

DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف

CHADLI BENDJEDID EL TARG UNIVERSITY

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES

قسم العلوم الفلاحية



Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

« Production et Nutrition Animales »

Thème

Caractères physico-chimiques du lait des ruminants de race locale (extrême nord-est algérien): contribution à la qualité et à la traçabilité des produits.

Présenté Par : BOUHARIR Fériel

Soutenu publiquement le : 16/06/2026

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
HANNANI Hania	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Présidente
BOUDECHICHE Lamia	Prof	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directeur de mémoire
CHAKER Kahina	Prof	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Co-Directeur de mémoire
ATIA Kheireddine	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examineur

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Avant tout, je remercie Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la santé, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à ma promotrice, Madame **BOUDECHICHE Lamia**, pour son accompagnement précieux, sa disponibilité, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à Madame **CHAKER Kahina**, Co-directrice de mémoire, pour son aide, ses orientations scientifiques pertinentes et l'intérêt qu'elle a porté à ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Madame **HANNANI Hania**, Présidente du jury, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider et d'évaluer ce mémoire.

J'adresse également mes sincères remerciements à Monsieur **ATTIA Kheireddine**, Examinateur, pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail ainsi que pour ses remarques et suggestions constructives. Je tiens à lui exprimer une reconnaissance particulière pour son aimable coopération et sa contribution précieuse à la réalisation de cette étude, notamment à travers sa participation active à la collecte et à la mise à disposition des échantillons de lait utilisés dans ce travail. Son soutien, sa disponibilité et ses encouragements constants ont grandement facilité la conduite de la partie expérimentale et ont contribué de manière significative à la réussite de ce mémoire.

Ma gratitude s'adresse à Mme Rebai Samia pour sa contribution technique et l'accès au Lactoscan indispensable à la réalisation de mes analyses laitières.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du Département des Sciences Agronomiques de l'Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf, qui ont contribué à ma formation universitaire et à l'acquisition de connaissances précieuses.

Enfin, je remercie chaleureusement toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et m'ont apporté leur soutien, leur confiance et leurs encouragements tout au long de mon parcours universitaire.

À toutes et à tous, j'exprime ma profonde reconnaissance et ma sincère gratitude.

Dédicace

À Allah, le Tout-Puissant, pour Sa grâce infinie, Sa protection et la force qu'Il m'a accordée tout au long de ce parcours.

À moi-même,

Pour avoir résisté aux moments de doute, surmonté les obstacles et poursuivi mon chemin avec détermination malgré les difficultés. Ce travail est le témoignage d'années d'efforts, de patience et de persévérance.

À mon père,

Aucun mot ne saurait traduire avec justesse l'immensité de ma reconnaissance. Tu as porté sur tes épaules le poids des responsabilités avec un courage admirable. Derrière chaque étape de mon parcours se trouvent tes sacrifices silencieux, ton travail éprouvant, tes renoncements et ton dévouement inconditionnel.

Tu as accepté la fatigue pour m'offrir la sérénité, les difficultés pour m'épargner les inquiétudes, et les sacrifices pour me permettre d'avancer sans jamais manquer de soutien. Tu m'as appris, par ton exemple, que la dignité réside dans l'effort, que la grandeur se construit dans le silence et que l'amour véritable se manifeste par les actes plus que par les paroles.

Si aujourd'hui j'atteins cette étape de ma vie, c'est parce qu'un homme a consacré une partie de son existence à bâtir l'avenir de ses enfants. Que ce modeste travail soit l'expression de mon profond respect, de mon admiration et de ma gratitude éternelle envers toi.

À ma mère,

Source inépuisable de tendresse, de sagesse et de bienveillance. Merci pour ton amour inconditionnel, tes encouragements constants et tes prières qui ont toujours accompagné chacun de mes pas. Ta présence a été une force discrète mais essentielle dans toutes les étapes de mon parcours.

À mes chers frères,

Pour l'affection qui nous unit, les souvenirs que nous partageons et le soutien que nous nous apportons mutuellement. Je vous souhaite un avenir à la hauteur de vos ambitions et de vos qualités humaines.

À mes précieuses amies,

Merci pour votre sincérité, votre présence dans les moments de joie comme dans les périodes les plus exigeantes, ainsi que pour les encouragements et les échanges qui ont enrichi mon parcours tant sur le plan humain qu'intellectuel.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à ma formation et à la réalisation de ce travail, je dédie ce mémoire avec respect, gratitude et reconnaissance.

Feriel Bouharir

Résumé

Le lait constitue un aliment de première importance en raison de sa richesse nutritionnelle et de son rôle essentiel dans l'alimentation humaine et sa composition physico-chimique est influencée par plusieurs facteurs. Dans ce contexte, cette étude a pour but de caractériser les propriétés physico-chimiques du lait de ruminants de races locales élevés en système extensif hivernal dans la wilaya d'El Tarf. L'analyse physico-chimique de 78 échantillons (matière grasse, protéines, lactose, ESD, sels minéraux, densité, pH et point de congélation) révèle des différences très hautement significatives entre les trois espèces. Le lait ovin se distingue par les teneurs les plus élevées en matières solides, tandis que le lait bovin affiche les valeurs les plus faibles en matière grasse, traduisant l'impact direct des contraintes nutritionnelles et environnementales de la saison. Le stade de lactation influence également de manière significative la composition globale du lait. Enfin, l'analyse en composantes principales (ACP) confirme l'interaction étroite entre les facteurs biologiques et environnementaux. Ces résultats soulignent l'intérêt de ces paramètres comme indicateurs de qualité et outils de traçabilité, indispensables pour valoriser et préserver les ressources génétiques laitières locales à El Tarf.

Mots clés: Lait de ruminants, Composition physico-chimique, Système extensif, El Tarf, Période hivernale, Races locales, Stade de lactation.

Abstract

Milk is a food primary foodstuff due to its high nutritional value and its essential role in human nutrition. Its physicochemical composition is influenced by multiple factors. In this context, the aim of this study was to characterize the physicochemical properties of milk from local ruminant breeds raised in extensive system during the winter season in the wilaya of El Tarf.

The physicochemical analysis of 78 milk samples (fat content, proteins, lactose, solids-not-fat (SNF), minerals, density, pH, and freezing point) revealed highly significant differences among the three species. Ewe milk showed the highest levels of solid constituents, whereas cow milk exhibited the lowest fat content, reflecting the direct impact of seasonal nutrition and environmental constraints. The stage of lactation also significantly affected the overall milk composition. Furthermore, Principal Component Analysis (PCA) confirmed the close interaction between biological and environmental factors.

These results highlight the importance of these parameters as quality indicators and traceability tools, which are essential for the valorization and preservation of local dairy genetic resources in El Tarf.

Keywords: Ruminant milk, Physicochemical composition, Extensive farming system, El Tarf, Winter season, Local breeds, Lactation stage.

المخلص

يعدّ الحليب غذاءً ذا أهمية بالغة نظراً لقيمته الغذائية العالية ودوره الأساسي في تغذية الإنسان، كما أن تركيبه الفيزيائي والكيميائي يتأثر بعدة عوامل. وفي هذا السياق، هدفت هذه الدراسة إلى توصيف الخصائص الفيزيائية والكيميائية لحليب المجترات من السلالات المحلية المرباة في نظام تربية رعوي واسع خلال فصل الشتاء بولاية الطارف.

أظهر التحليل الفيزيائي والكيميائي لـ 78 عينة من الحليب (نسبة الدهن، البروتينات، اللاكتوز، المادة الجافة غير الدهنية، الأملاح المعدنية، الكثافة، الرقم الهيدروجيني، ونقطة التجمد) وجود فروق عالية الدلالة الإحصائية بين الأنواع الثلاثة المدروسة. وتميز حليب الأغنام بأعلى محتوى من المواد الصلبة، في حين سجل حليب الأبقار أدنى قيم لمحتوى الدهن، مما يعكس التأثير المباشر للقيود الغذائية والظروف البيئية خلال هذه الفترة من السنة. كما تبين أن مرحلة الإدرار تؤثر بشكل معنوي على التركيب العام للحليب. وأكد تحليل المكونات الرئيسية (ACP) وجود تفاعل وثيق بين العوامل البيولوجية والبيئية المؤثرة في تركيب الحليب.

وتبرز هذه النتائج أهمية هذه المؤشرات باعتبارها أدوات لتقييم جودة الحليب وضمان تتبعه، مما يساهم في تأمين الموارد الوراثية المحلية المنتجة للحليب والحفاظ عليها في ولاية الطارف.

الكلمات المفتاحية: حليب المجترات، التركيب الفيزيائي والكيميائي، نظام التربية الواسع، الطارف، الفترة الشتوية، السلالات المحلية، مرحلة الإدرار.

Liste des figures :

Figure 1. Répartition des terres en Algérie (Benyoucef, 2016).....	8
Figure 2. Répartition de la SAU par plage pluviométrique (Loucif, 2002).....	9
Figure 3. Evolution de l'effectif du cheptel national durant les deux décennies (2000- 2009) et (2010-2017) (MADR, 2018)	14
Figure 4. Evolution des effectifs bovins au niveau national (MADR, 2019).....	15
Figure 5 . Répartition des potentialités de production laitière par zone (Kali <i>et al.</i> , 2011)....	20
Figure 6. Evolution des quantités de lait collectées au niveau national (2008-2015) (MADR, 2019)	22
Figure 7. les différentes laiteries engagées avec l'ONIL à travers le territoire national (ONIL, 2018)	24
Figure 8. Structure anatomique de la glande mammaire chez les ruminants (Bylund, 2015).....	29
Figure 9. Composition général du lait (Walstra <i>et al.</i> , 2006; Damodaran <i>et al.</i> , 2017).....	33
Figure 10. Composition de la matière grasse du lait (Fox et McSweeney, 2015).....	35
Figure 11. Structure d'une sous-micelle caséique (Walstra <i>et al.</i> , 2006).....	36
Figure 12. Structure moléculaire du lactose (Fox et McSweeney, 2015)	37
Figure 13. Evolution de la production laitière (kg/J) en fonction du stade de lactation pour chaque rang de lactation (Pic et persistance de lactation) (Roumeas <i>et al.</i> , 2014)	41
Figure 14. Localisation des régions d'échantillonnage dans la wilaya d'El Tarf (carte adaptée à partir de Google maps, modifiée par l'auteure, 2026).	48
Figure 15. Répartition des superficies récoltées (ha) dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025 (d'après les données de la DSA, 2026)	49
Figure 16. Comparaison des rendements des principales cultures artificielles (Qx/ha) dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025 (d'après les données de la DSA, 2026).	50
Figure 17. Répartition en % de l'effectif total des ruminants dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025.	51
Figure 18. Importance des femelles laitières au sein du cheptel des ruminants dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025	52
Figure 19. Répartition des types de vaches laitières (%) wilaya d'El Tarf) durant la campagne 2024/2025	53
Figure 20. Part relative de chaque espèce dans la production laitière (%) (wilaya d'El Tarf) durant la campagne 2024/2025	54
Figure 21. Production en viande rouge dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025	55
Figure 22. Le lactoscan utilisé pour les analyses des laits	57

Liste des Ttableau :

Tableau 1. Evolution des superficies fourragères en Algérie (MADR, 2016).....	11
Tableau 2. Evolution des productions fourragères en Algérie (Unité quintaux) (MADR, 2016)	11
Tableau 3. Les production par variété fourragère exploitée en sec en Algérie (Unité: quintaux)	12
Tableau 4. Structure des systèmes d'élevages en Algérie (Makhlouf, 2015).....	13
Tableau 5. Evolution de l'effectif bovin laitier (2003-2018) (MADR, 2019)	15
Tableau 6. Evolution de l'effectif des vaches selon la composition raciale en Algérie (MADR, 2019)	16
Tableau 7. Evolution de la production nationale (2009-2015) (DSA.2019).....	19
Tableau 8. Evolution des disponibilités par capita en Algérie (MADR, 2013).....	25
Tableau 9. Evolution du poids et montant de l'importation du lait et des produit laitiers (2008-2017) (MADR, 2019)	26
Tableau 10. Comparaison entre la composition moyenne du lait des ruminants (FAO, 2011; Park et al., 2007; Pulina et al., 2018)	30
Tableau 11. Caractères organoleptiques du lait cru normal et anormal (Himoud et al., 2009)	32
Tableau 12. Variation du pH et de l'acidité du lait en fonction de l'espèce animale (walstra et al., 2006; Park et al., 2007)	34
Tableau 13. Classification des protéines (Pongheon, 2001)	36
Tableau 14. Composition minérale du lait de vache (FAO, 2013)	37
Table 15 Composition vitaminique moyenne du lait cru (Fox et McSweeney, 2 015)	38
Table 16. Proportion de femelles laitières par rapport à l'effectif total dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025.	51
Table 17. Composition physioco-chimique du lait des trois espèces de ruminants	60
Table 18. Evolution des paramètres physico-chimiques du lait en fonction du stade de lactation (Moyenne± écart-type).....	61
Tableau19 • Matrice des coefficients de corrélation linéaire de Pearson entre les paramètres physico-chimiques du lait des ruminants d'El Tarf (n=78)	64

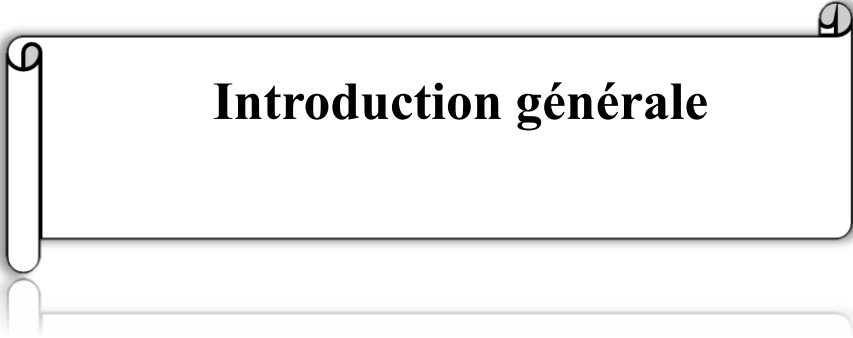
Table des matière:

Remerciements	I
Dédicace	II
Résumé	III
Abstract	IV
الملخص	V
Liste des figures	VI
Introduction	2
Partie bibliographique	4
Chapitre I :	5
La filière lait en Algérie	5
1. Situation de l'élevage bovin laitier	6
1.1. Place de l'élevage bovin laitier dans l'économie Algérienne	6
1.2. Potentiels physique et environnemental de l'élevage bovin laitier	7
1.2.1. Terres et climat	7
1.2.2. Ressources hydriques	8
1.2.3. Potentiel fourrager :	9
1.2.4. Structure des exploitations agricoles :	12
1.3. Potentiel animal	13
1.3.1. Cheptel national	13
1.3.2. Cheptel bovin :	14
2. Principaux acteurs de la filière lait en Algérie	18
2.1. Production	18
2.2. Collecte :	20
2.3. Industrie laitière et transformation	23
2.4. Consommation :	24
2.5. Importations	25
Chapitre II	27
Généralités sur le lait des ruminants	27
Caractères physico-chimiques et facteurs de variation	27
1. Définition du lait	28

2. Anatomie de la glande mammaire et physiologie de la lactation chez les ruminants :	28
2.1. Anatomie de la glande mammaire :	28
2.2. Physiologie de la lactation	29
3.1. La vache :	30
3.2. La brebis :	30
3.3. La chèvre :	30
4. Caractéristiques physico-chimiques du lait	31
4.1. Les caractéristiques physiques	31
4.1.1. La couleur :	31
4.2. Les caractéristiques chimiques	33
4.2.1. Le pH	33
5. Facteurs de variation des caractères physico-chimiques du lait de vache, de brebis et de chèvre et leur contribution à la qualité du lait :	38
5.1. Facteurs liés à l'animal	38
5.1.1. Effet de l'espèce sur les caractères physico-chimiques du lait (vache, brebis, chèvre) :	38
5.1.2. Effet de la race locale sur les caractères physico-chimiques du lait :	39
5.1.3. Intérêt zootechnique et qualitatif des races locales dans l'extrême nord-est algérien :	39
5.2. Effet de l'âge et de la parité :	40
5.3. Effet du stade de lactation :	40
5.6. Facteurs liés à l'environnement et aux conditions d'élevage :	42
5.7. Facteurs liés à la traite et au stockage :	42
5.8. La qualité du lait :	42
5.9. Qualité technologique du lait (aptitude à la transformation) :	43
5.10. Qualité hygiénique du lait :	43
6. Rôle des caractères physico-chimiques dans la traçabilité des produits laitiers:	43
6.1. Définition de traçabilité :	43
6.2. Relation entre composition du lait et origin :	43
6.3. Utilisation des paramètres physico-chimiques :	44
6.4. Importance pour la sécurité et la valorisation :	44

Partie expérimentale	45
Matériel et méthodes	46
I. Matériel et méthodes	47
1. Objectifs de l'Étude	47
2. Présentation de la région d'étude	47
2.1. Zone d'étude et régions d'échantillonnage	47
2.2. Caractéristiques géo-climatiques	48
2.3. Contexte agricole et potentiel des productions fourragères	48
2.4. Potentiel et structure des productions animales de la wilaya d'El Tarf	50
2.4.1. Effectifs et caractéristiques du cheptel global:	50
2.4.2. Typologie et structure génétique du cheptel bovin laitier:	52
3.1. Matériel biologique :	55
3.2. Technique de prélèvement :	55
3.3. Analyses physico-chimiques des échantillons de lait	56
4. Analyse statistique des données	58
Résultats et Discussion	59
I. Résultats	60
1. Étude comparative inter-espèces de la composition physico-chimique du lait	60
1.1. Les caractéristiques chimiques	60
1.2. Les caractéristiques physiques (Densité, pH, point de congélation)	60
2- Évolution des paramètres physico-chimiques du lait en fonction du stade de lactation	61
II. Discussion	64
1. L'empreinte du système extensif hivernal sur les taux de matière grasse	64
2. L'inversion atypique du profil de la matière grasse: facteurs environnementaux et nutritionnels	66
2.1. Résilience et dynamique de la fraction protéique et glucidique	66
2.2. Évolution du pH et biais métrologique du lactoscan en phase tardive	67
3. Analyse en Composantes Principales (ACP)	67
3.1. La covariance fonctionnelle du bloc "Protéines-Lactose-Sels minéraux" (Axe 1)	67
3.2. L'indépendance de la Matière Grasse : L'empreinte du rationnement hivernal	67

3.3. L'opposition pH - Matière Grasse et équilibres physiques (Axe 2)	68
4. Corrélation de Pearson	68
4.1. Homéostasie de la fraction solide non grasse	68
4.2. Découplage de la matière grasse et dépression lipidique hivernale	68
4.3. Régulation du pH et lois physiques de la densité	68
5. Discrimination multi-espèces des profils laitiers par analyse multivariée: Un outil d'authentification et de traçabilité des productions laitières de la wilaya d'El Tarf.	69
Conclusion générale et perspectives	70
Liste des références bibliographiques	71

A decorative horizontal box with a scroll-like appearance. It has a black border and a light gray shadow. The left side features a vertical scroll edge with a small circular detail at the top. The right side has a small circular detail at the top. The text "Introduction générale" is centered within the box.

Introduction générale

Introduction

La filière laitière désigne l'ensemble des activités complémentaires qui concourent de l'amont à l'aval à la production, la transformation et la commercialisation du lait et de ses dérivés. Avec 850 Mt/an (FAO, 2025), elle constitue un secteur stratégique agroalimentaire mondial en raison de son importance économique, sociale et nutritionnelle. En effet, le lait représente une matière première essentielle et un aliment de base largement consommé à travers le monde (Luquet, 2005).

C'est particulièrement le cas du lait des ruminants (vache, brebis, chèvre), qui fournit 95% du lait consommé par les humains et qui est valorisé, dans les systèmes d'élevage tout aussi traditionnels que modernes, aussi bien pour la consommation directe que pour la transformation en produits laitiers. En Algérie, où la production atteint 2,5 Mt/an (Min.Agri, 2024), Le secteur laitier connaît une évolution continue favorisée par la croissance démographique, l'urbanisation et l'augmentation de la demande en produits alimentaires d'origine animale (FAO, 2019), et ce, malgré les défis de qualité liés aux problèmes hygiénico-microbiologiques et aux pertes économiques de la filière sous forme informelle (70% production).

Depuis longtemps, le lait occupe une place importante dans l'alimentation humaine en raison de sa valeur nutritionnelle élevée: protéines de haute valeur biologique (en moyenne 3,5g/100 ml), matières grasses facilement digestibles, lactose, ainsi qu'une part significative des besoins journaliers en minéraux et vitamines (40% des apports journaliers recommandés pour les enfants) (Walstra *et al.*, 2006 ; Fox, 2020). Grâce à cette composition, le lait contribue de manière notable à la couverture des besoins nutritionnels de l'homme, notamment chez les enfants et les personnes âgées.

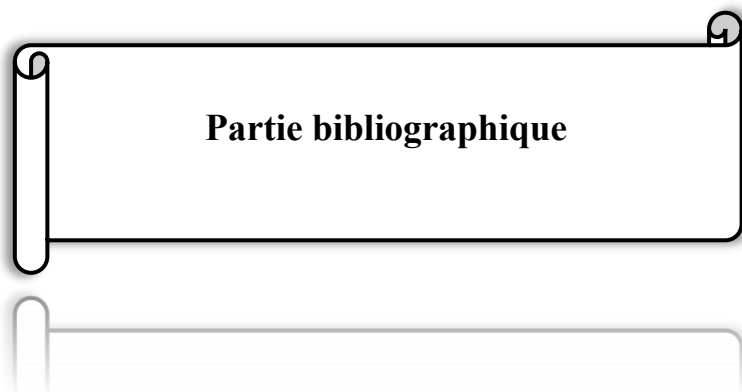
La qualité du lait est étroitement liée à ses caractères physico-chimiques qui constituent des indicateurs essentiels pour l'évaluation de sa valeur nutritionnelle, technologique et hygiénique. Des paramètres tels que le pH, l'acidité, la densité, la teneur en matière grasse, en protéines et en lactose permettent d'apprécier la qualité du lait, son aptitude à la transformation et sa conformité aux normes de qualité (Alais, 1984).

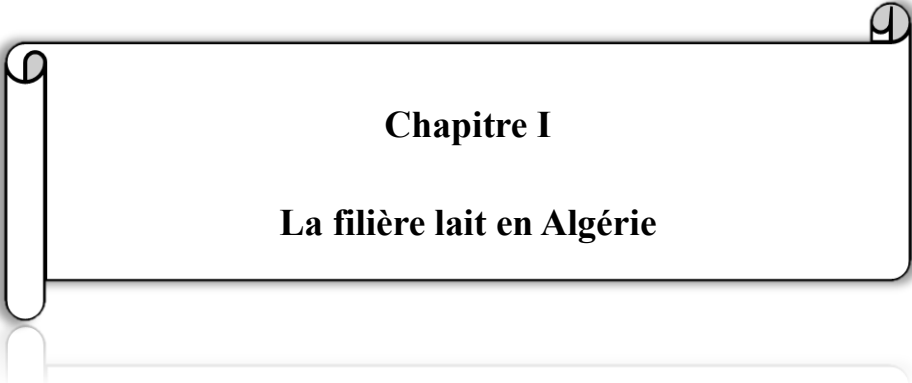
En Algérie, la filière laitière occupe une place importante dans la sécurité alimentaire. Cependant, malgré les efforts entrepris pour développer la production locale, notamment à travers la valorisation des races locales de ruminants, la qualité du lait cru demeure une préoccupation majeure (contamination bactérienne, résidus antibiotiques, pertes, conservation inadéquate (INRA, 2016). Cette situation est particulièrement marquée dans l'extrême nord-est algérien, où l'insuffisance des pratiques de collecte, de conservation et de contrôle, ainsi que le manque de données sur les paramètres physico-chimiques du lait, limitent la valorisation des produits laitiers.

Par ailleurs, la traçabilité des produits laitiers est devenue une exigence essentielle pour garantir la sécurité alimentaire et renforcer la confiance du consommateur. Les caractères physico-chimiques du lait peuvent constituer des outils pertinents afin d'identifier l'origine du

produit, assurer son suivi et contribuer à la valorisation des produits laitiers issus des races locales (**Beuvier et Buchin, 2004**).

L'objectif de ce travail est de réaliser une étude des caractères physico-chimiques du lait de ruminant de race locale de l'extrême nord-est algérien, et ainsi mettre en évidence leur contribution à l'évaluation de la qualité du lait et à la traçabilité des produits laitiers.



A decorative frame with a scroll-like border on the left and top edges, containing the chapter title.

