



N° D'ordre : 039/PFE/2025

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de **Docteur Vétérinaire**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Vétérinaires

THÈME

Évaluation de la qualité physico-chimique du lait cru livré à une laiterie située dans la wilaya de Boumerdes

Présenté par :

M. : AIT BELKACEM Salah

M. : CHETTABI Ahmed Reda

Soutenu publiquement, le 01/Juillet/2025 devant le jury composé de :

Pr. BOUAYAD Leila

Dr. BOUHAMED Radia

Dr. GOUCEM Rachid

Professeur (ENSV)

Maitre de conférences A (ENSV)

Maître Assistant A (ENSV)

Présidente

Promotrice

Examinateur

Remerciements

On remercie Dieu qui nous a donné la force et la patience pour réaliser ce modeste travail.

On tient à exprimer nos remerciements les plus chaleureux à :

Madame BOUHAMED R.

On vous exprime notre sincère reconnaissance pour l'honneur que vous nous avez accordé en dirigeant ce mémoire. Votre patience, votre disponibilité et vos conseils avisés ont été déterminants dans l'enrichissement de ma réflexion et l'aboutissement de ce travail.

Madame BOUAYAD L.

On vous remercie d'avoir acceptée de présider ce jury, on vous remercie pour nous avoir appris les bases de l'HIDAOA.

Monsieur GOUCEM R.

On vous exprime notre profonde gratitude pour le temps précieux que vous avez consacré à l'examen de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail, avec tout mon amour, ma gratitude et mon respect,
à ceux qui m'ont soutenu, inspiré et accompagné tout au long de ce parcours.

À mon père, source de force et de sagesse,
merci pour ton amour, tes sacrifices silencieux et ton soutien indéfectible.

À ma mère, lumière douce de ma vie,
merci pour ta tendresse, tes prières et ton amour inconditionnel.

À ma sœur, pour ta complicité, ton affection sincère et ta présence réconfortante.
À toute ma famille, et en particulier la famille Lamara, ton ton Ammar et Tonton Ahcen .
merci pour votre présence, vos encouragements et votre amour.

À Msela Lyliane, ma compagne de vie,
merci pour ton amour profond, ta patience infinie, ta douceur dans les moments difficiles,
et ta foi en moi, même quand je doutais. Tu es mon équilibre et ma plus belle force.

À Ait Belkacem Achour, pour ta bienveillance, ton soutien, et les mots justes au bon moment.

À Ben Mouhand Chabha, pour ta gentillesse, ta disponibilité et ton accompagnement précieux.

Je remercie également toute l'équipe Bouraoui, anciens et nouveaux membres,
pour leur accueil, leur professionnalisme et les moments d'échange enrichissants.

Avec une pensée particulière pour Chafi Ismail, pour son accompagnement, ses conseils éclairés et
sa grande disponibilité.

Collaborer avec vous a été une expérience marquante et formatrice.

SALAH

Dédicaces

Je tiens à exprimer nos remerciements les plus chaleureux à :

À mes parents Zina et Halim : Pour votre soutien, vos sacrifices silencieux et votre foi inébranlable en mes capacités. Vous avez été mes premiers guides, mes soutiens les plus fidèles et la source inépuisable de ma motivation. Je vous aime.

À mon cher frère Farid et ma chère sœur Yasmine : Votre présence constante, votre soutien indéfectible et les moments de complicité qui ont illuminé mon parcours. Vous avez su m'encourager dans les moments difficiles et partager mes joies dans les instants de réussite, Merci.

A mon petit choupino, mon complice Hajouj.

A mes très chers amis, Islem, Saleh, Akram, mon binôme Salah, Nidal, Moncef, Hamza, Hichem et Anis.

A mes collègues, Oumhani, Chems, Shiraz, Sabrina et Asma.

Ainsi qu'à tous mes collègues et amis de l'ENSV

Reda

Résumé

L'analyse physico-chimique du lait cru collecté à la ferme et à la laiterie de Sidi Mansour (wilaya de Boumerdes), a pour objectif d'évaluer sa qualité globale avant toute transformation. Cette évaluation repose sur une série de mesures analytiques permettant d'identifier les principales caractéristiques du lait. Pour ce faire, 14 prélèvements ont été réalisés directement à partir des fermes et des cisternes des collecteurs. Comparativement aux normes de la laiterie, les laits crus testés présentent une qualité physicochimique relativement acceptable, avec des taux moyens de matière grasse estimé à 32 g/l, une densité appréciable avec une valeur moyenne de 1030, une acidité titrable moyenne de 19 D°, un pH moyen de 6,5, et un extrait sec dégraissé moyen de 114 g/l. Les résultats globaux montrent que 85,71% des échantillons sont non conformes. Seuls 14,29% des échantillons sont conformes. Les motifs de non-conformité sont, principalement, l'acidité Dornic, le pH et la densité. Malgré les non-conformités relevées, l'ensemble des échantillons a satisfait les tests de stabilité et de transformation de base. Cela valorise la qualité de la collecte et rassure sur la sécurité du lait destiné à la transformation ou à la consommation directe.

Mots-clés : Lait, qualité physico-chimique, conformité, laiterie

Abstract

The physicochemical analysis of raw milk collected in farms and at the Sidi Mansour dairy (Boumerdes province) aims to assess its overall quality prior to any processing. This evaluation is based on a series of analytical measurements used to determine the main characteristics of the milk. To this end, 14 samples were taken directly from farms or the collectors' tanks. Compared to the dairy's standards, the tested raw milk samples show relatively acceptable physicochemical quality, with an average fat content of 32 g/L, a satisfactory average density of 1030, an average titratable acidity of 19 °D, an average pH of 6.5, and an average skimmed dry extract of 114 g/L. The overall results show that 85.71% of the samples are non-compliant, while only 14.29% are compliant. The main reasons for non-compliance are Dornic acidity, pH, and density. Despite the observed non-conformities, all samples passed the basic stability and processing tests. This highlights the quality of the milk collection process and provides reassurance regarding the safety of the milk intended for processing or direct consumption.

Keywords: Milk, physicochemical quality, compliance, dairy

ملخص

الكلمات المفاتيح: الذية، الجذج الفضائح، إنما، اطافق، البيتح

Liste des abréviations

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l’Alimentation, de l’Environnement et du Travail

CNERNA : Centre National d’Etudes et de Recommandations sur la Nutrition et l’Alimentation

CNIEL : Centre National Interprofessionnel de l’Economie Laitière

EFSA : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments

ELISA : Enzyme-Linked Immunosorbent Assay

FAO : Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture

HTST : High Temperature Short Time

LMR : limites maximales de résidus

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OMSA : Organisation Mondiale de la Santé Animale

PAM : Programme Alimentaire Mondial

UHT : Ultra Haute Température

WHO : World Health Organizations

Liste des tableaux

Tableau 1. Composition moyenne de lait de vache (ALAIS <i>et al.</i> , 2008)	6
Tableau 2. Caractéristiques physiques du lait (Bourgeois <i>et al.</i> , 1988)	8
Tableau 3 : Interprétation des résultats d'analyse (tableau personnel).....	28
Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons testés	29
Tableau 5 : Taux de conformité	29

Liste des figures

Figure 1 : Taux de conformité	30
Figure 2 : Conformité des échantillons selon le critère de densité	31
Figure 3 : Conformité des échantillons selon le critère d'acidité.....	32
Figure 4 : Conformité des échantillons selon le critère du pH	33
Figure 5 : Conformité des échantillons selon le critère de la matière grasse	34
Figure 6 : Conformité des échantillons selon le critère de l'extrait sec dégraissé	34

Table des matières

Introduction	1
--------------------	---

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Généralités sur le lait	3
I. Définition du lait.....	3
II. Définition du lait cru.....	3
III. Composition du lait	3
IV. Caractéristiques organoleptiques du lait	6
V. Qualité physique.....	8
Chapitre 2 : Contamination microbienne du lait	9
I.Flore de contamination.....	9
II. Microorganismes présents dans le lait	9
II.1. Bactéries.....	10
II.2. Virus	12
II.3. Levures et moisissures	12
Chapitre 03 : Laits issus de la transformation du lait cru.....	14
I. Généralités.....	14
II. Transformation du lait cru.....	15
II.1. De la réception à la transformation.....	15
II.2. Analyses préliminaires et préparation	15
II.3. Maîtrise de la matière grasse.....	15
II.4. Pasteurisation	15
II.5. Homogénéisation.....	15
II.6. Refroidissement.....	16
III. Laits issus de la transformation du lait cru.....	16
III.1. Définition des laits commercialisés.....	16
III.2. Lait pasteurisé.....	16

Chapitre 4 : Résidus d'antibiotiques dans le lait	19
I. Définition des résidus.....	19
II. Risques microbiologiques liés aux résidus d'antibiotiques dans le lait	19
III. Détection des résidus d'antibiotiques dans le lait.....	20
IV. Méthodes pour réduire ou éliminer les résidus d'antibiotiques dans le lait	21

PARTIE EXPERIMENTALE

Objectifs	23
Chapitre 1 : Matériel et méthodes	23
I.Lieu et période de l'étude.....	23
II. Matériel et méthodes	23
II.1. Matériel	23
II.1.1. Échantillonnage.....	23
II.1.2. Transport et conservation.....	23
II.1.3. Matériel utilisé	23
II.3. Analyse physico-chimique du lait.....	24
II.3.1. Évaluation organoleptique	24
II.3.2. Mesure du pH	24
II.3.3. Détermination de la densité du lait.....	25
II.3.4. Détermination de l'acidité titrable	25
II.3.5. Détermination de la teneur en matière grasse	25
II.3.6. Détermination de la matière sèche dégraissée.....	26
II.3.6.1. Extrait sec total du lait	27
II.3.6.2. Extrait sec dégraissé du lait.....	27
II.3.7. Interprétation des résultats des analyses physico-chimiques.....	28
II.3.8. Autres analyses	28
II.3.8.1. Test d'ébullition	28
II.3.8.2. Test de coagulation.....	28
II.3.8.3. Test de fermentation	28
Chapitre 2 : Résultats et discussion.....	29
I.Résultats globaux de l'analyse physicochimique	29

I.1. Résultats bruts.....	29
I.2. Taux de conformité	29
II. Résultats par paramètre étudié	30
II.1. Densité	30
II.2. Acidité ($^{\circ}$ Dornic)	31
II.3. pH	32
II.4. Matière grasse.....	33
II.5. Extrait sec dégraissé.....	34
II.6. Test d'ébullition.....	35
II.7. Test de coagulation	35
II.8. Test de fermentation.....	35
II.8. Test organoleptiques	35
Conclusion et recommandations	36
Liste des références bibliographiques.....	37

Introduction

Le lait est un aliment riche en nutriments essentiels. Il constitue une source énergétique importante, notamment grâce à ses protéines de haute qualité et à ses matières grasses. En plus de cela, il joue un rôle clé dans l'apport de minéraux et vitamines indispensables, comme le calcium, le magnésium, le sélénium, la riboflavine, la vitamine B12 et l'acide pantothenique.

Tous les produits laitiers participent à une alimentation équilibrée, et leur consommation permet de compléter et de diversifier les régimes à base de plantes. Le lait d'origine animale, en particulier, peut être crucial pour les enfants vivant dans des zones où l'accès aux aliments d'origine animale est limité. Dans ces contextes, il contribue à améliorer l'apport en lipides et en nutriments essentiels (FAO, 2010).

Selon les données de la FAO (2017), le lait de vache représente plus de 83 % de la production mondiale de lait, ce qui en fait une référence majeure lorsqu'on parle de composition nutritionnelle. La composition chimique du lait de vache peut varier légèrement selon la race de l'animal. En général, les matières grasses constituent environ 3 à 4 % des solides du lait, les protéines environ 3,5 % et le lactose autour de 5 %. Par exemple, les vaches de race *Bos indicus* produisent un lait plus riche en matières grasses que celles de race *Bos Taurus*, avec des teneurs pouvant atteindre 5,5%.

L'analyse physicochimique du lait cru revêt une importance capitale pour plusieurs raisons. Elle permet d'évaluer sa composition et sa qualité nutritionnelle, mais également de détecter toute altération ou anomalie. En effet, cette analyse est un outil essentiel dans la prévention de la fraude, comme l'adulteration du lait par ajout d'eau, de graisses végétales ou d'autres substances non autorisées, qui peuvent compromettre la qualité sanitaire et nutritionnelle du produit (DUFOUR *et al.*, 2008 ; SOYEURT *et al.*, 2009).

