. Des fluctuations mineures sont observées selon la saison, la race de la vache ou la région de production : on note par exemple des valeurs normales entre $-0,530$ et $-0,575$ °C. L'adultération par ajout d'eau élève le point de congélation vers 0 °C, car le nombre total de molécules autres que l'eau diminue. D'une manière générale, toute modification de la composition du lait cru influe sur son point de congélation. (Jasińska, M., Król, J., et al. 2022).

1.2 Densité

La densité du lait cru d'une espèce donnée n'est pas fixe ; elle varie proportionnellement à la concentration des éléments dissous et en suspension, ainsi qu'à la proportion de matière grasse. (Fox & McSweeney, 2015 ; Walstra et al., 2006)

1.3 Viscosité

La viscosité du lait cru est une propriété physique importante qui détermine son comportement lors de la manipulation, du traitement et de la consommation. Elle est généralement faible, permettant au lait de s'écouler facilement, ce qui le rend pratique pour de nombreuses utilisations. Elle dépend principalement de la composition en matières grasses, protéines et lactose.

À température ambiante, la viscosité du lait cru est d'environ $1,5$ à $2,0$ mPa·s, mais elle diminue lorsque la température augmente, rendant le lait plus fluide. Cet aspect est essentiel pour le pompage et le traitement industriel. (Maida, A. L., Bilbao-Sainz, C., et al. 2023) .

Chapitre III. Propriétés physico-chimiques du lait cru

De plus, la viscosité peut être influencée par le temps de stockage et la présence de micro-organismes : une fermentation excessive peut l'augmenter par la production de substances gélifiantes. (Walstra et al., 2006)

1.4 Couleur

La couleur du lait cru est généralement blanche avec des nuances crémeuses, influencées par la teneur en matières grasses et la présence de pigments naturels comme le bêta-carotène, responsable parfois d'une teinte jaunâtre. Cet aspect visuel joue un rôle majeur dans l'acceptabilité par le consommateur. (Fox & McSweeney, 2015)

1.5 Conductivité électrique

La conductivité électrique du lait, mesurée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$), reflète la concentration en ions et solutés dissous. Un lait frais a une conductivité relativement basse, tandis qu'une conductivité élevée peut indiquer une contamination bactérienne ou une altération, ce qui signale un risque de problème microbiologique ou physico-chimique. (Norberg et al., 2004 ; de Mol et al., 1999)

2 Propriétés chimiques du lait cru

Le lait cru possède plusieurs propriétés chimiques importantes qui influencent sa composition, sa stabilité et son usage. (Ramet, 2017)

2.1 Potentiel hydrogène

Le pH du lait cru est un paramètre clé pour la qualité, la stabilité et la sécurité microbiologique. Il se situe en général entre 6,5 et 6,7, ce qui en fait un milieu légèrement acide, principalement en raison de l'acide lactique produit par fermentation du lactose par les bactéries lactiques. (Claeys et al., 2014)

Un pH stable est crucial pour conserver la fraîcheur : une baisse peut signaler une fermentation indésirable ou une contamination, risquant de provoquer une coagulation prématurée des protéines et une altération de la texture. (Ramet, 2017)

Le pH est aussi un indicateur lors des contrôles qualité et joue un rôle fonctionnel dans la transformation en produits laitiers comme le fromage ou le yaourt, qui nécessitent des valeurs de pH spécifiques pour la texture et le goût. (Farah & Bachmann, 1989)

Chapitre III. Propriétés physico-chimiques du lait cru

2.2 Teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse du lait cru varie généralement entre 3,5 % et 4,5 %, selon la race, l'alimentation et le stade de lactation. Cette graisse est principalement constituée de triglycérides responsables de la texture et du goût. Sa composition en acides gras peut varier : par exemple, une alimentation riche en herbe augmente la teneur en oméga-3. (Jensen, 2002)

La matière grasse est essentielle à la fabrication de beurre et de fromage, et peut être extraite sous forme de crème. (Park & Haenlein, 2013)

2.3 Protéines

Les protéines du lait cru représentent environ 3,0 à 3,5 % de la composition totale, principalement sous forme de caséines (80 %) et de protéines solubles. Les caséines forment des micelles nécessaires à la coagulation fromagère, tandis que les protéines solubles, comme la lactalbumine et la lactoglobuline, sont importantes pour la nutrition et la stabilité des produits. (Walstra et al., 2006)

Elles sont riches en acides aminés essentiels, ce qui en fait une source nutritionnelle précieuse. (Ahmed et al., 2016)

2.4 Lactose

Le lactose est le glucide principal du lait cru, représentant environ 4,5 %. Il fournit une source d'énergie rapide, facilite l'absorption du calcium et joue un rôle majeur dans la fermentation pour la production de yaourts et fromages. (Schaafsma, 2008)

2.5 Lipides

Les lipides du lait cru représentent environ 3,5 à 4,5 % et varient selon l'alimentation des animaux : une alimentation riche en herbe augmente la proportion d'acides gras insaturés. Les lipides favorisent aussi l'absorption des vitamines liposolubles (A, D, E, K) et influencent la texture et le goût des produits laitiers. (Park, 2009)

2.6 Minéraux

Les minéraux du lait cru, bien que ne représentant que 0,7 % de sa composition, jouent un rôle crucial dans la nutrition. (Fox & McSweeney, 2015)

On y trouve notamment calcium, phosphore, potassium, magnésium et zinc, essentiels pour le squelette, le système nerveux et musculaire. Ces minéraux participent aussi à la coagulation lors de la transformation en fromage. (Walstra et al., 2006)

Partie Expérimentale

Chapitre 1. Matériel & Méthodes

1 Problématique & objectifs

La problématique centrale de cette étude repose sur l'importance cruciale de contrôler la contamination microbiologique du lait cru, notamment en ce qui concerne la présence d'entérobactéries, qui représentent un indicateur majeur de la qualité sanitaire du lait. En effet, la consommation de lait cru non pasteurisé expose les consommateurs à des risques sanitaires importants, liés à la possible présence de micro-organismes pathogènes.

Dans ce contexte, notre recherche s'inscrit dans une démarche d'évaluation de la qualité microbiologique du lait cru local. Plus précisément, dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM), ainsi que les populations de coliformes totaux et de coliformes fécaux présents dans des échantillons de lait cru collectés sur le terrain. Ces groupes bactériens sont des indicateurs essentiels de la contamination fécale et de l'hygiène au cours de la production, du stockage et du transport du lait.

L'analyse des paramètres microbiologiques réalisés dans cette étude vise à évaluer la qualité hygiénique du lait cru collecté dans les élevages de la région, en identifiant notamment la présence de flore indicatrice d'altération ou de contamination fécale. Ces résultats permettront non seulement d'apprécier l'état sanitaire des échantillons, mais également d'estimer les risques pour la santé publique liés à la consommation de produits laitiers non pasteurisés.

En parallèle, l'étude des caractéristiques physico-chimiques du lait cru — incluant notamment la teneur en matière grasse, en protéines, en lactose, ainsi que des paramètres comme le pH, la densité ou la conductivité — permettra de juger de la conformité des échantillons aux normes de qualité en vigueur et de détecter d'éventuelles fraudes (mouillage, écrémage partiel, etc.) ou altérations dues à des conditions inadéquates de production ou de conservation.

Ainsi, en combinant les deux volets d'analyse, cette étude vise à produire des données fiables et objectives sur l'état global du lait cru produit localement, afin de soutenir les actions de contrôle sanitaire et d'appuyer les recommandations nécessaires à l'amélioration de la qualité et de la sécurité alimentaire dans la filière laitière régionale.

2 Durée et lieu de l'étude

L'étude a été menée au sein du laboratoire de Microbiologie relevant de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Ahmed Zabana de Relizane, équipé pour la

Chapitre 1. Matériel & Méthodes

réalisation d'analyses microbiologiques. Les travaux ont été effectués au cours du mois de février à avril 2025, période durant laquelle les échantillons de lait cru ont été collectés, traités et analysés selon des méthodes microbiologiques standards.

3 Analyse microbiologique du lait cru

3.1 Échantillonnage

L'analyse a porté sur quinze (15) échantillons de lait cru, collectés dans plusieurs exploitations agricoles situées dans la région d'Oued Rhiou et de Relizane (Algérie). Conformément à la norme ISO 707:2008, qui spécifie les méthodes normalisées d'échantillonnage du lait et des produits laitiers, les prélèvements ont été effectués de manière rigoureuse afin de garantir la représentativité et l'intégrité des échantillons

Chaque échantillon, d'un volume compris entre 20 et 50 mL, a été prélevé directement à partir des cuves de lait ou des récipients de collecte, en s'assurant que le lait ait été bien homogénéisé avant le prélèvement (recommandation de la norme). Le prélèvement a été réalisé à l'aide de flacons stériles en plastique à usage unique, fermés hermétiquement, pour éviter toute contamination croisée. Avant chaque prélèvement, les ouvertures des cuves ont été soigneusement nettoyées et désinfectées.

La norme ISO 707:2008 stipule également que les flacons doivent être clairement identifiés, et que les échantillons doivent être réfrigérés immédiatement après prélèvement. Ainsi, chaque flacon a été placé dans une glacière isotherme pour préserver la flore microbienne naturelle jusqu'à l'analyse. Le transport vers le laboratoire a été effectué dans un délai maximal de 6 heures, conformément aux bonnes pratiques recommandées par le **Codex Alimentarius** – Directives générales d'échantillonnage CAC/GL 50-2004

Les échantillons ont été transportés à 4 °C dans un conteneur isotherme avec de la glace, selon la norme ISO 6887-1:2010 relative à la préparation des échantillons pour analyses microbiologiques (éviter la croissance bactérienne jusqu'à l'analyse).