Chapitre I

La filière lait en Algérie

1. Situation de l'élevage bovin laitier

1.1. Place de l'élevage bovin laitier dans l'économie Algérienne

La participation du secteur agricole à l'économie est le plus souvent consubstantielle à son niveau de développement. Plus il est développé, plus son rôle est prépondérant dans la vie des Hommes. L'agriculture algérienne a longtemps été le théâtre de contradictions et de problèmes, qui sont le résultat de la non concordance des politiques agricoles avec la structure socio-économique du monde rural. Elle se trouve aujourd'hui face à un défi majeur, celui d'assurer la sécurité alimentaire. En effet la dépendance du pays vis-à-vis des approvisionnements extérieurs est forte car il importe l'essentiel des matières premières agricoles et des intrants (**Bessaoud et al., 2019**). La production agricole qui assurait 93 % des besoins nationaux dans les années 1970 n'en assure plus que 30 % au début des années 1980, et aujourd'hui la sécurité alimentaire est tributaire à plus de 20 % des importations totales, un des taux les plus importants au monde, et qui fait de l'Algérie l'un des plus grands pays importateurs net de produits alimentaires essentiellement en céréales et lait (**Omari et al., 2012**). **Ferrah (2000)** déclare que l'approvisionnement national des populations urbaines en protéines animales de moindre coût a constitué un axe majeur des politiques élaborées au cours des années 70 et 80. L'Algérien, ne pouvant se permettre de consommer des protéines provenant du poisson, de la viande rouge ou blanche se rabat sur le lait. Heureusement que l'Etat soutient cette principale matière. **Belhadia et al (2014)** expliquent que l'analyse de la filière lait en Algérie permet de faire ressortir la faiblesse de la production laitière et l'insuffisance de la collecte qui expliquent le très faible taux d'intégration de lait cru collecté dans les quantités totales produites. **Ferrah (2000)** affirme que l'élevage laitier algérien se caractérise par des pratiques et des systèmes de production largement extensifs, des cultures fourragères peu développées et le recours à un matériel biologique local. **Madani et al (2001)** affirment qu'en élevage bovin productiviste, si un élevage caprin et ovin de trésorerie est encore conservé dans la majorité des exploitations algériennes, les effectifs de ces espèces diminuent notablement, plus particulièrement dans les unités de production les plus intensifiées. En revanche les gains de productivité réalisés par les bovins sont orientés vers le dernier maillon de la chaîne de production, l'engraissement de taurillons, qui permet de réaliser des économies d'échelle de récupérer ainsi une partie importante de la valeur ajoutée (**Madani et al., 2001**). Les mêmes auteurs affirment que cela permet aussi aux éleveurs, après avoir accumulé du capital, d'accéder à d'autres activités exigeantes en investissements et en main d'œuvre, bénéficiant de subventions de l'État. Il est à noter que la spécialisation en élevage bovin en Algérie est peu pratiquée et la production mixte (lait -viande) domine les systèmes de production, il contribue non seulement à la couverture des besoins nationaux en protéines animales, mais aussi à la création d'emplois en milieu rural. En effet, le rôle de cette activité agricole pour prévenir ou guérir la pauvreté dans le milieu rural du pays est important, à priori que le fait d'élever des animaux est une assurance contre la misère. Plus généralement, l'activité d'élevage remplit une fonction d'épargne qui sécurise à l'éleveur et sa famille pour faire face à des dépenses prévues (frais de scolarité, impôts et taxes diverses) ou non (accident, maladie, frais de funérailles) nécessitant la mobilisation rapide de liquidités (**Faye, 2011**). La vente d'une part du bétail dans un tel contexte permet à l'éleveur ainsi de satisfaire à une demande rapide de fonds tout en évitant de s'enfoncer dans une logique d'endettement, dont le risque d'appauvrissement que cela peut déclencher.

L'accent mis sur l'élevage s'explique par le fait que celui-ci contribue aux moyens de subsistance de la majorité des ruraux pauvres dans le pays, tandis que l'augmentation rapide de la demande nationale de produits de l'élevage (lait, viande), parallèlement, représentent un vrai challenge pour l'Etat Algérien. Malgré les énormes efforts consentis en matière des différentes aides aux éleveurs, les importations de bovins par le soin d'opérateurs économiques (en 2013 plus de 25000 génisses importées, importations d'équipements, Réalisation d'infrastructures, Formation et vulgarisation), les prévisions de production n'ont pas été atteintes. **Belhadia *et al* (2014)** expliquent que la politique laitière nationale met en œuvre deux logiques totalement opposées (une politique de développement de la production locale et une politique de soutien à la consommation) impose une filière dépendante du marché international et par ses approvisionnements en poudre de lait anhydre (**Djermoun, 2011**).

1.2.Potentiels physique et environnemental de l'élevage bovin laitier

1.2.1. Terres et climat

L'Algérie dispose d'un vaste territoire présentant une grande diversité de sol et de climat. Cette diversité donne un caractère assez différencié à l'agriculture, dont le système de production varie du type très extensif au type intensif. Cependant, et en dépit de son vaste territoire l'Algérie n'est pas un pays agricole. La nature ne l'a pas avantagé, elle ne l'a pas doté de terres fertiles et de climats favorables au développement des plantes et des animaux.

Bessaoud *et al* (2019) expliquent que le climat du pays se modifie fortement du Nord au Sud, il passe d'une tonalité méditerranéenne humide à un milieu désertique et sec en transitant par un climat semi-aride. Ce climat résulte de la double influence de la circulation atmosphérique des latitudes moyennes et de la circulation tropicale et saharienne. En termes de terres, l'Algérie fait partie de cet ensemble de pays à potentialités réduites, en raison de son relief escarpé et de sa géographie physique. Devant ces conditions, **Belhadia (2015)** affirme qu'à l'échelle nationale, trois zones de production agricole différenciées par leurs caractéristiques bioclimatiques et agro-écologiques :

- **La zone1** : zone des plaines littorales à climat humide et subhumide et des plaines telliennes intérieures à climat semi-aride supérieur.
- **La zone 2** : zone des hautes plaines céréalières et steppiques à climat semi-aride supérieur et semi-aride inférieur
- **La zone 3** : zone saharienne à climat aride

Benyoucef (2016) affirme que la superficie agricole utile du pays (SAU) n'a pas connu de variations notables. Elle était de 7,2 millions d'hectares avant 1962 à près de 8,5 millions ha en 2015. Selon le même auteur, la SAU ne représente en fait que 3,5% du territoire et le reste est constitué de terres inhospitalières et inadaptées à l'agriculture comme on peut le voir dans la figure 1. Au-delà de l'exiguïté de la SAU, les conditions naturelles, très défavorables, s'ajoutent à des structures agraires trop morcelées et à une faible mobilisation des ressources en eau pour donner une agriculture bien loin de satisfaire les besoins d'une population en pleine croissance.

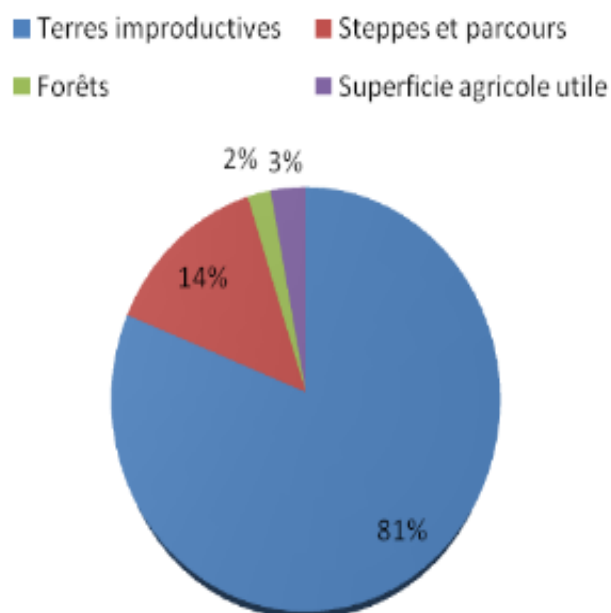


Figure 1. Répartition des terres en Algérie (**Benyoucef, 2016**).

1.2.2. Ressources hydriques

Quatre-vingt (80%) du territoire national représente une zone désertique, où les précipitations sont quasi-nulles et les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'Atlas. Les ressources hydriques tributaires pour une large part d'une pluviométrie très irrégulière et inégalement répartie dans l'espace, demeurent modestes, eu égard également au déficit en moyens de rétention (barrages, retenues collinaires etc.) (**Hassini et al., 2008**). Les potentialités hydriques du pays sont estimées en moyenne à 18 milliards de m³/an, dont 12.5 milliards de m³ dans les régions nord (10 milliards de m³ d'écoulements superficiels et 2.5 milliards de m³ de ressources souterraines renouvelables), 5.5 Milliards de m³ dans les régions sahariennes (0.5 milliards m³ d'écoulements superficiels, 5.0 milliards de m³ de ressources souterraines fossiles) (**Bouchaala, 2017**). L'irrigation agricole est le secteur qui consomme plus d'eau suivi par les secteurs domestiques et industriels. L'eau destinée à l'irrigation a chuté de 80% cette dernière décennie (**Benameur, 2016**). L'accès aux ressources en eau est l'un des défis majeurs auxquels l'Algérie fait face pour atténuer les effets du stress hydrique qui menace notamment le secteur agricole. Ainsi, **Zitoun (2019)** explique que la partie de l'Algérie la plus dépendante des précipitations ne représente que 13 % de la superficie totale du pays. D'autre part les pluies sont généralement insuffisantes et très inégalement réparties ; non seulement, les pluies d'été sont rares ou inexistantes mais, il arrive fréquemment, que les pluies d'hiver soient insuffisantes pour assurer une croissance normale des cultures. Devant ce constat **Grandi et al (2020)** affirment que les problèmes de sécheresse et de désertification constituent une réelle menace pour les pays qui en souffrent. Chaque année des milliers d'hectares de terres sont perdus en

faveur de paysages marqués par un faible recouvrement et des sols squelettiques, c'est l'expression même du phénomène de la désertification.

Selon **Loucif (2002)**, la répartition de la SAU par plage pluviométrique (Figure 8) montre que 1,8 millions d'ha, soit 24 % de la SAU, reçoivent plus de 600 mm de pluie/an, permettant une agriculture intensive sans irrigation, mais qui reste toutefois conditionnées par leur répartition. Ainsi, 3,2 millions d'ha, soit 42 % de la SAU, sont des terres situées dans des zones agro climatiques de 400 à 600 mm, permettant des cultures de céréales, de fourrages en sec et d'arboriculture et 2,6 millions d'ha, soit 34 % de la SAU situés dans des zones à pluviométrie inférieure à 400 mm, où l'agriculture constitue une activité aléatoire présentant des risques élevés.

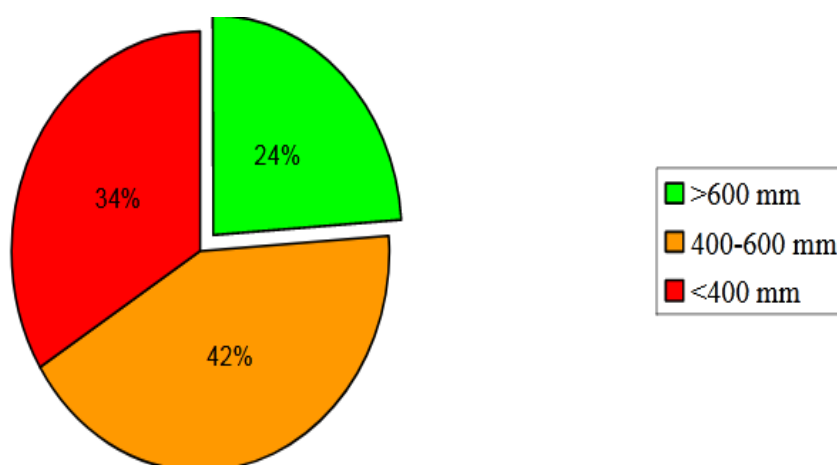


Figure 2. Répartition de la SAU par plage pluviométrique (**Loucif, 2002**).

1.2.3. Potentiel fourrager :

La surface totale des terres utilisées en Algérie par l'agriculture est faible, comparativement à la surface totale du pays dont elle ne représente que 18,2%. Les terres impliquées dans la production fourragère ne représentent que 3,55% de la superficie totale du pays (**MADR, 2016**). Les fourrages sont repartis sur 42 millions hectares représentés essentiellement par les milieux naturels, en l'occurrence les pacages, les parcours (77%) et les jachères (7%) (**MADR, 2016**). L'Algérie est dotée, pourtant, d'une richesse naturelle appréciable en ressources fourragères (3139 espèces), avec des potentialités remarquables qui ne demandent qu'à être valorisées. En effet de nombreuses légumineuses et graminées fourragères existent dans diverses régions du pays. Elles se localisent principalement dans les plaines d'intérieur (30%) et les hauts plateaux céréaliers (35%). Les prairies naturelles localisées dans les étages bioclimatiques humides et subhumides fournissent les pacages et parcours se trouvant surtout en milieux arides et semi-arides du pays (**Houmani, 1999**). L'un des principaux obstacles à la production fourragère vient du climat qui provoque un déficit hydrique saisonnier. En zones littorales, ce déficit est plus restreint qu'en zone semi-aride. Cependant, les fortes chaleurs estivales constituent un frein à la croissance des plantes. *À contrario*, en hiver, la douceur des températures permet la poursuite des productions fourragères. **Kaouche Adjalane (2015)** affirme que les superficies occupées par les fourrages (naturels et cultivés) demeurent

insuffisantes, compte tenu des besoins du cheptel ; rapportées à la superficie utilisée par l'agriculture, celles-ci ne représentent que 1,6 %.

Durant la période 2007- 2015 la sole totale réservée aux cultures fourragères était faible avec une moyenne de 895602,125 ha emblavée majoritairement en fourrages artificiels (secs en verts ou ensilés). Le reste est constitué de fourrages naturels présentés par les prairies naturelles et les jachères fauchées (Tableau 1). En effet plusieurs types de fourragères sont rencontrés en Algérie :

- **Les fourrages naturels:** En hiver et au printemps l'essentiel de l'alimentation du cheptel national est assuré par les milieux naturels. Selon le tableau les jachères fauchées et les prairies occupent en moyenne 207413,75 ha durant la période de (2007-2015), ce qui présente 23,15 % de la superficie agricole fourragère totale. En effet la superficie consacrée aux fourrages naturels n'a pas connu de changement, elle est presque constante durant la même période (**Tableau 1**).

Il en ressort du tableau 2 que la production de fourrages naturels a connu une amélioration durant la période (2007-2013) avec plus de 7 millions de quintaux enregistrés durant la campagne 2012/2013, tandis que la production s'élevait à moins de cinq millions de quintaux en 2007/2008. **Kali et al (2011)** affirment qu'en Algérie la jachère pâturée occupe annuellement une sole importante, les prairies naturelles par contre occupent moins de 1% du total des superficies fourragères naturelles qui sont localisées essentiellement dans la partie Nord Est du pays. Il est à noter que la pratique de jachère est fortement liée au système de production jachère céréales-élevage qui est largement répandue et reste un apport fourrager gratuit et sécurisant pour l'éleveur et indépendant des perturbations climatiques du pays. La jachère permet, en effet, de faire pâturer les chaumes en été et les adventices de l'automne jusqu'au printemps (**Nedjraoui, 2001**).

- **Les fourrages artificiels :** Ce type de fourrages occupaient une superficie de 916 001 ha durant la campagne 2014/2015 alors qu'elles étaient à moins de 500 000 ha durant la campagne 2007/2008, elles sont soit cultivés en sec (des cultures à pluviales) ou en irrigué, soit consommés en vert (fourrages vert et ensilage) ou /en sec (foin) (**Tableau 1**). **Abdelguerfi et al (2008)** ont démontré, qu'à l'échelle du littoral, la répartition des superficies fourragères diffère puisque les superficies consacrées aux fourrages cultivés sont plus importantes que celles observées à l'échelle nationale ; on retrouve plus de chaumes, de jachères et beaucoup moins de parcours. Les rendements en fourrages artificiels comme est illustré dans le **tableau 2** ont connu aussi des évolutions considérables qui ont atteint 35 546 065 Qx durant la campagne (2014/2015) enregistrant une hausse de 50% comparant à la campagne 2007/2008. Malgré cette évolution en production de fourrage ces résultats n'ont pas été probants au point de créer les conditions réelles d'une croissance permettant d'espérer à terme la couverture des besoins alimentaires du cheptel national et de résoudre définitivement la problématique de la filière lait en Algérie. De ce fait la production et la culture des fourrages en Algérie restent, à bien des égards, une activité marginale des exploitations agricoles. Selon le tableau 3 nous constatons que l'Orge, l'Avoine et le Seigle constituent les fourrages les plus développés au niveau national. Ces cultures

fourragères ont connu une évolution de la production importante à partir de la campagne 2008/2009 pour atteindre 2335177 Qx durant la campagne 2013/2014 marquant ainsi une légère baisse la campagne suivante. Il faut souligner que l'Orge sous toutes ses formes (pâturage en vert, fauchée, en grain) constitue l'un des éléments clés des systèmes fourragers de l'Afrique du Nord (**Abdelguerfi, 2008**). Les autres espèces fourragères marquent une évolution modeste de production malgré l'importance de leurs valeurs nutritives à l'instar de la Luzerne et le Trèfle. Ces deux légumineuses possèdent une bonne adaptation aux conditions de déficit hydrique. **Hadj Omar et al (2018)** expliquent que la création d'un élevage en intensif est possible si nous introduisons des légumineuses pérennes conduites en sec ; toutefois, elles peuvent exprimer mieux leur potentiel en irrigué. L'exploitation des légumineuses fourragères se fait durant une grande partie de l'année par des coupes successives entre lesquelles la plante repousse. Les meilleurs résultats pour l'ensemble des caractères étudiés sont obtenus dans les conditions où l'eau n'est pas un facteur limitant. Il serait intéressant de choisir les variétés qui ont donné les meilleurs résultats de la composition chimique et du rendement et les rentabiliser dans les régions difficiles avec des conditions hydriques sévères (**Hadj Omar et al., 2018**). La production de Maïs et du Sorgo restent très peu développer, une situation expliquée par sa dépendance au grand investissement en matériel agricole qui dépasse parfois les moyens des cultivateurs.

Tableau 1. Evolution des superficies fourragères en Algérie (**MADR, 2016**)

Campagne agricole	Fourrage naturel	Fourrage artificiel		
		Fourrage sec	Fourrage vert ou ensilé	Total
2007/2008	227 761	401340	92 453	493 793
2008/2009	171 727	489454	99 436	588 890
2009/2010	269 283	296277	120 020	416 297
2010/2011	224 162	548232	121 258	699 490
2011/2012	241 854	407533	136 639	544 172
2012/2013	274 845	490 589	151 124	641 713
2013/2014	210 073	539184	154805	693 989
2014/2015	280 767	769969	146032	916 001

Tableau 2. Evolution des productions fourragères en Algérie (Unité quintaux) (**MADR, 2016**)

Année	Fourrage naturel	Fourrage artificiel		
		Fourrage sec	Fourrage vert ou ensilé	Total
2007/2008	4 992 330	10 167 350	8 672 420	18 839 770
2008/2009	3 487 865	7 447 675	8 455 690	15 903 365
2009/2010	6 651 050	11 585 391	12 136 604	23 721 995
2010/2011	5 459 700	12 885 130	13 016 130	25 901 260

2011/2012	5 581 585	10 765 180	14 930 040	25 695 220
2012/2013	7 298 420	12 740 400	16 823 850	29 564 250
2013/2014	/	13 248 545	17 693 148	30 941 693
2014/2015	/	17 859 727	17 686 338	35 546 065

Tableau 3. Les production par variété fourragère exploitée en sec en Algérie (Unité: quintaux)

Campagne agricole	Maïs et Sorgho	Orge/Avoine/Seigle	Trèfle/Luzerne/	Divers
2007/2008	1085010	5875400	1317765	394245
2008/2009	1071335	5450350	1231135	702870
2009/2010	1236678	7253973	1799933	1846020
2010/2011	1825970	8052077	2906197	231886
2011/2012	2282730	9380646	2874150	419514
2012/2013	2198065	10955515	343625	556645
2013/2014	2335177	11293784	3485773	578414

1.2.4. Structure des exploitations agricoles :

Le morcellement des terres constitue ainsi un réel problème en Algérie. En effet la réforme agricole adoptée en Algérie en 1987 a entraîné un morcellement des terres par la création de 22 356 exploitations agricoles collectives (EAC) et 5 677 exploitations agricoles individuelles (EAI) à partir des ex-domaines agricoles socialistes (**Bouchaib et Jouve, 2010**). En outre les systèmes de production étaient moins variés au début du siècle, car la densité de la population rurale était faible, donc des terres agricoles et pastorales restaient abondantes. Avec les pressions induites par les changements économiques et sociaux, on rencontre, selon la zone géographique et les potentialités agricoles tous les types des systèmes de production, des plus extensifs (olivier, élevage sur parcours) aux plus intensifs (cultures maraîchères, vigne) que l'irrigation a rendu possible. Selon le recensement général de l'agriculture (RGA) de (**MADR, 2003**), il ressort que 70% des exploitations sont de petite taille avec des superficies comprises entre 0,1 et moins de 10 ha. Elles occupent 25,4% de la SAU totale (Tableau 4). Par ailleurs, 22,6% des exploitations ont des superficies « moyennes » comprises entre 10 et moins de 50 ha et détiennent 51,8 % de la SAU totale et seulement 1,9 % sont de type « grandes » exploitations avec une superficie égale ou supérieure à 50 ha et couvrant 22,7 % de la SAU totale. Pour l'élevage bovin, et selon le recensement général de l'agriculture (**MADR, 2003**), 215 000 éleveurs mixtes (viande et lait), soit 18% du total des exploitations présentent des structures assez rigides et de petites tailles et qu'il est difficile de faire évoluer à court et à moyen terme. **Makloul et al (2015)** affirment que parmi celles-ci, 85,9% ont seulement 2 vaches laitières en moyenne et disposent de 57,4 % du total des vaches reproductrices au niveau national (Tableau 4). **Nedjraoui (2003)** a démontré que ce système de production extensif assure 40 % de la production laitière nationale et occupe une place importante dans l'économie familiale. Ce type d'élevage concerne des ateliers de taille relativement réduite localisés dans les zones de montagnes et forestières, et qui utilise des peuplements bovins issus de multiples croisements entre les populations locales et les races importées. Il est à noter que cet élevage

se caractérise par un très faible niveau d'investissement et d'utilisation d'intrants alimentaires et vétérinaires. Il est basé sur un système traditionnel de transhumance entre les parcours d'altitude et les zones de plaines. Par contre, les éleveurs qui pratiquent un élevage intensif de type moderne et industriel ne représentent que 1% du total des exploitations et ne possèdent que 12% des vaches reproductrices (Tableau 4). De même **Chehat et Bir (2008)** ont démontré que les élevages qui disposent de plus de 50 vaches laitières ne représentent que 0,3% du total national. Cette situation est la principale contrainte à la modernisation de l'élevage bovin, d'autant plus que 45% des éleveurs n'ont pas d'étable. En ce qui concerne les rendements laitiers des différents systèmes d'élevage, plusieurs enquêtes de terrain affichent des résultats extrêmement variables et globalement d'un niveau faible.

Tableau 4. Structure des systèmes d'élevages en Algérie (**Makhlouf, 2015**)

Type d'élevage	Effectif en % de l'effectif National	% de vaches Reproductrices	Taille moyenne : Nombre de vaches laitières / exploitation
Familial	85,9	57,4	2
Traditionnel	13,1	31	9
Moderne	0,9	9,1	45
Industriel	0,1	2,5	171

1.3.Potentiel animal

1.3.1. Cheptel national

En Algérie, le secteur de la production animale utilise un nombre d'espèces et de type assez réduit. Les gros élevages pratiqués concernent cinq principales espèces à savoir : les bovins, les ovins, les caprins, les camelins et les équins. Pour les petits élevages, le poulet représente le monogastrique le plus dominant alors que la gamme locale est relativement riche (lapins, dindes et autres). Selon la figure 9, les effectifs totaux, toutes espèces confondues durant la décennie 2000-2009, étaient de l'ordre de 24,5 Millions de têtes, cet effectif a augmenté pour atteindre 33.6 Millions de têtes au cours de la période 2010-2017 soit un taux d'accroissement de 37%. Durant la période 2010-2017, les effectifs ovins représentaient 78% de l'effectif total ; soit 26.4 millions de têtes, vient en deuxième position, les effectifs caprins (15%) représentant 4.8 Millions de têtes, suivis par l'espèce bovine, qui avec 1,9 millions de têtes (dont 52% vaches laitières) pèse pour 6 % de l'effectif global. Les effectifs camelins et équins représentent respectivement 1% et 0.5 % des effectifs totaux (**MADR, 2018**).

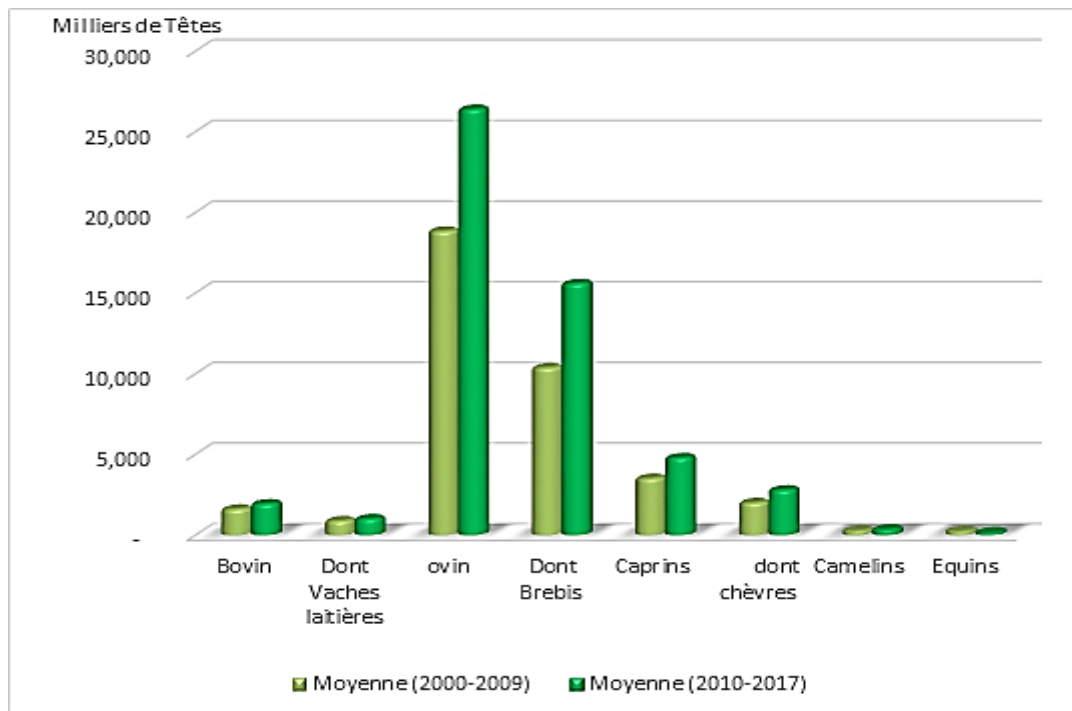


Figure 3. Evolution de l'effectif du cheptel national durant les deux décennies (2000- 2009) et (2010-2017) (MADR, 2018)

1.3.2. Cheptel bovin

- **Evolution des effectifs**

Le cheptel bovin national est passé de 1 560 545 têtes en 2003 à 2 149 549 têtes soit une augmentation de 27, 40 % avec 589 004 têtes en 2015. En revanche à partir de cette année le cheptel a reculé de 6,4 %, soit une réduction de 333269 têtes pour atteindre 1 816 280 têtes en 2018 (Tableau 5). Selon les données du tableau 5, nous constatons que le cheptel se compose essentiellement de vaches laitières avec 51% suivi de 13% de taurillons et près de 23% de veaux et vèles. Le reste du cheptel est représenté par les génisses de plus de 12 mois (12%), puis les taureaux (3%).