De plus, le contrôle régulier des paramètres physicochimiques est fondamental pour garantir une qualité optimale du lait destiné au consommateur. Cela permet aussi d'assurer la conformité aux normes alimentaires nationales et internationales (CODEX ALIMENTARIUS, 2011). Enfin, une bonne connaissance des propriétés physicochimiques du lait est essentielle pour le transformer efficacement en produits laitiers de qualité tout en assurant la sécurité alimentaire et la confiance des consommateurs.

C'est dans ce contexte que nous avons orienté notre étude vers l'analyse de la qualité physico-chimique du lait collecté dans plusieurs fermes de la région de Boumerdes.

Le présent travail se compose de deux grandes parties :

- Une partie bibliographique, structurée en quatre chapitres : le premier traite des généralités sur le lait, le second aborde la contamination microbienne du lait, le troisième est consacré aux Laits issus de la transformation du lait cru, et le quatrième explore Résidus d'antibiotiques dans le lait.
- Une partie expérimentale, centrée sur l'évaluation de la qualité physico-chimique d'échantillons de lait prélevés dans diverses fermes de la région de Boumerdes. Cette phase comprend l'analyse, l'interprétation et la discussion des résultats obtenus. Le travail se conclut par une synthèse générale accompagnée de recommandations.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Généralités sur le lait

I. Définition du lait

Selon le Codex Alimentarius (1999), le lait est la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite obtenu à partir d'une ou de plusieurs traites, sans rien y ajouter ou en soustraire, destiné à la consommation comme lait liquide ou à un traitement ultérieur (CODEX , 1999).

II. Définition du lait cru

Le lait cru est un lait qui n'a subi aucun chauffage, c'est-à-dire dont la température n'a pas dépassé celle du lait à la sortie du pis (température inférieure ou égale à 40°C) (FAO/OMS, 1999).

III. Composition du lait

a. Eau

L'eau, constituant principal du lait, représente environ 900 à 910 grammes par litre. C'est dans ce milieu aqueux que se trouvent dispersés tous les autres éléments qui composent la matière sèche du lait (MATHIEU, 1998).

b. Matières grasses

La teneur en matières grasses du lait est également appelée taux butyreux. Pour le lait de vache, ce taux varie entre 25 et 45 grammes par litre (LUQUET, 1985). Elle se présente sous forme d'une émulsion de globules gras. Cette fraction lipidique est composée à 98,5 % de glycérides, c'est-à-dire d'esters d'acides gras et de glycérol, auxquels s'ajoutent environ 1 % de phospholipides polaires et 0,5 % de substances liposolubles, telles que le cholestérol, certains hydrocarbures et les vitamines liposolubles A, D, E et K (GOURSAUD, 1985).

c. Matières azotées

Les composés azotés du lait se divisent en deux catégories : les matières azotées protéiques, ou protéines, et les matières azotées non protéiques (FAO, 1998).

Les protéines représentent environ 95 % de l'azote total du lait, soit près de 32,7 grammes par litre. On distingue principalement trois types de protéines : les caséines (80 %), les protéines solubles comme l'albumine et la globuline (19 %), et une petite proportion d'autres protéines, notamment des enzymes (1 %). Les composés azotés non protéiques, quant à eux, atteignent environ 0,3 gramme par litre, dont près de la moitié est constituée d'urée, le reste étant composé de nucléotides et de bases puriques (LUQUET, 1985).

Les protéines du lait sont réparties entre deux phases : la phase micellaire et la phase soluble. La phase micellaire correspond à la totalité des caséines, qui représentent environ 80 % des protéines totales du lait. Cette structure complexe est constituée de quatre types de caséines individuelles.

Les caséines, protéines majeures du lait, se déclinent en plusieurs types :

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

- Les alpha-caséines, dont la caséine α_1 représente environ 36 % et la caséine α_2 environ 10 %.
- La bêta-caséine constitue près de 34 % des caséines totales.
- La kappa-caséine (ou caséine κ) en représente environ 13 %.
- Les gamma-caséines (γ), issues de la dégradation enzymatique (protéolyse) de la bêta-caséine, composent environ 7 % de l'ensemble (GOY *et al.*, 2005).

Une micelle de caséine, structure colloïdale typique du lait, est constituée à environ 92 à 93 % de protéines, essentiellement des caséines, et à 7 à 8 % de minéraux, jouant un rôle clé dans sa stabilité (CAYOT et LORIENT, 1998).

d. Glucides

Le principal glucide du lait est le lactose, un sucre spécifique à ce liquide biologique. Il s'agit d'un diholoside, formé par l'union d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose (JENNESS et SLOAN, 1970).

Le lactose représente environ 99 % des glucides présents dans le lait des monogastriques. Sa concentration est relativement stable, oscillant entre 40 et 50 grammes par litre, avec des variations généralement inversement proportionnelles au taux butyreux (taux de matière grasse).

e. Matière minérale

Les minéraux du lait, aussi appelés cendres lorsqu'ils sont dosés par calcination à 550°C, se situent entre 7 et 7,5 grammes par litre (LUQUET, 1985). Ils revêtent une importance majeure, tant nutritionnelle que technologique.

Ces éléments peuvent se trouver :

- En solution libre dans la phase aqueuse, sous forme d'ions dissous (comme le sodium, le potassium et le chlore), hautement bio disponibles ;
- Sous forme liée, dans la phase colloïdale, notamment pour des ions comme le calcium, le phosphore, le magnésium ou le soufre, qui peuvent exister dans les deux fractions (MATTHIEU, 1998).

f. Biocatalyseurs

Le lait contient également des biocatalyseurs, des substances organiques de nature protidique, produites par des cellules vivantes. Ces composés, parmi lesquels on retrouve les enzymes, jouent un rôle essentiel en tant que catalyseurs des réactions biochimiques. On en dénombre plus de 60 dans le lait, illustrant sa richesse biologique.

- Enzymes

Le lait contient une grande diversité d'enzymes, dont certaines ont pu être isolées ou dont l'activité a été précisément caractérisée. Près de la moitié de ces enzymes sont des hydrolases, un groupe spécialisé dans la dégradation de différentes molécules (BLANC, 1982 ; POGHEON, 2001).

Parmi elles, certaines jouent un rôle double :

- Utile, comme les protéases, qui facilitent l'hydrolyse des caseïnes,
- Ou nuisible, comme les lipases, responsables du rancissement du lait en dégradant les graisses.

Par ailleurs, la présence de certaines enzymes, comme la catalase, peut servir d'indicateur de la qualité hygiénique du lait, leur concentration étant souvent corrélée à l'état sanitaire du produit (HAMZAOUI et KENANE, 2005).

- Vitamines

Les vitamines sont des biocatalyseurs essentiels intervenant dans de nombreux processus métaboliques. Le lait en constitue une source précieuse au sein d'une alimentation équilibrée.

On distingue deux grandes classes de vitamines dans le lait :

- Les vitamines hydrosolubles, principalement les vitamines du groupe B et la vitamine C, qui se trouvent dans la phase aqueuse du lait,
- Les vitamines liposolubles, à savoir les vitamines A, D, E et K, associées à la fraction lipidique. Certaines sont localisées au centre du globule gras, tandis que d'autres se situent à sa périphérie (DEBRY, 2001).

g. Gaz dissous

Le lait contient également une certaine proportion de gaz dissous, comme l'indique l'analyse de VEISSYRER.(1979).

Les principaux gaz identifiés sont :

- Le dioxyde de carbone (CO_2) : représentant environ 4,45 % du volume du lait,
- L'azote (N_2) : à hauteur de 1,49 %,
- L'oxygène (O_2) : représentant environ 0,47 % du volume.

Ces gaz jouent un rôle dans la stabilité physico-chimique du lait, et peuvent également influencer sa conservation et ses propriétés technologiques.

Un tableau récapitulatif permet de visualiser les principales composantes du lait de vache (tableau 1).

Tableau 1. Composition moyenne de lait de vache (ALAIS *et al.*, 2008)

Composants	Teneurs (g/l)	Etat physique des composants
Eau	905	Eau libre (solvant) + eau liée (3,7%)
Glucides (lactose)	49	Solution
Lipide	35	
• Matière grasse proprement dite	34	
• Lécithine (phospholipides)	0,5	Emulsion des globules gras (3 à 5 µm)
• Insaponifiable (stérols, carotènes, tocophérols)	0,5	
Protides	34	Suspension micellaire phosphocaséinate de calcium (0,08 à 0,12 µm)
• Caséine	27	
• Protéines solubles (Globulines, albumines)	2,5	
• Substances azotées non protéiques	1,5	Solution (colloïdale) Solution (vraie)
Sels	9	
• De l'acide citrique (en acide)	2	Solution ou état colloïde
• De l'acide phosphorique (P2O3)	2,6	Sel de k, Ca, Na, Mg....
• Du chlorure de sodium (NaCl)	1,7	
Constituants divers (Vitamines, enzymes, gaz dissous)	traces	
Extrait sec total	127	
Extrait sec non gras	92	

Ces données soulignent la richesse nutritionnelle du lait, tant en macronutriments qu'en micronutriments, et confirment sa place essentielle dans l'alimentation humaine.

IV. Caractéristiques organoleptiques du lait

D'après VIERLING (2003), les propriétés comme l'apparence, l'odeur, le goût et la texture du lait ne prennent vraiment tout leur sens que lorsqu'on les compare à celles d'un lait frais.

a. Couleur

Le lait présente une teinte blanc mat, principalement due à sa teneur en matière grasse ainsi qu'aux pigments comme le carotène. En effet, les vaches transforment le bêta-carotène contenu dans leur alimentation en vitamine A, qui se retrouve ensuite dans le lait (FREDOT, 2005).

REUMONT (2009) explique que ce sont les globules de matière grasse et les micelles de caséine, présents dans le lait, qui diffusent la lumière. Ces particules dispersent les rayons lumineux sans les absorber, ce qui donne au lait cet aspect blanc, similaire à la lumière du jour.

b. Odeur

Toujours selon VIERLING (2003), le lait a une odeur bien reconnaissable, en grande partie à cause des matières grasses qu'il contient, qui ont la capacité de retenir des odeurs d'origine animale. Cette odeur peut varier selon plusieurs facteurs : les conditions d'hygiène lors de la traite, l'alimentation des vaches (par exemple, les fourrages ensilés favorisent des bactéries qui peuvent donner une forte odeur au lait) ou encore les conditions de conservation. Une acidification naturelle due à la présence d'acide lactique peut donner au lait une odeur aigre.

c. Saveur

Le lait frais a un goût doux et plaisant. Lorsqu'il s'acidifie, sa saveur devient plus vive, un peu piquante. En revanche, les laits chauffés comme ceux qui sont pasteurisés, bouillis ou stérilisés développent un goût légèrement différent de celui du lait cru. Quant au lait issu de vaches atteintes de mammites ou contenant du colostrum, il peut avoir un goût plus salé. Certaines pratiques alimentaires, notamment l'usage de plantes spécifiques ou de fourrages ensilés, peuvent aussi altérer le goût du lait, lui donnant parfois une amertume désagréable. Un goût amer peut également apparaître dans le lait lorsque certaines bactéries, qui ne viennent pas directement de la mamelle, se développent (THIEULIN et VULLAUM, 1967).

d. Viscosité et la qualité hygiénique du lait

Concernant la viscosité, RHEOTEST (2010) souligne qu'il s'agit d'une propriété complexe, influencée par la présence de particules colloïdales en suspension ou dissoutes dans le lait. Ce sont surtout la quantité de matière grasse et la teneur en caséine qui jouent un rôle majeur dans cette caractéristique. Des facteurs technologiques peuvent aussi modifier la viscosité. Elle est d'ailleurs considérée comme un indicateur important de la qualité du lait, car les sensations qu'elle procure lors de la consommation influencent fortement la perception globale du produit.

Sur le plan microbiologique, la qualité du lait dépend étroitement du respect des règles d'hygiène à la ferme et dans les points de vente. La présence de germes pathogènes comme *Staphylococcus aureus* peut poser un risque réel pour la santé publique si les mesures sanitaires ne sont pas rigoureuses.

