



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique
Université Abbès Laghrou - Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature Et de la Vie
Département de Biologie Moléculaire et Cellulaire



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Académique en Sciences Biologiques

Option : GENETIQUE

Thème

*Polymorphisme des caséines,
aptitudes laitières et fromagères.*

Par

BENZAÏM SARAH *et* *ZEMMAL HOUYEM*

Soutenu le : 18 Juin 2025

Devant le jury :

Président M.HAMIDECHI M.A. HAFID

Examineur M.HAMADA YUCEF

Promoteur M.BOUAZZA LYAS

Pr

MCB

MCA

Univ. Abbès Laghrou – Khenchela

Univ. Abbès Laghrou – Khenchela

Univ. Abbès Laghrou – Khenchela

2024-2025

REMERCIEMENTS

A notre bon dieu qui nous a données la force et le courage nécessaire pour réussir ce travail.

*Nous tenons à remercier notre promoteur « **Mr.Bouazza Lyas** » Pour l'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition, Pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre étude et réalisation de ce projet.*

Nous remercions vivement les membres de jury, Monsieur Hamada Youcef et Monsieur Hamidchi d'avoir accepté d'examiner notre modeste travail.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à la responsable du laboratoire de l'Université Abbes Laghrour Khenchela madame CHORFI et les ingénieures de labo 5 : Abdelnour, Rym....

DEDICACES

Houyam :

A ALLAH : le tout puissant, la miséricorde qui m'a donnée la force et le courage de suivre cette formation. Je vous prie pour n'être ingrat face à tous les bienfaits que j'ai reçus.

À Mon Père : l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour votre amour, votre compréhension... votre soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Que dieu le garde toujours pour moi.

À ma très Chère Mère : Tu représentes pour moi le symbole de la générosité et l'exemple de dévouement. Merci pour ta présence rassurante. Merci pour tous ces moments pendant lesquels tu m'as supportée et épaulée sans cesse, sans jamais te plaindre. Que Dieu, le tout puissant, te protège et te procure santé, bonheur et longue vie. Que Dieu te garde toujours pour moi.

À mes Sœurs : Achoik, Wissal et Hiba ce sont mes chères qui m'ont aidées moralement à terminer le chemin du succès et à mon Frère : Houssein l'amour de ma vie.

Je dédie ce mémoire pour mes belles : Hiba et Hanane. Elles sont une partie intégrante de mes chagrins, de mes douleurs, mais aussi de mes joies. Aucun mot ne peut décrire l'amour que l'on éprouve l'une pour l'autre. Vous êtes le miel de ma vie

Benzaïm

I am grateful to my family, teachers, friends and myself for the support. And above all, to God of course.

TABLE DES MATIERES

	Page
Remerciements	
Dédicaces	
Liste des abréviations.....	I
Liste des figures.....	ii
Liste des tableaux.....	iii
Résumé	iv
Introduction Générale	v
Première Partie : synthèse bibliographique	
1. Introduction.....	01
2. La production laitière en Algérie.....	01
3. Situation cheptel en Algérie	02
3.1. Les principales races Algérienne	02
3.2. La race ovine	02
3.2. Les races ovines Algériennes	02
3.3. La race caprine	04
3.3.1 Le caryotype	05
3.3.2 Les races caprines Algériennes	05
3.4. La race bovine	07
3.4.1 Le caryotype	07
3.4.2 Les races locales	08
3.4.3 Les principales races bovines	08
4 La Biochimie du lait	10
4.1 Glande mammaire et mécanisme physique de la sécrétion	10
4.2 Composition chimique de lait	11
4.3 Les caractéristiques essentielles du lait	15
4.4 Les propriétés physico-chimiques du lait	16
4.5 Variations dans la composition du lait	16
4.5.1 Facteurs intrinsèques	16
4.5.2 Facteurs liés l'environnement	17
4.5.3 Facteurs climatiques et saisonniers	17
5 Les Caséines	18
5.1 La Biochimie des caséines	18
5.1.1 La micelle de caséine	18
5.1.2 Les caséines constituant Lamielle	19
5.4 Les différents types des caséines	20
a La caséine α_{s1}	20
b La caséine α_{s2}	20
c La caséine β	20
d La caséine κ	21
e La caséine γ	21
5.2 La génétique des caséines	22
5.2.1 Le gène de caséine	22
5.2.2 Les quatre caséines et leur polymorphisme	23
5.2.3 Polymorphisme de la caséine chez les bovins	23
5.2.3.1 La liaison génétique des locus de structure des 4 caséines	24
5.2.4 Polymorphisme des caséines caprines	25
5.2.5 Polymorphisme chez les ovins	26
5.2.6 Les effets possibles du polymorphisme	26
5.3 La caséine et fromage	27