Malgré l'importation massive des races étrangère à haut potentiel génétique principalement de pays d'Europe, dont l'introduction avait débuté avec la colonisation ceci reste bien en deçà d'un cheptel performant répondant aux besoins de la production nationale en lait. En effet la figure 10, montre clairement la prédominance des races améliorées et locaux (BLA) et (BLL) par apport à la race moderne (BLM) durant toute la période (2003-2015). Le tableau 6 montre que l'effectif total de vaches laitières durant l'année 2018 est constitué de 346 657 têtes de bovins laitiers modernes (races importées des pays d'Europe) et de 761 143 têtes de bovins laitiers améliorés et locaux, représentant ainsi respectivement 31,29 et 68,70%.

Il est à signaler que la diminution du nombre de vaches laitières tout au long de ces dernières années est suite à l'apparition de certaines maladies réputées dangereuses et contagieuses, en dépit du programme de prévention et de lutte mis en place par les pouvoirs publics. Ces maladies sont principalement la fièvre aphteuse et la brucellose (DSA, 2019).

Tableau 5. Evolution de l'effectif bovin laitier (2003-2018) (MADR, 2019)

Année	Vaches laitières	Génisse +12 mois	Taureaux	Taurillons de 12à 18 mois	Veaux -12 mois	Vêles- 12 mois	Total
2003	833 224	179 684	55 022	122 114	172 385	198 116	1 560 545
2004	844 500	194 780	58 790	131 760	180 630	203 240	1 613 700
2005	828 830	189 120	58 710	128 460	182 510	198 440	1 586 070
2006	847 640	193 960	55 730	128 310	182 770	199 480	1 607 890
2007	859 970	198 780	55 040	135 440	183 590	200 990	1 633 810
2008	853 523	201 033	59 322	137 298	187 759	201 795	1 640 730
2009	882 282	205 409	61 426	141 898	187 245	204 173	1 682 433
2010	915 400	212 323	62 263	141 817	202 097	213 800	1 747 700
2011	940 690	218 382	65 392	152 417	202 113	211 146	1 790 140
2012	966 097	220 627	63 476	150 852	216 220	226 658	1 843 930
2013	10 08 575	226 907	67 325	152 551	221 667	232 430	1 909 455
2014	10 72512	228 901	68 004	155 000	234 111	291 124	2 049652
2015	11 07800	248 802	70 982	165 080	240 606	316 279	2 149549
2016	10 66625	253256	82539	195312	182134	170261	2081306
2017	971 663	225660	75720	231594	213692	200011	1895126
2018	942 828	218963	69712	252000	226257	214505	1816280

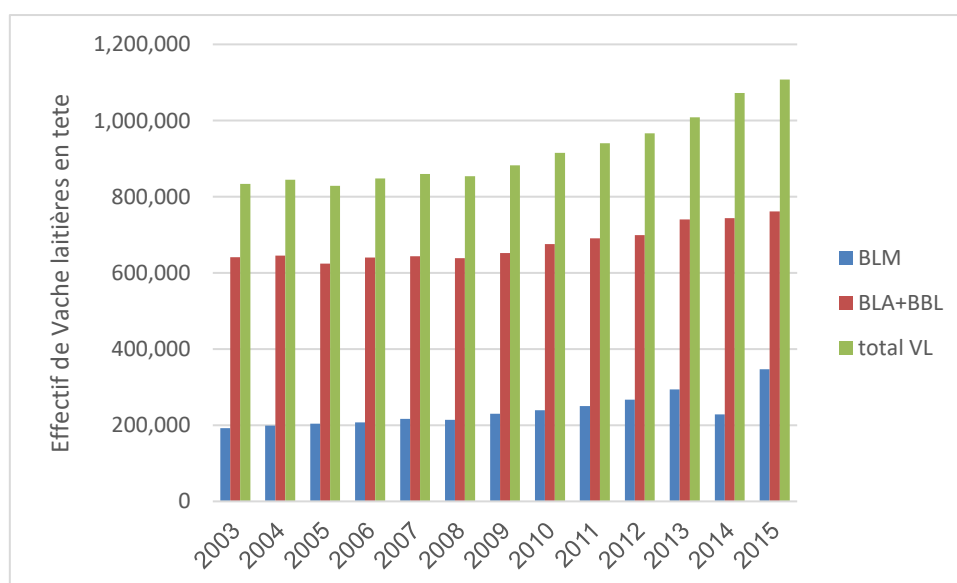


Figure 4. Evolution des effectifs bovins au niveau national (MADR, 2019)

Tableau 6. Evolution de l'effectif des vaches selon la composition raciale en Algérie
(MADR, 2019)

Année	BLM	BLA-BLL	Total
2003	192 364	640 860	833 224
2004	199 165	645 335	844 500
2005	204 240	624 590	828 830
2006	207 740	639 900	847 640
2007	216 340	643 630	859 970
2008	214 485	639 038	853 523
2009	229 929	652 353	882 282
2010	239 776	675 624	915 400
2011	249 990	690 700	940 690
2012	267 139	698 958	966 097
2013	293 856	714 719	1 008 575
2014	300000	743 611	1 072512
2015	346 657	761 143	1 107800

B L A = Bovin Laitier amélioré | **B L M** =Bovin Laitier Moderne | **B L L** = Bovin Laitier Local

- **Races exploitées**

En Algérie, les bovins exploités peuvent appartenir à de multiples populations composées de femelles issues de vaches importées, de populations issues de croisements ou de populations locales pures.

- **Le Bovin local (BLL)**

Le bovin local appartient à un seul groupe dénommé la *Brune de l'Atlas*, dont l'ancêtre serait le *Bos mauritanicus*. Cette race d'origine Ibérique est répartie en sous-races rustiques qui tiennent leur nom de la région où elles vivent (**Aissaoui et al., 2002**) On distingue principalement quatre races : la Guelmoise, la Cheurfa, la Sétifienne et la Chelifienne. En effet d'autres populations existent mais avec des effectifs plus réduits telles que : la Djerba, la Kabyle et la Chaouia. Comparée aux races exotiques, le cheptel local produit peu de lait, en moyenne 595 Kg par lactation. Sa faible production de lait fait que cette dernière est surtout destinée à l'alimentation des jeunes animaux. De ce fait, c'est une population qui est beaucoup plus orientée vers la production de viande. De même, **Abdelguerfi (2003) et Feliachi (2003)** affirment que cette race occupe les zones difficiles, particulièrement les régions montagneuses et les parcours. Elle est souvent citée comme exemple pour sa rusticité, malgré les faibles

ressources alimentaires qui lui sont offertes, qui s'explique par l'aptitude à la marche en terrain difficile, la résistance aux conditions climatiques difficiles (froid, chaleur et sécheresse) et sa résistance aux maladies et aux parasites.

Les croisements, souvent anarchiques, ainsi que l'insémination artificielle à base de semences importées ont fortement réduit le sang de races locales qui ne subsistent en races pure que dans les régions marginales (montagnes, élevage bovin en extensif) (**Abdelguerfi et Badrani, 1997**). Le BLL représente 34% de l'effectif total des vaches laitières, environ 300 mille (**Soukehel, 2013**). L'abandon de l'élevage bovin local est expliqué par l'absence d'une politique de développement durant la phase postcoloniale et l'importation massive du bovin spécialisé, afin de constituer un noyau laitier et un noyau alimentaire (viande rouge). L'état Algérien doit consentir les moyens financiers pour préserver ce patrimoine, d'autant plus, qu'en Algérie, l'élevage du bovin local occupe une place importante dans l'économie familiale.

- Le Bovin importé dit bovin laitier moderne « BLM »

L'évolution du cheptel de vaches laitières "modernes"(c'est-à-dire à hautes potentialités laitières comprend essentiellement les races : Montbéliarde, la Frisonne pie noire, la Holstein, la Brune des Alpes (**Feliachi, 2003**) dépend des importations de génisses pleines et des capacités de reproduction des vaches de ce type déjà présentes sur le territoire Algérien. Elle dépend aussi, bien sûr, du bon entretien de ce cheptel en matière d'alimentation et de santé animale. Les importations, continues depuis l'indépendance, sont passées de 1 671 têtes en moyenne annuelle durant la période 1964- 1968 à plus de 21 mille génisses en 2015 (**MADR, 2019**). Malheureusement une fois déchargées en Algérie, les génisses gestantes ont été confrontées à de nouvelles conditions d'élevage, souvent contraignantes, particulièrement sur le plan alimentaire et les conditions environnementales qui se sont répercutées sur leurs performances laitières. Ces races hautement productives, sont conduites en intensif, dans les zones à fort potentiel de production fourragère, au niveau des plaines et des périmètres irrigués autour des villes (**Bencharif, 2001**).

- Le Bovin Laitier Amélioré « BLA » :

Ce cheptel que l'on désigne sous le vocable de Bovin Local Amélioré (BLA), recouvre les divers peuplements bovins, issus de multiples croisements, entre la race locale Brune de l'Atlas et ses variantes d'une part, et diverses races importées d'Europe (Pie Rouge, Tarentaise, Brune des Alpes et Frisonne Pie Noire). Ces animaux constituent 42% à 43% de l'ensemble du troupeau national et assure 40% environ de la production (**Bencharif, 2001**). Ces produits existent dans l'ensemble des régions d'élevage bovin et sont élevés au sein de troupeaux regroupant des animaux métissés ou en mélange avec des animaux de races pures : ce type de matériel animal ainsi que son extension est encore peu connu ; il est fréquent d'observer dans une même localité un gradient de format et de types génétiques, exprimant une forte hétérogénéité du matériel génétique, difficilement identifiable sur le plan origine raciale (**Feliachi et al., 2003**).

2. Principaux acteurs de la filière lait en Algérie

On entend par filière de production « l'ensemble des agents (ou fractions d'agent) économiques qui contribuent directement à la production, puis à la transformation et à l'acheminement jusqu'au marché de réalisation d'un même produit agricole (ou d'élevage) » (**Fabre, 1993**). En effet les filières permettent de décrire de l'amont vers l'aval, l'enchaînement des opérations de transformation et de répartition qui valorisent les ressources d'un pays. **Soukehal (2013)** explique que la filière laitière constitue un exemple pertinent de l'utilisation de ce concept ; elle fait intervenir de multiples acteurs agissant autour du lait et de ses produits dérivés. Il s'agit d'une filière « lourde » car elle touche pratiquement tous les segments de la production agricole ; c'est-à-dire de l'étable à la table en commençant par le foncier agricole, les productions végétales (fourrages et céréales), l'industrie des aliments du bétail, le machinisme agricole, les bâtiments et équipements d'élevage, le cheptel évidemment avec tous les problèmes de reproduction, de sélection, et de santé animale, la récolte, la qualité, la conservation et le transport du lait, la transformation dans les laiteries ainsi que la distribution commerciale.

Le développement de la filière lait, notamment par l'intensification des productions, suppose la professionnalisation des producteurs, dont l'objectif global est d'améliorer la rentabilité et la compétitivité de la filière, en vue de permettre aux producteurs laitiers nationaux d'occuper une place plus importante dans la satisfaction des besoins du pays en lait. En effet, les efforts que consentiront les principaux acteurs de la filière, qu'ils soient producteurs ou transformateurs, seront fortement conditionnés par leurs perceptions de l'environnement macro-économique et politique, lui-même largement déterminés par les politiques gouvernementales touchant la filière. D'après **Belhadia et al (2009)** la filière laitière en Algérie s'articule autour de quatre principaux maillons : la production, la collecte, la transformation-commercialisation et la consommation. A cela s'ajoute l'importation de la poudre de lait et ses dérivés. L'industrie laitière, le maillon le plus puissant de la chaîne laitière, constitue le centre de commande à partir duquel surgissent la boucle de rétroactions, permettant à la filière lait de s'adapter et d'évoluer (**Souki, 2009**).

2.1. Production

En amont de la filière, la production laitière est assurée en grande partie (plus de 80 %) par le cheptel bovin ; le reste est constitué par le lait de brebis, de chèvre et de camelin qui reste plus au moins marginal (**Bencharif, 2001**). Malgré l'émergence de la race bovine laitière, les bilans d'évaluation des efforts de développement de la production ont indiqué à l'unanimité des résultats très insuffisants du modèle d'intensification. En effet la production laitière en Algérie n'a pas cessé d'augmenter durant les trois décennies, elle est passée de 584 mille tonnes par an en moyenne sur la période (1971-1975) à 1,735 million de tonnes sur la période (2006-2007), soit près de trois fois plus (**Djermoun et Chehat, 2012**). De même **Nouad (2008)** a démontré que dès 2004, une croissance annuelle de 7% est enregistrée pour atteindre 2.45 milliards de litres en 2009. Ainsi une étude réalisée au cours de la période 2009-2015 sur des données recueillies du Ministère de l'Agriculture et du développement rural permet de constater une évolution positive dans les quantités de lait cru produites. Ces dernières sont passées de 2 millions de litres de lait en 2009 à 3 millions en 2015, soit un taux d'évolution de

36% (**Kali et al., 2018**) (Tableau 7). Les mêmes auteurs affirment que cette progression observée ces dernières années est le résultat direct de l'augmentation de l'effectif bovin par l'importation de génisses pleines qui s'est accentuée surtout à partir de l'année 2004 ainsi que l'amélioration progressive des techniques de production. Selon les résultats mentionnés dans le tableau 7 nous constatons ainsi que les taux d'évolutions de la production laitière est très fluctuant d'une année à une autre, ils présentent respectivement 10, 11, 10, 6,9 et 11% pour les campagnes 2009 /2010, 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 et 2014/2015. **Kali (2010)** explique que l'accroissement enregistré de la production est surtout le fait d'une augmentation des effectifs de vaches laitières et non des rendements laitiers des exploitations, ce qui traduit le caractère peu productif du cheptel.

Tableau 7. Evolution de la production nationale (2009-2015) (DSA.2019)

Années	Production nationale (10 ⁶ litres)
2009	2 394
2010	2632
2011	2926
2012	3088
2013	3368
2014	3548
2015	3753
Moyenne (2009-2015)	3101

- **Les zones de production laitière**

Les grandes zones de production laitière sont localisées au Nord du pays et plus précisément sur la frange littorale et les plaines intérieures. L'élevage étant fortement dépendant des ressources fourragères, il est peu important dans le sud. **Kali et al (2011)** démontrent l'existence de trois zones selon le potentiel de production, soit, du Nord vers le Sud (Figure 11):

- **Zone I** : Renferme 60 % des effectifs de vaches laitières qui se répartissent au nord à travers la bande côtière et dans l'aire sublittoral à climat humide et subhumide. Cette zone couvre 63 % de la production laitière et 70% de la superficie fourragère.
- **Zone 2** : Correspond à une zone agropastorale et pastorale à climat semi-aride et aride, elle représente 26% de l'effectif bovin laitier et 26% de la production de lait cru. Cette zone couvre une superficie fourragère de 31,8%.
- **Zone 3** : Est une zone saharienne à climat désertique. Elle représente 14% de l'effectif de bovin laitier, et 11% de la production de lait cru, avec une superficie fourragère de 7,3% (**Temmar, 2005**).

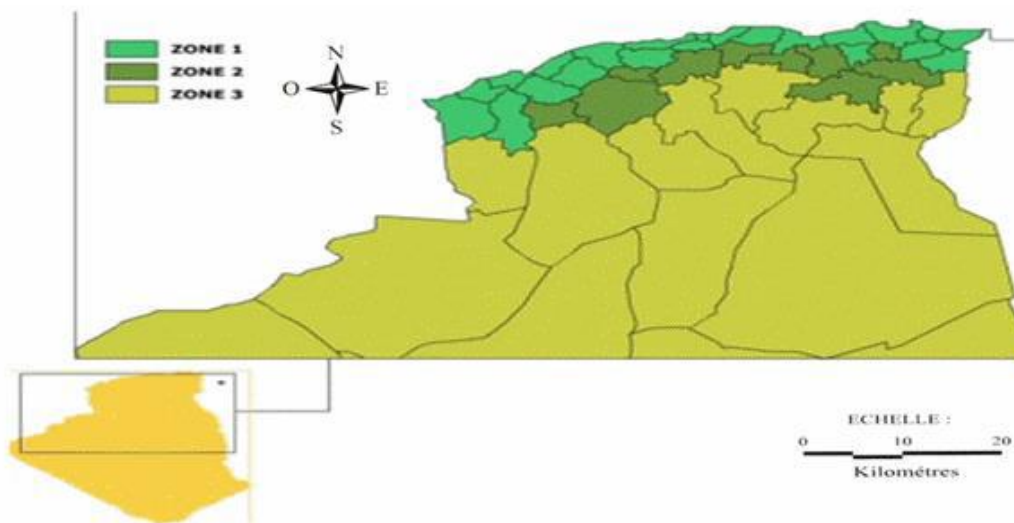


Figure 5 . Répartition des potentialités de production laitière par zone (kali *et al.*, 2011)

Les productions laitières par wilaya selon une étude réalisée par **Sadaoui *et al* (2018)** sur dix années (2006-2015) affirment que:

- La wilaya de Sétif (faisant partie de la zone une est classée première à l'échelle Nationale), sa production laitière a connu une évolution positive avec 306 898 x 103 litres de lait en 2015. De même, la wilaya de Batna qui connaît une émergence singulière dans le secteur laitier ces dix années avec une évolution de 82% de production totale.
- Les wilayas de Skikda, Sidi Belabbes, Souk-Ahras et Tizi-Ouzou ont enregistré des productions relativement importantes au cours de la même période, avec des quantités variant en moyenne entre 97 292 103 litres de lait en 2009 et 146 636 103 litres de lait en 2015 ;
- Les wilayas de Mila, Médéa, Oum El Bouaghi, Constantine, Djelfa, Bordj-Bouariridj, Bouira, Mostaghanem, Tlemcen et Tébessa, constituent un groupe qui se caractérise par une augmentation relative de la production laitière en 2015, avec une moyenne pour l'ensemble des wilayas de 105 120 103 litres de lait, après avoir enregistré une moyenne de 59 179 103 litres de lait en 2006 ;
- les wilayas n'ayant pas enregistré une évolution significative dans leurs productions laitières se sont généralement celles situées dans la partie Sud où la production est faible et parfois absente.

2.2. Collecte :

C'est à ce stade que pointe du nez la vraie problématique, celle de la collecte. En effet la production de lait cru, dont la croissance est l'objectif primordial de la politique nationale, a quasiment doublé en l'espace d'une décennie. Cependant, elle ne fait pas encore l'objet d'une collecte suffisante malgré la prime que l'Etat Algérien lui réserve (**Makhlouf *et al.*, 2015**). Il faut souligner que la collecte nationale du lait cru de vache (22 % de la production tous ruminants confondus), demeure relativement faible face à une distribution totalement

désorganisée. Plusieurs facteurs entravent l'essor de la collecte nationale du lait, notamment la taille du troupeau très réduite, un prix réglementé du lait cru et la dispersion des élevages.

Bellil et Boukrif (2021) expliquent que, plus de 2/3 des éleveurs recensés en tant que tels (disposant d'un agrément sanitaire ou d'une simple fiche d'identification) n'adhèrent pas au circuit officiel de collecte, sanctionné par tout un programme de subventions.

Makhlouf et al (2015) affirment que la collecte nationale de lait cru reste faible malgré une augmentation significative entre 2000 et 2004, enregistrant une moyenne qui se situe entre 5 et 7%. Ce n'est qu'à partir de 2005 que les volumes de collecte ont pratiquement doublé, puis poursuivi leur croissance pour représenter en 2012 sept fois le volume de 2004 et 23 % de la production. Selon les statistiques du ministère de l'agriculture et du développement rural (**MADR, 2019**), ce volume de lait cru collecté en 2015 est arrivé à 940 millions de litres face à une production de 3753 millions de litres (Figure 12). Cette augmentation n'est pas le résultat du seul gain de productivité des systèmes d'élevage et encore moins, d'une forte amélioration du taux de collecte nationale du lait cru. Elle est due plutôt à une revalorisation des primes destinées aux acteurs de base à partir de 2009 à laquelle s'ajoute le nombre grandissant de nouveaux acteurs de la filière qui adhèrent au dispositif de l'ONIL (**ONIL, 2015**). Il est à signaler que les montants des primes destinées aux acteurs à l'amont de la filière locale (éleveurs, collecteurs et transformateurs), ont augmenté de 82 % en six ans. Ce taux qui a connu un record avec un volume de 833 millions de litres en 2017 (**MADR, 2019**).

Kali et al (2011) affirment que les centres de collecte sont représentés par un nombre relativement important, au niveau de plusieurs zones de production du pays. En effet on compte 100 centres de collecte répartis comme suit :

- **Zone 1** : englobant la zone littorale et sublittoral avec 57 centres de collecte
- **Zone 2** : avec 27 centres de collecte qui sont implantés dans la zone agropastorale et pastorale
- **Zone 3** : avec 16 centres de collecte qui sont implantés sur le territoire saharien

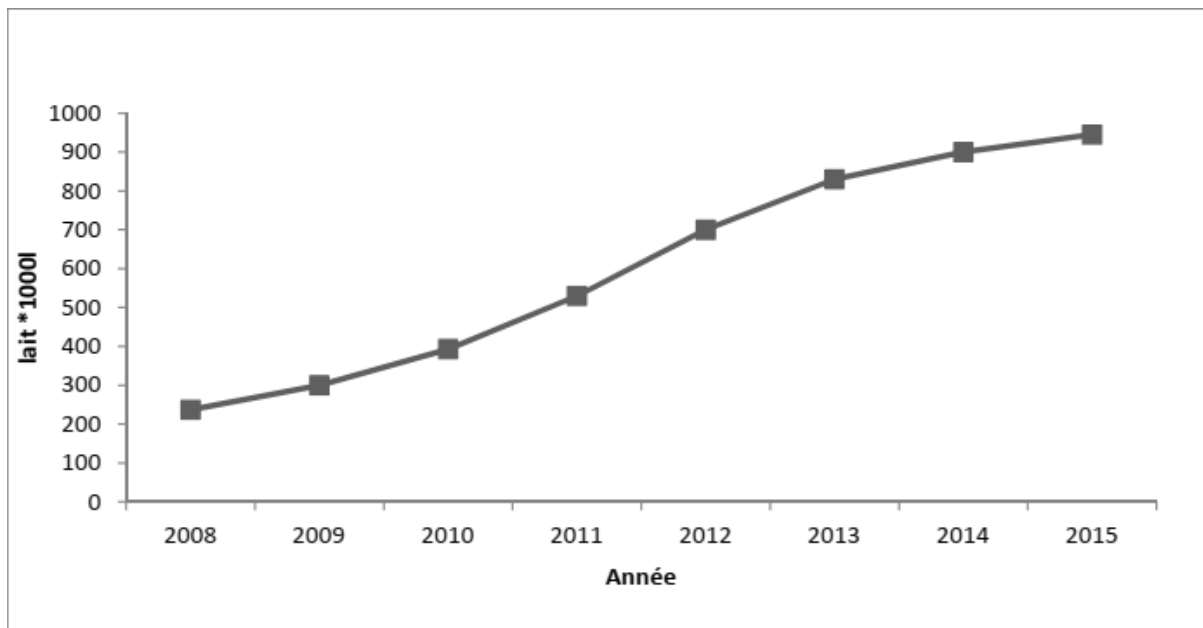


Figure 6. Evolution des quantités de lait collectées au niveau national (2008-2015) (MADR, 2019)

- **Circuit de distribution**

En raison de la multitude de ses intervenants, la distribution du lait cru est devenue de plus en plus complexe. Un sérieux problème qui risque de pénaliser grandement l'autosuffisance nationale (Belhadia *et al.*, 2014). Ainsi Makhoulf *et al* (2015) expliquent que sur les 147 litres de lait consommés en moyenne par chaque personne en Algérie, 31 litres (21 %) sont distribués à travers le circuit informel, 18 litres (12 %) sont collectés par les industriels, et donc 49 litres (33 %) proviennent de la production nationale. Les 98 litres (67 %) restants sont importés, 68 litres (2/3) sous forme de poudre et 30 litres (1/3) sous forme de produits transformés finis, et, par conséquent, une grande partie de la production nationale, environ 38 % du lait cru de vache, passe par le circuit informel qui approvisionne directement le consommateur avec tous les risques d'une dégradation rapide de sa qualité. Les mêmes auteurs confirment que cet état de fait renforce encore l'attention à donner au secteur informel qui gère plus des ¾ de la production nationale de lait cru, qui est exclu en tout ou partie du système d'aides publiques, mais qui échappe aussi totalement aux différents systèmes de contrôle de qualité, pouvant mettre en péril la santé publique des consommateurs. L'écoulement par l'informel, plus rémunérateur, est favorisé par la proximité de nombreuses agglomérations. Ces circuits tendent de plus en plus à se légitimer et à se formaliser par l'intégration des produits de production artisanale surtout le beurre, le lait caillé (Raïb) et le lait fermenté (L'ben) dans les circuits de commerce (épicerie, points de vente, etc). En outre, cette production (autoconsommée à plus de 60%) joue un rôle très important pour l'équilibre nutritionnel des populations rurales (35% de la population totale). Pour le circuit formel, Abbas *et al* (2009) expliquent qu'il est représenté par deux sous filières: -Une première (F1) de grande taille, spécialisée dans la reconstitution du lait en poudre et drainée par des centrales publiques et privées; -Une deuxième (F2) industrielle de taille moyenne, spécialisée en lait et produits laitiers de vache et représentée par une centrale de collecte installée par une coopérative d'éleveurs. Le lait est vendu à un prix supérieur à celui du lait reconstitué. Celle-ci apparaît comme une forme

souhaitable d'un système coopératif de producteurs pouvant avoir de bonnes perspectives de développement industriel.

2.3. Industrie laitière et transformation

L'industrie laitière est le maillon le plus puissant de la filière et forme le centre de commande permettant à la chaîne lait de se développer et d'évoluer (Tlemsani *et al.*, 2018). La mise en place, de l'industrie laitière algérienne avait commencé en 1969, date à laquelle a été créé l'Office National du Lait (ONALAIT) dont les missions, fixées par l'Etat, étaient principalement de promouvoir la production locale et de réguler le marché du lait et des produits laitiers (Badrani et Bouita, 1998). En plus de la transformation de la production locale, l'office avait étendu son activité à l'importation de produits laitiers frais puis de la poudre de lait anhydre. Cependant, la progression de la demande urbaine a suscité l'affectation d'importants investissements publics, dans le cadre des différents plans, pour le développement de l'industrie laitière par la création et l'extension de laiteries industrielles modernes dont la capacité dépasse les 300 000 litres d'équivalent lait par jour (Djermoun, 2010). Il est à signaler que le tissu industriel laitier était composé d'entreprises très hétérogènes représenté par une forte articulation public/privé. En effet la production de lait et ses dérivés était assurée essentiellement par des entreprises publiques des trois ex-offices régionaux qui sont regroupés par une opération de fusion-absorption pour former le groupe GIPLAIT. Cette dernière se compose de 18 filiales et de 150 PMI (Petite et Moyenne Entreprise) du secteur privé alors que l'importation des matières premières est confiée à une filiale spécialisée dénommée Milk Trade (Cheriet, 2006). L'Etat, à travers l'Office national interprofessionnel du lait (ONIL), s'est engagé à approvisionner d'une manière régulière les laiteries par la poudre de lait importée et commercialisée à un prix fixé, actuellement de 25DA/l, et ce, indépendamment du niveau des cours mondiaux (Djermoun *et al.*, 2014).