Pour améliorer l'hygiène du lait cru, tant à la production qu'à la commercialisation, plusieurs solutions sont proposées (SRAÏRI *et al.*, 2005):

- La mise en place de centres de collecte,
- L'utilisation de la chaîne du froid,
- Ou encore l'application du modèle des « cinq M » (Milieu, Matières premières, Matériel, Main-d'œuvre, Méthode), comme l'explique GUATTEO (2001).

V. Qualité physique

Sur le plan physique, le lait se divise en quatre phases distinctes :

- La première est une phase gazeuse, dominée par le dioxyde de carbone (CO_2), particulièrement présent juste après la traite.
- La seconde est une phase grasse, constituée de globules lipidiques mesurant entre 2 et 5 micromètres de diamètre. Ces globules renferment les lipides véritables ainsi que les substances liposolubles, et sont enveloppés d'une membrane riche en phospholipides et en protéines
- La troisième composante est la phase colloïdale, qui comprend les micelles de caséine, associées à des phosphates et des citrates de calcium et de magnésium.
- Enfin, la phase aqueuse contient les protéines solubles, également appelées protéines du lactosérum, ainsi que le lactose et divers minéraux sous forme d'électrolytes.

Il existe une relation inverse entre la concentration en lactose et celle des minéraux, ce qui permet de maintenir l'isotonicité du lait par rapport au plasma sanguin (ADRIAN *et al.*, 1995).

Le tableau 2 regroupe les caractéristiques physiques du lait.

Tableau 2. Caractéristiques physiques du lait (Bourgeois *et al.*, 1988).

Caractéristiques physiques	Proportions
Potentiel d'hydrogène (pH à 20°C)	6,5 – 6,7
Acidité titrable ($^{\circ}\text{D}$)	15 – 18
Densité	1028 à 1036
Température de congélation ($^\circ\text{C}$)	-0,51 à -0,55

Chapitre 2 : Contamination microbienne du lait

I. Flore de contamination

Le lait cru possède initialement une certaine protection naturelle contre les bactéries, grâce à la présence de substances inhibitrices appelées « lacténines ». Toutefois, cette protection est de courte durée, n'excédant généralement pas une heure. En outre, le lait peut être contaminé par des micro-organismes pathogènes lorsque l'animal producteur est malade. Parmi ceux-ci figurent les agents responsables de mammites ou des infections du pis tels que les streptocoques pyogènes, les corynèbactéries pyogènes ou encore les staphylocoques.

Il arrive également que des agents infectieux d'origine systémique se retrouvent dans le lait, même en l'absence de signes visibles au niveau du pis. C'est le cas, par exemple, de bactéries comme *Salmonella*, *Brucella* (responsable de la fièvre de Malte), ou plus rarement *Listeria monocytogenes* (listériose), *Mycobacterium tuberculosis* et *Mycobacterium bovis* (tuberculose), *Bacillus anthracis* (charbon), ou encore *Coxiella burnetii* (fièvre Q), sans oublier certains virus.

Par ailleurs, des germes considérés comme « banals » au niveau du pis peuvent également provoquer des toxi-infections graves. Ces risques sont en principe limités par la surveillance vétérinaire régulière des animaux producteurs (GUIRAUD, 1998 ; BOURGEOIS *et al.*, 1998).

Enfin, au-delà des risques liés à l'animal lui-même, le lait peut subir diverses contaminations au cours des étapes de la traite, du transport ou du stockage, que ce soit à la ferme ou en usine. La diversité des micro-organismes présents à ce stade dépend largement des conditions de température lors du stockage (LARPENT, 1997).

II. Microorganismes présents dans le lait

Le lait issu d'un animal sain et collecté dans des conditions d'hygiène rigoureuses contient une faible charge microbienne, généralement inférieure à 10^3 germes par millilitre.

Parmi les micro-organismes que l'on retrouve le plus fréquemment dans le lait, les bactéries occupent une place prépondérante. Toutefois, des levures, des moisissures, et même certains virus peuvent également y être présents. Le lait constitue un milieu particulièrement favorable à la croissance de nombreuses espèces bactériennes en raison de sa richesse nutritive.

Au cours de leur développement, ces micro-organismes produisent divers composés : des gaz (comme l'oxygène, l'hydrogène ou le dioxyde de carbone), des substances aromatiques, de l'acide lactique, essentiel dans le processus d'acidification notamment en fromagerie, ainsi que des protéines diverses. Dans certains cas, ils peuvent aussi générer des toxines, susceptibles d'engendrer des effets pathogènes chez l'homme (INSTITUT DE L'ELEVAGE, 2009).

II.1. Bactéries

En fonction de leur action sur le lait et de leurs effets potentiels sur la santé des consommateurs, les bactéries présentes dans le lait peuvent être classées en trois grandes catégories :

Les bactéries utiles, également appelées bactéries fermentaires, sont largement exploitées dans l'industrie laitière pour la fabrication de produits fermentés tels que les fromages et les yaourts. Ces micro-organismes, notamment les ferment lactiques, jouent un rôle essentiel dans l'acidification du lait (FAO, 1995).

Les bactéries nuisibles sont responsables de diverses altérations du lait. Elles peuvent provoquer des phénomènes indésirables comme le limonage, caractérisé par une texture visqueuse en surface, la formation de filaments, le caillage prématûr ou encore l'émission de mauvaises odeurs (GUIRAUD, 1998).

Les bactéries pathogènes représentent un risque direct pour la santé humaine. Certaines peuvent être présentes dans le lait cru au moment de sa consommation, comme *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* ou encore *Campylobacter*. D'autres, comme *Staphylococcus aureus* ou *Clostridium botulinum*, posent un danger par la production de toxines susceptibles de provoquer des intoxications (FAO, 1995).

De nombreuses bactéries présentes dans le lait ne sont en réalité que des contaminantes passagères. Bien qu'elles puissent parfois survivre et se multiplier, le lait ne constitue pas toujours un environnement propice à leur développement. Souvent, elles finissent par disparaître, incapables de rivaliser avec d'autres micro-organismes mieux adaptés à ce milieu (BERODIER ANTOINE, 2005).

II.1.1. *Listeria monocytogenes*

Listeria monocytogenes est une bactérie pathogène d'origine alimentaire, fréquemment retrouvée dans les produits laitiers. Bien que la pasteurisation permette en principe de l'éliminer, des contaminations peuvent survenir après ce traitement thermique, notamment au cours des étapes de transformation. Cette bactérie représente un risque non négligeable dans l'industrie fromagère. Les taux de contamination des fromages au lait cru varient selon les auteurs entre 1 % et 9 % (ARBER et PETTERKINI, 1991).

La *Listeria* est omniprésente dans l'environnement. Elle provient essentiellement du sol, des boues et des matières fécales d'animaux. Les aliments peuvent être souillés par ces éléments, directement ou indirectement. Lors de la traite, des particules de terre ou de fumier peuvent être projetées dans le lait, notamment via les courants d'air. Cette contamination peut également survenir par contact avec des équipements ou des installations insuffisamment désinfectées. L'ensemble de ces facteurs

contribuent à l'introduction potentielle de *Listeria* dans le lait, avec des conséquences sanitaires parfois graves (BERESFORD *et al.*, 2001).

II.1.2. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus, ou staphylocoque doré, est une bactérie gram positive, de forme coccidienne, se présentant soit en diplocoques (paires de cocci), soit en amas ressemblant à des grappes de raisin. Elle est aérobie-anaérobie facultative (SEARS *et al.*, 2003).

Selon les normes de SEARS *et al.* (2003), cette bactérie ne se développe pas si le lait est correctement réfrigéré, mais elle peut survivre au froid et à la congélation. Sa température de croissance optimale est de 37°C, avec un pH de multiplication compris entre 5,0 et 7,5 (le lait frais ayant un pH de 6,6 à 6,8). *Staphylococcus aureus* peut résister à des concentrations élevées de sel (jusqu'à 20%) et de sucre, ainsi qu'à des traitements comme la pasteurisation, la déshydratation et la congélation des enzymes protéolytiques.

Les staphylocoques, présents chez l'homme et les animaux, incluent des espèces pouvant causer diverses infections. Le staphylocoque doré, en particulier, peut être responsable de maladies liées à des sources d'infection multiples : infections d'origine non alimentaire, dues à un contact direct avec l'environnement (telles que rhumes, sinusites, plaies cutanées), ou encore des intoxications alimentaires (vomissements, maux de tête). Ce n'est pas la bactérie elle-même qui est dangereuse, mais les toxines qu'elle produit. Présente sur la peau et les muqueuses des animaux, cette bactérie peut également se multiplier dans la mamelle, provoquant des mammites et augmentant ainsi les risques de contamination. Les sources de contamination sont diverses, souvent invisibles et cumulables, pouvant provenir de l'animal, de la traite, du matériel utilisé ou de la gestion sanitaire du troupeau, notamment en cas de protocoles de traitement des mammites défaillants (SEARS *et al.*, 2003).

II.1.3. *Escherichia coli*

Escherichia coli est un bacille gram négatif, résistant aux radiations, appartenant à la famille des Enterobacteriaceae. Il s'agit d'une bactérie coliforme capable de provoquer des caillés ou des fromages gonflés, ainsi que des altérations du goût (GOUBEAU et PELLEGRIMS, 2000).

Selon les normes de GOUBEAU et PELLEGRIMS (2000), la pathogénicité d'*Escherichia coli* dépend des souches spécifiques, comme la souche O157:H7, l'une des plus dangereuses. Elle se développe entre 35 et 37°C, avec un pH de multiplication compris entre 6 et 8. Elle produit des acides, de l'éthanol, de l'hydrogène et du dioxyde de carbone à partir du lactose. Cette bactérie ne

se développe pas si le lait est correctement réfrigéré, mais elle peut survivre au froid et à la congélation. Sa température de croissance optimale se situe entre 30 et 40°C.

Escherichia coli est peu sensible au sel et se divise en quatre types principaux, chacun responsable de pathologies spécifiques :

1. Entéropathogène : responsable d'infections néonatales et de porteurs sains adultes.
2. Entérotoxinogène : provoque des diarrhées infantiles et des infections liées au "tourista" chez les adultes.
3. Entéro-invasive : cause des diarrhées sanglantes et des dysenteries.
4. Entéro-hémorragique : responsable de diarrhées sanglantes, de coliques hémorragiques et d'infections urinaires.

Les coliformes peuvent être divisés en deux catégories : les coliformes fécaux, d'origine intestinale, et les non fécaux, d'origine environnementale. Ces derniers sont détectés à partir de 30°C (GOUBEAU et PELLEGRIMS, 2000).

II.2. Virus

Dans le secteur laitier, les virus les plus fréquemment identifiés sont principalement le virus de l'hépatite A, pouvant représenter un risque sanitaire pour le consommateur, et les bactériophages. Ces derniers sont des virus spécifiques des bactéries. Bien qu'ils puissent perturber les processus technologiques, notamment la fermentation, ils ne présentent aucun danger pour la santé humaine (FAO, 1995).

II.3. Levures et moisissures

Les levures et les moisissures sont des contaminants courants dans le lait et les produits laitiers. Cependant, leur caractère fortement aérobio limite leur prolifération principalement aux interfaces entre les substrats et l'atmosphère. Lorsque leur développement est bien maîtrisé, qu'il soit naturel ou dirigé, ces microorganismes jouent un rôle crucial dans l'affinage des fromages, notamment grâce à leurs activités enzymatiques variées, qui favorisent la protéolyse et la lipolyse de la pâte (ECK et GILLIS, 1998).

II.3.1. Levures

Les levures, en raison de leur grande capacité d'adaptation à divers substrats, sont largement présentes dans l'environnement et se retrouvent naturellement dans le lait. Il s'agit de champignons, dont la forme unicellulaire prédomine. Les levures sont principalement ovalaires ou sphériques. Elles sont classées selon le genre et l'espèce, et peuvent être regroupées au sein de familles en fonction de leur morphologie et de leur mode de reproduction. Parmi les levures courantes, on trouve *Geotrichum candidum* et *Saccharomyces cerevisiae* (CHOLET, 2006).