5.3.1	Détermination du kappa caséine	27
5.3.2	Signification du kappa caséine pour le lait de fromagerie	28
5.3.3	Le rendement fromager	30
6	Les différentes techniques d'isolement de la caséine	30
6.1	Méthodes électrophorétiques	30
6.2	Méthodes chromatographiques	32
6.2.1	Chromatographie sur hydroxyapatite	32
6.2.2	Chromatographie rapide	33
a	FPLC (Fast Protein Liquid Chromatography)	33
b	HPLC (High Pressure Liquid Chromatography)	33
	Deuxième partie : Matériels et Méthodes	34
I	Matériel.....	34
I.1. 1.	Matière première.....	34
I.1. 2.	Lait individuel.....	34
I.1.3	Appareillage	35
II	Méthodes	37
2. 1	Isolement des caséines.....	37
2.2	Conduite de l'électrophorèse SDS-PAGE.....	38
2.3	Révélation des bandes de migration électrophorétique	44
	Troisième Partie : Résultats et discussion	
I	Résultats.....	46
1.1.	Analyse biochimique.....	46
1.2.	Analyse génétique.....	47
II	Discussion.....	51
2.1	Influence du polymorphisme des caséines.....	52
2.2	Relation entre polymorphisme et aptitude technologique.....	52
2.3	Perspectives et recommandations.....	53
	Conclusion.....	54
	Références bibliographiques.....	56

Résumé

Abstract

ملخص

Annexes

Liste des abréviations

APS: Ammonium PerSulfate

F.A.O: Food Agronomy Organization

FPLC : Fast Protein Liquid Chromatography

HPLC : Chromatographie Liquide de Haute Performance

M.A.D.R : Rapport annuels des statistiques agricoles du Ministère de l'agriculture et de Développement Rural

PAGE : Electrophorèse sur gel de polyacrylamide

SDS : Dodécyl sulfate de Sodium

TB : Taux Butyreux en g/Kg

TCA : Acide Trichloracétique

TEMED : N, N, N', N'- Tetra méthyl – éthylène diamine

Tris : Tris-hydroxy –méthyle- amino-méthane

Liste des figures

Figure 1 :	Effectif du cheptel en Algérie	02
Figure 2 :	La race Ouled Djellal	03
Figure 3 :	Brebis Rumbi	04
Figure 4 :	La race Barbarine.....	04
Figure 5 :	Phylogénie des caprins (sous-famille des caprinés)	04
Figure 6 :	Caryotype des chèvres	05
Figure 7 :	La chèvre Arabe	06
Figure 8 :	La race kabyle	06
Figure 9 :	La race M'zabit	07
Figure 10 :	Le caryotype d'une vache	08
Figure 11 :	Brun d'Atlas	09
Figure 12 :	La Pie Noir	09
Figure 13 :	La Pie Rouge	10
Figure 14 :	Composition moyenne du lait de vache	11
Figure 15 :	Architecture de la micelle de caséine	19
Figure 16 :	Modèle de type structure ouverte des caséines	20
Figure 17 :	Organisation des gènes spécifiant les caséines au locus Cn localisé dans les espèces bovines et caprines sur le chromosome 4.....	22
Figure 18 :	Le gène de la caséine	23
Figure 19 :	Structure des gènes codant pour les caséines bovines	24
Figure 20 :	Mutation responsable du polymorphisme quantitatif.....	26
Figure 21 :	Déroulement d'un test ELISA kappa caséine B.	28
Figure 22 :	La différence entre les variants A et B de la caséine	30
Figure 23 :	Les étapes de méthode électrophorétique	31
Figure 24 :	Chèvre sujet de notre étude (race Arbia)	34
Figure 25 :	Brebis sujet de notre étude	34
Figure 26 :	Bovin sujet de notre étude	35
Figure 27 :	Etapes d'isolement des caséines et des protéines sériques du lait caprin	36
Figure 28 :	Tube contenant le culot de la caséine	38
Figure 29 :	Tube contenant l'hydrolysate de la caséine.....	38
Figure 30 :	Montage de l'électrophorèse en grande cuve HOFER SE600	39
Figure 31 :	Montage de support	40
Figure 32 :	Support des plaques	41
Figure 33 :	Insertion de support dans la cuve d'électrophorèse	41
Figure 34 :	Coulage des gels entre les plaques	42
Figure 35 :	Le dépôt des échantillons	42
Figure 36 :	Le bloc support contenant le tampon d'électrode.	43
Figure 37 :	Début de la migration à l'aide du générateur	44
Figure 38 :	Le gel final avant la coloration	44
Figure 39 :	Coloration du gel	45
Figure 40 :	La décoloration du gel	46
Figure 41 :	Profil électrophorétique des caséines de lait	46
Figure 42 :	Électrophorégramme des quatre fractions de caséine du lait de vache	49
Figure 43 :	Profil d'électrophorèse du lait de caprin et ovin respectivement puits 11 et 12	51
Figure 44 :	Profil d'électrophorèse (image agrandie des puits de 3 jusqu'à 7)	52
Figure 45 :	Profil d'électrophorèse de laits (la couleur est plus dense)	54