Le délai entre prélèvement et analyse au laboratoire a varié de 8 à 24 heures, ce qui respecte les bonnes pratiques de laboratoire définies par le Codex Alimentarius – Code de pratique pour le lait et les produits laitiers (CXC 57-2004)

Chapitre 1. Matériel & Méthodes

Cette procédure rigoureuse permet de préserver l'intégrité microbiologique du lait et d'assurer la représentativité des résultats, tout en limitant au maximum les effets de la température, du temps et des contaminations secondaires.



Figure 03. Échantillons de lait conditionnés en flacons stériles

3.2 Préparation des Milieux de culture

3.2.1 Milieu Plate Count Agar

Le milieu PCA permet de compter les bactéries aérobies mésophiles dans le lait cru. Il est utilisé pour évaluer sa qualité microbiologique selon les normes internationales. (ISO 4833-1:2010 ; FAO, 2022)

Dans cette étude, 17,5 g de PCA ont été dissous dans 1 L d'eau distillée, puis chauffés jusqu'à ébullition pour assurer une bonne dissolution des composants. Le pH du milieu a été contrôlé et ajusté à $7,0 \pm 0,2$ si nécessaire. Le milieu a ensuite été stérilisé à 121 °C pendant 15 minutes à l'autoclave,.

Chapitre 1. Matériel & Méthodes



Figure 4. Gélose PCA en cours de dissolution sur agitateur magnétique chauffant

3.2.2 Milieu Violet Red Bile Glucose Agar

Le milieu VRBG est un milieu sélectif et différentiel utilisé pour le dénombrement des coliformes totaux et des entérobactéries dans les aliments comme le lait cru. Il contient du glucose comme source de carbone et des agents inhibiteurs (violet de cristal, bile de bœuf) qui suppriment les bactéries non coliformes tout en favorisant les entérobactéries fermentant le glucose □ (ISO :2010 ; FAO, 2022)

Dans cette étude, 36,53 g de VRBG ont été dissous dans 1 L d'eau distillée, puis chauffés à 100 °C jusqu'à dissolution complète. Le pH a été ajusté à $7,4 \pm 0,2$ si nécessaire, à l'aide de NaOH ou HCl dilués. Le milieu a ensuite été stérilisé à 121 °C pendant 15 minutes en autoclave, conformément aux recommandations des normes en microbiologie alimentaire (ISO 2010 ; FAO, 2022)

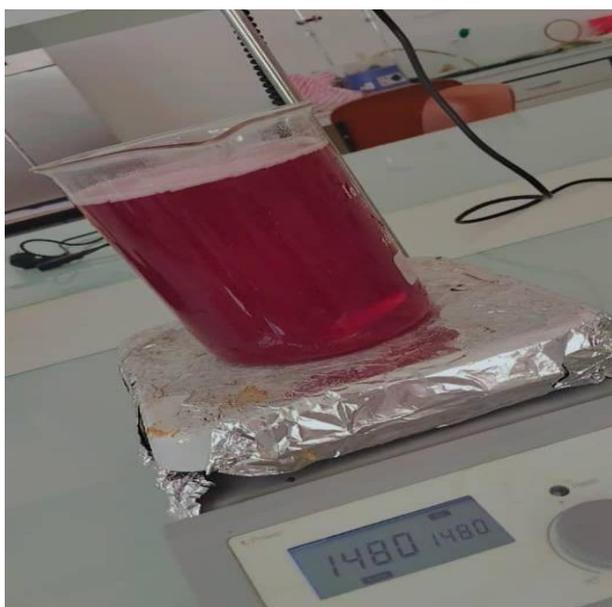


Figure 5. Gélose VRBG en cours de dissolution sur agitateur magnétique chauffant.

3.2.3 Milieu Violet Red Bile Lactose Agar

Le milieu VRBL est utilisé pour le dénombrement des coliformes fécaux, indicateurs de contamination d'origine fécale dans des aliments comme le lait cru. Il contient du lactose comme source de carbone fermentescible, ainsi que des agents sélectifs (bile et violet de cristal) qui inhibent les bactéries non coliformes (ISO 4832:2006; (Quigley et al., 2013)

Dans cette étude, 36,53 g de poudre de VRBL (Figure 5) ont été dissous dans 1 L d'eau distillée, puis chauffés à 100 °C jusqu'à dissolution complète (Figure 06). Le pH a été vérifié et ajusté à $7,4 \pm 0,2$ si nécessaire, conformément aux bonnes pratiques de préparation des milieux (ISO 2023). La solution a ensuite été stérilisée à 121 °C pendant 15 minutes, puis refroidie à 45 °C avant l'ensemencement afin d'éviter la dégradation des composants sensibles (FAO, 2022).



Figure 6. Gélose VRBL en cours de dissolution sur agitateur magnétique chauffant (photo originale).

3.3 Préparation de l'eau peptonée salée

L'eau peptonée salée est un diluant isotonique utilisé pour la préparation des dilutions décimales en microbiologie. Elle maintient les bactéries vivantes sans favoriser leur multiplication, ce qui la rend adaptée aux analyses microbiologiques de routine (ISO 4832:2006; FAO ;WHO, 2020)

Pour la préparation du diluant peptoné salé, 1 g de peptone et 8,5 g de NaCl ont été dissous dans 1 000 mL d'eau distillée, puis chauffés à 100 °C jusqu'à dissolution complète (Figure 09). Le pH a été vérifié et ajusté à $7,4 \pm 0,2$ si nécessaire, conformément à la norme ISO 6887-1:2017. La solution a été répartie à raison de 9 mL par tube stérile, stérilisée à

Chapitre 1. Matériel & Méthodes

121 °C pendant 15 minutes, puis stockée à 4 °C jusqu'à utilisation (ISO 4832:2006; FAO/WHO, 2020)

3.4 Dilution des échantillons

Dans le cadre de cette étude, la dilution des échantillons de lait cru a été effectuée selon une procédure rigoureuse, fondée sur les principes de la microbiologie alimentaire et en conformité avec la norme ISO 6887-1:2017 et ISO 7218:2007, qui définissent les méthodes de préparation des suspensions pour analyses microbiologiques et précisent le domaine de comptage optimal (30 à 300 colonies), garantissant la fiabilité des résultats (Jay et al., 2020).

Les dilutions (Figure 10) ont été réalisées dans des tubes à essai stériles contenant 9 mL d'eau peptonée, en utilisant des micropipettes automatiques stériles avec embouts à usage unique. Pour garantir un environnement aseptique, toutes les manipulations ont été réalisées à proximité immédiate d'un bec Bunsen allumé, sur une paillasse préalablement désinfectée. Les transferts ont été réalisés avec soin, et chaque tube a été étiqueté selon le numéro d'échantillon et le niveau de dilution correspondant.

Les échantillons ont été dilués à partir d'un volume de 1 mL de lait cru, transféré dans un tube contenant 9 mL de diluant pour obtenir la dilution 10^{-1} . Des dilutions successives ont ensuite été préparées, allant jusqu'à 10^{-5} ou 10^{-6} , afin d'assurer un comptage lisible et interprétable sur les milieux de culture solides.

Après chaque ajout de lait dans le diluant, les tubes ont été vigorés manuellement ou à l'aide d'un vortex, garantissant une homogénéisation complète de la suspension. Toutes les opérations ont été répétées avec précaution pour éviter toute erreur de dilution ou contamination.

Pour chaque dilution retenue, deux boîtes de Pétri stériles ont étéensemencées en parallèle, ce qui permet d'assurer la reproductibilité des résultats et d'obtenir une moyenne fiable du nombre d'unités formant colonies (UFC), conformément aux exigences de la norme ISO 7218:2021 en matière de validation statistique des dénombrements microbiens.

Cette approche méthodologique, basée sur les bonnes pratiques de laboratoire, garantit une standardisation des analyses et une interprétation rigoureuse des données microbiologiques, essentielles pour l'évaluation de la qualité sanitaire du lait cru (FAO, 2022; Quigley et al., 2013).



Figure 7. Préparation des dilutions décimales du lait cru pour l'analyse microbiologique

3.5 Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale

Le dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FATM) a été réalisé sur milieu PCA, en suivant la méthode d'ensemencement en profondeur recommandée par la norme ISO 4833-1:2022. Cette flore est considérée comme un indicateur général de la qualité hygiénique du lait cru, reflétant les conditions de traite, de manipulation et de stockage (FAO, 2022).

Après préparation des dilutions décimales dans de l'eau peptonée, les échantillons ont été répartis en trois groupes

- Pour les échantillons 1 à 4, un volume de 1 mL de lait a été prélevé, et les dilutions effectuées allaient jusqu'à 10^{-6} .
- Pour les échantillons 5 à 12, un volume de 0,5 mL a été utilisé avec des dilutions allant jusqu'à 10^{-4} .
- Enfin, pour les échantillons 13 à 15, les dilutions préparées allaient jusqu'à 10^{-3} .

Chaque volume dilué a été transféré aseptiquement dans deux boîtes de Pétri stériles par dilution, puis 15 mL de gélose PCA fondue maintenue à 45 °C a été coulé dans les boîtes de petri. Les boîtes ont été agitées doucement en forme de 8 pour assurer une répartition homogène des micro-organismes dans la gélose. L'incubation a été réalisée à 30 °C pendant 72 heures.

Seules les boîtes présentant entre 25 et 300 colonies ont été retenues pour le calcul du nombre d'unités formant colonies (UFC/mL) conformément à ISO 7218:2021.

3.6 Dénombrement des coliformes fécaux

Le dénombrement des coliformes fécaux, indicateurs spécifiques de contamination d'origine fécale récente, a été effectué à l'aide du milieu VRBL (Violet Red Bile Lactose Agar). Après la réalisation des dilutions (identiques à celles utilisées pour le PCA), 1 mL ou 0,5 mL de chaque dilution a été introduit dans des boîtes de Pétri stériles.