II.3.2. Moisissures

Comme les levures, les moisissures sont fréquemment présentes dans l'environnement et peuvent contaminer le lait et le fromage. Ce sont des microorganismes filamenteux qui se propagent par l'émission de spores. Strictement aérobies, certaines moisissures, présentes de manière superficielle ou interne, sont caractéristiques de certains types de fromages. Un exemple notable est le genre *Penicillium* (BOUTON, 2014). Ces moisissures sont présentes à environ 15% dans certains produits laitiers (CUQ, 2007).

Chapitre 03 : Lait issus de la transformation du lait cru

I. Généralités

Le lait cru constitue une ressource biologique précieuse en raison de la diversité de sa microflore naturelle. Il renferme des milliards de bactéries par litre, dont une majorité de lactobacilles qui participent activement à l'équilibre de la flore intestinale humaine (JEANTET *et al.*, 2008). Cette diversité microbiologique est d'un intérêt capital non seulement pour la transformation fromagère artisanale, mais également pour ses effets potentiels sur la santé humaine. Toutefois, cette richesse peut également présenter un risque sanitaire, notamment lorsque certaines bactéries comme les entérocoques ou *Clostridium difficile* sont présentes. Ces espèces, parfois pathogènes, sont capables de survivre à divers traitements et leur rôle clinique reste encore discuté (JEANTET *et al.*, 2008 ; OMSA, 2024).

Certaines souches d'entérocoques se révèlent bénéfiques par leur capacité à produire des bactériocines, agents antimicrobiens naturels. D'autres, en revanche, se caractérisent par une résistance accrue aux antibiotiques, posant ainsi un problème de santé publique majeur (FAO, 2021 ;ANONYME, 2022). Les traitements thermiques tels que la pasteurisation ou la stérilisation UHT visent à éliminer ces agents pathogènes, mais entraînent également une altération significative de la composition microbienne du lait (MONTEL *et al.*, 2014). Cette réduction de la diversité bactérienne limite les effets bénéfiques potentiels du lait cru, notamment en ce qui concerne la modulation du système immunitaire et la prévention de certaines pathologies allergiques (EFSA, 2020 ; ANSES, 2024).

À ce jour, aucune étude n'a établi de lien de causalité direct entre la consommation de lait cru et une prévention systématique des maladies chroniques. Cependant, certaines études épidémiologiques ont observé une corrélation entre la consommation de lait cru durant l'enfance et une diminution du risque d'asthme ou de rhinite allergique, bien que les mécanismes impliqués demeurent mal compris (LOSS *et al.*, 2021 ;ANONYME, 2022). Malgré ses vertus potentielles, le lait cru reste un produit à risque. En effet, de nombreuses épidémies de toxi-infections alimentaires lui sont attribuées, notamment celles causées par *Listeria monocytogenes* ou *Escherichia coli* O157:H7, souvent liées à un défaut de conservation ou à l'absence de traitement thermique (ANSES, 2024 ; OMSA, 2024).

En somme, le lait cru incarne une dualité complexe. Il représente à la fois une source potentielle de bienfaits nutritionnels et immunitaires, mais également un facteur de risque important, en particulier pour les personnes vulnérables telles que les enfants, les femmes enceintes, les personnes âgées ou immunodéprimées.

II. Transformation du lait cru

II .1. De la réception à la transformation

Dès son arrivée dans l'unité de transformation, le lait cru fait l'objet d'un ensemble de contrôles rigoureux visant à garantir sa qualité sanitaire. Il doit être livré à une température de 4 °C. Si la température dépasse 6 °C, une réclamation est transmise au transporteur, et à partir de 10 °C, le lot est automatiquement rejeté (CNIEL, 2022). Cette rigueur témoigne de la responsabilité conjointe des producteurs, des transporteurs et des transformateurs dans la sécurisation de la filière.

II .2. Analyses préliminaires et préparation

À son arrivée, le lait est soumis à des analyses immédiates portant sur les résidus d'antibiotiques, la matière grasse, le taux d'acidité et la stabilité via un test à l'alcool (ANSES, 2023). Des échantillons sont également adressés à des laboratoires internes pour des examens plus approfondis. Ensuite, le lait est clarifié par centrifugation afin d'éliminer les cellules mortes et particules solides, ce qui garantit sa pureté et sa stabilité (DUMONT *et al.*, 2019). Lorsque le lait n'est pas immédiatement transformé, il subit une thermisation douce entre 63 et 65 °C pendant 15 secondes, afin de limiter la croissance microbienne tout en préservant les qualités sensorielles (JEANTET *et al.*, 2008 ; Règlement (CE) n° 853/2004).

II .3. Maîtrise de la matière grasse

Le traitement de la matière grasse est une étape cruciale. Le lait subit une séparation par centrifugation, permettant de récupérer environ 10 litres de crème pour 100 litres de lait. Le lait écrémé ainsi obtenu contient environ 0,1 % de matière grasse. La standardisation permet ensuite d'ajuster précisément la teneur en matière grasse selon le produit final souhaité (lait entier, demi-écrémé ou écrémé) par des procédés automatisés (FAO, 2021 ; CNIEL, 2022).

II .4. Pasteurisation

La pasteurisation vise à détruire les microorganismes pathogènes tout en préservant les qualités nutritionnelles du lait. Elle peut se faire à basse température (63 °C pendant 30 minutes) ou par la méthode HTST, qui consiste à chauffer le lait à 72–75 °C pendant 15 à 20 secondes (ISO/TS 22002-3, 2011 ; EFSA, 2020). Ce procédé allonge considérablement la durée de conservation du produit. Toutefois, une température mal maîtrisée peut affecter certains composants sensibles comme les enzymes ou les vitamines thermolabiles (MONTEL *et al.*, 2014).

II .5. Homogénéisation

L'homogénéisation vise à briser les globules de graisse afin d'empêcher leur remontée à la surface, ce qui confère au lait une texture lisse et homogène. Elle est réalisée sous pression et à température contrôlée (>54 °C), garantissant ainsi la stabilité physique du produit (JEANTET *et al.*, 2008 ; FAO Dairy Guide, 2022).

II .6. Refroidissement

Enfin, le lait est rapidement refroidi entre 0 et 4 °C. Cette étape est cruciale pour inhiber la croissance microbienne, y compris celle des bactéries thermorésistantes ayant survécu à la pasteurisation. Le respect de la chaîne du froid est donc essentiel pour maintenir la sécurité microbiologique et la qualité du lait conditionné (OMSA, 2023 ; ANSES, 2024).

III. Laits issus de la transformation du lait cru

III.1. Définition des laits commercialisés

Les laits dits « commercialisés » désignent l'ensemble des formes de lait liquide disponibles à la vente, prêtes à être consommées directement par le consommateur. Ces produits sont systématiquement conditionnés dans des emballages hermétiques, depuis la production jusqu'à la commercialisation, dans le but de préserver leur qualité microbiologique et leur sécurité sanitaire (CNERNA, 1981). Selon TIELING (1999), il s'agit de laits destinés à une consommation immédiate, sans nécessiter de transformation ou de préparation supplémentaires.

Les avancées technologiques dans les domaines du traitement, de la conservation et du transport du lait ont permis une diversification considérable des produits laitiers disponibles. Ces laits se différencient notamment par leur composition, leur valeur nutritionnelle, leurs propriétés organoleptiques, ainsi que par leur durée de conservation (JEANTET *et al.*, 2008).

III.2. Lait pasteurisé

La pasteurisation est une méthode de traitement thermique destinée à éliminer les micro-organismes pathogènes présents dans le lait, tout en préservant au maximum ses qualités nutritionnelles et sensorielles. Ce procédé vise principalement à détruire les formes végétatives des micro-organismes sans compromettre l'intégrité du produit (HARDING, 1995). Le lait pasteurisé, qu'il soit issu de lait cru ou reconstitué, écrémé ou entier, subit un traitement permettant l'élimination de plus de 90 % des germes, y compris les agents pathogènes responsables de maladies comme la tuberculose et la brucellose (CHRISTIAN, 2001).

D'après JEANTET *et al.* (2008), on distingue plusieurs types de pasteurisation selon les conditions de température et de durée :

- **Pasteurisation basse** réalisée entre 62 et 65 °C pendant 30 minutes en mode discontinu « batch », est aujourd’hui peu utilisée dans l’industrie laitière.
- **Pasteurisation haute** ou méthode HTST entre 71 et 72 °C pendant 15 à 40 secondes, est adaptée aux laits de bonne qualité microbiologique et conserve les qualités nutritionnelles et organoleptiques du produit.
- **Flash pasteurisation** appliquée entre 85 et 90 °C pendant 1 à 2 secondes, est réservée aux laits de qualité moyenne. Elle détruit notamment la phosphatase et la peroxydase.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

La pasteurisation offre des avantages substantiels en matière de sécurité alimentaire. Elle permet de prévenir la transmission de pathologies telles que la tuberculose, la diphtérie ou encore la fièvre typhoïde, en réduisant jusqu'à 99,4 % la charge bactérienne pathogène du lait (EXTENSO, 2020).

Concernant la valeur nutritionnelle, la pasteurisation n'entraîne pas de pertes significatives en calcium ou en vitamines essentielles. Toutefois, de légères diminutions ont été observées pour certaines vitamines thermosensibles, telles que l'acide folique, la vitamine B12, la vitamine B1, la vitamine B2, la vitamine E et la vitamine C (EXTENSO, 2020). Une revue systématique réalisée par MACDONALD *et al.* (2011) a confirmé ces pertes modérées, tout en soulignant que le lait pasteurisé demeure une source nutritive importante.

En somme, la pasteurisation s'impose comme une technique efficace pour assurer la sécurité sanitaire du lait tout en conservant ses propriétés nutritionnelles. Elle constitue un outil essentiel de santé publique, limitant les risques d'infections d'origine alimentaire sans compromettre la qualité du produit.

III.3. Lait stérilisé

La stérilisation du lait est un procédé thermique permettant de prolonger considérablement sa durée de conservation sans nécessiter de réfrigération. Ce traitement repose sur une élévation de température maîtrisée, visant à éliminer l'ensemble des micro-organismes, y compris les plus résistants, ainsi que les enzymes naturellement présentes dans le lait (LESEUR & MELIK, 1999).

Deux types principaux de lait stérilisé sont distingués : le lait stérilisé classique et le lait UHT.

Le lait stérilisé classique est d'abord conditionné dans des contenants hermétiques résistants à la chaleur, tels que des bouteilles en verre ou des boîtes métalliques. Il subit ensuite une chauffe à une température comprise entre 100 et 120 °C pendant environ 15 à 20 minutes. Ce procédé permet une destruction complète des agents pathogènes et des enzymes, assurant ainsi une conservation du produit à température ambiante pendant une période de 6 à 12 mois, tant que l'emballage reste scellé (LESEUR & MELIK, 1999). Toutefois, cette méthode peut entraîner une altération du goût notamment une saveur légèrement caramélisée ainsi qu'une dégradation partielle de certaines vitamines thermosensibles, telles que les vitamines B1 et C (EXTENSO, 2020).

III.4. Lait UHT

Contrairement à la stérilisation classique, le procédé UHT consiste à chauffer le lait à une température très élevée, comprise entre 135 et 150 °C, pendant une durée très brève de 2 à 5 secondes, avant d'être immédiatement refroidi et conditionné dans un emballage stérile (FAO, 2020 ; OMS, 2020). Cette technique assure une élimination efficace des germes pathogènes tout en préservant davantage les qualités nutritionnelles du lait. Le lait UHT se conserve généralement entre 3 et 9 mois à température ambiante, à condition que l'emballage reste intact. Une fois ouvert, il doit être consommé rapidement, généralement dans les 3 à 4 jours.

Sur le plan nutritionnel, les procédés de stérilisation classique ou UHT, peuvent réduire légèrement la teneur en vitamines sensibles à la chaleur (comme la vitamine C et certaines vitamines du groupe B). Cependant, ces laits demeurent une source significative de calcium, de protéines, ainsi que de vitamines A et D (MACDONALD *et al.*, 2011 ; EXTENSO, 2020). Du point de vue sanitaire, ces traitements thermiques ont permis de réduire fortement les risques de maladies alimentaires associées à la consommation de lait cru, telles que la brucellose et la tuberculose (WHO, 2019).