Liste des tableaux

Tableau 1	Evolution de la production laitière nationale	01
Tableau 2	Composition moyenne en g / litre et distribution des protéines dans le lait de diverses espèces animales	13
Tableau 3	Composition moyenne des aliments de base dans lait de chèvre, brebis et vache	14
Tableau 4	Allèles du locus de la caséine alpha s1 caprine et fréquence	27
Tableau 5	Représentation du gel réalisé avec les 12 puits et les dépôts en µl.....	48

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche de caractérisation génétique et technologique du lait à travers l'étude du polymorphisme des caséines dans différents types de laits de ruminants. L'objectif principal est d'identifier les profils caséiques présents dans le lait cru de bovins, ovins et caprins collecté dans la wilaya de Tébessa, ainsi que dans plusieurs laits industriels issus de laiteries algériennes (Numidia – Constantine, Aoures – Batna, Athmani – Khenchela, et Candia).

L'analyse a été réalisée au Laboratoire de la Faculté SNV de Khenchela (El Hamma) en utilisant la méthode électrophorétique SDS-PAGE, permettant la séparation et l'identification des principales fractions de caséines (α_1 , α_2 , β et κ).

Les résultats ont révélé que les quatre fractions de caséines sont présentes dans tous les types de lait étudiés, confirmant ainsi leur potentiel fromager. Toutefois, une densité caséique globalement plus faible a été observée dans les laits industriels, en comparaison avec les laits crus.

Un polymorphisme de la caséine α_1 a également été détecté, notamment dans le lait cru bovin et certains laits industriels, témoignant de la diversité génétique des produits laitiers disponibles sur le marché.

En conclusion, cette étude a mis en évidence que tous les laits analysés possèdent les composants nécessaires à la fabrication du fromage, bien que le lait cru conserve une richesse protéique supérieure, favorable à la transformation fromagère. Ces résultats soutiennent l'intérêt d'une meilleure valorisation du lait cru local et d'une prise en compte du polymorphisme des caséines dans les stratégies d'amélioration technologique.

Mots clés : lait, caséine, *Bos taurus*, *Ovis aries*, *Capra hircus*, SDS-PAGE, fromage.

Introduction générale

La production laitière représente une composante stratégique de l'agriculture mondiale, aussi bien pour son apport nutritionnel que pour sa valeur économique. Le lait, matière première essentielle de l'industrie agroalimentaire, est transformé en une large variété de produits, notamment les fromages, dont la qualité dépend en grande partie des caractéristiques biochimiques du lait utilisé. Parmi les constituants majeurs de ce dernier, les caséines – $\alpha 1$, $\alpha 2$, β et κ – constituent environ 80 % des protéines totales et jouent un rôle central dans les propriétés physico-chimiques, nutritionnelles et technologiques du lait.