À chaque dilution, 15 mL de gélose VRBL fondue à 45 °C ont été versés, suivis d'une deuxième couche de gélose pour créer un effet anaérobie local et ainsi favoriser la croissance des coliformes fécaux. Cette méthode est conforme aux recommandations de la norme ISO 4832:2022.

L'incubation a été effectuée à 44 °C pendant 24 heures. Seules les boîtes présentant 25 à 300 colonies ont été utilisées pour le calcul des UFC/mL, assurant ainsi la représentativité des résultats et la détection efficace de la contamination fécale (Quigley et al., 2013)

3.7 Dénombrement des coliformes totaux

Le milieu VRBG (Violet Red Bile Glucose Agar) a été utilisé pour quantifier les coliformes totaux et entérobactéries, qui représentent des indicateurs d'hygiène générale, souvent liés à un lavage insuffisant du matériel ou une manipulation non aseptique du lait cru.

Comme pour les milieux précédents, l'ensemencement a été réalisé à partir des dilutions préparées selon le schéma suivant :

- Échantillons 1 à 5 : 1 mL de prélèvement, dilutions 10^{-5} et 10^{-6}
- Échantillons 6 à 12 : 0,5 mL de prélèvement, dilutions 10^{-4} et 10^{-3}
- Échantillons 13 à 15 : 0,5 mL de prélèvement, dilutions 10^{-2} et 10^{-1}

Chaque volume a été déposé dans une boîte de Pétri stérile, suivi de 15 mL de gélose VRBG fondue à 45 °C, puis d'une deuxième couche de gélose pour renforcer l'effet sélectif du milieu.

L'incubation s'est déroulée à 37 °C pendant 24 heures, température optimale pour le développement des coliformes totaux. Les colonies typiques ont été dénombrées uniquement sur les boîtes contenant entre 25 et 300 colonies, selon les critères de la norme ISO 21528-2:2017. Cette méthode permet une évaluation précise de l'hygiène générale de la filière laitière (FAO, 2022 ISO 7218:2021).

3.8 Comptage des colonies et calcul des résultats

Après la période d'incubation propre à chaque milieu de culture (72 h à 30 °C pour le PCA ; 24 h à 44 °C pour le VRBL ; 24 h à 37 °C pour le VRBG), les boîtes de Pétri ont été inspectées visuellement afin d'identifier et de compter les colonies caractéristiques.

Conformément aux recommandations de la norme ISO 7218:2021, seules les boîtes présentant un nombre de colonies compris entre 25 et 250 ont été retenues pour le calcul du nombre d'unités formant colonies (UFC).

Le calcul du nombre d'UFC par millilitre de lait brut a été effectué selon la formule suivante :

$$\text{UFC/mL} = \frac{\text{Nombre moyen de colonies comptées} \times \text{facteur de dilution}}{\text{Volumeensemencé (mL)}}$$

Lorsque deux boîtes ont étéensemencées pour une même dilution, la moyenne des deux comptages a été calculée pour chaque dilution retenue. Dans les cas où plusieurs dilutions successives donnaient des résultats valides (entre 25 et 250 colonies), une moyenne pondérée a été calculée selon la formule prévue par ISO 7218, incluant les deux dilutions adjacentes, afin d'assurer une précision accrue du dénombrement final.

Ce mode de calcul a été appliqué de manière systématique pour tous les milieux étudiés (PCA, VRBL, VRBG), permettant une quantification fiable de la charge microbienne dans les échantillons de lait cru avant toute dilution.

4 Analyse physico-chimique du lait cru :

L'analyse physico-chimique des échantillons de lait cru a été effectuée à l'aide du Lactoscan (Figure 8). Ultrasonic Milk Analyzer, un appareil automatisé de haute précision basé sur la technologie à ultrasons, conçu pour fournir rapidement des résultats fiables sur la composition du lait (Stojanovic et al., 2021). Cet analyseur est largement utilisé dans le contrôle de qualité des produits laitiers bruts en raison de sa rapidité, de sa facilité d'utilisation et de sa précision.

Paramètres mesurés

Pour chaque échantillon, les paramètres suivants ont été évalués :

- **Densité (g/cm³)** : indicateur de la composition globale du lait, notamment en matière grasse et en extraits secs,
- **Teneur en matière grasse (%)** : principale fraction énergétique du lait, essentielle dans la transformation fromagère ou beurrière,

Chapitre 1. Matériel & Méthodes

- **Lactose (%)** : sucre naturel du lait, responsable de sa douceur et de sa fermentation,
- **Protéines (%)** : composantes nutritionnelles majeures, notamment les caséines et lactoprotéines,
- **Point de congélation (°C)** : utilisé comme **critère d'authenticité** du lait et pour détecter un éventuel mouillage,
- **Extrait sec total (%)** : ensemble des matières non aqueuses du lait, incluant les protéines, lipides, lactose et minéraux,
- **Conductivité électrique (mS/cm)** : indicateur indirect de la santé de la glande mammaire (valeurs élevées peuvent suggérer une infection telle que la mammite).



Figure8. Appareil de mesure physico-chimique du lait

4.1 Procédure d'analyse

Avant l'analyse, chaque échantillon a été agité doucement et soigneusement afin d'assurer une répartition homogène des constituants du lait, en particulier les matières grasses. Un volume d'environ 20 mL de lait cru a été prélevé à température ambiante, puis introduit dans un bêcher selon les recommandations spécifiques du fabricant.

Entre chaque échantillon, un rinçage à l'eau distillée a été systématiquement réalisé pour éviter toute interférence entre les mesures. Ce nettoyage a permis de garantir la fiabilité des résultats et de maintenir l'intégrité de chaque lecture.

Chapitre 1. Matériel & Méthodes

Les données obtenues ont été enregistrées et analysées par voie numérique. Elles ont permis une évaluation rapide et simultanée des paramètres physico-chimiques clés de chaque échantillon, ce qui est essentiel pour établir un profil complet de qualité du lait cru examiné .

Chapitre II.

Résultats & Discussion

1 Résultats de l'analyse microbiologique

L'étude microbiologique a porté sur 15 échantillons de lait cru, analysés sur trois milieux sélectifs : PCA pour la Flore Totale Aérobie Mésophile (FTAM), VRBL pour les coliformes fécaux, et VRBG pour les coliformes totaux. Le dénombrement des colonies a permis de quantifier la charge microbienne en unités formant colonies par millilitre (UFC/mL) pour chaque paramètre.

1.1 Flore Totale Aérobie Mésophile

Les résultats (**Tableau 5**) obtenus sur le milieu PCA (**Figur9**) révèlent une charge bactérienne globale dans plusieurs échantillons. Les échantillons 1 ,2 ,3 ,4 et 5 affichent des moyennes de 4.65×10^7 , 4.96×10^7 , 7.60×10^6 , 5.55×10^6 , 7.1×10^6 UFC/mL, indiquant une charge bactérienne importante dépassant les seuils réglementaires pour le lait cru destiné à la consommation.



Figure 9. Flore totale aérobie mésophile (photo original)

La contamination peut également être accentuée par des facteurs environnementaux ou croisés, notamment lors des phases de stockage, de transport du lait.

Les autres échantillons analysés affichent des niveaux de contamination plus modérés, traduisant une variabilité inter-échantillon significative, probablement influencée par les pratiques d'élevage, le niveau de formation des opérateurs et la rigueur appliquée aux procédures d'hygiène.

Ces résultats (**Tableau 6**) mettent en évidence la nécessité d'un encadrement rigoureux des bonnes pratiques d'hygiène à la ferme, couplé à un suivi microbiologique régulier, afin d'assurer la sécurité du lait cru destiné à la consommation.

Chapitre II. Résultats & Discussion

Tableau 4 . Flore Totale Aérobie Mésophile (FTAM)

Echantillon	FTAM
1	4.65×10^7
2	4.96×10^7
3	7.60×10^6
4	5.55×10^6
5	7.1×10^6
6	4.38×10^5
7	2.40×10^5
8	1.97×10^5
9	8.70×10^4
10	4.50×10^4
11	3.20×10^4
12	1.20×10^2
13	2.30×10^2
14	1.10×10^2
15	3.20×10^2
Moyenne	7.80×10^6
Norme	3×10^6

Le dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM) sur gélose PCA a permis de mettre en évidence une contamination microbienne généralisée du lait cru analysé. Les charges observées, parfois très élevées, confirment le caractère hautement périssable de ce produit et son aptitude à favoriser la multiplication bactérienne en l'absence de conditions de conservation appropriées (Sow et al., 2023).

Cette flore comprend à la fois les bactéries naturellement présentes dans le lait sain et celles introduites par contamination environnementale, notamment au cours de la traite, du contact avec le matériel ou de la manipulation humaine. Elle constitue un indicateur global de la qualité sanitaire du lait, utilisé dans de nombreuses normes pour évaluer la conformité microbiologique des produits laitiers (ISO 4833-1:2013 ; Codex Alimentarius, 1999).

Par ailleurs, (Hamiroune et al. 2016) soulignent que la charge microbienne augmente progressivement tout au long de la chaîne de production, du pis de la vache jusqu'à la cuve de collecte. Cette observation est cohérente avec les résultats obtenus ici, et met en évidence l'effet cumulatif des contaminations successives dues aux mains des trayeurs, aux équipements insuffisamment désinfectés et aux contenants non stériles.