Makhlouf *et al* (2015). affirment que cet office a la charge de mettre en œuvre un nouveau dispositif laitier accompagné d'un schéma organisationnel de la filière lait au niveau national (Figure 13), l'engagement contractuel des laiteries privées avec l'ONIL ne leur interdit pas de s'approvisionner en poudre de lait directement sur le marché international ou national à prix réel et de mettre sur le marché des laits de consommation et des produits laitiers à prix libres. Par contre, les laiteries publiques du groupe GIPLAIT sont mises sous sujétion des pouvoirs publics pour la production de 50% des besoins du marché en lait pasteurisé LPS subventionné. Pour une meilleure stabilisation des transactions laitières au sein de la filière locale, toutes les laiteries conventionnées avec l'ONIL doivent obligatoirement faire des propositions de contrats formels aux éleveurs et aux collecteurs privés. Ces contrats doivent normalement préciser les engagements sur les volumes, la durée du contrat, les caractéristiques des produits à livrer, les critères et les modalités précises de détermination du prix, les modalités de paiement, de révision et de résiliation du dit contrat. En effet 210 laiteries sont conventionnées avec l'ONIL à travers le territoire national (Figure 7) (ONIL, 2018).

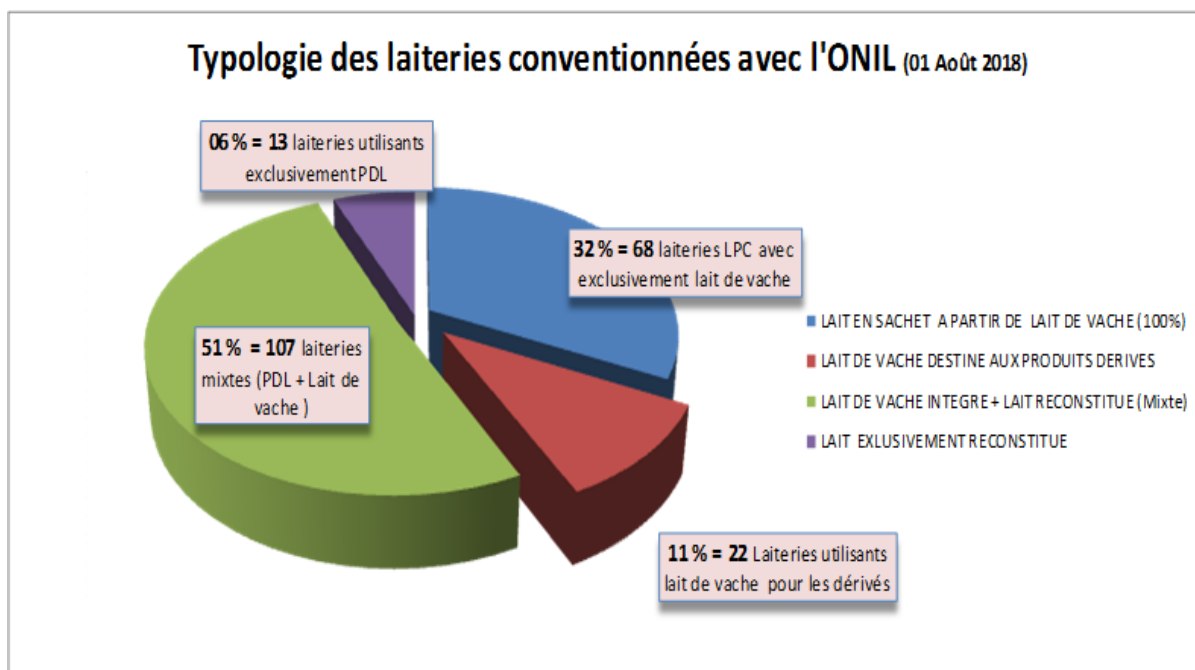


Figure 7. Les différentes laiteries engagées avec l'ONIL à travers le territoire national (ONIL, 2018)

2.4. Consommation :

La consommation laitière n'a pas cessé d'augmenter depuis les premières années d'indépendance de l'Algérie. La croissance démographique, l'urbanisation accélérée et l'augmentation des revenus de la population expliquent en grande partie cette tendance haussière de la consommation (**Makhlouf et Montaigne, 2017**). De même **Djermoun et Chehat (2012)** affirment que la production laitière locale a connu une faible croissance comparativement à la consommation qui a fortement augmenté sous l'effet de la croissance démographique et du soutien par l'Etat des prix à la consommation. Les mesures incitatives initiées par les pouvoirs publics pour stimuler la production laitière locale n'ont pas eu l'impact escompté. L'élevage a demeuré fortement extensif et peu productif. L'approvisionnement de l'industrie laitière a suscité un recours massif aux importations pour combler le déficit local et faire face aux besoins en croissance de la population. C'est ainsi que les concepts d'autosuffisance et de sécurité se trouvent remis en cause et l'extraversion de la filière demeure une réalité. Depuis l'indépendance de l'Algérie, les pouvoirs publics ont toujours favorisé une politique nutritionnelle qui intègre le plus possible de protéines animales. Il en découle une augmentation de la consommation du lait par habitant qui a plus que doublé par habitant pour une population qui a pratiquement quadruplé (**Soukehal, 2013**). En effet la consommation per capita en lait et produits laitiers a quadruplé entre 1967 à 2012, passant de 35 litres à 147 l/hab./an soit la plus forte d'Afrique (Tableau 8). L'Algérien consomme donc plus de lait que les normes internationales fixées par l'OMS évaluées à 90 litres/ habitant/ an). Il est donc le premier consommateur laitier du Maghreb (85 litres pour le Tunisien et seulement 65 pour le Marocain) (**Kacimi El-Hassani, 2013**). Il est à noter que la consommation annuelle de lait en Algérie est de 5 milliards de litres, dont 3,5 milliards de litres produites localement, tandis que, le gap de 1,5 milliards de litres, est importé sous forme de poudre de lait subventionnée transformée par les laiteries en lait de sachet (**ONIL, 2016**). Pour le plus grand

nombre de la population algérienne, le lait vient de combler le déficit en protéines animales et assurer une ration alimentaire plus ou moins équilibrée. **Ramdani *et al* (2019)** affirment que l'aval de la filière lait est le maillon le plus dynamique grâce à la politique de subvention des prix à la consommation. Devant ce constat, l'Etat doit intervenir dans la régulation du marché du lait en ajustant par tous les moyens l'offre et la demande. Entre 2000 et 2012, le niveau de la consommation de ce produit non substituable n'a que légèrement augmenté, passant de 34,2 litres par habitant à 43 litres (soit une croissance annuelle de 2,2 %). Corrélativement, la part du lait pasteurisé dans la structure globale de la consommation des produits laitiers, a considérablement diminué au profit des autres produits laitiers de forte valeur ajoutée dont les prix de vente sont totalement libres sur le marché et qui affichent souvent une tendance haussière. Paradoxalement, cette diminution constante de ce prix de la consommation n'a pas entraîné une forte demande sur ce produit, confortant ainsi le caractère d'inélasticité de cette dernière (**Makloul et Montaigne, 2017**). En termes de recommandations, **Zaïdi (2016)** affirme que le maintien de l'Etat des différentes subventions paraît autodestructeur. Il est impératif de revoir le système global de soutien des prix vers un retrait graduel des subventions et réglementations des prix, tout en préservant les catégories défavorisées.

Tableau 8. Evolution des disponibilités par capita en Algérie (**MADR, 2013**)

Année	1967	1995	2000	2004	2005	2009	2010	2011	2012
Equivalent lait/habitant/an	35	115	82,6	110	114	120	135	137	147
Population totale (10⁶ hab)	12,5	28,3	30	31,9	32,9	35,4	35,6	36,3	37,9

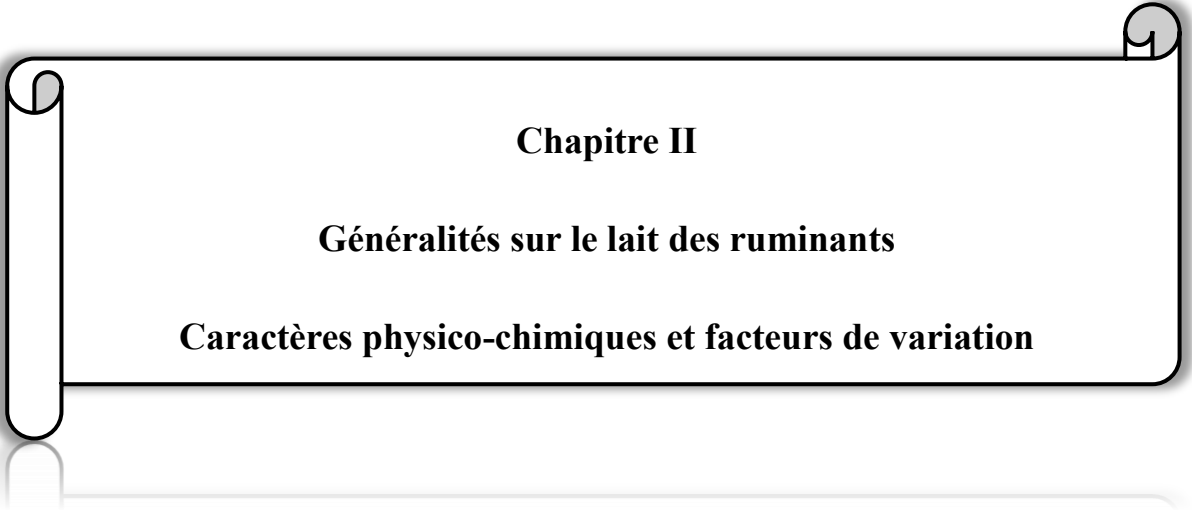
2.5. Importations

Les politiques « importatrices » adoptées par les pouvoirs publics s'apparentaient plus à des politiques alimentaires visant à « nourrir la population » et donc « alimentaires » qu'à des politiques de développement d'un secteur porteur. De telles politiques ont eu des répercussions sur le niveau de consommation, puisque ce dernier a connu une augmentation considérable, au détriment de la production qui est restée toujours limitée faute de compétitivité. Ceci a généré une totale déconnexion entre la production et la consommation et ainsi, une forte extraversion de la filière. En effet, l'industrie laitière algérienne jusqu'à l'année 1974 fonctionnait à partir de lait frais importé en vrac et mélangé au lait collecté localement (**Bencharif, 2001**). C'est à partir de 1972 qu'un changement de la politique laitière s'est opéré en faveur de la poudre de lait pour plusieurs raisons notables à l'époque, notamment sur le gain des quantités, une meilleure maniabilité de la poudre de lait et une réduction des risques d'avaries ou d'acidification (**Kherzat, 2006**). De même **Bencharif (2001)** explique que le coût élevé du transport du lait frais et les prix attractifs de la poudre de lait ont orienté l'industrie laitière vers la recombinaison de la poudre de lait importée. Actuellement les laiteries fonctionnent en grande partie à base d'importations de poudre de lait et de matière grasse laitière anhydre (M.G.L.A). L'importation a suivi une allure ascendante jusqu'à la période (1981-85) avec un

plafond de 2,1 milliards de litres en équivalent lait (**Djermoun et Chehat, 2012**). Cependant, l'importation laitière connaît des déclin au cours de la période (1985-2005) notamment (1986-99). Ces déclin sont en relation avec les mesures d'ajustement structurel qui ont ainsi imposé la baisse des niveaux de subvention des produits laitiers (**Kherzat, 2006**). C'est en 2000 que le monopole de l'importation dans la filière a enregistré une hausse de quantités importées. Le tableau ci-dessous (Tableau 9) représente l'évolution des montants des importations alimentaires et laitières dépensés par l'Algérie durant la période (2000- 2017). Les importations laitières représentent en moyenne 17% des importations des biens alimentaires et suivent la même évolution des importations alimentaires. D'ailleurs l'Algérie est le deuxième importateur au monde de poudre de lait après la chine (**Kassimi Elhassani, 2013**).

Tableau 9. Evolution du poids et montant de l'importation du lait et des produit laitiers (2008-2017) (MADR, 2019)

Année	Poids en Tonne	Valeur (1000 D.A)
2008	295585	834899 79
2009	324607	62345830
2010	298631	73767047
2011	371396	11106050
2012	342186	97694901
2013	307420	99934274
2014	424400	164525022
2015	405940	117137417
2016	398092	106877554
2017	464974	155961245



Chapitre II

Généralités sur le lait des ruminants

Caractères physico-chimiques et facteurs de variation

1. Définition du lait

Le lait est un liquide biologique sécrété par les glandes mammaires des mammifères femelles à la suite de la mise bas, dont la fonction première est d'assurer la nutrition et la protection immunitaire du nouveau-né. Destiné également à la consommation humaine, il constitue une denrée alimentaire fondamentale et une matière première stratégique pour l'industrie laitière mondiale (FAO, 2011).

Sur le plan physico-chimique, le lait est considéré comme une émulsion complexe de matière grasse dans une phase aqueuse, renfermant également des protéines, principalement sous forme de caséines organisées en micelles, ainsi que des protéines solubles, du lactose, des sels minéraux et des vitamines. Cette structure colloïdale particulière détermine ses propriétés technologiques, notamment sa stabilité, sa coagulation et son aptitude à la transformation en divers produits dérivés tels que les fromages et les yaourts (Lucey, 2015).

Du point de vue nutritionnel, le lait représente une source équilibrée de macronutriments et de micronutriments essentiels, notamment des protéines de haute valeur biologique, du calcium hautement biodisponible et des vitamines liposolubles et hydrosolubles. Le lait de ruminants, en particulier celui de vache, demeure le plus largement produit et consommé à l'échelle mondiale en raison de son rendement, de sa disponibilité et de son importance économique (Haenlein et Wendorff, 2013).

2. Anatomie de la glande mammaire et physiologie de la lactation chez les ruminants :

2.1. Anatomie de la glande mammaire :

La glande mammaire des ruminants est un organe tubulo-alvéolaire hautement spécialisé, dont l'organisation structurale permet une production et une sécrétion efficaces du lait. Chez la vache, elle est divisée en quatre quartiers indépendants, chacun possédant son propre système de drainage, de vascularisation et d'innervation, ce qui confère à chaque quartier une autonomie fonctionnelle (Akers et Nickerson, 2011).

Le tissu mammaire comprend le parenchyme sécréteur et le stroma de soutien. Le parenchyme est constitué d'un ensemble d'alvéoles, unités fonctionnelles de base tapissées de cellules épithéliales sécrétrices capables de synthétiser les constituants du lait à partir des nutriments sanguins. Ces alvéoles sont entourées de cellules myoépithéliales contractiles, indispensables à l'éjection du lait (Boutinaud *et al.*, 2015).

Les alvéoles sont regroupées en lobules et en lobes reliés par un réseau de canaux galactophores qui transportent le lait vers la citerne glandulaire, puis vers la citerne du trayon et enfin vers le canal du trayon, permettant son excrétion. Cette organisation hiérarchique assure un transport efficace du lait depuis son site de synthèse jusqu'à l'extérieur (Hurley, 2019).

La vascularisation mammaire est très développée afin d'assurer un apport continu en nutriments et en précurseurs métaboliques nécessaires à la synthèse du lait. L'innervation sensorielle joue un rôle essentiel dans la transmission des stimuli déclenchant le réflexe d'éjection (Hannan *et al.*, 2023).

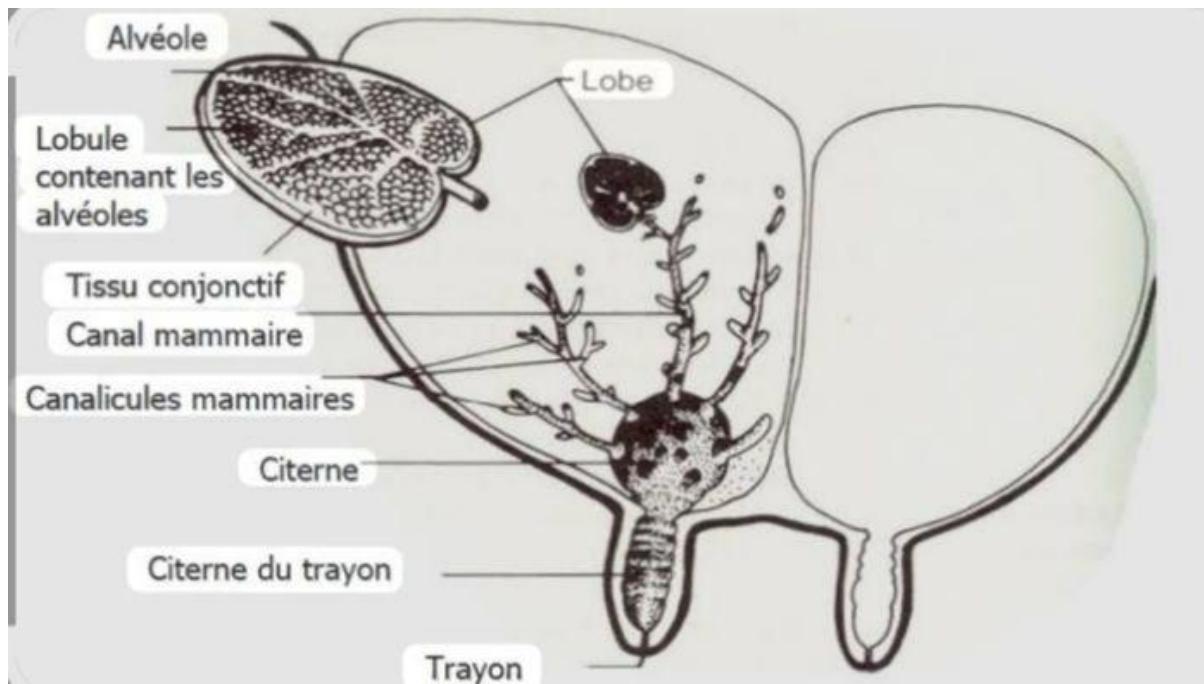


Figure 8. Structure anatomique de la glande mammaire chez les ruminants (Bylund, 2015)

2.2. Physiologie de la lactation

La lactation est un processus complexe reposant sur des mécanismes endocriniens, métaboliques et locaux, permettant la synthèse, la sécrétion et l'éjection du lait.

2.2.1 Mammogenèse : La mammogenèse correspond au développement de la glande mammaire depuis la vie embryonnaire jusqu'à la gestation. Les œstrogènes stimulent la croissance du système canalaire, tandis que la progestérone favorise le développement des structures alvéolaires. D'autres hormones comme la prolactine, l'hormone de croissance et les glucocorticoïdes participent à la différenciation du tissu mammaire (Capuco et Ellis, 2013).

2.2.2 Lactogenèse : La lactogenèse correspond à l'initiation de la sécrétion lactée autour de la parturition. Elle comprend une phase de différenciation cellulaire suivie d'une phase d'activation sécrétoire après la mise-bas. Cette activation est déclenchée par la chute de la progestérone et l'augmentation de la prolactine, en interaction avec l'insuline et le cortisol (Neville *et al.*, 2012).

2.2.3 Galactopoïèse : La galactopoïèse correspond au maintien de la production laitière. Elle dépend de la fréquence de la traite ou de la tétée, de l'état nutritionnel de l'animal et de facteurs hormonaux tels que la prolactine et l'hormone de croissance. Des mécanismes locaux, notamment le facteur inhibiteur du lait (FIL), interviennent également dans la régulation de la production en fonction du remplissage de la glande mammaire (Boutinaud *et al.*, 2015).

2.2.4 Réflexe d'éjection du lait : Le réflexe d'éjection du lait est un mécanisme neuroendocrinien déclenché par la stimulation du trayon. Cette stimulation entraîne la libération d'ocytocine par l'hypophyse postérieure, provoquant la contraction des cellules myoépithéliales et l'expulsion du lait vers les canaux galactophores (Hurley, 2019).

2.2.5 Involution mammaire : L'involution mammaire correspond à la phase de régression de la glande mammaire après l'arrêt de la lactation. Elle se caractérise par une

diminution de la sécrétion lactée, une apoptose des cellules épithéliales et un remodelage du tissu mammaire, permettant la préparation d'un nouveau cycle de lactation (**Capuco et Ellis, 2013**).

3. Les ruminants producteurs de lait

Les ruminants constituent la principale source de lait destiné à l'alimentation humaine à l'échelle mondiale. Leur système digestif polygastrique, composé de quatre compartiments (rumen, réticulum, feuillet et caillette), leur permet de valoriser efficacement les fourrages et de transformer la cellulose en nutriments assimilables grâce à l'action de la flore microbienne ruminale. Cette particularité physiologique confère aux ruminants une place stratégique dans les systèmes de production laitiers (**FAO, 2011 ; Park *et al.*, 2007**).

3.1. La vache : La vache demeure l'espèce dominante dans la production laitière mondiale, représentant la majeure partie du lait commercialisé. Le lait de vache se caractérise par une composition relativement stable et équilibrée, ce qui facilite sa transformation industrielle en divers produits laitiers tels que le fromage, le beurre et les laits fermentés. Ses propriétés technologiques, notamment la capacité de coagulation des caséines et la stabilité thermique, en font une matière première de référence pour l'industrie laitière (**Park *et al.*, 2007; FAO, 2011**).

3.2. La brebis : Le lait de brebis se distingue par une concentration élevée en matière grasse et protéines, particulièrement en caséines, ce qui lui confère un rendement fromager supérieur à celui du lait de vache. Il est largement utilisé dans la fabrication de fromages traditionnels et à appellation d'origine. Sa richesse nutritionnelle contribue également à sa valeur énergétique plus élevée (**Pulina *et al.*, 2018 ; Park *et al.*, 2007**).

3.3. La chèvre : Le lait de chèvre présente des caractéristiques physico-chimiques spécifiques, notamment des globules gras de petite taille et une proportion différente de fractions caséiques, ce qui améliore sa digestibilité. Il est souvent mieux toléré par les personnes sensibles au lait de vache. De plus, ses propriétés technologiques influencent la texture et la saveur des produits transformés (**Park *et al.*, 2007 ; Clark & Mora García, 2017**).

Tableau 10. Comparaison entre la composition moyenne du lait des ruminants (**FAO, 2011; Park *et al.*, 2007; Pulina *et al.*, 2018**)

Constituants	Vache	Brebis	Chèvre
Eau	87	81	86
Matière grasse (% MS)	3.5 – 4	6 – 8	3 – 4.5
Protéines (% MS)	3 – 3.5	5 – 6	3 – 3.5
Lactose (% MS)	4.8 – 5	4.5 – 4.8	4.2 – 4.7

4. Caractéristiques physico-chimiques du lait

4.1. Les caractéristiques physiques

Elles concernent l'ensemble constitué par la couleur, l'odeur, la saveur, la densité, la viscosité et la point de congélation.

4.1.1. La couleur : Le lait est généralement opaque d'un blanc mat, cela est dû à la diffusion de la lumière par les micelles des colloïdes, et une richesse particulière en graisse qui lui confère parfois une teinte jaunâtre (**Patrick Walstra et al., 2022**) due en grande partie à la matière grasse et aux pigments de carotène (la vache transforme le B-carotène en vitamine A qui passe directement dans le lait (**McSweeney et al., 2022**)). Le lait est aussi parfois rosé chez la brebis en raison de la caséine β (**Park et al., 2007 ; Giovanni et al., 2018**). Après la traite, l'invasion des germes producteurs de pigments amène des colorations secondaires qui ne se développent qu'au bout de 3 à 4 jours de conservation.

Parmi ces germes nous avons *Sarcina aurantica* pour les laits roses, et *Micrococcus luteus* pour les laits jaunes (**Dugan et al., 2022**).

Reumont (2009) a expliqué que dans le lait, deux composants: les lipides sous forme de globules de matière grasse et les protéines sous forme de micelles de caséines diffractent la lumière, ces agrégats dispersent les rayons lumineux sans les absorber et le rayonnement qu'ils renvoient est identique en composition au rayonnement solaire, à savoir une lumière blanche.

4.1.2. L'odeur : Le lait n'a pas d'odeur propre, il s'en charge facilement au contact de récipients mal odorants, mal lavés. C'est surtout la matière grasse qui réalise fortement ces fixations. Lors de l'acidification du lait, l'odeur devient aigrelette.

D'après **Fox et al (2015)** l'odeur du lait est caractéristique du fait de la matière grasse qu'il contient qui fixe les odeurs animales. Elles sont liées à l'ambiance de la traite, à l'alimentation. Ainsi, les fourrages à base d'ensilage favorisent la flore butyrique, le lait prend alors une forte odeur, à la conservation, l'acidification du lait à l'aide de l'acide lactique lui donne une odeur aigrelette (**Chetoune, 1982**). L'odeur fraîche est neutre et légèrement sucrée, due au lactose ; la saveur est douce et crémeuse chez la vache (pH 6,6-6,8). Chez le chèvre et la brebis, des notes caprinées (acides gras C6-C10) peuvent être perçues. Certaines anomalies, comme l'odeur de « grange », signalent une contamination bactérienne ou une alimentation inadaptée (**Vierling, 2008**).

4.1.3. La saveur: La saveur normale d'un bon lait est agréable et légèrement sucrée, ce qui est principalement dû à la présence de matière grasse, la saveur du lait est composée de son goût et odeur (**Vignola, 2002**).

La saveur du lait normal frais est agréable. Les laits chauffés (pasteurisés, bouillis ou stérilisés) ont un goût légèrement différent de celui du lait cru. L'alimentation des vaches laitières à l'aide de certaines plantes de fourrages ensilés, peut transmettre au lait des saveurs anormales en particulier un goût amer.