Ces protéines sont codées par des loci génétiques étroitement liés, dont le polymorphisme génétique a été mis en évidence depuis les premières études de génétique mendélienne (**Grosclaude, 1991**). Cette diversité allélique est particulièrement marquée chez les espèces ruminantes, notamment les bovins, ovins et caprins, et détermine de manière significative les performances laitières et les aptitudes à la coagulation et à la transformation fromagère (**Piacère & Elsen, 2004**).

Chez les bovins, les variants A1 et A2 de la β -caséine ainsi que les allèles A et B de la κ -caséine influencent la digestibilité du lait, la fermeté du caillé et le rendement fromager. Le génotype κ -CN BB, par exemple, est associé à une coagulation plus rapide et une meilleure texture du fromage, tandis que le variant β -CN A2, bien que bénéfique pour la santé humaine, présente une moins bonne aptitude à la transformation (**Comin et al., 2008 ; Borş et al., 2024**). Chez les caprins, le polymorphisme du gène CSN1S1 conditionne directement la teneur en protéines du lait et son rendement fromager, les allèles forts (comme A) étant particulièrement favorables (**Piacère & Elsen, 2004 ; Bouguerra et al., 2024**). Chez les ovins, bien que les données soient moins avancées, la présence des allèles A et W de la caséine $\alpha 1$ présente également des implications sur la qualité du lait selon les races.

Dans ce contexte, il est légitime de s'interroger sur la manière dont le type de lait – brut ou industriel – interagit avec ces facteurs génétiques. L'hypothèse de ce mémoire repose sur l'idée que les laits bruts, directement issus de ruminants, conservent une diversité génétique et une richesse naturelle en protéines coagulables, leur conférant une meilleure aptitude à la transformation fromagère que les laits industriels, souvent standardisés et traités thermiquement. De plus, la variabilité naturelle du lait brut, notamment liée aux polymorphismes caséiques, permet une meilleure valorisation technologique, en particulier dans les productions artisanales et locales.

Face à ces enjeux, la présente étude vise à analyser l'impact du polymorphisme des caséines sur les aptitudes laitières et fromagères à travers une approche comparative entre les laits de différentes espèces animales (bovine, ovine, caprine), d'origine brute ou industrielle, tout en s'appuyant sur une analyse de polymorphisme des caséines, utilisant l'électrophorèse (SDS-Page).

Ce mémoire a pour objectif général d'étudier l'effet du polymorphisme des caséines sur la qualité du lait et ses aptitudes à la transformation fromagère, en mettant en relation les profils génétiques et biochimiques du lait avec ses performances technologiques.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

1. Caractériser les principaux polymorphismes des caséines chez les espèces bovines, caprine et ovine.
2. Analyser l'effet de ces polymorphismes sur la richesse protéique, la coagulation et le rendement fromager.
3. Comparer les profils protéiques des laits crus et industriels par des méthodes électrophorétiques.
4. Évaluer expérimentalement la qualité technologique des laits selon leur origine et leur génotype caséique.
5. Formuler des recommandations pour l'amélioration de la qualité du lait à des fins fromagères, en tenant compte des critères génétiques et technologiques.

Ainsi, cette recherche vise à mettre en lumière le rôle crucial du polymorphisme des caséines dans la valorisation du lait, et à souligner l'importance d'une approche intégrée – combinant génétique, biochimie et technologie – pour répondre aux exigences croissantes de qualité dans le secteur laitier.

Synthèse bibliographique

1. Introduction

Le lait est l'aliment noble qui nous est indispensable dès notre arrivée à ce monde. Il constitue une source nutritive d'exceptionnelle valeur en raison de la qualité de ses protéines, les moins coûteuses des protéines animales, de l'importance de sa teneur en calcium et de son apport vitaminique.