Chapitre II. Résultats & Discussion

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette contamination :

- **Hygiène de traite insuffisante** : des mains sales, des trayons non nettoyés ou mal désinfectés favorisent l'introduction de micro-organismes.
- **Équipements mal entretenus** : les unités de traite ou les seaux de collecte mal nettoyés peuvent héberger des bactéries, qui sont transférées au lait lors de la traite.
- **Refroidissement tardif** : un délai entre la traite et le refroidissement favorise la prolifération des bactéries mésophiles, surtout si la température ambiante est élevée.
- **Stagnation du lait** dans des conditions inadéquates (locaux chauds, récipients non stériles), favorise une croissance rapide de ces germes.

Ce type de contamination témoigne d'un manque de maîtrise des **bonnes pratiques d'hygiène** tout au long de la chaîne de production, de la traite au stockage.

La charge élevée en FTAM constitue un **signal d'alerte sanitaire**, car ces bactéries accélèrent la dégradation du lait, réduisent sa durée de conservation et compromettent sa qualité technologique pour les produits dérivés.

Bien que certains échantillons présentent des niveaux modérés, la variabilité des résultats suggère une **inégalité dans l'application des protocoles d'hygiène** d'une ferme à l'autre, voire d'un moment de collecte à un autre.

Ces constats soulignent l'urgence de :

- Former les opérateurs à la maîtrise de l'hygiène de traite,
- Mettre en place un **refroidissement immédiat** du lait,
- Réaliser un **suivi microbiologique régulier**.

1.2 Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux constituent (**Figure 10**) des indicateurs microbiologiques essentiels pour évaluer la qualité sanitaire du lait cru, car leur présence révèle une contamination récente d'origine fécale. Ces bactéries, appartenant principalement au genre *Escherichia* et à d'autres entérobactéries, sont utilisées comme marqueurs de pollution fécale et potentiellement pathogène. Dans notre étude, les coliformes fécaux ont été détectés à des concentrations généralement inférieures à celles observées pour la Flore Totale Aérobie Mésophile (FTAM), mais leur présence demeure significative et préoccupante.

Chapitre II. Résultats & Discussion

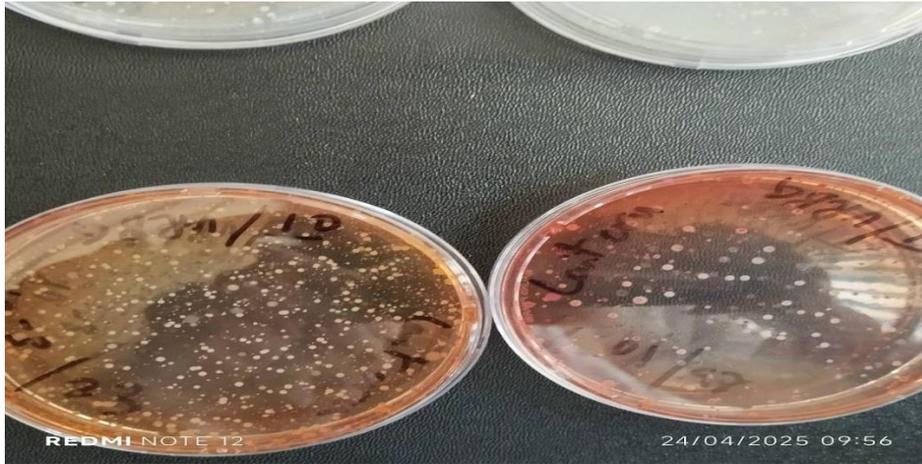


Figure 10. Gélose VRBL pour le dénombrement des coliformes totaux.

Par exemple, l'échantillon 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 présente des charges bactériennes supérieures à la norme qui est d'environ 5×10^3 (UFC/mL), ce qui indique un risque sanitaire important. Une telle charge bactérienne témoigne d'une contamination récente et active, susceptible d'entraîner des risques pour la santé des consommateurs, notamment par la présence possible de pathogènes entériques comme *Salmonella*, *Shigella*, ou certaines souches toxigènes d'*Escherichia coli*.

Enfin, la détection de coliformes fécaux à des niveaux élevés dans certains échantillons de lait cru souligne la nécessité impérative d'un contrôle rigoureux et d'une amélioration des conditions sanitaires dans la filière laitière afin de protéger la santé publique.

Tableau 5. Coliformes fécaux

Echantillon	Coliformes
	fécaux
1	2.80×10^6
2	2.25×10^6
3	1.05×10^6
4	1.60×10^6
5	5.50×10^5
6	6.50×10^4
7	7.60×10^4
8	5.40×10^4
9	3.20×10^4
10	1.00×10^4
11	Absent

Chapitre II. Résultats & Discussion

12	Absent
13	Absent
14	Absent
15	Absent
Moyenne	5.66×10^5
Norme	5×10^3

Le dénombrement des coliformes totaux sur milieu VRBL (Violet Red Bile Lactose Agar) constitue une méthode de référence pour l'évaluation de la qualité hygiénique du lait cru. Ces bactéries sont considérées comme des indicateurs classiques de contamination fécale, traduisant des conditions d'hygiène défaillantes lors de la traite, du stockage ou de la manipulation post-traite .

Dans la présente étude, la présence significative de coliformes totaux dans plusieurs échantillons indique une contamination microbienne importante, probablement liée à des pratiques inadéquates de nettoyage des équipements ou à un environnement de traite peu maîtrisé. Ces résultats rejoignent ceux rapportés par Moussa et al. (2023), qui soulignent une fréquence élevée de coliformes dans les laits crus collectés en milieu rural en Algérie.

La présence de coliformes thermotolérants, et en particulier de souches d'*Escherichia coli*, constitue un indicateur de contamination fécale récente et suggère un risque sanitaire accru, notamment en cas de consommation directe de lait non pasteurisé. Comme l'ont souligné Mammeri et al. (2016), ce type de contamination peut être directement attribué à l'usage de matériels non désinfectés, à un lavage insuffisant des mains et à une mauvaise gestion de l'environnement de traite.

En conclusion, la présence abondante de coliformes totaux et thermotolérants dans les échantillons étudiés alerte sur la nécessité de renforcer les mesures d'hygiène et de prévention à la ferme, afin de réduire les risques de transmission de pathogènes entériques au consommateur.

Cette contamination fécale est généralement imputable à des pratiques d'hygiène déficientes lors de la production laitière. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation :

- **Contamination directe par des matières fécales** : la proximité des animaux avec leurs déjections, la présence de bouse ou d'une litière souillée dans les aires de traite ou d'élevage favorisent le transfert de bactéries fécales sur les trayons des animaux.

Chapitre II. Résultats & Discussion

- **Lavage insuffisant ou inadapté des trayons** : un nettoyage incomplet ou inefficace des trayons avant la traite ne permet pas d'éliminer les bactéries présentes, augmentant ainsi la charge microbienne transmise au lait.
- **Utilisation d'eau non potable ou contaminée** : l'emploi d'eau de qualité douteuse pour le lavage des équipements, des mains ou des animaux constitue une source majeure de contamination.
- **Conditions d'hygiène générales défaillantes** : absence de désinfection régulière des matériels de traite, locaux mal entretenus, ou manipulation du lait dans des conditions non stériles.

Ces facteurs combinés expliquent la persistance et la multiplication des coliformes fécaux dans le lait cru, compromettant sa qualité microbiologique et sa sécurité sanitaire. La présence de ces bactéries est un signal d'alarme qui impose la mise en œuvre de mesures correctives strictes, telles que l'amélioration des pratiques d'hygiène lors de la traite, l'utilisation d'eau potable pour le nettoyage, et la formation des éleveurs aux bonnes pratiques d'hygiène.

1.3 Coliformes totaux

Les coliformes totaux (**Figure 13**) représentent un groupe hétérogène de bactéries indicatrices largement utilisées pour évaluer la qualité microbiologique et l'hygiène des produits alimentaires, notamment du lait cru. Ces bactéries regroupent à la fois les coliformes fécaux et d'autres bactéries d'origine environnementale, présentes dans le sol, l'eau, les végétaux ou sur les surfaces de contact. Leur détection dans les échantillons de lait cru est donc un indicateur précieux de la contamination environnementale et des conditions sanitaires lors de la production et de la manipulation du lait.

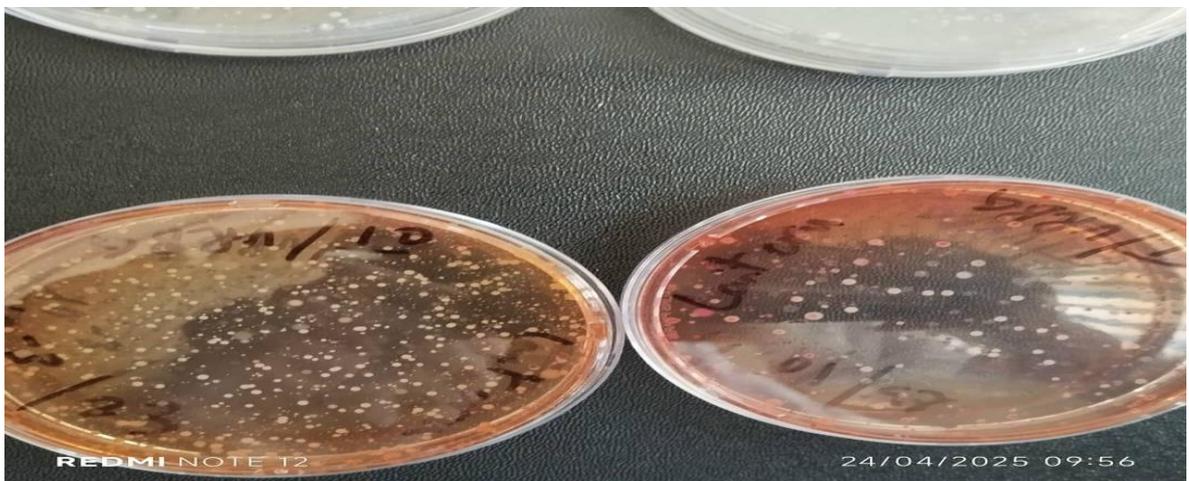


Figure 11. Gélose VRBG pour le dénombrement des entérobactéries.