IV. Différents types de laits obtenus après écrémage

- Le lait écrémé contient moins de 0,5 % de matière grasse. Il est souvent utilisé dans les programmes nutritionnels humanitaires, notamment à destination des enfants souffrant de malnutrition modérée. Dans les interventions de Médecins Sans Frontières au Soudan du Sud, par exemple, le lait écrémé en poudre entre dans la composition d'aliments thérapeutiques destinés aux enfants sous-alimentés (OMS, 2013).
- Le lait demi-écrémé, avec une teneur en matière grasse comprise entre 1,5 et 1,8 %, représente un compromis intéressant entre richesse nutritionnelle et qualité gustative. Il est largement utilisé dans la consommation quotidienne et dans la fabrication artisanale de produits laitiers fermentés, notamment en Afrique du Nord (WALSTRA *et al.*, 2006).
- Le lait écrémé reconstitué est obtenu par reconstitution de lait écrémé en poudre avec de l'eau potable. Il est couramment utilisé dans les situations d'urgence humanitaire, notamment dans les camps de réfugiés dépourvus de chaîne du froid. Ce type de lait, distribué par des organisations comme le PAM et l'UNICEF, constitue une solution stable, économique et efficace pour apporter les nutriments essentiels sans excès de graisses (FAO, 2013).
- Le lait écrémé fermenté est le résultat d'un processus de fermentation lactique, produisant des dérivés tels que le yaourt nature ou le lait caillé. Au Mali, dans le cadre du projet des mini-laiteries de Sikasso, ce lait est transformé en lait caillé traditionnel, distribué dans les écoles ou commercialisé localement, contribuant à la sécurité alimentaire et à l'autonomisation économique des femmes rurales (BOUTONNET, 2008).

Enfin, le lait écrémé enrichi est formulé pour répondre à des besoins nutritionnels spécifiques. Il est souvent enrichi en vitamines A et D, voire en fer ou en protéines, et est utilisé dans les programmes de soutien nutritionnel en Asie du Sud-Est, notamment par l'UNICEF, pour prévenir les carences multiples chez les enfants et les femmes enceintes (UNICEF, 2012).

Chapitre 4 : Résidus d'antibiotiques dans le lait

I. Définition des résidus

Les résidus d'antibiotiques correspondent aux traces de substances médicamenteuses administrées aux animaux dans le cadre de traitements vétérinaires. Ces résidus comprennent non seulement les principes actifs des médicaments, mais également leurs excipients et leurs métabolites (STOLTZ, 2008). Ils peuvent être présents dans différents produits d'origine animale tels que les tissus, le lait, les œufs ou la viande, et sont susceptibles d'être transmis à l'être humain via la chaîne alimentaire (BOULTIF, 2014).

Bien que souvent détectés en quantités minimes, la présence répétée ou excessive de ces résidus soulève des préoccupations majeures en santé publique, particulièrement dans le contexte mondial de lutte contre la résistance antimicrobienne. Selon la FAO (2021), la sécurité alimentaire doit être repensée à travers une approche intégrée dite « Une seule santé », qui considère simultanément la santé humaine, animale et environnementale.

II. Risques microbiologiques liés aux résidus d'antibiotiques dans le lait

L'administration d'antibiotiques en élevage, bien que nécessaire pour prévenir et traiter les infections bactériennes, pose un risque sanitaire lorsque leurs résidus persistent dans le lait. Ces substances peuvent affecter la santé humaine de manière insidieuse, en modifiant la flore intestinale, en facilitant la prolifération de bactéries pathogènes et, surtout, en favorisant l'émergence de résistances antimicrobiennes.

II.1. Perturbation de la flore intestinale et risques associés

Les résidus d'antibiotiques dans le lait peuvent déséquilibrer le microbiote intestinal humain. Ce déséquilibre résulte de la destruction partielle des bactéries bénéfiques, créant un terrain favorable à l'émergence de bactéries pathogènes ou opportunistes.

- Altération du microbiote**

Selon STOLTZ (2008), ces perturbations peuvent provoquer des troubles digestifs et des infections systémiques. Ce phénomène est d'autant plus inquiétant que la flore intestinale joue un rôle fondamental dans la digestion, le métabolisme des nutriments et la régulation immunitaire.

- Impact sur les individus vulnérables**

Les personnes immunodéprimées (enfants, personnes âgées, patients atteints de pathologies chroniques) sont particulièrement exposées à ces effets néfastes. L'OMS (2022) souligne que ces groupes sont plus susceptibles de développer des infections sévères dues à des bactéries

résistantes qui prolifèrent dans un microbiote déséquilibré. Les nourrissons, dont le système immunitaire est encore immature, sont également très vulnérables.

II.2. Antibiorésistance

L'antibiorésistance est aujourd'hui identifiée comme l'une des plus grandes menaces sanitaires mondiales (OMS, 2022). La consommation répétée de lait contenant de faibles doses d'antibiotiques contribue à ce phénomène en exerçant une pression de sélection sur les bactéries.

- **Sélection de souches résistantes**

L'exposition chronique à des doses subthérapeutiques favorise la survie et la multiplication de bactéries résistantes (ZIADI, 2010). Ces bactéries peuvent s'adapter, muter, et devenir insensibles aux antibiotiques conventionnels, rendant les infections de plus en plus difficiles à traiter.

- **Transfert de gènes de résistance**

Les bactéries résistantes peuvent transmettre leur matériel génétique à d'autres bactéries, y compris à des agents pathogènes, par des mécanismes tels que la conjugaison. Ce phénomène, qualifié de transfert horizontal de gènes, est particulièrement préoccupant. Selon l'EFSA (2023), il constitue une menace majeure pour la santé publique en raison de la rapidité avec laquelle il permet la propagation des résistances.

- **Risque accru d'infections sévères**

Les infections causées par des bactéries multirésistantes entraînent des complications cliniques sévères, des hospitalisations prolongées, une hausse de la mortalité et une augmentation des coûts des soins de santé. Le rapport de l'OMS (2022) met en lumière l'augmentation notable de ces infections, directement liée à l'usage abusif des antibiotiques en élevage.

III. Détection des résidus d'antibiotiques dans le lait

La détection des résidus d'antibiotiques dans le lait constitue une étape essentielle dans la chaîne de sécurité sanitaire des produits laitiers. Elle permet non seulement de prévenir l'exposition des consommateurs à des substances pharmacologiquement actives, mais aussi de garantir le respect des normes réglementaires en vigueur. L'évolution des techniques de détection a permis d'améliorer la précision, la rapidité et la fiabilité des résultats, assurant une surveillance plus rigoureuse des produits laitiers.

III.1. Méthodes de détection des résidus

Les techniques de détection utilisées pour repérer les résidus d'antibiotiques dans le lait sont classées en trois grandes catégories : microbiologiques, immunologiques et physico-chimiques, chacune présentant des avantages et des limites spécifiques.

- **Méthodes microbiologiques**

Ces tests reposent sur la capacité d'un antibiotique à inhiber la croissance d'une souche bactérienne sensible (souvent *Bacillus subtilis*). Ils sont simples, économiques, et bien adaptés aux contrôles de routine sur le terrain, mais leur sensibilité reste inférieure à celle des autres techniques (GAUDIN, 2016). Leur principal avantage réside dans leur aptitude à détecter plusieurs classes d'antibiotiques simultanément, bien qu'ils soient parfois sujets à des faux positifs.

- **Méthodes immunologiques :**

Parmi ces techniques, le test ELISA est le plus couramment utilisé. Il repose sur la reconnaissance spécifique entre un anticorps et une molécule cible (l'antibiotique). Cette méthode est très sensible, rapide, et permet une quantification semi-automatisée des résidus à des concentrations souvent inférieures aux LMR, (ABIDI, 2004 ; GAUDIN, 2016). Elle est largement utilisée dans les laboratoires d'analyse et pour les contrôles qualité dans les industries laitières.

- **Méthodes physico-chimiques :**

La chromatographie liquide à haute performance représente l'une des techniques les plus précises et les plus fiables pour l'analyse des résidus d'antibiotiques. Elle permet une identification spécifique et une quantification exacte de différentes molécules, même à de très faibles concentrations (BOULTIF, 2014). Malgré son coût élevé et son besoin en personnel qualifié, cette méthode est aujourd'hui un standard incontournable dans les laboratoires de référence.

IV. Méthodes pour réduire ou éliminer les résidus d'antibiotiques dans le lait

Même si la prévention des résidus reste la meilleure stratégie (via le respect des temps d'attente et la bonne utilisation des médicaments vétérinaires), plusieurs méthodes technologiques ont été explorées pour réduire les résidus une fois qu'ils sont présents dans le lait. Cependant, aucune de ces méthodes ne garantit une élimination complète et sûre, ce qui rend cette approche complémentaire, mais non suffisante à elle seule.

- **Traitements thermiques :**

La pasteurisation et d'autres traitements thermiques visent à détruire les agents pathogènes du lait. Toutefois, leur efficacité sur les résidus d'antibiotiques est variable. Certaines substances sont thermostables et peuvent résister à des températures élevées (FORM, 2003). Le chauffage peut parfois réduire partiellement la concentration de certains antibiotiques, mais ne constitue pas une méthode fiable pour leur élimination.

- **Traitements enzymatiques :**

L'utilisation d'enzymes spécifiques, comme les pénicillinases, permet de dégrader certaines familles d'antibiotiques, notamment les pénicillines. Cette approche enzymatique présente

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

un intérêt certain mais reste limitée à quelques molécules, et son coût demeure élevé (FORM, 2003). Des recherches sont en cours pour identifier des enzymes plus efficaces, capables d'agir sur une gamme plus large d'antibiotiques, mais leur mise en application à grande échelle demeure expérimentale.

PARTIE EXPERIMENTALE

Objectifs

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique du lait cru collecté et livré à la laiterie de Sidi Mansour de Khemis El Khechna. L'évaluation repose sur l'analyse de paramètres physico-chimiques en vue de vérifier la conformité du lait aux standards internes définis par l'entreprise.

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

I. Lieu et période de l'étude

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au sein du service qualité de la laiterie de Sidi Mansour de Khmis El Khechna (wilaya de Boumerdes) entre le mois de mai et le mois de juin 2025.

II. Matériel et méthodes

II.1. Matériel

II.1.1. Échantillonnage

L'échantillonnage a eu lieu au service de réception du lait de la laiterie de Sidi Mansour (Khemis El Khechna). Un total de 14 échantillons de lait cru, issus de 11 fermes différentes et de 3 citernes de collecteurs, a été prélevé, chacun conditionné dans un flacon hermétiquement fermé.

Chaque échantillon a été soigneusement identifié selon les critères suivants : date et lieu de prélèvement, nom de la ferme ou du collecteur, et numéro d'identification propre à chaque échantillon.

II.1.2. Transport et conservation

Les échantillons ont été transportés dans des flacons hermétiquement fermé jusqu'au laboratoire d'analyse, sans ajout de conservateurs chimiques. Cette méthode de conservation a pour but de maintenir l'intégrité des paramètres physico-chimiques du lait, garantissant ainsi la fiabilité des résultats obtenus lors des analyses.

II.1.3. Matériel utilisé

Les opérations ont nécessité différents équipements répartis en plusieurs catégories :

PARTIE EXPERIMENTALE

- Matériel de prélèvement : flacons stériles de 250 ml et louche à long manche pour les prélevements en citerne.
- Matériel biologique : 14 échantillons de lait cru collectés.
- Matériel de laboratoire : thermo-lacto-densimètre, butyromètre avec centrifugeuse, pH-mètre, balance analytique, tubes, bêchers, pipettes, etc.
- Réactifs : solution de phénolphtaléine (1%), hydroxyde de sodium (0,1 N), acide sulfurique, et alcool iso-amylque.

II.3. Analyse physico-chimique du lait

Les prélevements ont été réalisés directement à partir des fermes et des citernes des collecteurs, sur du lait homogénéisé à l'aide d'une louche stérile. Les analyses ont été effectuées le jour même au laboratoire de la laiterie Sidi Mansour (Khmis El Khechna), avant que le lait n'entre dans le processus de transformation.