Le lait est une denrée alimentaire intéressant beaucoup de spécialistes. Il faut mentionner qu'un litre de lait c'est : 870 g d'eau, 35 g de protéine d'excellente qualité (autant que 200 g de viande de bœuf ou 4 œufs), 40 g de matière grasse, 50 g de sucre essentiellement du lactose, 1.3g de calcium et 1 g de phosphate indispensable à la croissance, 0.6 g de sodium et des vitamines A, D fixées sur la matière grasse et des vitamines du groupe B hydrosolubles. Un litre de lait entier apporte 650 calories, alors qu'un litre de lait demi écrémé en apporte 400 calories environ. Cette richesse fait que sa consommation est pratiquement indispensable, pour la croissance et l'entretien de l'organisme. C'est en raison de cette valeur nutritionnelle que la production du lait et ses dérivés revêt une importance particulière dans l'industrie laitière, qui évolue de jour en jour avec le perfectionnement de la technologie (Luquet, 1985)

2. La production laitière en Algérie

Le lait est une source d'apport bon marché en protéines nobles et en calcium alimentaire. Cette richesse vaut au lait sa place stratégique qu'il occupe dans l'alimentation de la grande majorité de la population mondiale. L'autosuffisance en ce produit de nécessité est un indicateur appréciable pour juger la bonne santé économique d'un pays donné qui a à satisfaire les besoins sans cesse croissants de sa population en lait produit localement et issu des espèces bovines (majoritairement) et des autres espèces (ovin, caprin et camelins) qui représentent environ 20 à 25 % de la population totale (Kaouche, 2015).

Tableau 1 : Evolution de la production laitière national (M.A.D.R, 2014)

Campagne agricole 2012/2013		Production de lait (* 100 litres)	
		Production /trimestre	Total
2012	4 -ème trimestre	498431	2 290 054
	1 ère trimestre	543407	
	2 -ème trimestre	679819	
	3 -ème trimestre	567897	
2013	4 -ème trimestre	543448	2 494 403
	1 ère trimestre	602396	
	2 -ème trimestre	733757	
	3 -ème trimestre	614802	

Aujourd'hui, avec un cheptel estimé à 1.9 millions de têtes de bovins, dont près d'un million de tête de vache laitières, notre production nationale (toutes espèces confondues) en lait est estimée à 2.5 milliards de litres/an (assurée à 73% par un cheptel bovin laitier), alors que les besoins se chiffrent à plus de 4,5 milliards de litre / an, ce qui montre un déficit criard de près de 60 % aggravé par un taux de collecte qui n'excède pas 34 % (M.A.D.R, 2014).

3. Situation du cheptel en Algérie

Les ovins prédominent avec environ 24 millions de têtes (FAO, 2009), représentant 78% de l'effectif national et 4 % de la production mondiale dont près de 2/3 sont des femelles avec plus de 10 millions de brebis. Suivis par les caprins qui représentent 14% du troupeau national. Ainsi, l'Algérie représente le 9^{ème} producteur mondial des ovins. En Algérie, l'élevage ovin est une source de protéines considérable pour l'alimentation, d'autant plus que contrairement aux bovins, notamment, il est constitué essentiellement de races locales de faible productivité, mais bien adaptées aux conditions de différentes régions naturelles ; pâturage dans la steppe et pâturage des chaumes de céréales sur les hauts plateaux. Il constitue donc la première ressource renouvelable (BeldjilaliA, 2014).

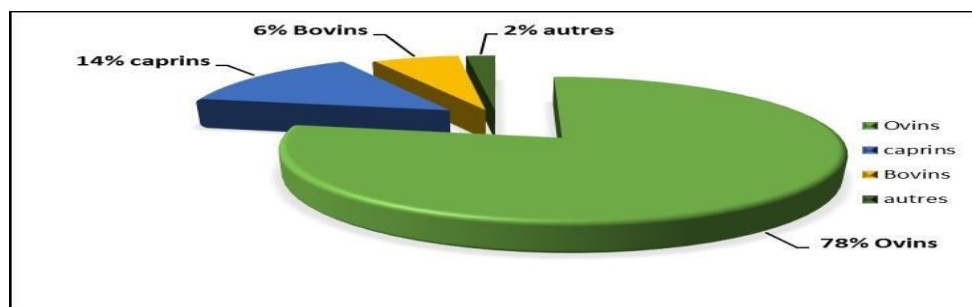


Figure 1 : Effectif du cheptel en Algérie (FAO-stat, 2009)