Chapitre II. Résultats & Discussion

Dans notre étude, les coliformes totaux ont été détectés à des concentrations généralement inférieures à celles observées pour la Flore Totale Aérobie Mésophile (FTAM) et les coliformes fécaux. À titre d'exemple, les échantillons 1, 2, 4, 6, 7, et 8 présente une charge microbienne qui dépasse la norme moyenne d'environ 10^3 UFC/mL, ce qui traduit une contamination modérée mais non négligeable. Toutes fois les coliformes été Absent dans les échantillons restants.

La présence de coliformes totaux à ces niveaux indique que, même si la contamination fécale directe peut être limitée, des failles dans la maîtrise de l'environnement et des pratiques de nettoyage existent. Ces bactéries, bien que souvent non pathogènes en elles-mêmes, sont des indicateurs sensibles d'une hygiène insuffisante et peuvent favoriser la croissance d'autres micro-organismes indésirables, compromettant la qualité et la sécurité du lait.

En conséquence, il est essentiel de renforcer les mesures d'hygiène, notamment en améliorant la qualité de l'eau de nettoyage, en assurant un lavage et une désinfection rigoureuse des équipements, et en limitant l'exposition du lait à des sources potentielles de contamination environnementale. Ces actions permettront de réduire la charge microbienne globale et d'améliorer la sécurité sanitaire des produits laitiers.

Tableau 6. Coliformes totaux

Coliformes Totaux	
Echantillon	UFC/ml
1	5×10^5
2	5×10^4
3	Absent
4	5×10^5
5	Absent
6	1.00×10^4
7	2.10×10^4
8	1.00×10^4
9	Absent
10	Absent
11	Absent
12	Absent
13	Absent
14	Absent
15	Absent
Moyenne	7.27×10^4
Norme	10^3

Chapitre II. Résultats & Discussion

La détection d'entérobactéries sur gélose VRBG (**Tableau 8**), et en particulier, est un indicateur précis de contamination fécale et d'un risque accru pour la santé publique. Nos résultats montrent une présence marquée de ces bactéries, confirmant les observations de plusieurs études (Sow et al, 2022; Moussa et al, 2023). Cette contamination est souvent associée à des pratiques d'hygiène inadéquates. La présence des entérobactéries pathogènes dans le lait cru souligne l'importance de mesures correctives.

Cette contamination environnementale peut résulter de plusieurs facteurs liés aux conditions d'hygiène et aux pratiques de production.

- **Qualité inadéquate de l'eau utilisée** : L'eau employée pour le nettoyage des équipements, des surfaces de traite ou même des animaux peut être une source importante de coliformes totaux si elle est contaminée ou insuffisamment traitée.
- **Nettoyage insuffisant des ustensiles et matériels de traite** : Un lavage incomplet, l'absence de désinfection ou l'utilisation de matériels usés et difficiles à nettoyer favorisent la prolifération et la persistance de ces bactéries sur les surfaces en contact avec le lait.
- **Exposition prolongée du lait à l'air ambiant** : Le lait cru laissé à température ambiante ou exposé à des surfaces non stériles peut être contaminé par des coliformes présents dans l'environnement, notamment via des aérosols, la poussière ou les mains des opérateurs.
- **Conditions d'hygiène générales déficientes** : Le non-respect des bonnes pratiques d'hygiène, comme l'absence de port de gants, le manque de nettoyage régulier des locaux, ou la manipulation inadéquate du lait, contribue à la contamination secondaire par ces bactéries.

2 Analyses Physicochimique

L'analyse de quinze échantillons de lait a été effectuée à l'aide d'un appareil Lactoscan, qui permet une évaluation rapide et précise de plusieurs paramètres physico-chimiques du lait. Les variables mesurées comprenaient la matière grasse, le taux d'eau, les protéines, la densité, la température au moment de l'analyse, ainsi que la teneur en lactose. Les résultats (Tableau 9) ont révélé des variations significatives, bien que globalement cohérentes avec les normes de qualité du lait cru.

Chapitre II. Résultats & Discussion

Tableau 7 Résultats des analyses physico-chimiques du lait cru

Échantillon	MG (%)	P (%)	D (g/cm ³)	Lactose (%)	pH	Sel (%)	FP (°C)	W (%)
1	2.99	3.33	1.028	4.35	6.7	0.6	0.46	1.3
2	2.88	3.31	1.027	4.3	6.7	0.71	0.56	0.0
3	3.0	3.31	1.029	4.37	6.7	0.67	0.552	4.81
4	3.09	3.27	1.029	4.43	6.7	0.7	0.548	0.0
5	2.91	3.42	1.028	4.35	6.7	0.72	0.56	0.0
6	2.85	3.36	1.028	4.31	6.7	0.63	0.47	9.61
7	2.93	3.28	1.028	4.39	6.7	0.48	0.376	7.8
8	2.92	3.38	1.027	4.31	6.7	0.62	0.482	7.3
9	3.0	3.3	1.027	4.33	6.7	0.65	0.53	0.0
10	3.09	3.33	1.029	4.34	6.7	0.68	0.56	0.0
11	2.91	3.33	1.028	4.29	6.7	0.64	0.562	0.0
12	2.9	3.33	1.027	4.28	6.7	0.6	0.511	0.0
13	2.94	3.34	1.029	4.36	6.7	0.72	0.522	0.0
14	2.89	3.31	1.028	4.27	6.7	0.73	0.583	0.0
15	2.86	3.31	1.027	4.25	6.6	0.64	0.591	0.0

MG (%) : Matière grasse ; D (kg/m³) : Densité (g/cm³) ; P (%) : Protéine ; L (%) : Lactose ; W WAT (%) : Eau ajoutée ; T TEMP (°C) : Température FP (°C) : Point de congélation ; S (%) : Matière minérale ; pH : potentiel hydrogène

2.1 Matière grasse

Concernant la matière grasse (Figure 14), les valeurs obtenues varient de 2.85% à 3.09% avec une moyenne générale estimée à 2.94 %. Cette teneur lipidique était en dessous des normes algériennes (34 g/l), des normes AFNOR du lait qui tolèrent des valeurs se situant entre 34 à 36 g/L. Les échantillons affichant les valeurs légèrement élevées peuvent être liés à des facteurs tels que le stade de lactation ou le type de race laitière. À l'inverse, les

Chapitre II. Résultats & Discussion

échantillons présentant des valeurs plus faibles, tels que la plupart des échantillons, pourraient refléter des variations liées à l'alimentation ou à la fréquence de traite.

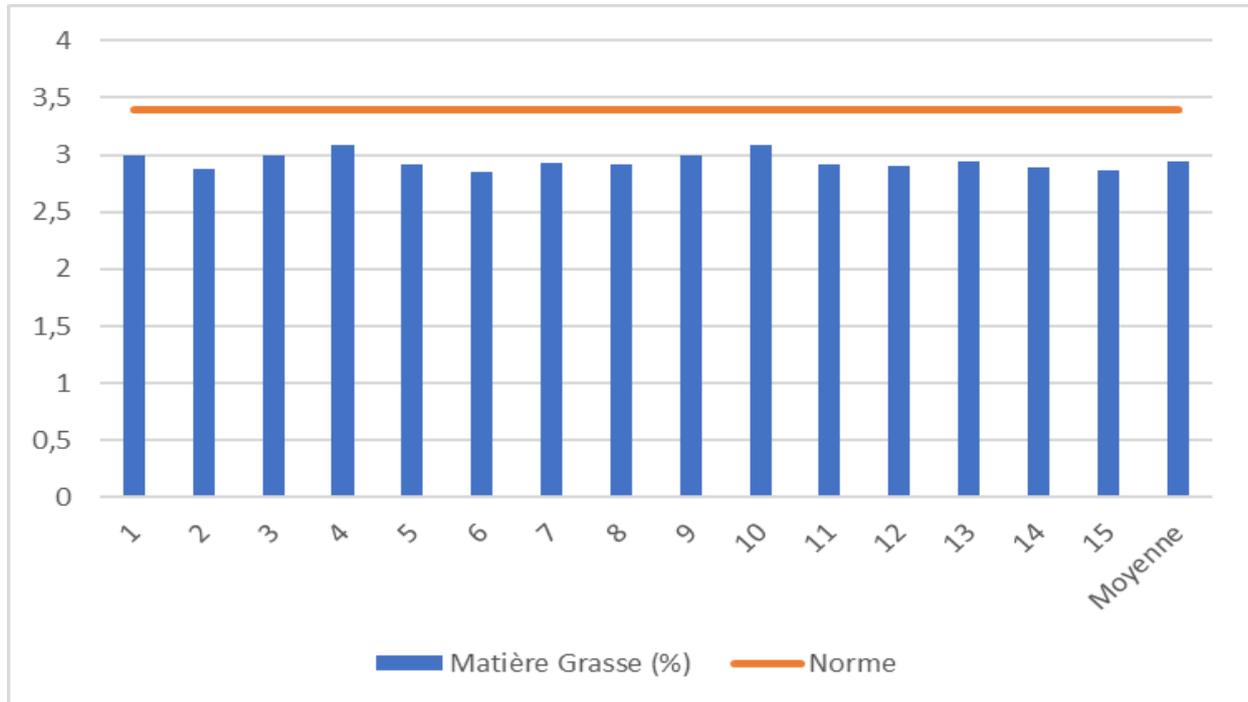


Figure 12. Teneur en MG du lait cru comparée à la norme réglementaire

2.2 Eau ajouté

Les résultats montrent une grande variabilité, avec des valeurs comprises entre 0.0 et 9.61 et une moyenne estimée à 2.05. La majorité des échantillons affichent des valeurs nulles, traduisant une bonne maîtrise des conditions d'hygiène. Cependant, quelques pics élevés révèlent des contaminations ponctuelles qui pourraient être liées à des pratiques de traite ou de nettoyage insuffisantes. Ces écarts soulignent l'importance de contrôler régulièrement la qualité et de renforcer les bonnes pratiques pour garantir un lait cru conforme aux normes sanitaires.