La saveur amère peut aussi apparaître à la suite de la pullulation de certains germes d'origine extra-mammaire (**Martin et al., 2022**). En plus, le colostrum et le lait issu des mamelles infectées ont un goût salé (**Tria et nasir, 2003**).

4.1.4. La Viscosité: Le lait est considérablement plus visqueux que l'eau, car il contient beaucoup de matière grasse en émulsion et des particules colloïdes.

Il existe également des contaminations microbiennes qui sont responsables de la viscosité, telle que: *Leuconostoc mesenteroide* (Dubois *et al.*, 2021).

La viscosité du lait est une propriété complexe qui associe la teneur élevée des composants du lait à une viscosité élevée (Rheotest, 2010). Cette propriété est particulièrement affectée par les particules colloïdes émulsifiées et dissoutes. Les teneurs en graisse et en caséine possèdent l'influence la plus importante sur la viscosité du lait. La viscosité dépend également de paramètres technologiques (Rheotest, 2010).

4.1.5. La densité: La densité d'un liquide est une grandeur sans dimension qui désigne le rapport entre la masse d'un volume donné du liquide considéré et La viscosité du lait de vache est comprise entre 1,5 et 2,5 mPa·s à 20 °C, en raison des interactions entre les micelles de caséines et les globules gras ; elle augmente avec la teneur en matière grasse et diminue avec la température (Walstra *et al.*, 2006). Le lait de brebis et de chèvre présente des valeurs plus élevées (2,5 à 3,5 mPa·s), en raison de leur richesse en caséines (Fox, 2013). a masse du même volume d'eau. La densité du lait est également liée à sa richesse en matière sèche, un lait pauvre en matière sèche aura une densité faible (Benali *et al.*, 2020).

La densité du lait oscille généralement entre 1 028 et 1 034, avec une valeur minimale de 1 028 à 20 °C. Dans les laits de grand mélange en industrie laitière, elle est d'environ 1 032 à 20 °C. Chez la vache, la densité moyenne est de 1 032 et varie inversement avec la teneur en matière grasse (Walstra *et al.*, 2006). Chez la brebis, elle se situe entre 1 033 et 1 039 g/cm³, tandis que chez la chèvre, elle varie de 1 030 à 1 035 g/cm³ (Park, 2007).

Tableau 11. Caractères organoleptiques du lait cru normal et anormal (Himoud *et al.*, 2009)

Propriétés	Caractère normal	Caractère anormal
Couleur	Blanc mat Blanc jaunâtre: lait riche en crème	-Gris jaunâtre lait de mammite, bleu, jaune -Lait colore par des substances chimiques ou des pigments bactériens
Odeur	Odeur faible	Odeur de putréfaction, de moisi, de rance...
Saveurs	Saveur agréable	Saveur salée lait de mammite Goût amer: lait très pollué par des bactéries
Consistance	Homogène	Grumeleuse mammite visqueuse ou coagulée (pollution bactérienne)

4.1.6. Le point de congélation: Selon Aboutayeb (2011), Le point de congélation est la température de passage de l'état liquide à l'état solide.

Le point de congélation du lait est l'une de ses caractéristiques physiques les plus constantes. Sa valeur moyenne, pour le lait de vache, se situe généralement entre $-0,54^{\circ}\text{C}$ et $-0,55^{\circ}\text{C}$ (Walstra *et al.*, 2006).

Le point de congélation est de $-0,522$ à $-0,550^{\circ}\text{C}$ chez la vache (effet cryoscopique des solides solubles comme le lactose et les sels). Utilisé pour détecter l'adultération à l'eau : toute valeur supérieure à $-0,500^{\circ}\text{C}$ est suspecte (FAO, 2011).

Nevilie *et al* (1995), ont pu montrer que le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau pure puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Cette propriété physique est mesurée pour déterminer s'il y a addition d'eau au lait. Sa valeur moyenne se situe entre 0.54 et 0.55°C , celle-ci est également la température de congélation du sérum sanguin.

On observe de légères fluctuations liées aux saisons, à la course et à la région de production. D'une manière générale, tous les traitements du lait ou les modifications de sa composition entraînent une variation du point de congélation (Walstra *et al.*, 2006).

4.2. Les caractéristiques chimiques

Le lait est un système biologique complexe constitué principalement d'eau (environ 87 %) et de matière sèche (13 %), regroupant les lipides, les protéines, le lactose et les minéraux. Il s'agit d'une émulsion huile-dans-eau et d'un système colloïdal dont l'équilibre dépend de l'interaction entre ses différentes fractions. Sa composition varie selon l'espèce, le stade de lactation, l'alimentation et les conditions environnementales (Leroy *et al.*, 2021 ; Dupont, 2019) (Figure 2).

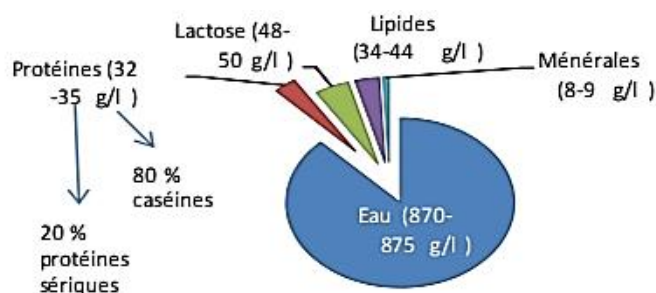


Figure 9. Composition général du lait (Walstra *et al.*, 2006; Damodaran *et al.*, 2017)

4.2.1. Le pH

Le pH du lait normal de vache est d'environ 6,6 à 6,7. Le milieu aqueux contient une concentration en ions H_3O^+ légèrement supérieure à celle des ions OH^- . Cette valeur est due en grande partie aux groupements acides et basiques ionisables des protéines (Walstra *et al.*, 2006).

Le pH renseigne précisément sur l'état de fraîcheur du lait. Un lait de vache frais a un pH de l'ordre de 6,7. S'il y a une action des bactéries lactiques, une partie du lactose du lait sera dégradée en acide lactique, ce qui entraîne une augmentation de la concentration du lait en ions hydronium (H_3O^+) et donc une diminution du pH, car: $\text{pH} = \log 1/ [\text{H}_3\text{O}^+]$.

À la différence du pH, l'acidité titrable mesure l'ensemble des ions H^+ présumés libérables dans le milieu, qu'ils soient dissociés ou non (acidité naturelle et acidité développée), reflétant ainsi la totalité des composés acides présents dans le lait (**Walstra et al., 2006**).

Un lait mammitique, riche en composés à caractère basique, peut présenter un pH supérieur à 7, tandis que le colostrum possède généralement un pH plus faible, voisin de 6 (**Fox & McSweeney, 2015**).

4.2.2. L'acidité: L'acidité actuelle s'apprécie par le pH et renseigne sur l'état de fraîcheur du lait. À la traite, le pH du lait est compris entre 6,6 et 6,8 et reste longtemps à ce niveau.

Normalement l'acidité du lait est proche de la neutralité ($\text{pH}=7,0$). Cependant, lorsqu'il y n'est pas refroidi rapidement à 4°C après la traite, les bactéries lactiques y croissent rapidement. Ces bactéries produisent l'acide lactique qui diminue le pH (augmente l'acidité) du lait. Lorsque l'acidité est suffisamment forte à température ambiante (un pH inférieur à 4,7) la caséine du lait coagule. Si la température est plus élevée, la coagulation de la caséine du lait se produit en présence de moins d'acide (un pH plus élevé) (**Bourgeois et al., 2020**). Après l'intervalle le plus court. Lateneur en matières grasses augmente avec la matière grasse.

La matière grasse du lait est une fraction quantifiée couramment par le terme de taux butyreux (TB). Elle sous-entend l'ensemble des substances lipidiques; c'est-à-dire les produits qui donnent des acides gras. Mais la matière grasse inclut aussi entre 0,5 et 1% de produit non lipidique dont certains sont liposolubles et qui est entraîné par ou avec la matière grasse lors de l'élaboration du lait. Le TB ne prend en compte que les lipides stricts, à savoir les esters d'acide gras (**Benyarou, 2016**).

Tableau 12. Variation du pH et de l'acidité du lait en fonction de l'espèce animale (**walstra et al., 2006; Park et al., 2007**)

Espèce	pH	Acidité (°D)
Vache	6,6-6,8	15-18
Brebis	6,5-6,7	18-22
Chèvre	6.4-6.7	16-20

°D: degré Dornic

4.2.3. L'eau: L'eau représente la phase continue du lait et constitue le milieu dispersant des globules gras et des micelles de caséines. Elle influence directement les propriétés physiques du lait telles que la densité, la viscosité et la conductivité thermique. La forte teneur en eau explique la susceptibilité du lait aux altérations microbiologiques et biochimiques (**Damodaran et al., 2017**).

4.2.4. La matière grasse: La richesse du lait en acides gras à chaîne courte rend la matière grasse du lait une des matières les plus digestibles. Les acides gras à chaînes longues polyinsaturés comme l'acide linoléique et l'acide linolénique, bien qu'en faible concentration dans le gras laitier, sont néanmoins reconnus essentiels pour l'organisme. Ces acides gras semblent être très rapidement incorporés dans les cellules nerveuses du cerveau encore en formation et peuvent s'y maintenir pendant longtemps. Ils servent également à produire l'acide arachidonique qui agit comme intermédiaire dans la synthèse de molécules vitales.

La matière grasse du lait est organisée sous forme de globules gras entourés d'une membrane biologique complexe appelée membrane du globule gras (MFGM). Cette membrane, riche en phospholipides et protéines spécifiques, assure la stabilité de l'émulsion lipidique. La fraction lipidique influence la valeur énergétique du lait ainsi que ses caractéristiques sensorielles et technologiques, notamment lors des procédés de transformation (Fox et McSweeney, 2013 ; Park et Haenlein, 2013).



Figure 10. Composition de la matière grasse du lait (Fox et McSweeney, 2015)

Certains acides gras saturés, comme l'acide butyrique, ainsi que les sphingolipides, possèdent des propriétés protectrices potentielles contre le cancer colorectal (Parodi, 2004 ; Haug *et al.*, 2007).

4.2.5. Les protéines : Le lait contient tous les acides aminés essentiels, aussi bien pour l'homme adulte que pour l'enfant, dont l'histidine qui est essentiel pour la croissance de l'enfant.

Les protéines du lait possèdent d'autres propriétés biologiques, y compris la mise en disponibilité et l'absorption du calcium, la prévention de nombreuses pathologies comme l'hypertension artérielle, les caries dentaires et même le cancer.

Selon Mc Sweeney (2003). Le lait contient de 30 à 35 g/kg de protéines groupées en 2 classes principales, les protéines de lactosérum et la caséine. Les protéines de lactosérum sous forme soluble et la caséine existe principalement à l'état colloïdal. Ils offrent plusieurs propriétés fonctionnelles suivant leur structure.

Tableau 13. Classification des protéines (Pongheon, 2001)

Noms	% des protéines	Nombre d'acides aminés
Caseines	75-85	
Caséine S1	39-46	199
Caséine S2	8-11	207
Caséine	25-35	209
Caséine k	8-15	169
Caséine g	3-7	
Protéines du lactosérum		
Lactoglobuline	15-22	
Lactalbumine	7-12	162
Sérum-albumine	2-5	123
Immunoglobulines (G1, G2, A, M)	0.7-1.3	582
Protéoses-peptones	1.9-3.3	-
	2-4	-

A- Les protéines de lactosérum : Les protéines du lactosérum sont des protéines qui restent solubles après la coagulation des caséines. Cette coagulation peut être obtenue soit par une protéolyse limitée à l'aide de la présure, conduisant à la formation d'un lactosérum doux, soit par une précipitation isoélectrique des caséines à un pH de 4,6 et à une température d'environ 20 °C, donnant un lactosérum acide (Walstra *et al.*, 2006).

B- Les caséines : Les caséines sont les principales protéines du lait, constituant environ 80% de la matière azotée totale dans le lait de vache. Elles existent dans le lait comme micelles de caséine. (Huppertz., 2013) La caséine se compose de : protéines 94 %, calcium 3 %, phosphore 2.2%, acide citrique 0.5 % et magnésium 0.1% (Adrian *et al.*, 2004).

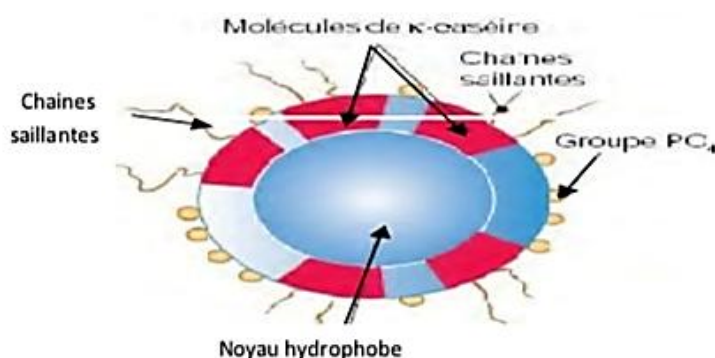


Figure 11. Structure d'une sous-micelle caséique (Walstra *et al.*, 2006)

4.2.6. Le lactose: Le lactose est le principal glucide du lait et représente environ 4,8 % dans le lait bovin (soit 47 à 52 g/L). Il joue un rôle énergétique important et intervient dans

les processus de fermentation lactique sous l'action des bactéries lactiques, conduisant à la formation d'acide lactique. Ce phénomène est essentiel dans la fabrication des yaourts et des fromages fermentés (Walstra *et al.*, 2006).

4.2.7. Les minéraux: La matière minérale du lait représente environ 9 g/L. Elle ne se trouve pas uniquement sous forme de sels solubles (ions et molécules), mais aussi sous forme colloïdale, une partie importante étant associée aux micelles de caséines (Walstra *et al.*, 2006). Les principaux minéraux sont le phosphate, chlorure et citrate pour les anions et le calcium, magnésium, sodium et potassium pour les cations (Gaucheron, 2004).

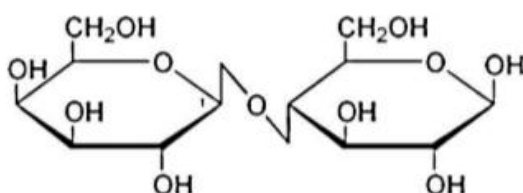


Figure 12. Structure moléculaire du lactose (Fox et McSweeney, 2015)

Tableau 14. Composition minérale du lait de vache (FAO, 2013)

Eléments minéraux	Concentration (mg.kg-1)
Calcium	1043-1283
Magnésium	97-146
Phosphate inorganique	1805-2185
Citrate	1323-2079
Sodium	391-644
Potassium	1212-1681
Chlorure	772-1207

Le lait est une excellente source de calcium. Il est mieux assimilé que celui de toute autre source, car il contient d'autres éléments favorables à cette assimilation (présence de protéines, de graisses et un peu d'acide lactique) (Benbrahim *et al.*, 2021).

4.2.8. Les vitamines : Les vitamines sont des composants indispensables du lait, car elles interviennent comme cofacteurs dans de nombreuses réactions enzymatiques et participent aux échanges à l'échelle des membranes cellulaires (Fox et McSweeney, 2015). On distingue, d'une part, les vitamines hydrosolubles (vitamines du groupe B et vitamine C), présentes en solution aqueuse, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K), associées à la fraction grasse du lait

Table 15 Composition vitaminique moyenne du lait cru (Fox et McSweeney, 2015)

Vitamines liposolubles	Teneur moyenne
Vitamine A (+carotènes)	40µg/100ml
Vitamine D	2.4µg/100ml
Vitamine E	100µg/100ml
Vitamine K	5µg/100ml
Vitamines hydrosolubles	Teneur moyenne
Vitamine C (acide ascorbique)	2mg/100ml
Vitamine B1 (thiamine)	45µg/100ml
Vitamine B2 (riboflavine)	175µg/100ml
Vitamine B6 (pyridoxine)	50µg/100ml
Vitamine B12 cyanocobalamine)	0.45µg/100ml
Niacine et niacinamide	90µg/100ml
Acide pantothénique	350µg/100ml
Acide folique	5.5µg/100ml
Vitamine H (biotine)	3.5µg/100ml

5. Facteurs de variation des caractères physico-chimiques du lait de vache, de brebis et de chèvre et leur contribution à la qualité du lait :

La composition physico-chimique du lait n'est pas constante, elle varie sous l'effet de nombreux facteurs biologiques, zootechniques et environnementaux. Chez les ruminants laitiers, notamment la vache, la brebis et la chèvre, cette variabilité dépend principalement de l'espèce, de la race, de l'âge de l'animal, du stade de lactation, de l'alimentation, des conditions d'élevage, ainsi que des pratiques de traite et de conservation. Ces facteurs influencent directement les teneurs en matière grasse, en protéines, en lactose, en minéraux, ainsi que certains paramètres physiques tels que le pH, l'acidité, la densité et la stabilité du lait (FAO, 2013; Walstra *et al.*, 2006 ; Amiot *et al.*, 2002). Ainsi, l'étude de ces variations est essentielle pour comprendre la qualité nutritionnelle, hygiénique, technologique et commerciale du lait produit localement, en particulier dans les systèmes d'élevage de l'extrême nord-est algérien.

5.1. Facteurs liés à l'animal

5.1.1. Effet de l'espèce sur les caractères physico-chimiques du lait (vache, brebis, chèvre) : L'espèce animale constitue l'un des principaux déterminants de la composition physico-chimique du lait. En effet, le lait de vache, le lait de brebis et le lait de chèvre présentent des différences notables en matière de composition, notamment au niveau de la matière grasse, des protéines, du lactose et des minéraux. Le lait de vache est généralement considéré comme un lait de référence, avec une teneur moyenne en matière grasse de l'ordre de 3 à 4 %, une teneur protéique d'environ 3,2 à 3,5 % et un taux de lactose voisin de 4,8 à 5 %. Le lait de chèvre présente une composition globalement proche de celle du lait de

vache, mais il se distingue souvent par des globules gras plus fins, une digestibilité plus élevée et, selon les conditions d'élevage, des teneurs parfois légèrement supérieures en certains constituants. Quant au lait de brebis, il se caractérise par des teneurs nettement plus élevées en matière grasse, en protéines et en extrait sec total, ce qui lui confère une richesse nutritionnelle et une densité nutritionnelle supérieure et une excellente aptitude technologique, notamment pour la transformation fromagère et la fabrication de yaourts (FAO, 2013; Luquet, 1985; Hamidi *et al.*, 2020).

Les différences interspécifiques ont des conséquences technologiques importantes. Le lait de brebis, grâce à sa richesse en caséines, en calcium et en matière sèche, donne généralement un meilleur rendement fromager que le lait de vache ou de chèvre. Le lait de chèvre, de son côté, est souvent apprécié pour sa digestibilité et ses caractéristiques organoleptiques spécifiques, tandis que le lait de vache reste le plus utilisé dans l'industrie laitière en raison de sa disponibilité et de sa standardisation plus facile (Luquet, 1985; Walstra *et al.*, 2006; Hamidi *et al.*, 2020). Dans le cadre des races locales, cette qualité nutritionnelle peut constituer un argument fort de valorisation, notamment pour les produits fermiers et traditionnels (Luquet, 1985; Hamidi *et al.*, 2020).

5.1.2. Effet de la race locale sur les caractères physico-chimiques du lait : Au sein d'une même espèce, la race influence significativement les caractéristiques physico-chimiques du lait. Chez les bovins, par exemple, les races locales ou rustiques présentent souvent des profils de composition différents de ceux des races améliorées à haut potentiel laitier. Les races locales, mieux adaptées aux conditions climatiques et alimentaires parfois difficiles, peuvent produire un lait moins abondant en volume, mais souvent plus concentré en matière grasse, en protéines ou en certains minéraux, selon les conditions d'élevage. Cette variabilité raciale est également observée chez les ovins et les caprins, où les races locales peuvent exprimer des aptitudes particulières liées à leur adaptation au terroir et au système d'élevage (FAO, 2013 ; Meyer et Denis, 1999 ; Hamidi *et al.*, 2020).

Dans le contexte algérien, plusieurs travaux ont montré que la variabilité des caractéristiques physico-chimiques du lait bovin dans le nord-est algérien est influencée par le type génétique, le niveau d'adaptation au milieu et les conditions de conduite du troupeau. Cette diversité est particulièrement importante dans une perspective de valorisation des laits locaux et de différenciation territoriale, car elle peut contribuer à établir une véritable « empreinte » de qualité associée à une race et à une zone géographique donnée (Bousbia *et al.*, 2012; Hamidi *et al.*, 2020).

5.1.3. Intérêt zootechnique et qualitatif des races locales dans l'extrême nord-est algérien : Dans l'extrême nord-est algérien, les races locales bovines, ovines et caprines présentent un intérêt particulier sur les plans zootechnique, économique et qualitatif. Leur adaptation aux contraintes climatiques, à la disponibilité saisonnière des ressources fourragères et aux systèmes d'élevage extensifs ou semi-intensifs leur permet de maintenir une production laitière relativement stable dans des conditions parfois difficiles. Même si leur rendement laitier

est généralement inférieur à celui des races améliorées, leur lait peut présenter une composition plus spécifique, potentiellement intéressante pour la transformation artisanale et la valorisation des produits de terroir. Cette spécificité renforce l'intérêt de ces races dans les démarches de traçabilité, d'authenticité et de labellisation des produits laitiers locaux (**Meyer et Denis, 1999; Bousbia et al., 2012; Hamidi et al., 2020**).

5.2. Effet de l'âge et de la parité : L'âge de l'animal et le nombre de lactations (parité) constituent également des facteurs importants de variation de la composition du lait. Chez la vache, la brebis et la chèvre, les premières lactations peuvent être associées à une production plus faible, avec des différences dans les teneurs en matière grasse et en protéines par rapport aux lactations ultérieures. Avec l'avancement en âge et l'augmentation du nombre de lactations, certaines modifications peuvent apparaître, notamment une évolution du rendement laitier, une variation de la concentration des constituants majeurs, ainsi qu'une possible augmentation de la numération cellulaire somatique, en particulier chez les animaux plus âgés ou plus sensibles aux infections mammaires (**Walstra et al., 2006 ; Amiot et al., 2002 ; Fox & McSweeney, 2015**).

Ces variations sont à prendre en compte dans l'évaluation de la qualité du lait, car elles peuvent influencer non seulement la valeur nutritionnelle, mais aussi la stabilité technologique et la qualité hygiénique du produit, surtout lorsque le lait est destiné à une transformation fromagère ou fermentaire.

5.3. Effet du stade de lactation : Le stade de lactation exerce une influence majeure sur les caractéristiques physico-chimiques du lait. On distingue généralement trois phases: le colostrum, le lait de transition et le lait mature. Le colostrum, sécrété immédiatement après la mise-bas, est particulièrement riche en protéines, en immunoglobulines, en matières minérales et en certains facteurs biologiques, mais il diffère fortement du lait mature par sa composition et n'est pas destiné à la transformation laitière classique. Ensuite, durant la phase de transition, la composition évolue progressivement vers celle du lait mature (**Walstra et al., 2006; Amiot et al., 2002**).

Chez la vache, la brebis et la chèvre, le lait mature présente une composition relativement plus stable, mais celle-ci continue néanmoins à évoluer au cours de la lactation. En début de lactation, certaines teneurs peuvent être plus faibles en matière grasse ou en protéines en raison de l'effet de dilution lié à la forte production. En fin de lactation, au contraire, on observe souvent une augmentation relative de la matière grasse, des protéines et de certains minéraux, en parallèle avec une diminution du volume produit. Ces modifications ont des répercussions directes sur la qualité technologique, notamment sur le rendement fromager et la texture des produits transformés (**Walstra et al., 2006 ; Amiot et al., 2002**).

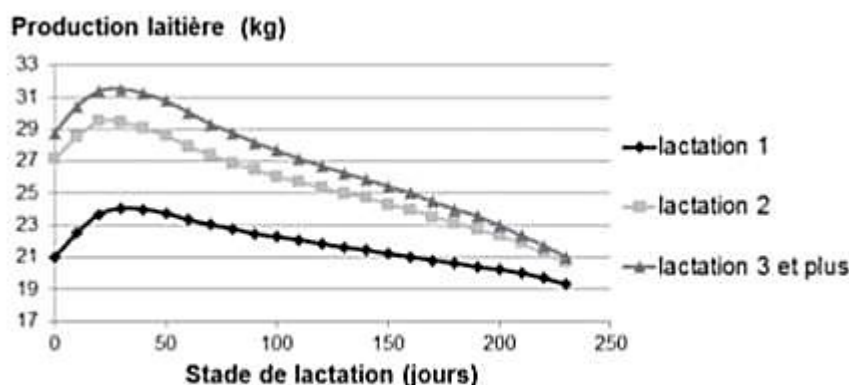


Figure 13. Evolution de la production laitière (kg/J) en fonction du stade de lactation pour chaque rang de lactation (Pic et persistance de lactation) (Roumeas *et al.*, 2014)

5.4. Effet de l'état sanitaire de l'animal : L'état sanitaire de l'animal, en particulier la santé mammaire, influence fortement la qualité physico-chimique et hygiénique du lait. La mammite, qu'elle soit clinique ou subclinique, provoque des modifications importantes de la composition du lait. Elle s'accompagne généralement d'une augmentation du pH, d'une élévation de la teneur en ions sodium et chlorure, d'une augmentation de la numération cellulaire somatique, ainsi que d'une diminution du lactose, des caséines et parfois de la stabilité du lait. Ces altérations dégradent la qualité technologique du lait, réduisent son aptitude à la coagulation et peuvent compromettre sa transformation en fromage ou en produits fermentés (Alais et Linden, 1997; Walstra *et al.*, 2006).

En plus de l'impact technologique, l'état sanitaire de l'animal a une importance hygiénique et réglementaire majeure. Un lait issu d'animaux atteints de mammite ou produit dans des conditions sanitaires insuffisantes présente un risque accru de contamination microbiologique, ce qui impose un contrôle rigoureux dans le cadre des bonnes pratiques d'élevage et de traite, conformément aux recommandations internationales relatives à l'hygiène du lait et des produits laitiers (FAO, 2013.).