3.1. Les principales races Algérienne

3.2. La race ovine

L'ovin algérien fait preuve d'une grande diversité ; cette dernière peut s'apprécier à la fois par le nombre total de types de populations et du nombre de celles ayant un effectif important. Il existe une forte concurrence entre les différentes populations locales, en rapport avec les transformations des systèmes de production et les bouleversements socioéconomiques qui ont affecté l'Algérie durant les quatre dernières décades. On note une forte progression des effectifs et des produits de croisement entre les différentes races algériennes (Boutonnet, 1989). La classification des ovins en Algérie repose sur l'existence de deux grandes races qui à leur tour présentent intrinsèquement des variétés, souvent identifiées à des régions Ces grandes races sont :

- **La race Ouled Djellal**

Appelée également la race arabe blanche dite, le mouton « Ouled-Djellal » compose l'ethnie la plus importante des races ovines algériennes, occupant la majeure partie du pays à l'exception de quelques régions dans le Sud Ouest et le Sud-est (**Gremaal, 2008**). C'est la meilleure race à viande en Algérie (**Saad, 2002**). C'est le véritable mouton de la steppe, le plus adapté au nomadisme. La race est entièrement blanche à laine fine et à queue fine, à taille haute, à pattes longues aptes pour la marche. Elle craint cependant les grands froids.



Figure 2 : la race Ouled Djellal

- **La race Hamra ou Beni Ighil**

La race Hamra de par son effectif estimé à environ 4 millions de têtes occupe la deuxième place après la race Ouled-Djellal (**Chellig, 1992**), et représente 22% du cheptel ovin algérien. Cependant, d'après les statistiques du ministère de l'agriculture datant de 2003, cette race est en voie de disparition, en effet, son effectif est de 60.000 têtes soit environ moins de 5% de l'effectif du cheptel ovin algérien. C'est une race berbère de petite taille à ossature fine et aux formes arrondies, sa conformation est moyenne et généralement considérée comme la mieux conformée des races algériennes. La qualité de sa viande est excellente dont elle est considérée comme une meilleure race à viande en Algérie et très bonne pour l'exportation; en raison de la finesse de son ossature et de la rondeur de ses lignes (**Chellig, 1992**). La race Hamra devrait occuper la deuxième place pour certaines aptitudes qu'elle possède notamment sa résistance au froid et aux vents glacés des steppes de l'Oranie, mais elle est exigeante en qualité de pâturage (**Chellig, 1992; Khelifi, 1997; Saad, 2002**).

- **La race Rambouillet**

C'est un mouton à tête rouge ou brunâtre et à robe chamoise. Il est considéré comme le plus grand format des moutons d'Algérie. Il a une forte dentition résistante à l'usure qui lui permet de valoriser au mieux les végétations ligneuses et de retarder à 9 ans l'âge de réforme contrairement aux autres races réformées à l'âge de 6 à 7 ans. C'est une race particulièrement rustique et productive (**Chellig, 1992 ; Saad, 2002**).

3.3.1. Le caryotype

D'après les études cytologiques, toutes les races caprines ont 30 paires de chromosomes ($2n = 60$).

Au vu des connaissances actuelles, il apparaît en effet que toutes les espèces du genre *Capra*, sauvages ou domestiques, sont inters fertiles et possèdent soixante chromosomes acrocentriques, à l'exception de l'hétérosome Y petit et métacentrique (Moulin, 1980)