2.3 sels

Concernant la teneur en sels, les valeurs obtenues (Figure 15) varient entre 0,48 g/L et 0,72 g/L, avec une moyenne générale de 0,64 g/L, ce qui reste inférieur à la norme fixée à 0,8 g/L. Cette faible variation indique une bonne stabilité de la composition minérale du lait cru étudié. Les teneurs légèrement plus élevées observées dans certains échantillons (notamment les échantillons 5, 13 et 14) pourraient être liées à des facteurs comme l'état de santé des

Chapitre II. Résultats & Discussion

vaches, le stress thermique, ou le stade avancé de lactation, qui peuvent entraîner une concentration plus élevée en électrolytes.

À l'inverse, les échantillons présentant des teneurs plus faibles peuvent refléter une alimentation équilibrée, un état d'hydratation optimal des animaux, ou encore une bonne fréquence de traite, limitant l'accumulation de sels. Dans l'ensemble, les résultats obtenus suggèrent que le lait cru analysé reste conforme aux exigences de qualité, avec des variations modérées et maîtrisées.

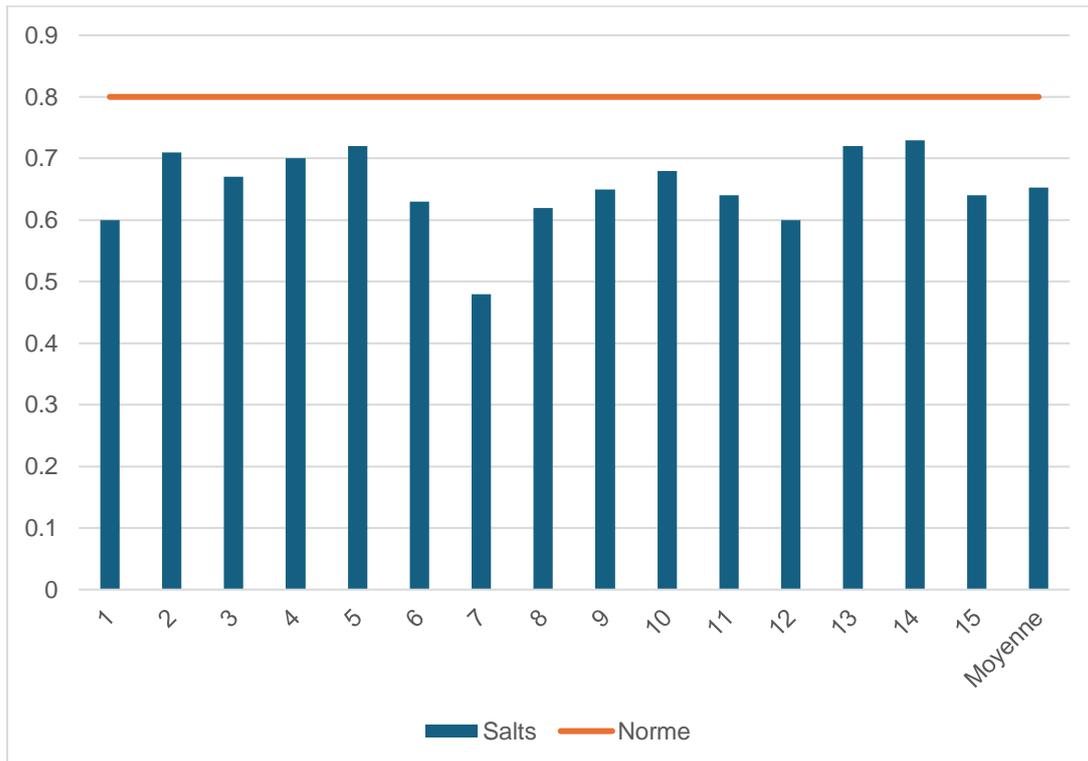


Figure 13. Teneur en sels du lait cru comparée à la norme réglementaire

2.4 Protéines

En ce qui concerne les protéines, les valeurs (Figure 16) varient de 3,27% à 3,42%, avec une moyenne située aux alentours de 3,32%. Ces résultats confirment une teneur protéique convenable pour le lait bovin. Toutefois, quelques échantillons (notamment les 4 et 7) ont présenté des valeurs légèrement inférieures à la moyenne, ce qui pourrait être attribué à une alimentation pauvre ou à des différences physiologiques individuelles chez les animaux producteurs. La valeur moyenne de la matière protéique (33,2 g/l) était supérieure à celle du lait de la race locale étudié par (Boubezari et al 2010) (2,79%) dans la région de Jijel au Nord-Est algérien.

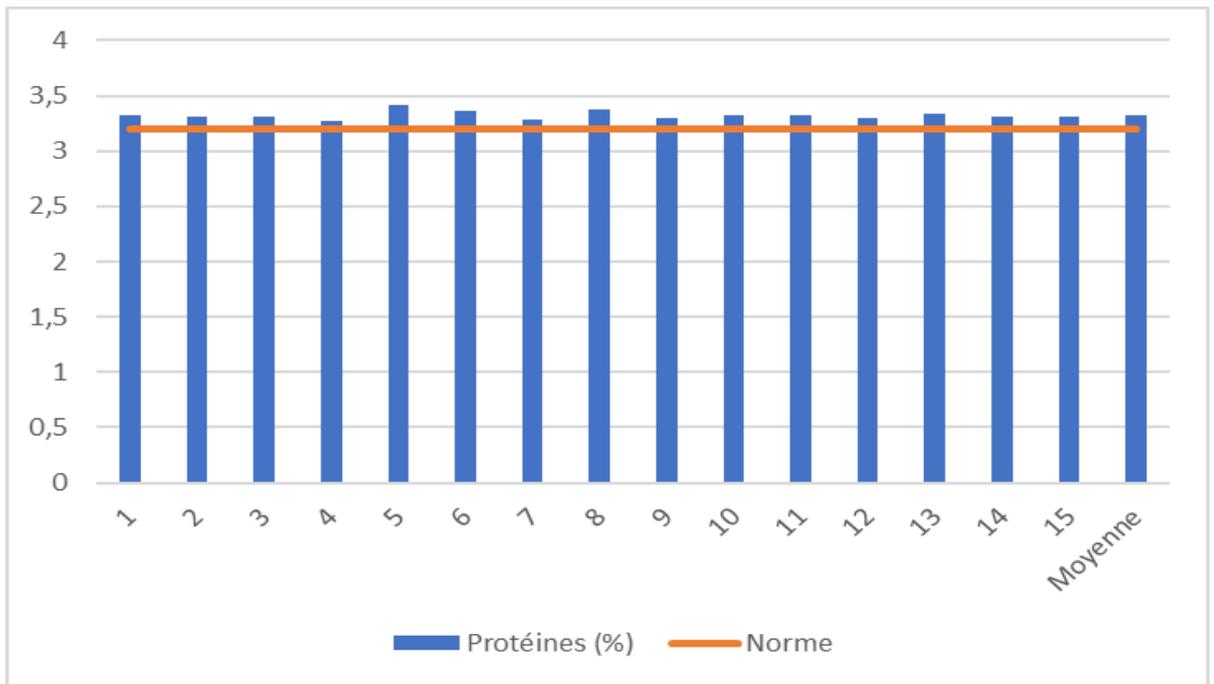


Figure 14. Teneur en Protéine du lait cru comparée à la norme réglementaire

2.5 Densité

La densité du lait, exprimée en g/cm^3 , s'étend de 1.027 à 1.029. Ce paramètre est un bon indicateur de la qualité générale du lait et de son authenticité. Toutes les valeurs enregistrées sont conformes aux normes attendues, suggérant l'absence d'ajouts d'eau ou d'autres substances altérant la composition du produit. Une densité inférieure à 1.027 aurait été un signal d'alerte quant à une potentielle adultération. La moyenne été de 1.028 ce qui est conforme à de la norme (1.028 - 1.034). Toutefois, des valeurs proches de la limite inférieure peuvent indiquer une dilution. Cela nécessite une vigilance accrue, comme indiqué dans l'étude de Siboukeur (2015).