5.5. Facteurs liés à l'alimentation : L'alimentation est l'un des facteurs les plus modulables de la composition physico-chimique du lait chez la vache, la brebis et la chèvre. La nature de la ration (fourrages, concentrés, pâturage), son équilibre énergétique et azoté, ainsi que la qualité des ressources alimentaires disponibles influencent directement la matière grasse, la teneur protéique, certains minéraux, ainsi que les caractéristiques sensorielles du lait. Une alimentation riche en fourrages de qualité et en pâturage naturel favorise souvent une meilleure expression des caractéristiques typiques du lait, notamment en termes d'arômes, de couleur et parfois de profil lipidique. À l'inverse, des rations déséquilibrées ou des carences alimentaires peuvent entraîner une baisse de la qualité nutritionnelle et technologique (FAO, 2013; Meyer et Denis, 1999; Amiot *et al.*, 2002; Walstra *et al.*, 2006).

Dans les systèmes d'élevage locaux, l'alimentation joue également un rôle important dans la différenciation territoriale des laits, car les ressources pastorales, la flore locale et les pratiques de conduite influencent l'expression des caractéristiques du produit final. Cela est particulièrement pertinent dans une optique de traçabilité et de valorisation des produits laitiers de terroir.

5.6. Facteurs liés à l'environnement et aux conditions d'élevage : Les conditions environnementales et le système d'élevage influencent fortement la composition et la qualité du lait de vache, de brebis et de chèvre. Le climat, la saison, le stress thermique, la disponibilité des ressources fourragères et le type de conduite (extensif, semi-intensif ou intensif) modifient à la fois la production laitière et la concentration des constituants du lait. En période de chaleur ou de stress thermique, les animaux réduisent souvent leur ingestion, ce qui peut affecter négativement la matière grasse, les protéines et la stabilité du lait. De même, les variations saisonnières de l'alimentation et des conditions de pâturage peuvent se répercuter sur les paramètres physico-chimiques du lait (FAO,2013; Hamidi *et al.*, 2020; Bousbia *et al.*, 2012).

Les races locales, mieux adaptées aux conditions environnementales de l'extrême nord-est algérien, peuvent exprimer une meilleure résilience face à ces contraintes, ce qui constitue un avantage important pour la régularité qualitative du lait et sa valorisation dans des systèmes traditionnels ou semi-intensifs.

5.7. Facteurs liés à la traite et au stockage : Les pratiques de traite et de conservation du lait ont un impact direct sur plusieurs caractères physico-chimiques, notamment le pH, l'acidité, l'odeur, la stabilité et la charge microbienne. Une traite réalisée dans de mauvaises conditions d'hygiène ou un retard dans le refroidissement favorisant la multiplication microbienne, l'acidification du lait et l'apparition d'altérations organoleptiques. De même, une température de conservation inadaptée accélère les réactions biochimiques et microbiologiques susceptibles d'altérer la qualité du lait cru (FAO, 2013 ; Vignola, 2002)

Ces facteurs sont particulièrement importants pour les laits de brebis et de chèvre, souvent collectés dans des circuits artisanaux ou semi-traditionnels, où la maîtrise de la chaîne du froid peut être plus variable. La qualité finale du lait dépend donc autant de sa composition impliquée que des conditions de sa manipulation post-traité.

5.8. La qualité du lait : La qualité du lait ne peut être réduite selon un seul critère. Elle est multidimensionnelle et englobe la qualité nutritionnelle, la qualité hygiénique et sanitaire, la qualité technologique, la qualité commerciale, ainsi que l'authenticité et la traçabilité. Un lait de bonne qualité est un lait qui présente une composition équilibrée, une faible charge microbienne, une bonne aptitude à la transformation, une conformité réglementaire et une origine identifiable. Cette approche globale est particulièrement importante pour les laits de vache, de brebis et de chèvre issus des systèmes d'élevage locaux, car leur valorisation dépend autant de leur richesse impliquée que de leur sécurité et de leur spécificité territoriale (FAO, 2013 ; Amiot *et al.*, 2002).

5.9. Qualité technologique du lait (aptitude à la transformation) : L'aptitude technologique du lait dépend de plusieurs paramètres physico-chimiques, notamment la teneur en caséines, la concentration en calcium, le pH, la matière grasse et l'extrait sec total. Ces éléments déterminent la capacité du lait à coaguler, à former un gel stable, à retenir l'eau et à fournir un bon rendement lors de la transformation fromagère, de la fabrication du yaourt ou du beurre. Le lait de brebis, plus riche en matière sèche et en protéines, présente généralement une excellente aptitude fromagère et un rendement supérieur. Le lait de chèvre, bien que plus délicat sur le plan de certaines propriétés de coagulation, reste très apprécié pour des fabrications spécifiques. Le lait de vache, quant à lui, offre une grande polyvalence technologique et une standardisation industrielle plus aisée (**Fox et McSweeney, 2015; Walstra et al., 2006 ; Luquet, 1985**).

Chez les espèces locales, la composition spécifique du lait peut conférer des aptitudes particulières à la transformation artisanale, ce qui ouvre des perspectives intéressantes pour la valorisation des produits laitiers régionaux et la préservation du patrimoine agroalimentaire local (**Hamidi et al., 2020**).

5.10. Qualité hygiénique du lait : La qualité hygiénique du lait repose sur la maîtrise de la contamination microbienne, qu'elle soit d'origine primaire (état sanitaire de la mamelle) ou secondaire (matériel, traite, transport, stockage). Un lait de bonne qualité hygiénique doit présenter une charge microbienne faible, une numération cellulaire conforme et l'absence de contaminants pathogènes. Les mammites, une hygiène insuffisante de la traite, le non-respect de la chaîne du froid ou des délais de conservation excessifs peuvent altérer fortement la qualité du lait et compromettre sa sécurité sanitaire (**FAO, 2013**).

Cette dimension est essentielle dans le cas des laits de vache, de brebis et de chèvre destinés à la consommation directe ou à la transformation, notamment en contexte artisanal, où la rigueur des bonnes pratiques d'hygiène conditionne la qualité finale des produits.

6. Rôle des caractères physico-chimiques dans la traçabilité des produits laitiers:

La traçabilité des produits laitiers repose sur l'analyse des caractères physico-chimiques pour identifier leur origine et garantir leur qualité. Ces paramètres, comme la composition en graisses, protéines et minéraux, varient selon l'espèce animale, la race, l'alimentation et l'environnement, permettant une différenciation fiable (**Walstra et al., 2006 ; Hamed, 2020**).

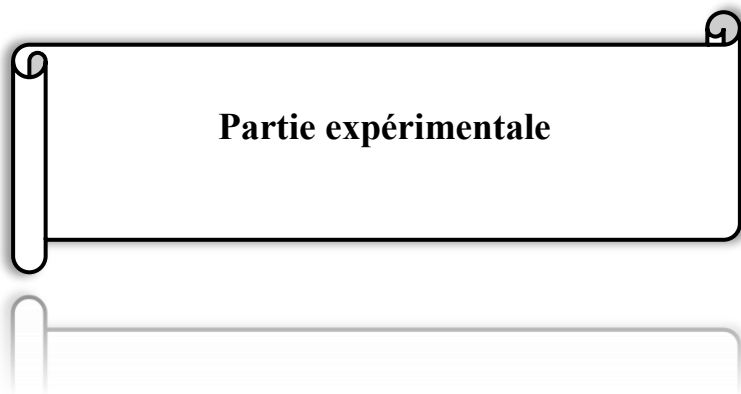
6.1. Définition de traçabilité : La traçabilité désigne la capacité à suivre un produit laitier tout au long de la chaîne d'approvisionnement, de la production à la consommation. Elle inclut l'enregistrement des lots, des opérations de transformation et des conditions de stockage afin de garantir la sécurité alimentaire et de permettre des retraits rapides en cas de risque sanitaire (**Jensen, 2002 ; Bollen et al., 2007 ; Celagri, 2020**).

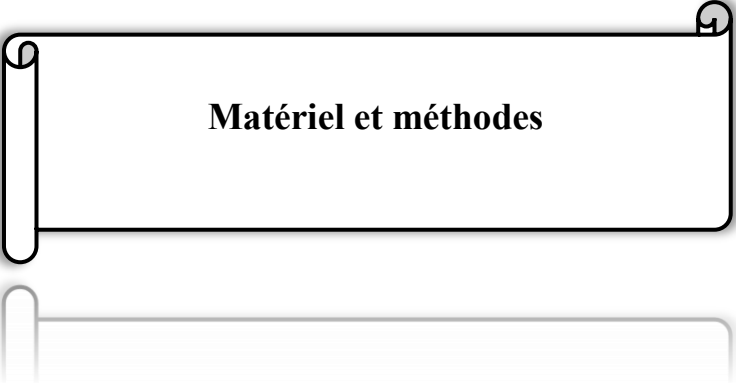
6.2. Relation entre composition du lait et origin : La composition chimique du lait (environ 87 % d'eau, 3,2–4,5 % de lipides, 3–3,8 % de protéines et 4,6–5 % de lactose) varie

selon l'origine géographique, la race bovine et les conditions d'élevage telles que l'alimentation et la saison (Fox et McSweeney, 2015 ; Park et Haenlein, 2017). Par exemple, les laits issus de *Bos indicus* présentent souvent une teneur en matière grasse plus élevée que ceux de *Bos taurus* (Hamed, 2020). Ces différences différencient l'influence du terroir et du système de production (Chilliard *et al.*, 2007).

6.3. Utilisation des paramètres physico-chimiques : Les paramètres physico-chimiques tels que le pH (6,6–6,8), la densité (1 028–1 034), la matière sèche, les acides gras et les minéraux sont utilisés pour caractériser l'origine et la qualité du lait (Fox et McSweeney, 2015 ; Walstra *et al.*, 2006 ; Hamed, 2020). Ces marqueurs permettent de comparer les laits crus et transformés (pasteurisés, UHT) afin de détecter les fraudes et de vérifier la conformité (Fox et McSweeney, 2015 ; Jensen, 2002).

6.4. Importance pour la sécurité et la valorisation : La traçabilité renforce la sécurité alimentaire en facilitant les retraits rapides et en contrôlant les contaminations potentielles. Elle constitue également un outil de valorisation des produits laitiers en certifiant leur origine et en renforçant la confiance des consommateurs sur les marchés locaux et internationaux (Bollen *et al.*, 2007 ; Walstra *et al.*, 2006).





Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes

1. Objectifs de l'Étude

Le présent travail expose le protocole méthodologique relatif à l'échantillonnage de lait de ruminants de race locale (bovins, ovins et caprins) en vue de déterminer ses caractéristiques physico-chimiques dans la wilaya d'El Tarf. Cette étude s'inscrit dans un environnement agro-pastoral fortement dépendant des ressources de la flore locale pour l'alimentation des cheptels. Il a ainsi pour objectifs spécifiques :

- D'évaluer l'effet du mode d'alimentation basé sur le pâturage naturel sur la composition physico-chimique du lait.
- De caractériser et comparer de manière préliminaire les paramètres physico-chimiques du lait entre les trois espèces de ruminants (bovins, caprins et ovins).
- De décrire la qualité physico-chimique du lait produit traditionnellement dans la zone d'étude et d'en évaluer la traçabilité.
- De constituer une base de données locale pouvant contribuer à la valorisation des productions laitières de la wilaya d'El Tarf.

2. Présentation de la région d'étude

2.1. Zone d'étude et régions d'échantillonnage

La wilaya de El Tarf est située à l'extrême nord-est de l'Algérie. Elle est limitée à l'Est par la frontière algéro-tunisienne, à l'Ouest par les wilayas d'Annaba et de Guelma, au Sud par la wilaya de Souk Ahras et au Nord par la mer Méditerranée.

Cette région est connue par son importance agricole et notamment l'élevage des ruminants.

L'étude a été réalisée au niveau de cinq (5) communes clés de la wilaya : Ben M'hidi, Sidi Kassi, Oued El Hout, Asfour et El Tarf (**Figure 14**).



Figure 14. Localisation des régions d'échantillonnage dans la wilaya d'El Tarf (carte adaptée à partir de Google maps, modifiée par l'auteure, 2026).

Ces zones représentent des régions à vocation sylvo-agropastorale où l'élevage semi extensif à extensif des ruminants est historiquement ancré.

2.2. Caractéristiques géo-climatiques

La wilaya d'El Tarf se caractérise par un climat de type sub-humide à humide, fortement tempéré par l'influence de la mer Méditerranée (**Kherifi et Kherici-Bousnoubra, 2017**). Les précipitations annuelles y sont importantes, oscillant entre 800 et 900 mm, ce qui favorise un développement continu des ressources fourragères naturelles. Les températures restent modérées en hiver et élevées en été, avec une moyenne annuelle avoisinant 17°C (**ONM, 2023**). Le relief contrasté, composé de zones montagneuses au sud couvertes de massifs forestiers et de vastes plaines agricoles au nord, souvent utilisées pour l'agriculture et l'élevage. La région bénéficie également d'un réseau hydrographique dense, articulé autour d'oued majeurs tels que l'Oued El Kebir, Oued Bounamoussa, Oued Seybouse. Ces conditions naturelles s'avèrent hautement favorables au maintien d'un élevage extensif basé principalement sur l'exploitation directe des parcours.

2.3. Contexte agricole et potentiel des productions fourragères

L'alimentation des cheptels de la wilaya repose sur une diversité de productions végétales. Parallèlement aux grandes cultures (céréales et légumineuses), les cultures fourragères et les surfaces pastorales jouent un rôle prépondérant. Les données de la Direction des Services Agricoles (DSA) de la wilaya pour la campagne macro-économique et agricole de référence 2024/2025 mettent en évidence une prédominance absolue des ressources naturelles face aux cultures artificielles. La superficie totale récoltée s'élève à 18 019,6 ha, générant une production globale de 769 245 Qx, structurée en deux systèmes:

- **Les fourrages naturels (Prairies et jachères fauchées):** Ils représentent la base absolue de l'assolement de la wilaya avec 16 195 ha récoltés (soit près de 90 % de la surface totale) pour

une production massive de 694 460 Qx (90,28 % de la production totale) (**Figure 15**) Cette catégorie est dominée par la jachère fauchée (11 195 ha) suivie par la prairie naturelle (5 000 ha)

- **Les fourrages artificiels et céréales reconverties:** Ce système occupe une place restreinte mais hautement technique avec une superficie récoltée de 1 824,6 ha (soit 10,13 % de l'assolement fourrager) pour une production de 74 785 Qx. Les rendements les plus intenses y sont enregistrés par l'orge en vert (120 Qx /ha), le sorgho (304 Qx /ha), la luzerne (150 Qx /ha) et le trèfle (150 Qx /ha) (**Figure 16**)

Cette forte dépendance vis-à-vis des parcours naturels et de la fauche spontanée représente un facteur environnemental majeur, susceptible d'influencer directement le profil biochimique et lipidique des laits analysés.

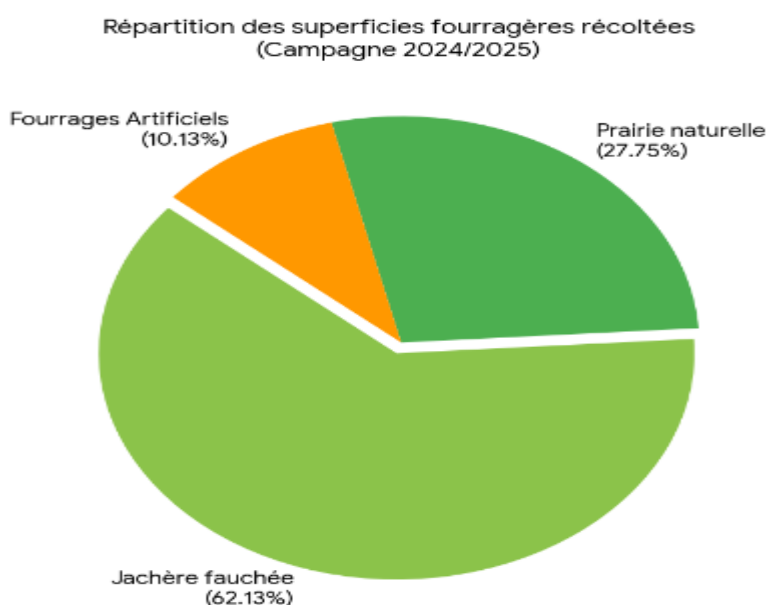


Figure 15. Répartition des superficies récoltées (ha) dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025 (d'après les données de la DSA, 2026)

Tant dis que la **Figure 16** en barres permet d'analyser l'efficacité technique et la productivité à l'hectare des différentes cultures fourragères semées dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025.

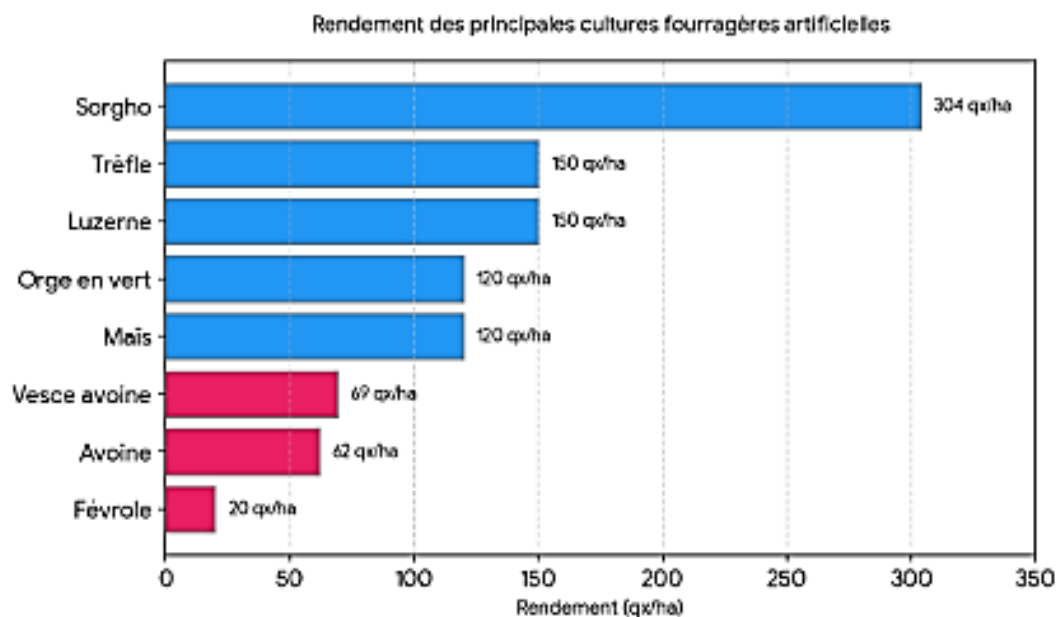


Figure 16. Comparaison des rendements des principales cultures artificielles (Qx/ha) dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025 (d'après les données de la DSA, 2026).

2.4. Potentiel et structure des productions animales de la wilaya d'El Tarf

L'élevage constitue une activité importante dans la région étudiée qui est caractérisée par une vocation agro-pastorale marquée et des potentialités d'élevage diversifiées. Il est dominé par l'élevage des ruminants, notamment : Bovins, Caprins et Ovins

2.4.1. Effectifs et caractéristiques du cheptel global: La répartition proportionnelle du cheptel global montre que la structure du cheptel de ruminants au niveau de la wilaya montre une nette dominance des petits ruminants par rapport aux bovins (**Figure 17**) Les ovins représentent la majeure partie du cheptel avec 65% de l'effectif global, suivis par les bovins (22 %) et enfin les caprins (13%) (**DSA, 2026**). Cette répartition est illustrée par la figure ci-dessous.

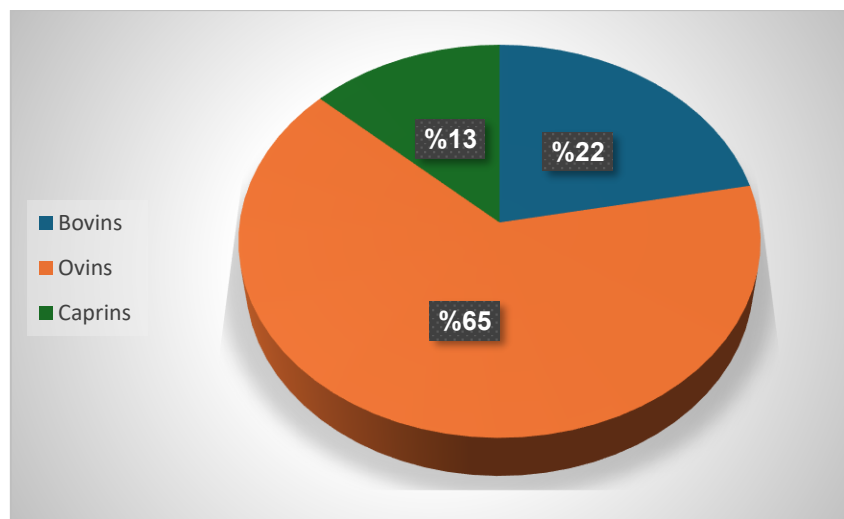


Figure 17. Répartition en % de l'effectif total des ruminants dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025.

L'évaluation de la capacité de production de la zone d'étude repose sur l'analyse de la part des femelles reproductrices au sein de chaque filière. L'effectif total cumulé des ruminants s'élève à 184 616 têtes, parmi lesquelles 104 206 têtes sont des femelles laitières, soit 56,45 % du cheptel global (**Tableau 16**) La répartition par espèce met en évidence les structures suivantes:

- **La filière bovine:** Sur un effectif total de 40 475 bovins, la wilaya compte 18 046 femelles laitières, ce qui représente un taux de renouvellement et de production de 44,59 % pour ce cheptel.
- **La filière ovine:** Dominante en nombre, elle présente un cheptel global de 119 849 têtes, dont 72 133 brebis laitières. Cela correspond à une forte proportion de femelles productives, atteignant 60,19 % de la population ovine totale.
- **La filière caprine:** Ce cheptel comprend 24 292 têtes au total, incluant 14 027 chèvres laitières, soit le taux de femelles productives le plus élevé des trois espèces avec 57,74 %.

Table 16. Proportion de femelles laitières par rapport à l'effectif total dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025.

	Effectif total	Femelles laitières
Bovins (tête)	40475	18046
Ovins (tête)	119849	72133
Caprins (tête)	24292	14027

La forte concentration de femelles laitières, notamment chez les petits ruminants (ovins et caprins), confirme l'orientation résolument laitière et pastorale des exploitations de la wilaya d'El Tarf.

Le graphique en barres superposées illustré par la **Figure 18** permet de visualiser immédiatement l'importance de la base productrice (femelles laitières) pour chaque espèce de ruminant.

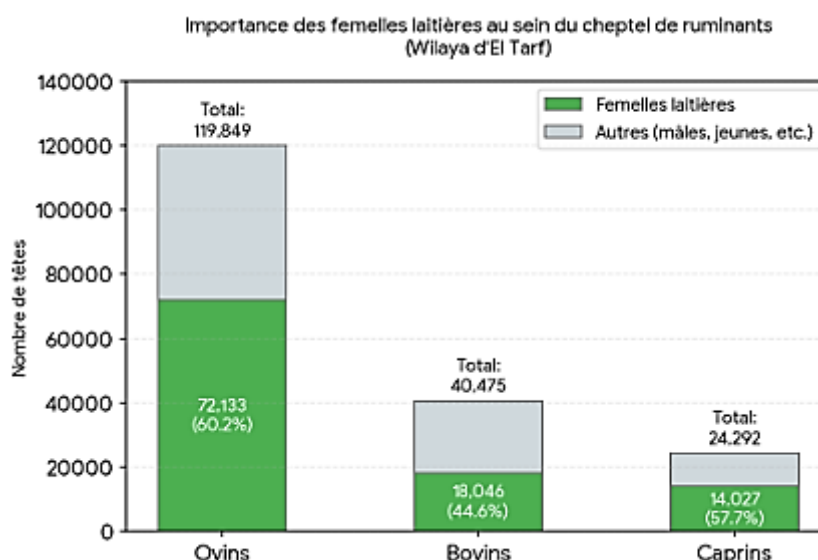


Figure 18. Importance des femelles laitières au sein du cheptel des ruminants dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025

2.4.2. Typologie et structure génétique du cheptel bovin laitier: Une analyse détaillée de la composante laitière bovine de la wilaya d'El Tarf révèle une segmentation claire des 18 046 femelles laitières recensées illustrée par une forte asymétrie génétique au sein de la wilaya (**Figure 19**) Ce cheptel se structure entre le segment du Bovin Laitier Moderne (BLM) et celui du Bovin Laitier Local et Amélioré (BLA/BLL):

- **Le segment Bovin Laitier Local et Amélioré (BLA/BLL):** Il s'impose comme la composante ultra-majoritaire de la région avec un effectif de 16 767 têtes, représentant 92,91 % du cheptel laitier. Ce groupe rassemble les bovins de race locale (Brune de l'Atlas) et les produits de croisement d'absorption. Ces animaux sont largement privilégiés par les éleveurs locaux pour leur rusticité, leur résistance aux pathologies et leur parfaite adaptation aux parcours forestiers de la wilaya.
- **Le segment Bovin Laitier Moderne (BLM):** Il représente une part plus spécialisée et restreinte avec 1 279 têtes, soit 7,09 % des femelles laitières. Ce segment, principalement composé de races importées à haut potentiel génétique (Holstein, Montbéliarde), est soumis à une conduite technique en intensif.

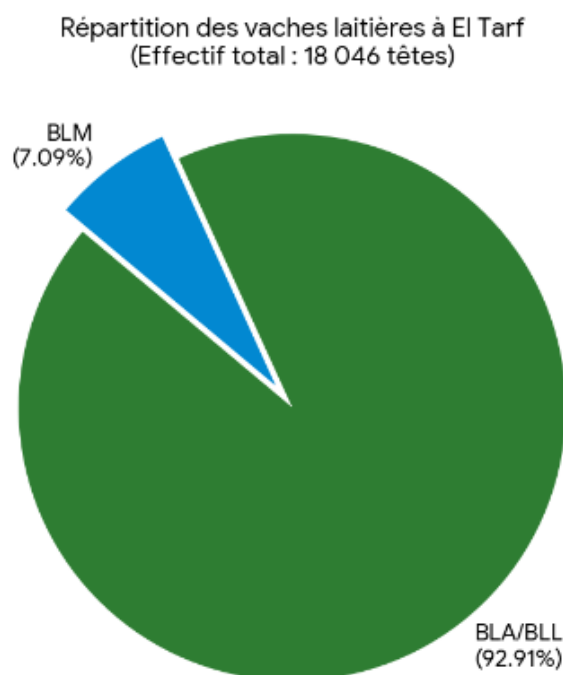


Figure 19. Répartition des types de vaches laitières (%) wilaya d'El Tarf) durant la campagne 2024/2025

Cette forte asymétrie structurelle (dominance du type BLA/BLL) au sein de la zone d'étude constitue un facteur clé pour interpréter la variabilité de la composition physico-chimique et des profils nutritionnels des laits récoltés au cours de notre campagne.