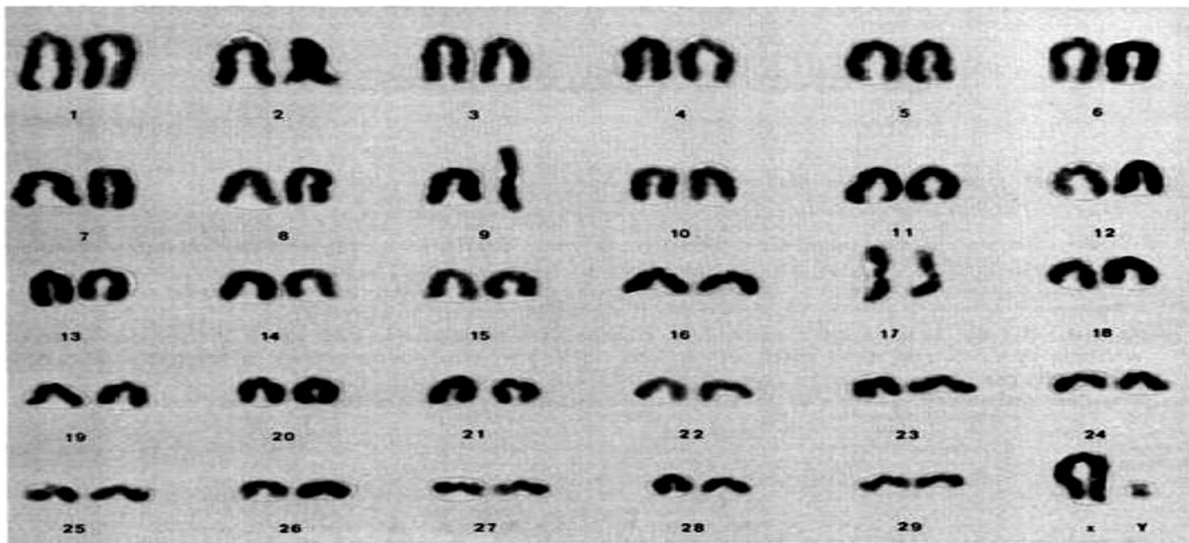


Figure 6 : caryotype des chèvres

3.3.2. Les races caprines Algériennes

Les populations existantes en Algérie sont de types traditionnels, dont la majorité d'entre elles sont soumises uniquement à la sélection naturelle (Madani., 2000).

La race locale caractérisée par son corps anguleux, taille appréciable, mamelle développée et des poils longs et des robes de différentes couleurs. Le poids des chevreaux à la naissance est de 2 kg 500 g et à 5 mois 25 kg Bien que relativement homogène, mais selon plusieurs auteurs comme (Feliachi, 2003 ; Madani *et al*,2003 ; Fantazi., 2004 ; Bey etLaloui., 2005) la population locale est divisée en trois sous populations :

- La chèvre arabe divisée en deux races : l'Arabia et la Makatia.
- La naine de Kabylie
- La M'zabit

- Race Arabia

Race domestique localisée dans la région de Laghouat. Elle se subdivise en deux sous-types

: l'un sédentaire et l'autre transhumant. Comparativement au type transhumant, le type sédentaire a les poils plus longs 14-21 cm contre 10-17 cm pour le type transhumant (Feliachi., 2003 ; Madani & al., 2003).



Figure 7: la chèvreArabe

- **RaceMakatia**

Ou Beldia, se localise dans les hauts plateaux et la région Nord de l'Algérie. C'est une race de grande taille, se caractérise par un corps allongé, une robe polychrome (beige, grise, blanche, brune) à poils ras et fins, et des oreilles tombantes. Elle est utilisée principalement pour la production de lait et de viande et spécialement pour la peau et le cuir (Feliachi., 2003 ; Madani & al., 2003 ; Bey &Laloui., 2005).

- **La race Kabyle**

La chèvre de Kabylie est de petite taille. Elle peuple abondamment les massifs montagneux de la Kabylie, des Aurès et du Dahra. Elle est robuste, massive, et de petite taille d'où son nom « Naine de Kabylie », son poil est long de couleur généralement brun foncé, parfois noir ; la tête de profil courbé, avec des oreilles longues, est surmontée de cornes.

L'effectif totales d'environ 427.000 têtes avec 307.000 femelles reproductrices et 23.500 mâles utilisés pour la reproduction.

Sa production laitière est mauvaise, elle est élevée généralement pour la production de viande qui y est de qualité appréciable (Feliachi., 2003 ; Madani & al., 2003 ; Bey &Laloui., 2005).



Figure 8 : la race kabyle

- Race M'zabit

Appelée également Touggourt, M'Zab, et la chèvre rouge des oasis, cette chèvre est originaire de M'tlili dans la région de Ghardaïa. Elle peut toutefois se trouver dans toute la partie septentrionale du Sahara.

L'effectif total est de 607 500 têtes avec 395 000 femelles reproductrices et 30 400 mâles reproducteurs. Cette race représente 22.5% du total des chèvres dans le pays.

Cette race réalise deux mises basses en moyenne par an et des taux de prolificité et de fécondité respectifs de 200 et 250%, elle est principalement laitière par excellence (2-3 litres/jours), elle présente indéniablement d'immenses intérêts zootechniques et économiques (Feliachi., 2003 ; Madani & al., 2003 ; Bey & Laloui., 2005).