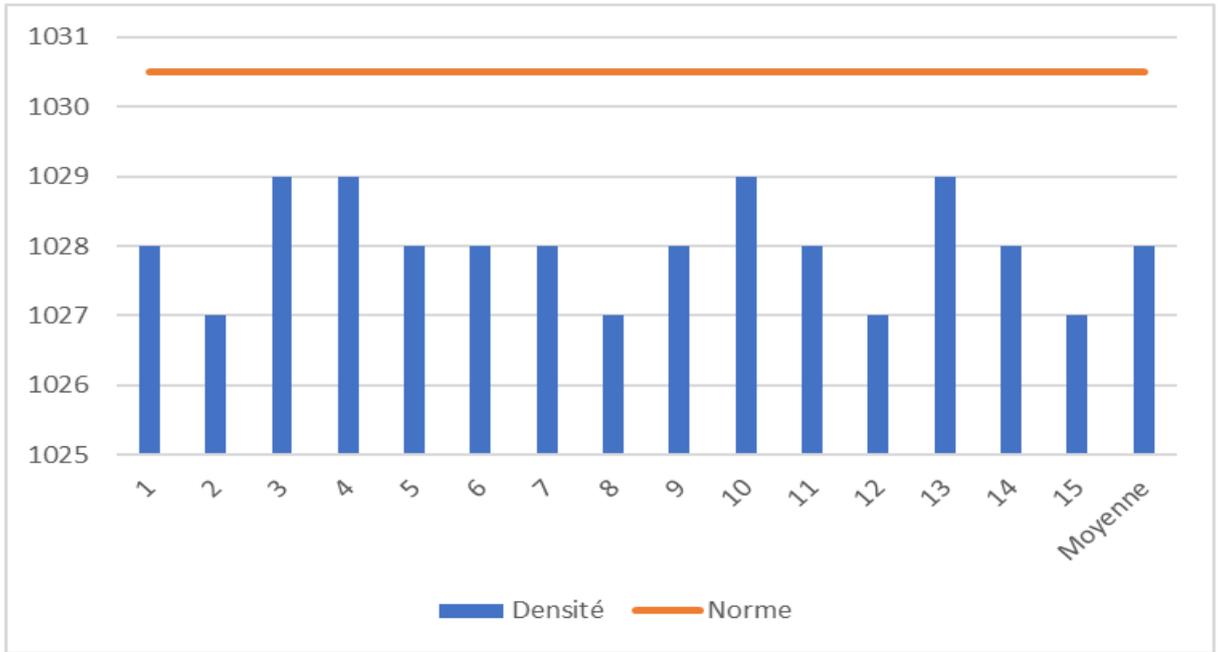


Figure 15. Densité du lait cru comparée à la norme réglementaire

2.6 Lactose

Enfin, la teneur en lactose (Figure 18) varie de 4,25 % à 4,43%, avec une moyenne estimée à 4,32 %, ce qui est typique pour du lait de vache frais et sain. La stabilité de ce paramètre est un indicateur de la fraîcheur du lait, car une baisse du taux de lactose pourrait indiquer un début de fermentation ou une altération microbienne.

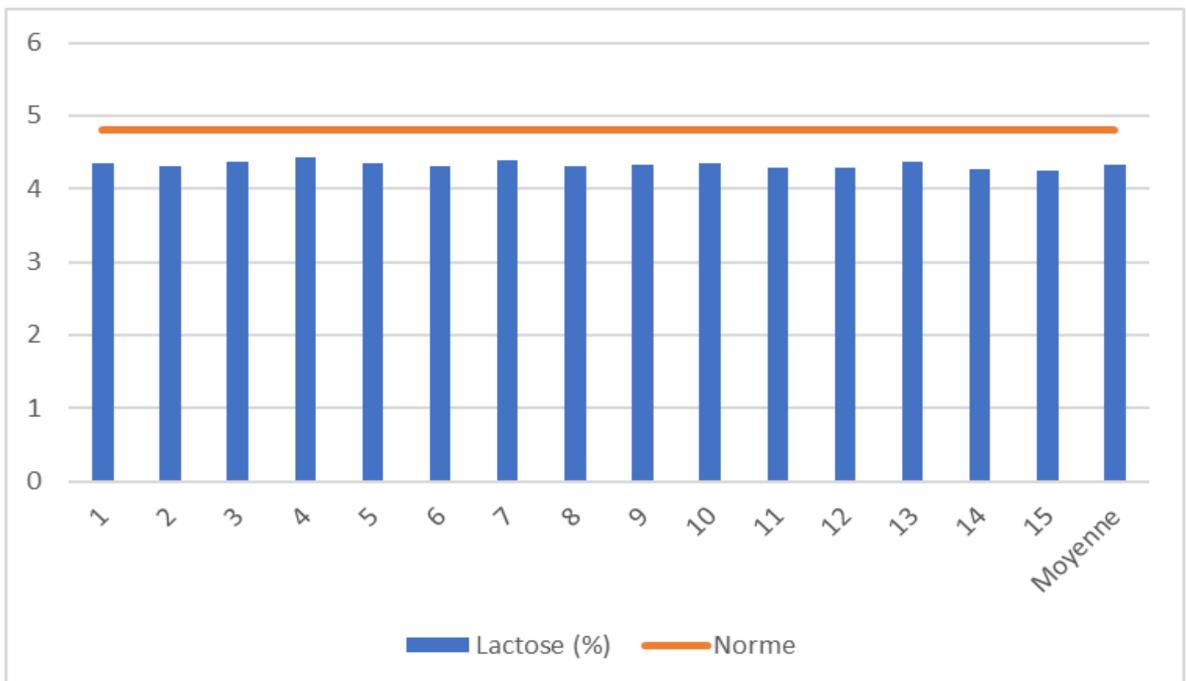


Figure 16. Teneur en MG du lait cru comparée à la norme réglementaire

Chapitre II. Résultats & Discussion

Globalement, les résultats obtenus à partir de ces quinze échantillons montrent une qualité physico-chimique satisfaisante du lait. L'absence de valeurs extrêmes ou anormales, notamment en matière de densité et de teneur en eau, renforce la crédibilité des échantillons comme étant représentatifs d'un lait non falsifié. Les légères variations observées entre les échantillons, notamment pour la matière grasse et les protéines, sont attendues dans un contexte de production naturelle, influencée par les facteurs biologiques et environnementaux.

Les paramètres physico-chimiques du lait cru constituent des indicateurs essentiels de sa qualité hygiénique, nutritionnelle et technologique. L'analyse de cette étude a porté sur le pH, la densité, la matière grasse (MG), la matière sèche (MS) et les protéines.

2.7 Potentiel Hydrogène

Les valeurs observées dans les échantillons se situent globalement dans l'intervalle normal (6,6 à 6,8), ce qui traduit une fraîcheur satisfaisante pour la majorité des échantillons. Toutefois, quelques échantillons ont montré une légère baisse du pH, associée à un début d'acidification, traduisant une activité microbienne débutante. Une vitesse de refroidissement rapide constitue un facteur critique de contamination (Hamiroune et al., 2016).

Conclusion & Perspectives

Conclusion

La présente étude expérimentale, centrée sur l'analyse de la qualité du lait cru collecté dans plusieurs élevages de la wilaya de Relizane, a permis de mettre en lumière des observations significatives, tant sur le plan microbiologique que physico-chimique.

Sur le plan microbiologique, les résultats révèlent une contamination fréquente par la flore totale aérobie mésophile (FTAM), ainsi que par les coliformes totaux et fécaux. Ces résultats traduisent des insuffisances notables en matière d'hygiène au niveau de la traite, de la manipulation, du stockage ou du transport du lait. La présence de ces germes constitue un indicateur de contamination fécale et représente un risque non négligeable pour la santé publique, notamment en l'absence de traitements thermiques.

Concernant les aspects physico-chimiques, les analyses effectuées à l'aide du Lactoscan ont mis en évidence des fluctuations marquées de plusieurs paramètres essentiels, tels que le taux de matière grasse, le pH, la densité ou encore le point de congélation. Certains échantillons analysés se sont écartés des normes établies, tant au niveau national (normes algériennes) qu'international. Ces écarts peuvent être attribués à divers facteurs, notamment l'alimentation des animaux, les conditions de production, ou encore à des pratiques telles que le mouillage ou une conservation inadéquate du lait.

Ainsi, cette investigation met en exergue l'urgence de renforcer les bonnes pratiques d'hygiène tout au long de la chaîne de production, depuis la traite jusqu'à la consommation. La formation des éleveurs, l'utilisation de matériels appropriés, la maîtrise de la chaîne du froid et le respect des normes réglementaires doivent être considérés comme des priorités absolues pour garantir la sécurité et la qualité du lait cru.

En définitive, les résultats de cette partie expérimentale démontrent que l'amélioration des conditions de production et de manipulation du lait cru dans la région de Relizane est une nécessité incontournable. Elle constitue un levier stratégique pour la préservation de la santé des consommateurs, mais aussi pour la valorisation économique et sanitaire de la filière laitière locale.