L'analyse physico-chimique du lait cru collecté à la laiterie de Sidi Mansour, a pour objectif d'évaluer sa qualité globale avant toute transformation. Cette évaluation repose sur l'observation organoleptique ainsi que sur une série de mesures analytiques permettant d'identifier les principales caractéristiques du lait, à savoir :

- La mesure de la densité et de la température à l'aide du thermo-lacto-densimètre.
- La détermination de l'acidité titrable et potentielle.
- La détermination de la teneur en matière grasse (méthode de GERBER.).
- La détermination de la matière sèche dégraissée.
 - Extrait sec total du lait.
 - Extrait sec dégraissé du lait.

II.3.1. Évaluation organoleptique

Les propriétés organoleptiques du lait, à savoir la couleur, l'odeur et la saveur sont examinées à l'œil nu et par perception sensorielle (olfactive et gustative). Ces critères permettent une première estimation rapide de la qualité et de la fraîcheur du lait.

II.3.2. Mesure du pH

La mesure du pH permet d'apprécier l'acidité du lait, qui reflète son état de fraîcheur et l'activité métabolique des microorganismes présents. Selon MATHIEU (1999), cette mesure est réalisée à 20°C à l'aide d'un pH-mètre. L'appareil est préalablement étalonné à l'aide de solutions tampons. L'électrode est ensuite immergée dans le lait cru, puis nettoyée et séchée après chaque mesure. La valeur est directement lue sur le dispositif.

II.3.3. Détermination de la densité du lait

La densité du lait est définie comme le rapport entre la masse d'un volume de lait et celle d'un même volume d'eau à température égale, exprimée en kg/m³. Elle reflète donc la masse volumique du lait. En pratique, cette mesure est obtenue à l'aide d'un thermo-lactodensimètre, qui permet une lecture directe de la densité à 20 °C. Cette analyse constitue un indicateur important de qualité, notamment pour détecter d'éventuelles fraudes telles que l'ajout d'eau, qui diminue la densité, ou l'écrémage partiel, qui l'augmente).

Pour effectuer cette mesure, le lait cru est versé dans une éprouvette de 250 ml, en l'inclinant légèrement pour éviter la formation de mousse ou de bulles d'air. Le remplissage doit provoquer un léger débordement afin d'éliminer les éventuelles traces de mousse à la surface. Ensuite le thermo-lactodensimètre est introduit doucement dans l'éprouvette en veillant à ce qu'il reste bien centré. Après stabilisation (environ 30 secondes à une minute), la lecture se fait à la graduation au niveau supérieur du ménisque.

La densité lue doit ensuite être corrigée en fonction de la température du lait.

Deux cas sont à distinguer :

- Si la température est inférieure à 20 °C : $D = D \text{ lue} - 0,2 \times (20 - T^\circ \text{ lue})$.
- Si la température est supérieure à 20 °C : $D = D \text{ lue} + 0,2 \times (T^\circ \text{ lue} - 20)$.

Le coefficient de correction est de 0,2 par degré Celsius.

III.3.4. Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable, souvent mesurée en degré DORNIC (°D), est une estimation de la concentration totale en acides présents dans le lait. Elle inclut l'acide lactique libre ainsi que d'autres composés acides, ionisés ou non (LUQUET, 1985). Elle est déterminée par titrage acido-basique à l'aide d'une solution de soude (NaOH 0,11 N), en présence de phénolphthaleïne comme indicateur coloré.

Le protocole consiste à introduire 10 ml d'échantillon de lait dans un bêcher, auxquels 2 à 3 gouttes de phénolphthaleïne sont ajoutées. Par la suite, on procède au titrage goutte à goutte avec la solution de NaOH jusqu'à l'apparition d'une coloration rose, signalant le point d'équivalence.

- La formule de calcul de l'acidité titrable est la suivante :

$$AT = V \times 10 (\text{°D})$$

où V représente le volume en ml de NaOH utilisé lors du titrage.

II.3.5. Détermination de la teneur en matière grasse

La méthode de Gerber permet de quantifier la matière grasse du lait par séparation centrifuge, après dissolution des protéines à l'aide d'acide sulfurique. L'addition d'alcool iso-amylque facilite la séparation de la phase grasse. Le butyromètre, instrument gradué spécifiquement pour cette analyse,

permet une lecture directe de la teneur en matière grasse. Cette méthode permet de détecter les fraudes telles que l'écrémage ou le reblochage.

Le protocole est comme suit :

- Les protéines sont d'abord dissoutes par l'acide sulfurique, facilitant la libération de la phase grasse.
- L'ajout d'alcool iso-amylque favorise la séparation de la matière grasse.
- Le butyromètre, instrument gradué, permet une lecture directe de la teneur en matière grasse.

➤ **Technique**

- Introduire 10 ml d'acide sulfurique (densité 1,825) dans le butyromètre.
- Ajouter 11 ml de lait cru.
- Ajouter 1 ml d'alcool isoamylque.
- Boucher le butyromètre à l'aide d'un bouchon spécial.
- Centrifuger pendant 5 minutes.
- Après centrifugation, une colonne de matière grasse se forme et la lecture se fait directement sur l'échelle graduée.
- Le butyromètre doit être maintenu bouchon vers le bas pendant la lecture.
- Le résultat est exprimé en grammes par litre (g/l) selon la formule :

$$MG \text{ (g/l)} = (B - A) \times 100$$

où :

- A = niveau inférieur de la colonne grasse,
- B = niveau supérieur de la colonne grasse.

II.3.6. Détermination de la matière sèche dégraissée

La matière sèche dégraissée désigne la portion du lait dépourvue de matières grasses. Elle comprend principalement les protéines, le lactose et les sels minéraux. Sa teneur, généralement voisine de 90 g/l, est déterminée par dessiccation à température contrôlée. L'analyse consiste à tarer une coupelle préalablement placée dans un dessiccateur, puis à y déposer environ 2 g de lait cru. L'échantillon est étalé uniformément à l'aide d'une spatule en inox, puis placé dans une étuve à 105°C jusqu'à séchage complet. Une fois refroidie dans le dessiccateur, la coupelle est pesée de nouveau afin de calculer le poids résiduel, correspondant à la matière sèche dégraissée.

II.3.6.1. Extrait sec total du lait

L'extrait sec total correspond à la fraction du lait qui subsiste après évaporation complète de l'eau contenue dans un échantillon défini. Cette opération repose sur le principe de la dessiccation par chaleur, visant à isoler les composants solides du lait.

PARTIE EXPERIMENTALE

- Le matériel nécessaire comprend : une capsule en verre propre et sèche, du papier buvard, une pipette graduée de 10 ml, une balance analytique de haute précision, et un four à micro-ondes.
- La procédure est la suivante :
 - o Tapisser l'intérieur de la capsule avec du papier buvard, puis peser l'ensemble (capsule + buvard).
 - o Verser exactement 10 ml de lait dans la capsule.
 - o Placer la capsule dans un four à micro-ondes pour une durée de 10 minutes afin de permettre l'évaporation de l'eau.
 - o Une fois le séchage terminé, retirer la capsule, la laisser refroidir à température ambiante, puis la peser à nouveau.
 - o Le calcul de l'extrait sec total se fait avec la formule :

$$\text{EST (g/l)} = [(M_1 - M_2)/V] \times 1000$$

où :

- M_1 est la masse capsule + buvard + lait avant dessiccation,
- M_2 est la masse après dessiccation,
- V représente le volume de lait utilisé (en ml).
- Le résultat est exprimé en grammes par litre (g/l) et représente l'ensemble des constituants non aqueux du lait (lipides, protéines, lactose, sels minéraux, etc.).

II.3.6.2. Extrait sec dégraissé du lait

L'extrait sec dégraissé (ESD) correspond à la fraction du lait constituée uniquement des matières sèches non lipidiques, telles que les protéines, les glucides (principalement le lactose) et les minéraux. Cette valeur est obtenue par simple soustraction entre l'extrait sec total (EST) et la teneur en matière grasse (MG). Les laits considérés comme normaux présentent généralement une matière sèche dégraissée comprise entre 90 et 95 g/l, ce qui en fait un paramètre essentiel pour évaluer la richesse nutritionnelle du lait hors lipides.

- La formule utilisée est :

$$\text{ESD} = \text{EST} - \text{MG}$$

où :

- o ESD : Extrait sec dégraissé (g/l),
- o EST : Extrait sec total (g/l),
- o MG : Teneur en matière grasse (g/l).

II.3.7. Interprétation des résultats des analyses physico-chimiques

PARTIE EXPERIMENTALE

L'interprétation des résultats des paramètres physico-chimiques obtenus est réalisée selon les normes du lait cru appliquées par la laiterie de Sidi Mansour de Khemis El Khechna.

Le tableau 3 présente les normes des différents paramètres étudiés.

Tableau 3 : Interprétation des résultats d'analyse (tableau personnel)

Paramètre	Norme	Interprétation
Acidité ($^{\circ}$ Dornic)	14 - 18	Indique fraîcheur et acidification normale
Densité	≥ 1028	Indique richesse en matière sèche
pH	6,6 - 6,8	Indique stabilité et fraîcheur
Matière grasse (g/L)	≥ 28	Indique richesse nutritionnelle
Extrait sec dégraissé (g/L)	≥ 82	Indique la portion du lait dépourvue de matières grasses

II.3.8. Autres analyses

II.3.8.1. Test d'ébullition

Ce test consiste à chauffer un échantillon de lait jusqu'à ébullition. Un lait normal et frais ne doit pas coaguler ni former de flocons à l'ébullition.

II.3.8.2. Test de coagulation

Il s'agit généralement d'un test à l'alcool (éthanol à 68° ou 70°). Il permet de détecter une instabilité protéique ou une acidification avancée du lait.

II.3.8.3. Test de fermentation

Ce test consiste à laisser fermenter le lait à température ambiante (généralement 24h à 30°C) pour observer s'il prend une consistance de yaourt ou s'il présente une fermentation anormale (odeur, goût, aspect).

Chapitre 2 : Résultats et discussion**I. Résultats globaux de l'analyse physicochimique****I.1. Résultats bruts**

Tous les résultats des différents tests physico-chimiques réalisés sur les 14 échantillons de lait cru testés sont rapportés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons testés

Collecteur	Densité	T° C	Acidité	pH	M G (g/l)	MS (g/l)	Tests Ebullition/ Coagulation / fermentation / Organoleptique
E1	1027	18	20	6,5	28	113	C
E2	1027	23	22	6,4	30	113	C
E3	1032	16	22	6,6	40	112	C
E4	1032	25	21	6,6	17	114	C
E5	1029	17	16	6,6	41	114	C
E6	1031	18	20	6,5	34	113	C
E7	1029	20	20	6,5	29	112	C
E8	1030	19	21	6,4	31	113	C
E9	1027	22	21	6,5	35	116	C
E10	1031	16	16	6,4	29	117	C
E11	1032	17	16	6,4	34	117	C
E12	1032	23	19	6,5	33	114	C
E13	1029	20	18	6,5	32	115	C
E14	1028	20	18	6,8	31	114	C
Moyenne	1030	20	19	6,5	32	114	
Valeur minimale	1027	16	16	6,4	17	112	
Valeur maximale	1032	25	22	6,8	41	117	

E : Echantillon ; C : Conforme.

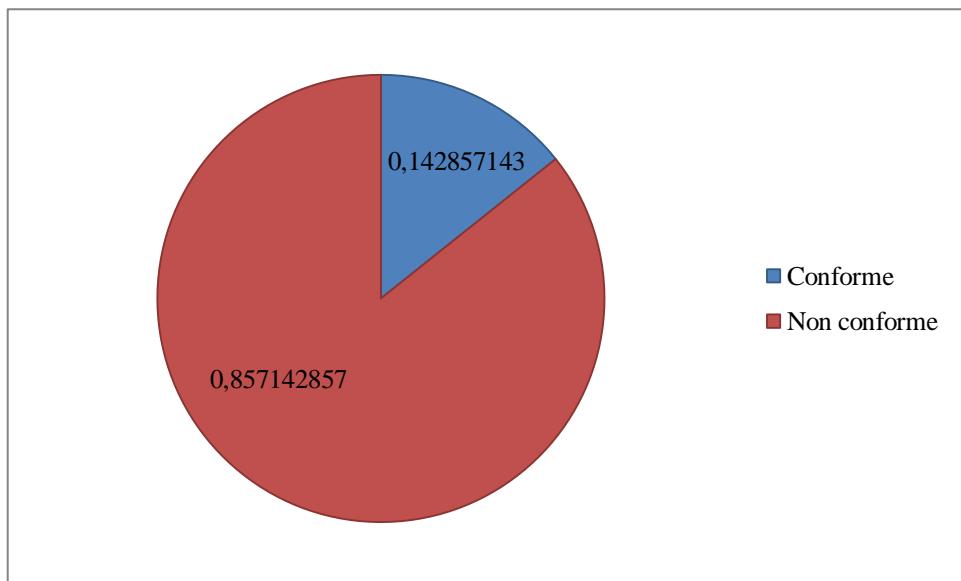
I.2. Taux de conformité

Les résultats globaux montrent que 12 (85,71%) des échantillons sont non conformes. Seuls 2 échantillons sont conformes (14,29%) (Tableau 5, Figure 1). Les motifs de non-conformité sont l'acidité Dornic, le pH, la densité et la matière grasse.