2.4.3. Productions animales des ruminants

a. Production laitière : L'évaluation de la ressource laitière au niveau de la wilaya d'El Tarf met en évidence une contribution variable des différentes espèces de ruminants. La production laitière globale cumulée pour les trois filières s'élève en 2024/2025, selon les données de la **DSA (2026)** à 5 425 litres, répartie comme suit:

- **La production bovine:** Elle représente la composante principale de la filière laitière locale avec un volume de 3 414 l, soit 63 % de la production totale récoltée.
- **La production caprine:** Elle constitue la deuxième ressource en volume avec un apport de 1 209 l, ce qui équivaut à 22 % de la collecte globale.
- **La production ovine:** Plus discrète en termes de volume malgré l'importance numérique du cheptel, elle fournit 802 l, représentant 14,78 % de la production globale.

Ces indicateurs volumétriques complètent la caractérisation contextuelle des matières premières soumises à l'analyse physico-chimique et permettent d'apprécier le poids relatif de chaque filière dans l'approvisionnement laitier de la zone d'étude.

Le graphique illustré par la **Figure 20** permet de visualiser l'importance dominante de la production bovine face aux productions des petits ruminants (caprins et ovins).

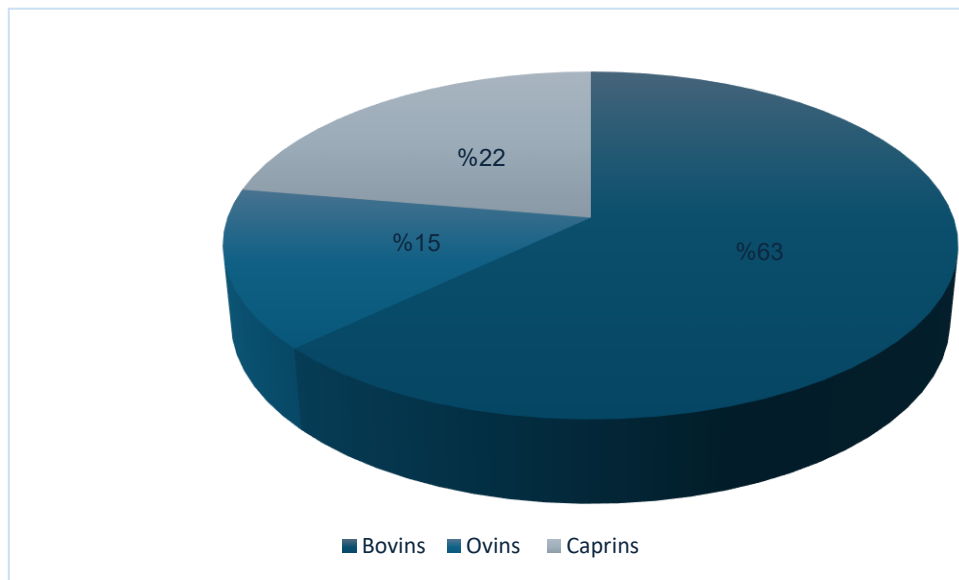


Figure 20. Part relative de chaque espèce dans la production laitière (%) (wilaya d'El Tarf) durant la campagne 2024/2025

b. **Production de viandes rouges :** En parallèle à l'activité laitière, l'évaluation du potentiel des ruminants de la wilaya d'El Tarf intègre les performances de la filière des viandes rouges. Pour la campagne d'étude 2024/2025, la production globale enregistrée s'élève à 14 117 quintaux (Qx), témoignant de l'importance de ce secteur pour l'économie agricole locale. Cette production se répartit selon les contributions spécifiques de chaque espèce:

- **La production bovine:** Elle représente la composante majeure de la filière avec un volume de 8 295 Qx, soit 59 % de la production totale de viande rouge de la wilaya.
- **La production ovine:** Elle occupe la seconde position avec un apport de 5 093 Qx, ce qui équivaut à 36 % de la quantité globale.
- **La production caprine:** Plus marginale mais significative pour les zones montagneuses et forestières, elle fournit 729 Qx, soit 5 % du tonnage total.

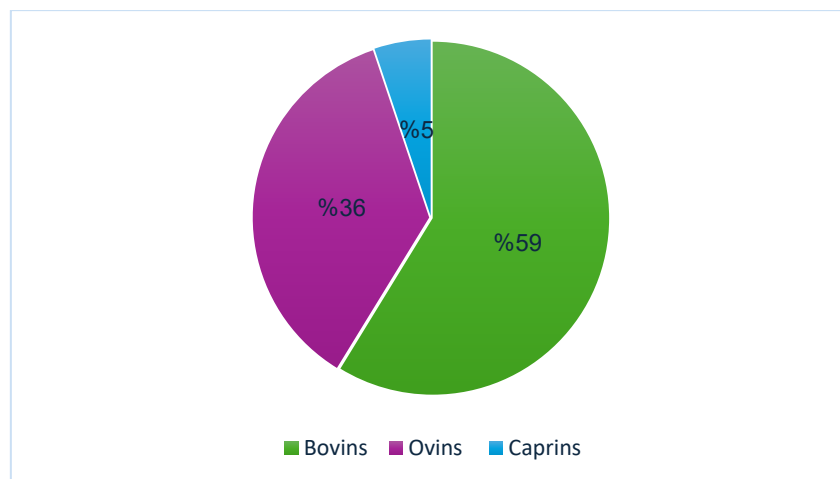


Figure 21. Production en viande rouge dans la wilaya d'El Tarf durant la campagne 2024/2025

3. Matériel biologique, méthode d'échantillonnage et analyses physico-chimiques des échantillons de lait

3.1. Matériel biologique :

L'étude expérimentale s'est déroulée durant la saison hivernale de l'année 2026. Afin de répondre aux objectifs de caractérisation du potentiel local, l'étude a porté exclusivement sur des échantillons de lait cru provenant de ruminants locaux croisés (issus du segment BLA/BLL pour les bovins).

Les prélèvements ont été réalisés auprès d'exploitations traditionnelles réparties dans les six communes précédemment citées. Le choix de ces élevages a été dicté par deux critères : le maintien strict de la race locale/croisée sur parcours et l'adhésion volontaire des éleveurs au protocole de suivi.

Au total, un effectif de **50 vaches, 14 chèvres et 14 brebis** a été sélectionné pour les collectes de lait. Les animaux retenus étaient tous conduits sous un mode d'élevage extensif traditionnel, caractérisé par une exploitation quotidienne des parcours naturels et des sous-bois forestiers (particulièrement denses en période hivernale). L'apport en aliments concentrés de commerce y était nul.

3.2. Technique de prélèvement :

Les prélèvements de lait cru ont été réalisés exclusivement lors de la traite du matin, à raison d'un volume de 100 ml par échantillon. Afin de s'affranchir de toute contamination par les micro-organismes exogènes présents sur les mains de l'opérateur, la peau des mamelles ou l'environnement immédiat, les règles strictes d'asepsie dictées par **Hogan et al (1999)** ont été rigoureusement appliquées.

Le protocole opératoire s'est déroulé selon les étapes successives suivantes:

- **Nettoyage et hygiène:** Les trayons ont été soigneusement nettoyés et désinfectés à l'aide d'une compresse de coton propre.
- **Élimination du premier jet:** Les premières gouttes de lait de chaque quartier ont été systématiquement éliminées afin de réduire la charge bactérienne naturellement présente dans le canal du trayon.
- **Collecte aseptique:** Le recueil du lait a été effectué directement par traite manuelle dans des flacons stériles. Durant l'opération, le flacon a été maintenu incliné afin d'empêcher la pénétration de poussières, de squames ou de poils. Les trayons les plus proches de l'échantillonneur ont été prélevés en premier, suivis des plus éloignés, avant un rebouchage hermétique et immédiat des contenants.

Dès leur obtention, les flacons ont été temporairement stockés dans une glacière réfrigérée à une température de 4 °C à l'aide d'accumulateurs de glace, puis acheminés vers le laboratoire. L'ensemble des analyses physico-chimiques a été réalisé dans un délai maximal de trois jours suivant la collecte.

Pour assurer la traçabilité des données, chaque échantillon a fait l'objet d'un étiquetage systématique renseignant les paramètres suivants :

- l'espèce animale (ovine, bovine ou caprine);
- la commune ou région d'origine au niveau de la wilaya;
- la date exacte de prélèvement,
- Le stade de lactation de l'animal;
- Le mode d'alimentation prédominant au moment de la collecte.

3.3. Analyses physico-chimiques des échantillons de lait

La détermination de la composition chimique et des propriétés physiques des échantillons de lait a été réalisée au laboratoire dans les trois jours suivant la collecte. Afin de garantir la précision et la reproductibilité des mesures, les analyses ont été effectuées au moyen d'un analyseur de lait par ultrasons de type Lactoscan (Lactomat BiSonic) (**figure 22**) Avant chaque série de mesures, l'appareil a été calibré selon les spécifications du constructeur pour chacune des trois espèces de ruminants étudiées (bovins, ovins et caprins).



Figure 22. Le lactoscan utilisé pour les analyses des laits

Les analyses automatisées ont porté sur la caractérisation systématique des paramètres physico-chimiques suivants:

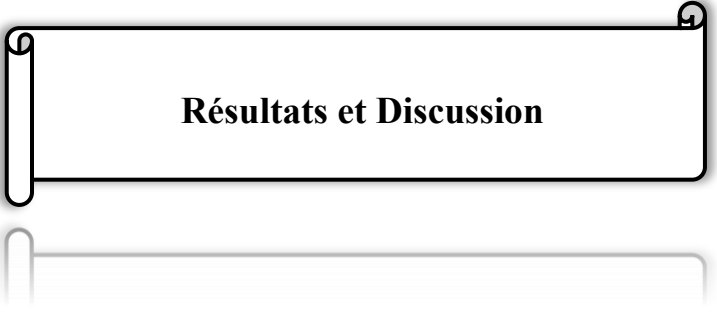
- **La matière grasse (MG):** exprimée en pourcentage ou en g/L, elle permet d'évaluer la richesse lipidique du lait.
- **Les solides non gras (SNG / Extrait Sec Dégraissé):** représentant la fraction sèche du lait après exclusion de la matière grasse.
- **La densité:** mesurée pour apprécier la masse volumique du lait cru à température contrôlée.
- **Les protéines totales :** reflétant la teneur globale en matières azotées de l'échantillon.
- **Le lactose:** permettant de quantifier le principal glucide du lait.
- **Les sels minéraux (cendres):** évaluant la fraction minérale totale présente.
- **Le point de congélation (cryoscopie):** mesuré en degrés Celsius (°C) pour contrôler l'intégrité physique du lait.
- **Le pH et la température de l'échantillon:** relevés en temps réel lors du passage du lait dans la cellule de mesure de l'appareil.

Chaque échantillon de 100 ml a été préalablement homogénéisé et ramené à la température optimale de lecture préconisée par le protocole du Lactoscan. Les analyses ont été effectuées en triple pour chaque flacon afin de valider la répétabilité des résultats technologiques obtenus.

4. Analyse statistique des données

Le traitement statistique des données a été réalisé sur le logiciel **Minitab (version 17)**. Les résultats physico-chimiques sont exprimés sous la forme de moyennes $\pm$ écarts-types, avec un seuil de significativité fixé à $p < 0,05$. L'analyse a combiné quatre approches complémentaires:

- **Effet de l'espèce** : En raison du plan d'échantillonnage non équilibré bovins ($n=50$), ovins ($n=14$), caprins ($n=14$), le test non paramétrique de **Kruskal-Wallis** a été appliqué pour comparer la composition du lait entre les trois catégories de ruminants.
- **Effet du stade de lactation** : L'impact de la cinétique de lactation (Début, Milieu, Fin) a été évalué de manière globale ($n=78$) par une ANOVA à un facteur one way adaptée aux effectifs inégaux adaptée aux effectifs inégaux, complétée par le test post-hoc de Tukey (seuil de confiance de 95 %) pour le classement des moyennes et l'attribution des lettres de significativité.
- **Approche multivariée (ACP)** : Une Analyse en Composantes Principales a été menée pour cartographier le profil biochimique des laits. Les axes factoriels ont été validés selon le critère de Kaiser.
- **Corrélations linéaires** : Une matrice de corrélation de Pearson a été calculée pour quantifier l'intensité et la significativité des liaisons mathématiques unitaires reliant les différents composants du Lactoscan entre eux.

A decorative scroll box with a black border and a light gray shadow. The box is rectangular with rounded corners and a small scroll-like detail on the left side. The text "Résultats et Discussion" is centered inside the box.

Résultats et Discussion

I. Résultats

1. Étude comparative inter-espèces de la composition physico-chimique du lait

L'analyse statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis a révélé des différences très hautement significatives ($p < 0,001$) pour l'intégralité des paramètres physico-chimiques mesurés par le Lactoscan (Matière Grasse, ESD, Protéines, Lactose, Sels minéraux, Densité, pH et Point de congélation) entre les trois espèces de ruminants de la wilaya d'El Tarf. Ces résultats démontrent que les facteurs génétiques et physiologiques propres à chaque espèce exercent une influence prépondérante et discriminante sur la biosynthèse et la concentration des composants du lait, s'affranchissant ainsi de l'effet d'homogénéisation lié au partage d'un même écosystème pastoral hivernal.

	Bovins (n=50)	Brebis (n=14)	Chèvres (n=14)	p-value
Matière Grasse (MG %)	1.51^c ± 1.28	8.95^a ± 1.88	5.00^b ± 1.80	0.0001
Extrait Sec Dégraissé (ESD %)	9.23 ^a ± 0.61	9.39 ^a ± 0.54	8.31 ^b ± 0.39	0.0001
Protéines (%)	3.36^a ± 0.21	3.44^a ± 0.17	3.07^b ± 0.15	0.0001
Lactose (%)	5.07^a ± 0.31	5.12^a ± 0.26	4.54^b ± 0.21	0.0001
Sels Minéraux (%)	0.77 ^a ± 0.05	0.81 ^a ± 0.05	0.69 ^b ± 0.03	0.0001
Densité	33.73 ^a ± 5.08	26.81 ^b ± 3.36	27.31 ^b ± 2.62	0.0001
Point de Congélation (°C)	0.57 ^a ± 0.04	0.69 ^b ± 0.033	0.56 ^a ± 0.022	0.0001
pH	6.63 ^a ± 0.07	6.41 ^c ± 0.07	6.48 ^b ± 0.1176	0.0001

Table 17 Composition physioco-chimique du lait des trois espèces de ruminants

1.1. Les caractéristiques chimiques

- **La fraction lipidique (MG %) :** Le test de Tukey sépare distinctement les trois espèces en trois groupes hautement significatifs ($p < 0,0001$). Le lait de brebis présente la teneur la plus élevée (8,95%), suivi par celui de chèvre (5,00%), tandis que le lait bovin affiche une valeur anormalement basse (1,51%).
- **La fraction azotée et glucidique (ESD, Protéines, Lactose, Sels) :** Pour l'ensemble de ces paramètres, le lait de brebis et le lait de vache forment un groupe homogène sans différence significative entre eux. Ils affichent les valeurs les plus élevées pour l'ESD (9,39% et 9,23%, respectivement), les protéines (3,44% et 3,36%, respectivement) et le lactose (5,12% et 5,07%, respectivement). Les chèvres se distinguent négativement, avec des teneurs significativement plus faibles (ESD: 8,31%; Protéines: 3,07%; Lactose: 4,54%).

1.2. Les caractéristiques physiques (Densité, pH, point de congélation)

- La densité du lait bovin (33,73) est significativement supérieure à celle des petits ruminants qui forment un groupe homogène (26,81 et 27,31).
- Le pH segmente les trois espèces en trois groupes distincts : il est physiologiquement plus acide chez la brebis (6,41), intermédiaire chez la chèvre (6,48) et plus proche de la neutralité chez la vache (6,63).
- Enfin, le point de congélation de la brebis se démarque par une valeur cryoscopique nettement plus basse en valeur absolue (0,69).

2- Évolution des paramètres physico-chimiques du lait en fonction du stade de lactation

Afin de maximiser la puissance des tests statistiques et de contourner les contraintes liées aux effectifs asymétriques des petits ruminants par stade, l'évaluation de l'effet du stade de lactation a été menée de façon globale sur l'ensemble du cheptel femelle échantillonné (n = 78). Cette approche permet de caractériser la dynamique physiologique générale de la sécrétion laitière propre aux élevages extensifs de la région.

Table 18. Evolution des paramètres physico-chimiques du lait en fonction du stade de lactation (Moyenne $\pm$ écart-type)

	Début (n = 53)	Milieu (n= 18)	Fin (n = 7)	p-value	Significativité
MG (%)	4.33 ^a $\pm$ 2.48	1.72 ^b $\pm$ 1.81	1.45 ^{ab} $\pm$ 0.76	0.002	***
ESD (%)	8.96 ^b $\pm$ 0.67	9.25 ^{ab} $\pm$ 0.53	9.74 ^a $\pm$ 0.60	0.007	***
Protéines (%)	3.28 ^b $\pm$ 0.24	3.37 ^{ab} $\pm$ 0.18	3.53 ^a $\pm$ 0.18	0.01	**
Lactose (%)	4.91 ^b $\pm$ 0.36	5.07 ^{ab} $\pm$ 0.27	5.31 ^a $\pm$ 0.27	0.007	***
Sels (%)	0.76 ^a $\pm$ 0.07	0.77 ^a $\pm$ 0.04	0.79 ^a $\pm$ 0.04	0.34	ns
Densité	30.22 ^a $\pm$ 6.03	33.29 ^a $\pm$ 3.22	34.72 ^a $\pm$ 1.79	0.02	*
PC (°C)	0.59 ^a $\pm$ 0.06	0.58 ^a $\pm$ 0.03	0.59 ^a $\pm$ 0.06	0.88	ns
pH	6.53 ^b $\pm$ 0.11	6.62 ^a $\pm$ 0.10	6.68 ^a $\pm$ 0.09	0.002	***

MG: matière grasse; **ESD:** Extrait Sec Dégraissé; **PC:** Point de Congélation; *** Hautement significative; **Significatif; ns: Non significatif; * Significatif

L'analyse de variance (ANOVA), complétée par le test de comparaison multiple de Tukey, met en évidence un effet significatif à hautement significatif du stade de lactation sur la majorité des paramètres physico-chimiques globaux du lait des ruminants de la wilaya d'El Tarf (Tableau 18).

- **La fraction lipidique (MG %):** Le stade de lactation exerce un effet hautement significatif (p=0,002). Le taux de matière grasse est maximal en début de lactation (4,33%). On observe une chute drastique et statistiquement significative au stade intermédiaire (1,72%). En fin de lactation, le taux reste bas (1,45%) et se positionne dans un groupe intermédiaire ne se différenciant pas des deux autres phases.
- **La fraction azotée et glucidique (Protéines, ESD, lactose):** Ces trois paramètres affichent une dynamique translationnelle strictement ascendante et progressive du début vers la fin de la lactation.
 - Les **protéines** augmentent significativement (p = 0,01) entre le début (3,28%) et la fin de lactation (3,53%), le milieu de lactation formant une zone de transition homogène (3,37%).
 - L'**ESD** (p = 0,007) et le **lactose** (p = 0,007) suivent une trajectoire parallèle, culminant au stade tardif (respectivement 9,74% et 5,31%) en rupture avec le stade initial (8,96%) et 4,91%).

- **Les constantes physiques (pH, densité, sels, cryoscopie)**
 - Le **pH** augmente de façon hautement significative ($p = 0,002$) entre le début de lactation (6,53) et les stades moyen (6,62) et final (6,68).
 - Bien que l'ANOVA globale indique un effet significatif du stade sur la **densité** ($p = 0,02$), le test de Tukey ne parvient pas à ségréguer de groupes distincts en raison de la forte asymétrie des effectifs et de la variabilité intra-groupe en début de cycle.
 - Les teneurs en **sels minéraux** ($p = 0,34$) et le **point de congélation** ($p = 0,88$) restent stables et invariants tout au long du cycle.

Bien que l'ANOVA globale indique un effet significatif du stade de lactation sur la densité ($p = 0,02$), le test de comparaison multiple de Tukey ne parvient pas à ségréguer de groupes distincts. Cela s'explique par la forte asymétrie des effectifs entre les sous-groupes et la variabilité intra-groupe élevée en début de lactation (6,03).

- **Analyse en Composantes Principales**
 - **Interprétation des Axes**

Afin d'obtenir une vision synthétique des interrelations entre les paramètres physico-chimiques du lait, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été appliquée (**Figure 23**). Le plan factoriel met en évidence un regroupement sectoriel très net des variables.

L'analyse en composantes principales (ACP) appliquée aux neuf paramètres physico-chimiques révèle une excellente structuration mathématique des données. L'examen des valeurs propres montre que les deux premiers axes factoriels possèdent des valeurs largement supérieures à 1 (respectivement 4,48 et 2,78), répondant ainsi rigoureusement au critère de sélection de Kaiser. À eux seuls, ces deux axes restituent 80,7 % de la variance totale accumulée (49,8 % pour le premier axe et 30,9 % pour le second). Cette forte représentativité confère au plan factoriel bidimensionnel une haute significativité statistique et une robustesse optimale pour l'interprétation des proximités biologiques entre les laits analysés.

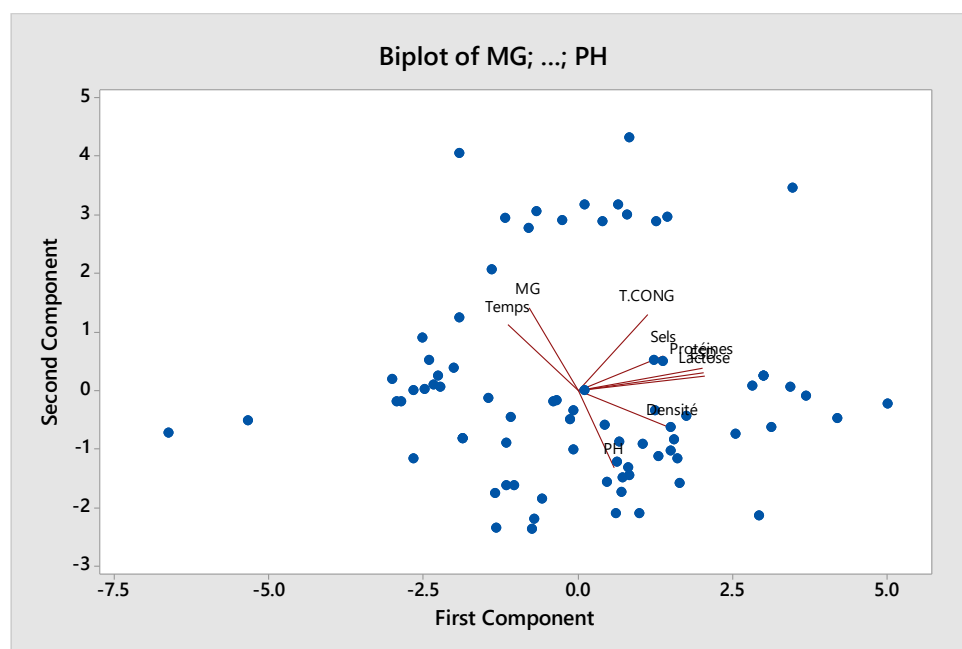


Figure23 Biplot de l'Analyse en Composantes Principales

- **Interprétation de l'ACP**

Le Biplot montre des relations biologiques suivantes:

- **Corrélations Positives Fortes (Flèches confondues) :** Les **protéines**, le **lactose** et les **sels minéraux** pointent exactement dans la même direction (1^{er} axe horizontal). Cela prouve une liaison mathématique et physiologique très forte : lorsque le taux de protéines augmente, le lactose et les minéraux augmentent de manière synchrone. Ce qui illustre la stabilité de la matrice solide dégraissée du lait chez les ruminants de la région.
- **Indépendance (angle droit) :** La flèche de la matière grasse (**MG**) fait un angle d'environ 90° avec le bloc Protéines/Lactose (2^{ème} axe vertical). Cela signifie que dans les élevages extensifs à El Tarf, la concentration en matière grasse varie indépendamment des autres composants solides. C'est le reflet de l'alimentation hivernale sur parcours qui impacte le taux butyreux différemment du taux protéique.
- **Corrélation Négative (Sens opposé) :** La flèche du pH s'oppose à celle de la matière grasse (MG) et du point de congélation.

- **Analyse des corrélations linéaires entre les paramètres du lait**

L'établissement de la matrice de corrélation de Pearson (Tableau 19) met en évidence l'existence de liaisons hautement significatives entre les différentes fractions chimiques et les constantes physiques du lait.

- **Le bloc non lipidique (ESD, protéines, lactose, sels):** Une synergie linéaire extrêmement puissante et hautement significative ($p < 0,001$) unit l'Extrait Sec Dégraissé (ESD) à ses composants majoritaires: les protéines ($r = 0,954$) et le lactose ($r = 0,968$). De façon synchrone, les Protéines et le Lactose affichent une corrélation positive quasi-parfaite entre eux ($r=0,971$); $p < 0,001$). Les Sels minéraux suivent cette tendance en s'associant positivement à l'ESD ($r = 0,610$), aux protéines ($r = 0,296$) et au lactose ($r = 0,623$).

- **L'indépendance et les antagonismes de la matière grasse (MG %):** L'analyse valide l'indépendance cinétique de la fraction lipidique face à la fraction azotée. La MG ne présente aucune corrélation linéaire statistiquement significative avec le taux de protéines ($r = -0,177$; $p = 0,120$), ni avec les sels minéraux ($r = 0,060$; $p > 0,05$). En revanche, elle montre une corrélation négative hautement significative avec le pH ($r = -0,643$; $p < 0,001$) et avec le lactose ($r = -0,250$; $p < 0,05$).
- **Les déterminants physiques (Densité et Température de Congélation - TC):**
 - La densité est gouvernée par deux forces opposées: elle est fortement corrélée négativement à la matière grasse ($r = -0,625$) et positivement à l'ESD ($r = 0,592$), aux protéines ($r = 0,554$) et au lactose ($r = 0,615$).
 - Le **Point de Congélation (TC)** affiche une corrélation négative nette avec le pH ($r = -0,411$) et des corrélations positives robustes avec l'ensemble des solides du lait: MG ($r = 0,493$), ESD ($r = 0,654$), protéines ($r = 0,684$) et lactose ($r = 0,623$).