LISTE DES REFERENCES

- Acquavia, M. A., Foti, L., Pascale, R., Nicolò, A., Brancalone, V., Cataldi, T. R. I., & Bianco, G. (2025). Recent advances in the analysis of cow milk and dairy products: Emerging analytical techniques and applications. *Journal of Dairy Research*, 92(1), 1–14.
- Ahmed, N., Mahmud, A., Mehmood, S., & Khalid, N. (2016). Composition and nutritional value of milk and milk products. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 26(2), 101–107.
- Ali, H. R., Salem, R. M., Abdel-Rahman, A. A., & El-Baz, A. H. (2022). Impact of subclinical mastitis on milk composition and hygienic quality. *Veterinary World*, 15(9), 2345–2352.
- ANSES. (2022). Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux risques liés à la consommation de lait cru.
- Barłowska, J., Szwajkowska, M., Litwińczuk, Z., & Król, J. (2011). Nutritional value and technological suitability of milk from various animal species used for dairy production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(6), 291–302.
- Bionaz, M., Hurley, W. L., & Looor, J. J. (2020). Milk protein synthesis in the lactating mammary gland: Insights from transcriptomics. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 378–398.
- Bonfoh, B., Wasem, A., Traoré, A. N., Fokou, G., Spillmann, H., Simbé, C. F., Alfaroukh, I. O., Nicolet, J., Farah, Z., & Zinsstag, J. (2003). Microbiological quality of cows' milk taken at different intervals from the udder to the selling point in Bamako (Mali). *Food Control*, 14(7), 495–500.
- Boudalia, S., Benlahcen, K., Djemai, K., & Aggad, H. (2019). Seasonal variation in physicochemical and hygienic quality of raw cow's milk in Algeria. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Veterinary Medicine*, 76(1), 19–25.
- Bougara, H., & Melha, S. (2020). Influence of cow age and parity on milk quality and udder health. *Tropical Animal Health and Production*, 52(3), 1347–1355.
- Chandan, R. C., Kilara, A., & Shah, N. P. (2017). *Dairy processing and quality assurance* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Claeys, W. L., Verraes, C., Cardoen, S., De Block, J., Huyghebaert, A., Raes, K., Dewettinck, K., & Herman, L. (2013). Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and health benefits. *Food Control*, 31(1), 251–262.
- Claeys, W. L., Verraes, C., Cardoen, S., De Block, J., Huyghebaert, A., Raes, K., Dewettinck, K., & Herman, L. (2014). Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control*, 42, 188–201.
- Codex Alimentarius Commission. (2004). *Code of hygienic practice for milk and milk products (CXC 57-2004)*.
- Codex Alimentarius Commission. (2004). *General guidelines on sampling (CAC/GL 50-2004)*.
- Codex Alimentarius Commission. (2020). *General standard for the use of dairy terms (CODEX STAN 206-1999)*.
- de Mol, R. M., Ouweltjes, W., Kroeze, G. H., & Achten, J. M. F. H. (1999). Detection of estrus and mastitis using a milk conductivity measurement system. *Journal of Dairy Science*, 82(3), 538–544.
- EFSA BIOHAZ Panel (EFSA Panel on Biological Hazards). (2020). Scientific opinion on the public health risks of raw milk. *EFSA Journal*, 18(1), e05989.
- EFSA BIOHAZ Panel (EFSA Panel on Biological Hazards). (2022). Public health risks associated with raw milk consumption in the EU. *EFSA Journal*, 20(2), e07114.
- FAO. (2022). *Milk and dairy products: Good manufacturing practices and microbiological criteria*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO/WHO. (2020). *General principles of food hygiene: CXC 1-1969 (Rev. 2020)*. Codex Alimentarius, Joint FAO/WHO Food Standards Programme.

- FAO/WHO. (2023). *Joint FAO/WHO Expert Meeting on microbiological hazards in raw milk and milk products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization.
- Farah, Z., & Bachmann, M. R. (1989). Milk and dairy products from camel milk. *International Dairy Federation Bulletin*, 240, 3–12.
- Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (2015). *Advanced dairy chemistry* (4th ed., Vol. 1). Springer.
- Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2015). *Dairy chemistry and biochemistry* (2nd ed.). Springer.
- García-Carrascal, A., Aguilar-Toalá, J. E., Vallejo-Cordoba, B., González-Córdova, A. F., Hernández-Mendoza, A., & García, H. S. (2022). Milk proteins: Structure, interactions, and nutritional properties. *Foods*, 11(12), 1746.
- Ghozlane, F., Benlahcen, K., Boudalia, S., & Aggad, H. (2022). Milk yield and quality of local and imported dairy cow breeds in Algeria. *Livestock Research for Rural Development*, 34(12), Article #243.
- Goff, H. D. (2021). *Dairy science and technology*. Springer.
- Goff, H. D. (2021). *Dairy science and technology*. Springer.
- Gouaidia, A., Aggad, H., & Boudalia, S. (2023). Effect of milking frequency on milk yield and composition of dairy cows. *Tropical Animal Health and Production*, 55(3), 256.
- Hohenboken, W. D. (2021). Genetic aspects of milk production and composition. In *Encyclopedia of Dairy Sciences* (3rd ed., pp. 435–442). Elsevier.
- International Dairy Federation (IDF). (2019). *Bulletin of the IDF No. 495/2019: Determination of freezing point of milk – Reference method*. Brussels: IDF.
- International Organization for Standardization (ISO). (2008). *ISO 707:2008—Milk and milk products — Guidance on sampling*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2010). *ISO 6887-1:2010—Microbiology of food and animal feeding stuffs — Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions for microbiological examination — Part 1*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2017). *ISO 21528-2:2017—Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae — Part 2: Colony-count technique*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2017). *ISO 6887-1:2017—Microbiology of the food chain — Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions for microbiological examination — Part 1*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 7218:2021—Microbiology of food and animal feeding stuffs — General requirements and guidance for microbiological examinations*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2022). *ISO 4833-1:2022—Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of microorganisms — Part 1: Colony count at 30 °C by the pour plate technique*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2022). *ISO 4832:2022—Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of coliforms — Colony-count technique*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2023). *ISO 21528-2:2023—Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae — Colony-count technique*. ISO.
- Jasińska, M., Król, J., Sidorchuk, A., & Litwińczuk, Z. (2022). Freezing point of cow's milk as an indicator of its adulteration with water: Seasonal and regional variations. *Animals*, 12(15), 1955.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2020). *Modern food microbiology* (8th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4427-2>

- Jensen, R. G. (2002). The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000. *Journal of Dairy Science*, 85(2), 295–350.
- Jongman, M., & Korsten, L. (2016). Microbial quality and suitability of raw milk for processing in the informal sector in South Africa. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7013–7024. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10966>
- Kaouche-Adjlane, S. (2019). Effect of lactation stage on milk yield and quality in Algerian dairy cows. *Livestock Research for Rural Development*, 31(9), Article #142.
- Koski, L., Stollewerk, A., & Holzel, C. (2022). Pathogenic Enterobacteriaceae in raw milk: Prevalence and public health risk. *International Dairy Journal*, 127, 105246.
- Linehan, V. M., O’Callaghan, T. F., & Tobin, J. T. (2024). Nutritional composition of bovine milk: Updates and implications for dairy processing. *Journal of Dairy Science*, 107(1), 12–29.
- Loor-Giler, A., Robayo-Chico, M., Vinueza-Burgos, C., & Sánchez, M. (2021). Presence of Enterobacteriaceae in raw milk and dairy products in Ecuador. *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4521–4532.
- Macdonald, L. E., Brett, J., Kelton, D., Majowicz, S. E., Snedeker, K., & Sargeant, J. M. (2011). A systematic review and meta-analysis of the effects of pasteurization on milk vitamins. *Food Research International*, 44(9), 2737–2748.
- Maida, A. L., Bilbao-Sainz, C., Karman, A., Takeoka, G., Powell-Palm, M. J., & Rubinsky, B. (2023). Effects of isochoric freezing on the quality characteristics of raw bovine milk. *Foods*, 12(22), 4150.
- Mancini, A., Lazzi, C., Bernini, V., Neviani, E., & Gatti, M. (2019). Enterobacteriaceae biodiversity in raw milk and their impact on dairy products: A review. *Food Microbiology*, 78, 1–11.
- Martin, N. H., Trmčić, A., Hsieh, T.-H., Boor, K. J., & Wiedmann, M. (2016). The evolving role of coliforms as indicators of unhygienic processing conditions in dairy foods. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1549.
- Martin, N. H., Trmčić, A., Hsieh, T.-H., Boor, K. J., & Wiedmann, M. (2023). Coliforms and other Enterobacteriaceae as indicators in dairy foods: Current perspectives. *Journal of Dairy Science*, 106(4), 2823–2836.
- Norberg, E., Hogeveen, H., Korsgaard, I. R., Friggens, N. C., Sloth, K. H. M. N., & Lovendahl, P. (2004). Electrical conductivity of milk: Measurement, heritability, and relationship with somatic cell count and mastitis. *Journal of Dairy Science*, 87(3), 1091–1099.
- Panesar, P. S., & Kennedy, J. F. (2012). Biotechnological approaches for the value addition of whey. *Critical Reviews in Biotechnology*, 32(4), 327–348. <https://doi.org/10.3109/07388551.2011.640624>
- Park, Y. W. (2017). *Handbook of milk of non-bovine mammals* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Park, Y. W., & Haenlein, G. F. W. (2013). *Milk and dairy products in human nutrition: Production, composition and health*. Wiley-Blackwell.
- Public Health England. (2016). *Outbreaks of infectious intestinal disease associated with raw drinking milk, England and Wales, 1992–2016*. London: Public Health England.
- Quigley, L., O’Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2013). The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 664–698.
- Quigley, L., O’Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2013). The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 664–698.
- Quigley, L., O’Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2013). The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 664–698.

- Ramet, J. P. (2017). *Lait et produits laitiers: Qualité et technologie*. Éditions Quae.
- Robinson, R. K. (2002). *Dairy microbiology handbook: The microbiology of milk and milk products* (3rd ed.). Wiley-Interscience.
- Robinson, R. K. (2002). *Dairy microbiology handbook: The microbiology of milk and milk products* (3rd ed.). Wiley-Interscience.
- Schaafsma, G. (2008). Lactose and lactose derivatives as bioactive ingredients in human nutrition. *International Dairy Journal*, 18(5), 458–465.
- Stojanovic, M., Stojanovic, G., & Milovanovic, I. (2021). Performance evaluation of ultrasonic milk analyzers for routine milk quality control. *Food Analytical Methods*, 14(6), 1140–1149.
- Uzoh, C. V., Nworie, C. O., Eze, E. E., Igwe, P. C., Ugwuocha, C. S., Aroh, K. E., & Onuoha, N. (2023). The bacteriological quality of raw cow milk obtained from herdsman in Okigwe, Imo State, Nigeria. *South Asian Journal of Research in Microbiology*, 17(3), 44–49.
- 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 science and technology* (2nd ed.). CRC Press.
- Wang, X., Li, S., & Yang, Y. (2021). Vitamins in bovine milk: Sources, stability, and health implications. *Nutrients*, 13(11), 4005. <https://doi.org/10.3390/nu13114005>
- Wang, Y., Li, J., & Li, Q. (2022). Composition and structure of milk fat globules and their role in dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 75(3), 567–578.
- Park, Y. W. (2009). *Bioactive components in milk and dairy products*. Wiley-Blackwell.

•