Tableau 5 : Taux de conformité

Résultat	N	%
Conforme	2	14,29
Non conforme	12	85,71

N : Nombre ; % : Pourcentage

**Figure 1 : Taux de conformité**

II. Résultats par paramètre étudié

III.1. Densité

Les résultats des 14 échantillons testés ont donné une moyenne globale de 1030 (min : 1027 ; max : 1032). Ainsi, la moyenne enregistrée se trouve légèrement au-dessus de la valeur fixée par l'entreprise.

La majorité des échantillons testés ($N = 11$) se trouvent dans l'intervalle de la limite fixée par l'entreprise. Toutefois, 3 échantillons (E1, E2, E9) sont légèrement sous la norme.

Les résultats des tests de la densité montrent que 78,57% des échantillons (11/14) sont conformes aux normes fixées par l'entreprise pour ses fournisseurs en lait cru tandis que 21,43% (3/14) sont non conformes (figure 2), ce qui pourrait refléter une dilution, une variation de composition ou une altération. Par ailleurs, ces résultats peuvent également indiquer des erreurs de mesure.

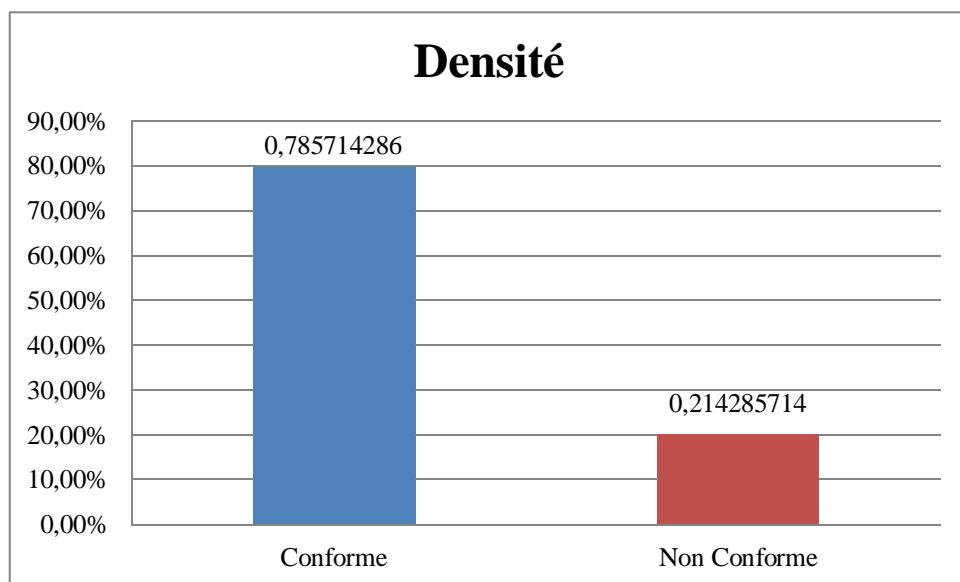


Figure 2 : Conformité des échantillons selon le critère de densité

II.2. Acidité ($^{\circ}$ Dornic)

Les résultats des 14 échantillons testés ont donné une moyenne globale de 19 (min : 16 ; max : 22). Ainsi, la moyenne enregistrée se trouve légèrement au-dessus de la valeur fixée par l'entreprise.

Seuls 6 des échantillons testés se trouvent dans l'intervalle de la limite fixée par l'entreprise, et plus de la moitié des échantillons testés (N=8) dépassent la norme.

Les résultats des tests de l'acidité montrent que 42,86% (6/14) sont non conformes aux normes fixées par l'entreprise pour ses fournisseurs en lait cru tandis que 57,14% des échantillons (8/14) sont non conformes (figure 3).

Plus de la moitié des échantillons dépassent la norme supérieure, indiquant un début de fermentation, une conservation prolongée ou une dégradation microbiologique. Des variabilités peuvent également être liées au climat, au stade de lactation, à la disponibilité alimentaire, à l'apport hydrique et aux conditions d'élevage.

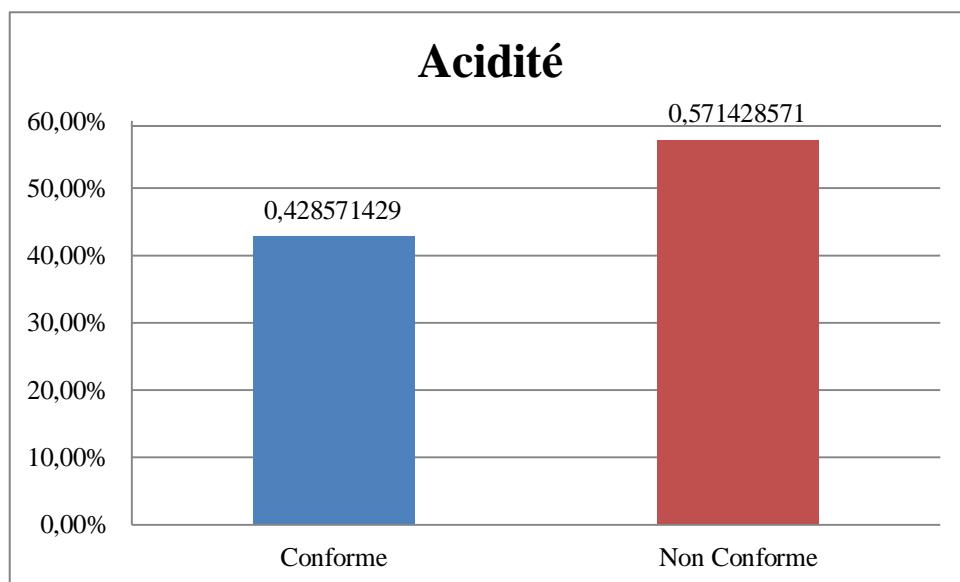


Figure 3 : Conformité des échantillons selon le critère d'acidité

II.3. pH

Les résultats des 14 échantillons testés ont donné une moyenne globale de 6,5 (min : 6,4 ; max : 6,8). Ainsi, la moyenne enregistrée se trouve légèrement en-dessus de la valeur fixée par l'entreprise.

Seuls 4 des échantillons testés se trouvent dans l'intervalle de la limite fixée par l'entreprise tandis que la majorité des échantillons testés ($N=10$) se situent sous la limite fixée.

Les résultats des tests du pH indiquent que 28,57% des échantillons (4/14 échantillons) sont conformes aux normes fixées par l'entreprise pour ses fournisseurs en lait cru alors que 71,43% (10/14) sont non conformes (figure 4).

La majorité des échantillons ont un pH légèrement bas, signe d'un début d'acidification. Par ailleurs, ce pH bas est corrélé avec l'acidité élevée, ce qui pourrait affecter la stabilité du produit et indiquer une prolifération bactérienne ou un défaut de conservation.

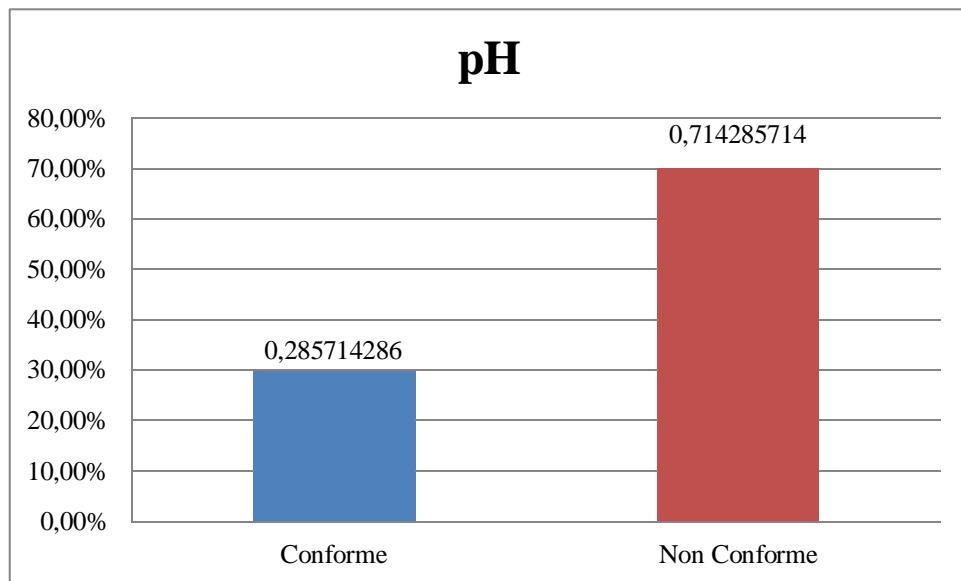


Figure 4 : Conformité des échantillons selon le critère du pH

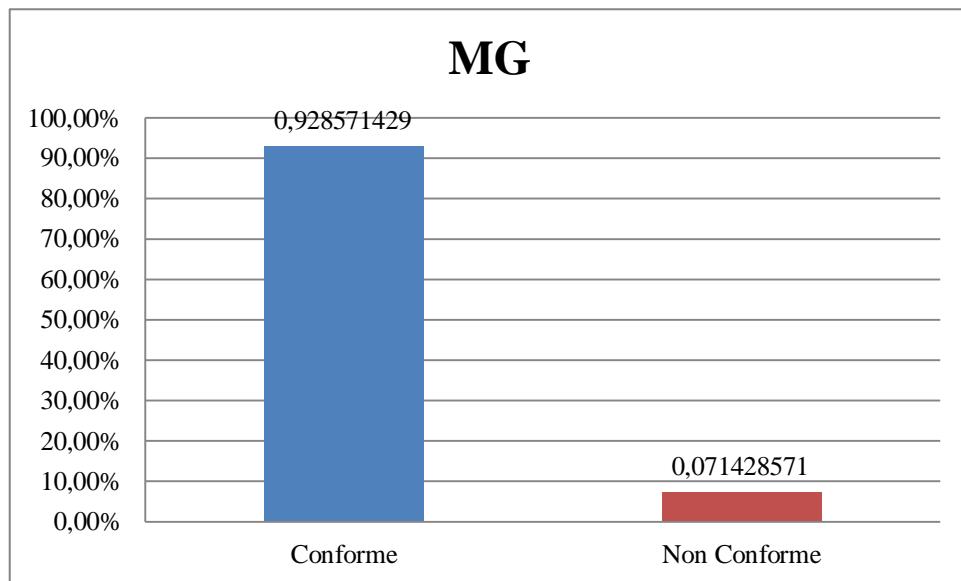
II.4. Matière grasse

Les résultats des 14 échantillons testés ont donné une moyenne globale de 32 g/l (min : 17 g/l ; max : 41 g/l). Ainsi, la moyenne enregistrée se trouve dans l'intervalle fixé par l'entreprise.

La majorité des échantillons testés (N=13) se trouvent dans l'intervalle de la limite fixée par l'entreprise alors qu'un seul échantillon se trouve sous la limite fixée.

Les résultats des tests du pH indiquent que 92,86% des échantillons (13/14 échantillons) sont conformes aux normes fixées par l'entreprise pour ses fournisseurs en lait cru alors que seulement 7,14% (1/14) des échantillons sont non conformes (figure 5).

La qualité de la matière grasse est globalement bonne. Toutefois, un seul échantillon est non conforme, ce qui pourrait être une erreur de mesure ou un problème de mélange.