Tableau19 : Matrice des coefficients de corrélation linéaire de Pearson entre les paramètres physico-chimiques du lait des ruminants d'El Tarf (n=78)

Variables	MG	ESD	Densité	Protéines	Lactose	Sels	pH
ESD	-0,208 ns						
Densité	-0,625***	0,592***					
Protéines	-0,177 ns	0,954***	0,554***				
Lactose	-0,250*	0,968***	0,615***	0,971***			
Sels	0,060 ns	0,610***	0,296**	0,623***	0,616***		
pH	-0,643***	0,115 ns	0,379 ***	0,083 ns	0,145 ns	-0,043 ns	
TC	0,493***	0,654***	0,050 ns	0,684***	0,623***	0,502***	-0,411 ***

*** : hautement significatif ($p < 0,001$) ; ** : très significatif ($p < 0,01$) ; * : significatif ($p < 0,05$) ; ns : non significatif ($p \geq 0,05$).

II. Discussion

1. L'empreinte du système extensif hivernal sur les taux de matière grasse

La hiérarchie inter-espèces observée pour la Matière Grasse (Brebis > Chèvre > Vache) est conforme aux constantes physiologiques de la littérature internationale (**Park et al., 2007**). Cependant, les valeurs absolues révèlent un impact critique des conditions environnementales d'El Tarf en période hivernale.

Le taux de MG des bovins (1,51%) est excessivement bas par rapport aux standards des races laitières en système intensif (souvent > 3,8%) (**Farrell et al., 2004**). En système extensif hivernal, les vaches (souvent de race locale ou croisées) font face à un double stress: un déficit

d'apport énergétique issu des parcours pauvres (**Laouadi et al., 2018**). Cet effondrement du taux butyreux traduit un syndrome de sub-carence énergétique chronique et un manque flagrant en fibres digestibles, limitant la production d'acétate (issu de la fermentation des fibres) dans le rumen, précurseur majeur de la synthèse des acides gras du lait de la vache (**Chilliard et al., 2007**). De plus, les conditions climatiques hivernales (pluviométrie et baisse des températures) imposent aux animaux vivant à l'extérieur un coût thermorégulateur élevé qui détourne l'énergie métabolique au détriment de la production laitière (**Benlekhal, 2004**).

À l'inverse, la brebis (8,95%) et la chèvre (5,00%) maintiennent des taux élevés, comparables voire supérieurs aux races locales algériennes comme la brebis Ouled Djellal ou la chèvre Arbia. Les petits ruminants possèdent une plasticité comportementale et une physiologie digestive qui leur permettent de mieux valoriser la végétation ligneuse, les parcours arbustifs et le maquis hivernal de la wilaya d'El Tarf (lieu où passent les ruminants la majeure partie de la période hivernale). Leur efficacité de mastication et leur capacité de sélection des portions végétales les plus riches garantissent un apport suffisant en fibres lignocellulosiques. Cela stimule une fermentation ruminale orientée vers la production d'acides gras volatils précurseurs des matières grasses du lait, préservant ainsi la richesse de leur lait malgré la rigueur de la saison hivernale.

- La stabilité de la fraction protéique et de l'ESD

Contrairement à la matière grasse, les taux protéiques des trois espèces restent dans les normes physiologiques standards. Le lait de brebis (3,44%) et de vache (3,36%) ne montrent pas de différence significative entre eux. Pour les bovins locaux ou croisés, cette résilience du taux protéique s'explique par un effet de concentration mécanique: la production volumétrique globale de lait étant fortement réduite à cause des contraintes environnementales et raciales, la faible quantité de protéines synthétisée à partir de l'azote de la ration n'est pas diluée.

Le lait de chèvre se distingue par des valeurs d'ESD (8,31%) et de protéines (3,07%) significativement plus faibles. Cela concorde avec les travaux sur les caprins en milieu méditerranéen pastoral, où la chèvre synthétise un lait structurellement plus aqueux, un trait génétique persistant même sous des contraintes nutritionnelles majeures (**Morand-Fehr et al., 2007**).

Le lait de chèvre se distingue par des valeurs d'ESD (8,31 %) et de protéines (3,07 %) significativement plus faibles. En effet, face aux rigueurs climatiques hivernales et au rationnement des parcours, la chèvre adopte une stratégie d'adaptation et de reproduction divergente de celle de la brebis. Pour assurer la viabilité de sa descendance, l'organisme caprin privilégie le maintien d'un volume de sécrétion laitière suffisant pour l'allaitement des chevreaux, quitte à ce que la matrice laitière subisse une dilution homéostatique de ses composants. À l'inverse, la brebis réagit aux stress environnementaux par une réduction drastique de sa production volumétrique globale, ce qui induit mécaniquement un effet de concentration massif de la matière sèche (lipides et protéines).

Cette nature structurellement plus fluide du lait caprin est également sous-tendue par des spécificités génétiques propres aux populations locales méditerranéennes, souvent caractérisées par un polymorphisme sur les gènes des caséines (notamment des variants à faible taux de synthèse de la caséine $\alpha 1$ (**Grosclaude et al., 1987 ; Caroli et al., 2007**)). Cette

particularité moléculaire génère des micelles plus grosses et moins denses, retenant moins efficacement l'eau libre au sein du réseau protéique, expliquant ainsi ce profil de composition plus dilué malgré les contraintes de la saison hivernale.

2. L'inversion atypique du profil de la matière grasse: facteurs environnementaux et nutritionnels

En physiologie laitière standard, le taux de matière grasse diminue après le pic de lactation puis remonte fortement en fin de cycle sous l'effet de la concentration induite par le tarissement. Nos résultats décrivent une trajectoire totalement inverse (Début>Milieu>Fin). Ce phénomène s'explique par le croisement direct entre le calendrier saisonnier hivernal et la conduite d'élevage extensif propre à la région d'El Tarf.

Le taux élevé de MG au stade initial (4,33%) s'expliquerait par le fait que les mises-bas ont eu lieu majoritairement en automne. Les femelles ont bénéficié d'une alimentation de fin d'été plus sèche et plus cellulosique et ont mobilisé intensément leurs réserves adipeuses corporelles (lipolyse post-partum). Ce flux d'acides gras endogènes a transité vers la mamelle, élevant artificiellement le taux butyreux.

À l'inverse, le milieu (1,72%) et la fin de lactation (1,45%) coïncident avec le cœur de l'hiver. La région d'El Tarf se caractérise par une forte pluviométrie hivernale (800 à 900 mm), entraînant une pousse rapide d'une herbe jeune sur les parcours forestiers. Cette ressource pastorale est gorgée d'eau, riche en azote soluble, mais extrêmement pauvre en cellulose brute (fibres) surtout en période hivernale. En l'absence de complémentation en foin ou en paille en étable à l'entrée du pâturage (système extensif traditionnel), la carence en fibres altère la fonction ruminale. Elle freine la production d'acide acétique, précurseur de plus de la moitié des acides gras du lait. Ce profil nutritionnel installe un syndrome de chute du taux butyreux (ou syndrome d'acidose subclinique), où l'impact de la ration hivernale écrase et annule complètement l'effet de concentration théorique de la fin de lactation. Ce phénomène de dépression des lipides laitiers induit par un manque de structure fibreuse est un mécanisme biochimique largement documenté chez les ruminants (**Chilliard *et al.*, 2007**), et se trouve ici exacerbé par la précarité des ressources fourragères hivernales de l'Est algérien (**Laouadi *et al.*, 2018**).

2.1. Résilience et dynamique de la fraction protéique et glucidique

Contrairement aux lipides, les protéines (3,28 à 3,53%) et le lactose (4,91 à 5,31%) respectent une évolution ascendante classique. L'augmentation des protéines en fin de lactation est liée à la baisse physiologique du volume global de sécrétion mammaire à l'approche du tarissement, concentrant mécaniquement les caséines dans la matrice.

Cette augmentation synchrone du lactose et des protéines suggère que malgré le déficit en fibres de la ration hivernale, l'herbe jeune des parcours forestiers d'El Tarf fournit un apport en azote fermentescible et en glucides rapidement dégradables suffisant pour soutenir l'activité de synthèse des micro-organismes du rumen (**Brun-Lafleur *et al.*, 2010**).

Le métabolisme mammaire maintient ainsi son équilibre osmotique, sans subir le même effondrement que celui observé sur la voie de synthèse des lipides.

2.2.Évolution du pH et biais métrologique du lactoscan en phase tardive

L'acidité plus prononcée en début de lactation (pH = 6,53) est liée à la richesse initiale du lait en protéines totales (caséines micellaires) et en composés phosphorés issus de la phase colostrale, jouant un rôle de tampon acide naturel. Le passage vers la neutralité en fin de cycle (pH = 6,68) s'accorde avec les modifications de perméabilité mammaire en phase de tarissement.

Enfin, la valeur étonnamment basse de la matière grasse en fin de lactation doit également être interprétée au regard des limites techniques de l'appareil de mesure. En fin de cycle (n=7), la structure colloïdale du lait se modifie profondément: les globules gras s'agglomèrent, augmentent de taille, et le lait s'enrichit en lipases endogènes et en cellules somatiques. Les analyseurs à ultrasons, tels que le *Lactoscan*, sont calibrés pour des structures laitières standards. Face à un lait de tarissement structurellement altéré, l'onde ultrasonore subit des perturbations de propagation, ce qui tend à sous-estimer techniquement la concentration réelle en lipides.

3. Analyse en Composantes Principales (ACP)

3.1. La covariance fonctionnelle du bloc "Protéines-Lactose-Sels minéraux" (Axe 1)

La projection conjointe et unidirectionnelle des protéines, du lactose et des minéraux le long de l'Axe 1 (expliquant 49,8 % de la variance) met en évidence l'existence d'une forte cohérence homéostatique au sein de la fraction non lipidique du lait. En physiologie de la lactation, le lactose et les minéraux (en particulier le calcium et le phosphore sous formes ioniques et colloïdales) constituent les principaux déterminants du potentiel osmotique de la matrice laitière.

Cette liaison mathématique stricte confirme que, même sous les contraintes du système extensif hivernal d'El Tarf, la glande mammaire maintient la synthèse de la fraction solide dégraissée (ESD) de manière coordonnée. L'apport d'azote soluble et de glucides fermentescibles issus de l'herbe jeune des parcours forestiers hivernaux soutient de manière synchrone la synthèse des caséines et du lactose par les cellules épithéliales mammaires, assurant ainsi la stabilité structurelle du lait des trois espèces (**Brun-Lafleur et al., 2010**).

3.2.L'indépendance de la Matière Grasse : L'empreinte du rationnement hivernal

L'orthogonalité parfaite (angle proche de 90°) observée entre le vecteur de la Matière Grasse (MG) et le bloc "Protéines/Lactose" constitue le résultat biologique le plus marquant de cette ACP. En conditions d'élevage intensif standard, les taux butyreux (MG) et protéique (TP) évoluent généralement de façon concomitante en fonction de l'équilibre énergétique global de la ration.

Ici, leur totale indépendance statistique traduit une rupture de ce couplage métabolique, directement imputable aux spécificités de la conduite extensive en période hivernale. Alors que la synthèse protéique bénéficie d'une couverture azotée basale via les parcours, la genèse de la

matière grasse est sévèrement impactée de manière isolée par la carence drastique en fibres lignocellulosiques (cellulose brute) de l'herbe jeune hivernale. L'absence de précurseurs acétiques dans le rumen induit une chute sélective et hétérogène du taux butyreux à l'échelle du cheptel, décorrélant complètement la dynamique des lipides de celle des autres solides du lait (**Chilliard et al., 2007**).

3.3.L'opposition pH - Matière Grasse et équilibres physiques (Axe 2)

L'opposition géométrique inverse observée entre le pH et la matière grasse (Axe 2) reflète les mécanismes de régulation ionique et de stabilisation colloïdale du lait. Un lait plus riche en matières solides, et notamment en fractions lipidiques complexées aux protéines colostrales ou de début de lactation, s'accompagne structurellement d'une concentration accrue en groupements tampons acides (phosphates et caséines micellaires). À l'inverse, l'évolution vers un lait plus dilué ou de fin de lactation s'associe à une remontée du pH vers la neutralité, confirmant l'antagonisme physique naturel entre l'acidité titrable et la charge globale en matière sèche de la matrice laitière (**Gaucheron, 2005**).

4. Corrélation de Pearson

4.1.Homéostasie de la fraction solide non grasse

La corrélation presque parfaite entre le lactose, les protéines et l'ESD traduit la stabilité de la machinerie cellulaire mammaire dans le système d'élevage étudié. Le lactose, synthétisé dans l'appareil de Golgi, génère un appel d'eau osmotique qui détermine le volume du lait. La concomitance stricte de sa sécrétion avec celle des protéines (caséines) démontre que, malgré le contexte extensif hivernal, le flux hydrique et l'excrétion de la matière sèche dégraissée restent biologiquement couplés pour préserver l'intégrité nutritionnelle de la sécrétion, un phénomène de covariance biochimique classique chez les ruminants (**Brun-Lafleur et al., 2010**).

4.2.Découplage de la matière grasse et dépression lipidique hivernale

L'absence totale de corrélation significative entre la MG et les Protéines est la preuve statistique majeure de l'impact des parcours hivernaux. En élevage intensif bien complémenté, l'énergie de la ration fait évoluer ces deux taux dans le même sens. Ici, leur déconnexion confirme que le métabolisme de synthèse des lipides laitiers opère sous une contrainte isolée. L'herbe jeune d'hiver à El Tarf apporte de l'azote soluble qui maintient le taux protéique, mais sa pauvreté en cellulose brute (fibres) prive le rumen d'acide acétique. Comme l'acide acétique est le précurseur de la synthèse *de novo* des acides gras dans la mamelle, le manque de fibres induit une chute spécifique et indépendante du taux butyreux, phénomène documenté lors des syndromes de baisse du taux butyreux d'origine alimentaire (**Chilliard et al., 2007**).

4.3.Régulation du pH et lois physiques de la densité

L'antagonisme marqué entre le pH et la matière grasse s'explique par les équilibres ioniques de la matrice. Un lait concentré en solides (caractéristique du début de lactation) s'accompagne physiologiquement d'une plus forte densité de caséines micellaires et de complexes phosphatés qui se comportent comme des tampons acides naturels, abaissant le pH. Au contraire, les laits

dilués ou appauvris présentent une acidité plus faible (pH plus proche de la neutralité) **Gaucheron, 2005**).

La densité illustre parfaitement un principe physique: les lipides possédant une densité inférieure à celle de l'eau ($\approx 0,92$), leur augmentation diminue mécaniquement la densité globale du lait ($r = -0,625$). Inversement, l'ESD, composé de molécules lourdes (protéines, minéraux, lactose), élève de façon linéaire la densité du fluide ($r = 0,592$). Enfin, les corrélations positives du point de congélation (TC) avec les solides du lait confirment que l'augmentation de la matière sèche globale (particulièrement le lactose et les sels solubles) accentue la concentration moléculaire de la phase aqueuse, abaissant ainsi la température de congélation en valeur absolue.

5. Discrimination multi-espèces des profils laitiers par analyse multivariée: Un outil d'authentification et de traçabilité des productions laitières de la wilaya d'El Tarf.

Les résultats issus de notre approche combinée s'inscrivent au cœur des enjeux modernes de la sécurité alimentaire et de la valorisation des terroirs. En parvenant à séparer distinctement les signatures physico-chimiques des laits de vache, de chèvre et de brebis, les tests de Kruskal-Wallis et l'Analyse en Composantes Principales (ACP) ne se limitent pas à une simple description biologique ; ils posent les bases d'un modèle chimiométrique prédictif. Dans le contexte de la wilaya d'El Tarf, cet outil d'analyse multivariée permettrait aux laiteries de détecter instantanément, *via* un simple criblage au Lactoscan, l'adultération ou le coupage frauduleux de laits à haute valeur ajoutée (caprin ou ovin) par du lait bovin. Au-delà de la lutte contre la fraude, la caractérisation de la chute du taux butyreux hivernale induite par le pâturage extensif sur maquis humide constitue une véritable "empreinte métabolique" de l'élevage pastoral local. Cette discrimination fine offre ainsi une méthode de traçabilité analytique inédite, capable de certifier scientifiquement l'origine herbagère et le mode de conduite traditionnel des élevages de la région, ouvrant la voie à la création d'un label de qualité pour les produits laitiers d'El Tarf.

L'intégration de la traçabilité en vue d'obtenir une labellisation soulève toutefois un paradoxe technologique: comment valoriser un lait structurellement déficitaire en matière grasse (1,51 % en hiver) au sein d'une filière qualité ? L'attribution d'un label ne saurait s'appuyer sur les critères quantitatifs de l'industrie standard, qui pénaliseraient ces élevages extensifs. Elle doit au contraire s'orienter vers la reconnaissance d'un **“Label de parcours saisonnier”**, certifiant les vertus écologiques et extensives du mode de conduite traditionnel. De plus, la littérature démontre que la chute du taux butyreux sur herbe jeune s'accompagne d'une modification qualitative majeure du profil lipidique, caractérisée par une forte concentration en acides gras polyinsaturés bénéfiques pour la santé humaine **Coulon et Priolo (2002)**. Le label se baserait ainsi sur la valeur nutritionnelle intrinsèque et l'authenticité pastorale du produit, tandis que les laiteries locales pourraient recourir à une standardisation technologique encadrée pour pallier les fluctuations physiques saisonnières de la matière grasse.

Conclusion générale et perspectives

Au terme de cette étude consacrée à la caractérisation physico-chimique du lait de ruminants de race locale dans la wilaya d'El Tarf, il ressort que la composition du lait est fortement influencée par le stade de lactation ainsi que par l'espèce animale, traduisant les particularités physiologiques et métaboliques propres à chaque espèce.

Cette étude comparative met en évidence l'impact déterminant des contraintes environnementales et des pratiques d'élevage extensif hivernal de la wilaya d'El Tarf sur la composition physico-chimique du lait des ruminants. Les résultats confirment la hiérarchie physiologique classique pour la matière grasse (Brebis > Chèvre > Vache), mais révèlent des variations critiques induites par le milieu.

C'est ainsi que le taux de matière grasse du lait de vache s'effondre de manière alarmante, traduisant un syndrome de sous-carence énergétique chronique et un déficit sévère en fibres digestibles sur les parcours forestiers en période hivernale. À l'inverse, les petits ruminants font preuve d'une remarquable résilience. La plasticité comportementale de la brebis et sa capacité à valoriser la végétation ligneuse lui permettent de concentrer sa matière sèche. La chèvre, quant à elle, adopte une stratégie de dilution homéostatique, privilégiant le maintien du volume laitier pour la viabilité de sa descendance, un trait accentué par la génétique propre aux races locales méditerranéennes.

L'effet du stade de lactation s'est également révélé important, notamment sur les teneurs en matière grasse, protéines, lactose et extrait sec dégraissé. L'évolution observée de ces paramètres reflète les modifications physiologiques normales accompagnant la progression de la lactation. Par ailleurs, l'analyse en composantes principales a permis de mettre en évidence les relations existantes entre les différents paramètres physico-chimiques et de confirmer leur intérêt dans la caractérisation de la qualité du lait.

Ainsi, les résultats obtenus contribuent à une meilleure connaissance des caractéristiques du lait produit par les ruminants locaux dans l'extrême Nord-Est algérien. Ils constituent également une base de données scientifique pouvant servir à la valorisation de ces productions locales, à l'amélioration de leur qualité et à la mise en place d'outils de traçabilité adaptés aux conditions d'élevage de la région, néanmoins, afin de valoriser au mieux le potentiel laitier de la wilaya d'El Tarf et de pallier les carences identifiées, plusieurs axes de recherche et d'action sont à envisager, notamment l'amélioration des pratiques de rationnement hivernal, la valorisation et préservation des races locales, l'optimisation technologique du lait de petits ruminants et le suivi pluriannuel.

Liste des références bibliographiques

- 1-Abdelguerfi, A., Badrani, S. (1997). Situation des races bovines locales en Algérie. *Revue d'Agronomie*, 12 (2), 45–53.
- 2-Abdelguerfi, A., Kaidi, R., Ramdani, A. (2008). Les systèmes fourragers en Algérie et perspectives de développement. Alger : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- 3-Aboutayeb, A. (2011). Technologie du lait et contrôle de qualité. Paris : Lavoisier.
- 4-Aissaoui, R., Benyoucef, M. T., & Bousbia, A. (2002). Étude des races bovines locales algériennes. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 55 (3), 201–208.
- 5-Akers, R. M., & Nickerson, S. C. (2011). Mastitis and its impact on structure and function in the ruminant mammary gland. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 16 (4), 275–289.
- 6-Alais, C. (1984). Science du lait : Principes des techniques laitières. Paris : SEPAIC.
- 7-Belhadia, M. (2015). Les zones agroécologiques et les systèmes de production agricole en Algérie. Alger : Université de Mostaganem.
- 8-Belhadia, M., Yakhlef, H., Bourbouze, A. (2009). Organisation de la filière lait en Algérie. *Cahiers Agricultures*, 18(2), 95–101.
- 9-Belhadia, M., Yakhlef, H., Bourbouze, A., Chikhi, A. (2014). Analyse de la filière lait en Algérie : production, collecte et transformation. *Livestock Research for Rural Development*, 26 (3), 1–9.
- 10-Benameur, A. (2016). Gestion des ressources hydriques et agriculture en Algérie. Alger : Ministère des Ressources en Eau.
- 11-Bencharif, A. (2001). La filière lait en Algérie : entre l'objectif de la sécurité alimentaire et la réalité de la dépendance. Alger : CREAD.
- 12-Benlekhal, A. (2004). Filière lait en Algérie : Dynamiques institutionnelles et performances des élevages. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique (INA), El Harrach, Alger.
- 13-Benyoucef, M.T. (2016). Agriculture et sécurité alimentaire en Algérie. Alger : Éditions Universitaires.
- 14-Bessaoud, O., Pellissier, J. P., Rolland, J. P., Khechimi, W. (2019). Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. Montpellier : CIHEAM-IAMM.
- 15-Beuvier, E., & Buchin, S. (2004). Relations entre composition du lait et traçabilité des produits laitiers. *INRA Productions Animales*, 17 (4), 245–256.

- 16-Bouchaala, M. (2017).** Les ressources hydriques en Algérie et leur gestion. *Revue Eau et Développement*, 9 (1), 15–27.
- 17-Bouchaib, T., Jouve, A. M. (2010).** Les réformes foncières et le morcellement des terres agricoles en Algérie. *Cahiers du CREAD*, 92, 33–50.
- 18-Boutinaud, M., Jammes, H., Guinard-Flament, J. (2015).** Mammary epithelial cells and milk synthesis regulation in ruminants. *Animal*, 9 (7), 1025–1036.
- 19-Brun-Lafleur, L., Delaby, L., Faverdin, P., Peyraud, J.L. (2010).** Effects of carbohydrate composition on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*, 93 (2), 685–697.
- 20-Capuco, A. V., & Ellis, S. E. (2013).** Mammary gland development and involution in dairy animals. Academic Press.
- 21-Caroli, A., Chiatti, F., Chessa, S., Rignanese, D., Ibeagha-Awemu, E.M., Erhardt, G. (2007).** Invited review: Milk protein polymorphism in cattle, sheep, and goats from a Mediterranean perspective. *Journal of Dairy Science*, 90 (1), 5–22.
- 22- Coulon et Priolo. (2002).** Production de lait et de viande à l’herbe: effets sur les qualités organoleptiques et nutritionnelles des produits. *INRA Productions Animales*, 15 (5), 333-342
- 23-Chehat, F., Bir, A. (2008).** Les exploitations bovines laitières en Algérie : contraintes et perspectives. Alger : INRAA.
- 24-Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J., Brunschwig, P. (2007).** Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Journal of Dairy Science*, 90 (Suppl. 1), E1–E20.
- 25-Djermoun, A. (2011).** La dépendance de la filière lait algérienne au marché international. *Cahiers Agricultures*, 20 (1), 47–53.
- 26-Djermoun, A., Chehat, F. (2012).** Évolution de la production et de la consommation laitière en Algérie. *New Medit*, 11 (2), 50–56.
- 27-Fabre, P. (1993).** Note de méthodologie générale sur l’analyse de filière : utilisation de l’analyse de filière pour l’analyse économique des politiques. Rome : FAO.
- 28-FAO. (2011).** Milk and dairy products in human nutrition. Rome: Food and Agriculture Organization.
- 29-FAO. (2013).** Guide de bonnes pratiques dans la filière laitière. Rome: Food and Agriculture Organization.
- 30-FAO. (2019).** *Le secteur laitier et le développement durable*. Rome: Food and Agriculture Organization.

- 31**-FAO. (2025). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2025–2034*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- 32**-Farrell, H. M., Jimenez-Flores, R., Bleck, G. T., Brown, E. M., Butler, J. E., Creamer, L. K., Hicks, C. L., Hollar, C. M., Ng-Kwai-Hang, K. F., Swaisgood, H. E. (2004). Nomenclature of the proteins of cows' milk: Sixth revision. *Journal of Dairy Science*, 87 (6), 1641–1674.
- 33**-Ferrah, A. (2000). Les politiques alimentaires et la consommation du lait en Algérie. Alger : CREAD.
- 34**-Gaucheron, F. (2005). The minerals of milk. *Le Lait*, 85 (1–2), 5–34.
- 35**-Grosclaude, F., Mahé, M. F., Brignon, G., Di Stasio, L., Jeunet, R. (1987). Genetic polymorphism of goat α s1-casein. *Genetics Selection Evolution*, 19 (4), 399–412.
- 36**-Laouadi, M., Tennah, S., & Kafidi, N. (2018). Caractérisation des systèmes d'élevage bovin laitier en Algérie et évaluation de leurs pratiques d'élevage. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 71 (3), 115–124.
- 37**-Morand-Fehr, P., Fedele, V., Decandia, M., & Le Frileux, Y. (2007). Strategy of goat farming systems in Mediterranean areas to adapt to regional and world changes. *Small Ruminant Research*, 68 (1–2), 126–145.
- 38**-Ollier, S., Leroux, C., De La Foye, A., Bernard, L., Rouel, J., Chilliard, Y. (2009). Whole intact rapeseeds reduce methane emission, modify milk fatty acid composition and mammary lipogenic gene expression in dairy cows. *British Journal of Nutrition*, 102 (3), 371–381.
- 39**-Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M., Haenlein, G. F. W. (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68 (1–2), 88–113.