MG : Matière grasse

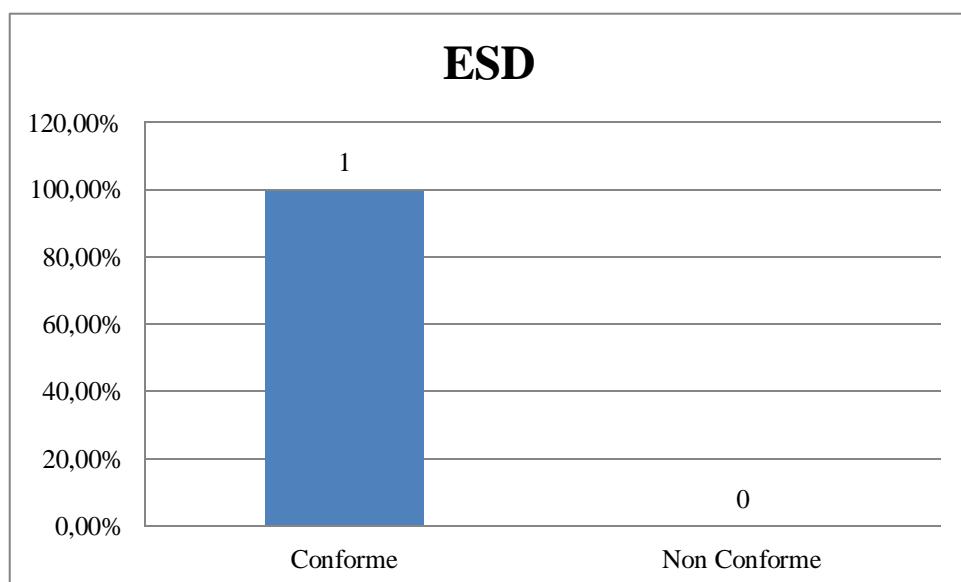
Figure 5 : Conformité des échantillons selon le critère de la matière grasse

II.5. Extrait sec dégraissé

Les résultats des 14 échantillons testés ont donné une moyenne globale de l'extrait sec dégraissé de 114 g/l (min : 112 g/l ; max : 117 g/l). Ainsi, la moyenne enregistrée se trouve dans l'intervalle fixé par l'entreprise.

Tous les échantillons testés ($N=14$) se trouvent dans l'intervalle de la limite fixée par l'entreprise. De ce fait, 100% des échantillons testés sont conformes (figure 6).

Tous les échantillons sont conformes pour ce paramètre, ce qui dénote une très bonne richesse en extrait sec dégraissé.



ESD : Extrait Sec Dégraissé

Figure 6 : Conformité des échantillons selon le critère de l'extrait sec dégraissé

II.6. Test d'ébullition

Tous les échantillons sont conformes (N=14/14 ; 100%), ce qui signifie qu'il n'y a aucune coagulation à l'ébullition, ce qui indique une bonne stabilité thermique du lait. En effet, le lait ne présente pas de dégradation avancée des protéines (caséines), ni d'acidité excessive au point de provoquer une coagulation à chaud. Ce résultat est rassurant, même si certains échantillons présentent une acidité Dornic ou un pH hors norme, car le seuil critique de coagulation à chaud n'est pas atteint.

II.7. Test de coagulation

Tous les échantillons sont conformes (N=14/14 ; 100%) car ils n'ont pas présenté de coagulation lors de la réalisation du test. Cela indique une bonne stabilité colloïdale du lait, sans signe de dénaturation protéique ni d'acidité excessive susceptibles d'entraîner une coagulation spontanée. Cela confirme que, malgré certaines valeurs d'acidité ou de pH en dehors des normes, le lait reste technologiquement exploitable (par exemple pour la transformation fromagère ou la pasteurisation).

II.8. Test de fermentation

Tous les échantillons sont conformes (N=14/14 ; 100%). Ainsi, le lait a une bonne aptitude à la fermentation lactique, ce qui est essentiel pour la fabrication de yaourts et autres produits fermentés.

II.8. Test organoleptiques

Tous les échantillons sont conformes (N=14/14 ; 100%). L'absence de défauts (odeur putride, goût amer, etc.) indique une flore microbienne principalement lactique, sans contamination majeure par des germes indésirables.

Conclusion et recommandations

L'analyse physico-chimique du lait cru collecté à la laiterie de Sidi Mansour, a pour objectif d'évaluer sa qualité globale avant toute transformation. Cette évaluation repose sur l'observation organoleptique ainsi que sur une série de mesures analytiques permettant d'identifier les principales caractéristiques du lait. Pour ce faire, 14 prélèvements ont été réalisés directement à partir des citernes des collecteurs. Toutes les analyses ont été effectuées le jour même au laboratoire de la laiterie Sidi Mansour (Khmis El Khechna).

Comparativement aux normes de la laiterie, les laits crus testés présentent une qualité physicochimique relativement acceptable, avec des taux moyens de matière grasse estimé à 32 g/l, une densité appréciable avec une valeur moyenne de 1030, une acidité titrable moyenne de 19 D°, un pH moyen de 6,5, et un extrait sec dégraissé moyen de 114 g/l.

Les résultats globaux montrent que 85,71% des échantillons sont non conformes. Seuls 14,29% des échantillons sont conformes. Les motifs de non-conformité sont, principalement, l'acidité Dornic, le pH et la densité.

Malgré les non-conformités relevées pour certains paramètres tels que l'acidité, le pH ou la densité, l'ensemble des échantillons a satisfait les tests de stabilité et de transformation de base. Cela indique, d'une part, que le lait reste globalement sain et ne présente pas de signes de dégradation avancée. D'autre part, il demeure apte à la consommation ainsi qu'à une transformation industrielle ou artisanale. Les écarts observés concernant l'acidité et le pH restent modérés et n'affectent pas la stabilité immédiate du lait.

Afin d'améliorer la qualité du lait cru, il est nécessaire de :

- Surveillez la chaîne du froid et la rapidité de collecte pour éviter une acidification excessive à l'avenir.
- Investiguer les causes de l'acidité élevée (nettoyage des équipements, température de stockage).
- Continuez à réaliser ces tests rapides comme examens de routine car ils sont de bons indicateurs de la qualité globale du lait.
- Vérifier la calibration des instruments de mesure.

Liste des références bibliographiques

- Adrian, J., Frangne, R., & Galmiche, J. P. (1995).** Biochimie des aliments : Constituants et fonctions nutritionnelles. Paris : Tec & Doc – Lavoisier.
- Arber, A., & Petterkini, R. (1991).** Occurrence and control of Listeria monocytogenes in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 74(6), 1126–1132.
- Beresford, T. P., Fitzsimons, N. A., Brennan, N. L., & Cogan, T. M. (2001).** Recent advances in cheese microbiology. *International Dairy Journal*, 11(4–7), 259–274.
- Bérodier Antoine, B. (2005).** Flore microbienne du lait et dynamique d'évolution : impact sur la qualité sanitaire. Paris : Éditions Quae.
- Blanc, B. (1982).** Enzymes du lait. In R. Jarrige (Ed.), *Nutrition des ruminants* (pp. 123–135). Paris : INRA.
- Bourgeois, C. M., Mescle, J. F., & Zucca, J. (1988).** Microbiologie alimentaire : Tome 1 – Bases biologiques et biochimiques. Paris : Tec & Doc – Lavoisier.
- Bourgeois, C. M., Mescle, J. F., & Zucca, J. (1998).** Microbiologie alimentaire : Tome 1 – Bases biologiques et biochimiques (2e éd.). Paris : Tec & Doc – Lavoisier.
- Bouton, Y. (2014).** Les moisissures en fromagerie : rôles technologiques et maîtrise de la flore. Paris : Éditions Lavoisier – Tec & Doc.
- Cayot, P., & Lorient, D. (1998).** Structure et fonctionnalités des constituants du lait. Paris : Tec & Doc – Lavoisier.
- Cholet, J. (2006).** Microflore du lait et des produits laitiers : Levures et moisissures. Paris : Éditions Tec & Doc – Lavoisier.
- CODEX STAN, 1999 : Norme générale codex pour l'utilisation de termes de laiterie. 90 pages.
- Commission du Codex Alimentarius. (1999).** Norme générale pour le lait : CODEX STAN 206-1999. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture & Organisation mondiale de la santé.
- Cuq, J. L. (2007).** Microbiologie des aliments : Flore utile et altérante. Montpellier : CIRAD.
- Débry, G. (2001).** Lait, nutrition et santé. Paris : Éditions Tec & Doc – Lavoisier.
- Eck, A., & Gillis, J. C. (1998).** Le lait : Compréhension de la matière et technologie laitière (3e éd.). Paris : Éditions Tec & Doc – Lavoisier.
- FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture & Organisation mondiale de la santé. (1999).** Principes et lignes directrices pour l'hygiène du lait cru. Commission du Codex Alimentarius.
- FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2010).** Lait et produits laitiers dans la nutrition humaine (FAO Rapport sur l'alimentation et la nutrition n° 92).

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2017). Lait et produits laitiers.

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (1998). Milk and dairy products in human nutrition. Food and Nutrition Paper No. 85. Rome.

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (1995). Risk analysis of microbiological hazards in foods of animal origin. Rome.

FAO/OMS. (1999). CX/MMP 00/15, 1999 : Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Comité du codex sur le lait et les produits laitiers. Quatrième session Wellington (Nouvelle-Zélande), 28 février - 3 mars 2000.

Frédot, A. (2005). Les pigments du lait : origine, transformation et impact nutritionnel. Paris : Éditions Quae.

Goubeau, J., & Pellegrims, A. (2000). Microbiologie du lait et des produits laitiers : Identification, contrôle et maîtrise des germes contaminants. Paris : Éditions Tec & Doc – Lavoisier.

Goursaud, P. (1985). Biochimie du lait. Paris : Éditions Techniques et Documentaires – Lavoisier.

Goy, C., Gaucheron, F., & Beaucher, E. (2005). Protéolyse des caséines du lait : mécanismes et conséquences. INRA Productions Animales, 18(3), 179–190.

Guatteo, R. (2001). Maîtrise de l'hygiène en élevage laitier : application du modèle des cinq M. Revue Le Point Vétérinaire, 32(218), 45–52.

Guiraud, J. P. (1998). Microbiologie alimentaire. Paris : Dunod.

Hamzaoui, S., & Kenane, M. (2005). Qualité hygiénique du lait cru : Rôle des enzymes comme indicateurs. Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale, 1(2), 45–52.

Institut de l'Élevage. (2009). Qualité du lait : Maîtrise des flores et prévention des risques sanitaires. Paris : Éditions Institut de l'Élevage.

Jenness, R., & Sloan, R. E. (1970). The composition of milk. In H. H. Webb, A. H. Johnson & J. A. Alford (Eds.), Fundamentals of dairy chemistry (pp. 1–44). Westport, CT: AVI Publishing Company.

Larpent, J. P. (1997). Microbiologie alimentaire : Techniques de contrôle dans les industries agroalimentaires. Paris : Dunod.

Luquet, F. M. (1985). Lait et produits laitiers : Composition et valeur alimentaire. Paris : Tec & Doc.

Mathieu, J. (1998). Le lait : Composition et transformation. Éditions Tec & Doc.

Pougheon, P. (2001). Les enzymes du lait et leur rôle technologique. Paris : Lavoisier.

Reumont, G. (2009). Physique et chimie du lait. Bruxelles : De Boeck Supérieur.

Rheotest. (2010). Étude rhéologique des produits laitiers : paramètres et interprétations. Berlin : Messtechnik GmbH.

-
- Sears, P. M., Smith, B. S., English, P. B., Herer, P. S., & Gonzalez, R. N. (2003).** Staphylococcus aureus mastitis: Cause, detection, and control. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 19(1), 171–186.
- Sraïri, M. T., Kessab, B., Faye, B., & Le Gal, P. Y. (2005).** Qualité du lait cru et conditions de production au Maghreb : contraintes et perspectives. Revue Productions Animales, 18(3), 201–210.
- Thieulin, A., & Vullaum, J. (1967).** Altérations microbiologiques du lait et impact organoleptique. Revue Lait, 47(467), 321–328.
- Veissyer, I. (1979).** Les gaz dissous dans le lait : Nature, origine et rôle. Revue Lait, 59(586), 45–52
- Vierling, R. (2003).** Qualité sensorielle du lait et des produits laitiers. Paris : Éditions Tec & Doc – Lavoisier.