Figure9 : la race M'zabit

3.4. Les races bovines

Le nom scientifique du bœuf est *Bostaurus* selon la classification de **linnaeus en 1758** : **Espèce** : *Bostaurus* ou *Bosprimigenius*, **Sous- espèce** : *Bostaurustaurus*.

3.4.1. Caryotype

Le caryotype des bovins est formé de 60 chromosomes ($2n=60$), 58 autosomes, et 2 chromosomes sexuels : XX pour le sexe féminin et XY pour le sexe masculin XY.

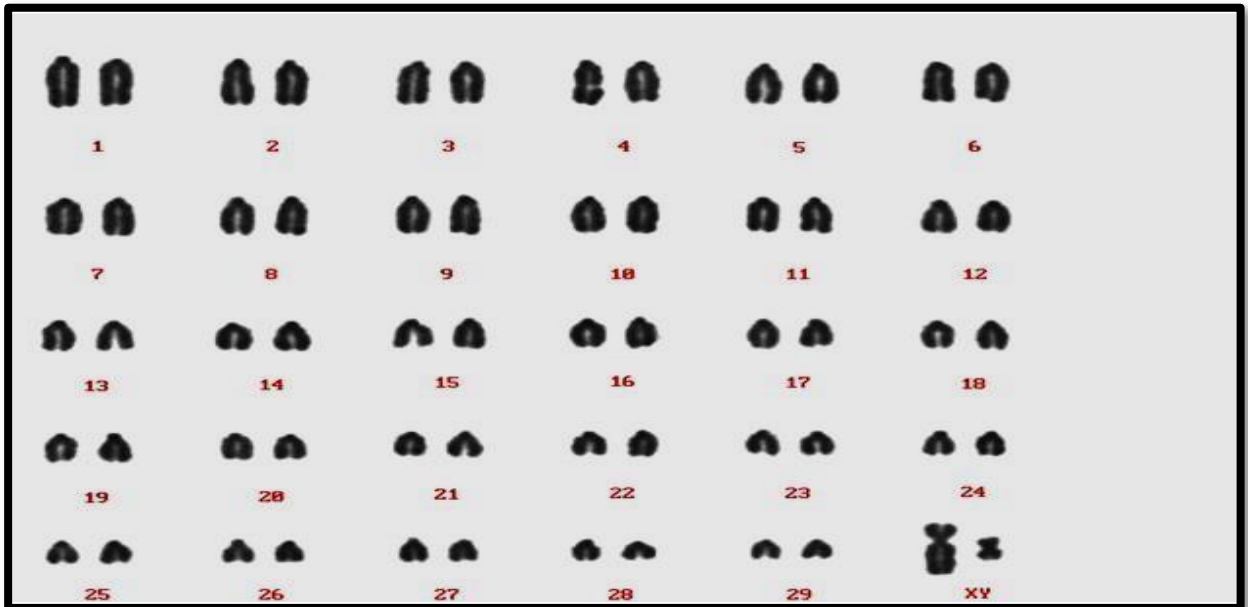


Figure 10 : le caryotype des bovins (*Bostaurus*)

3.4.2. Les races locales

Les races locales représentées en la race brune de l'Atlas, se trouvent dans les zones montagneuses surtout le nord de l'Algérie. Comparativement aux races importées, les races locales sont caractérisées par l'adaptation aux conditions difficiles du milieu. En effet, elles sont adaptées à la marche en terrains difficiles, aux variations des régimes alimentaires, la résistance à la sous-alimentation et aux maladies (Yakhlef, 1989 ; Eddebbarih, 1989).

Selon les régions, plusieurs races sont observées :

- chélifienne, caractérisée par un pelage fauve.
- La Sétifienne, à pelage noirâtre, s'adapte bien aux conditions rustiques.
- La Guelmoise, à pelage gris foncé, vivant en zones forestières.
- La Cheurfa, à robe blanchâtre, vivant en zones près forestières (Ministère de l'agriculture, Cité par (Nadjraoui, 2001).

Le cheptel des races locales représente 48% des effectifs nationaux et n'assure que 20% de la Production du lait de la vache (Bencharif, 2001).

3.4.3. Les principales races bovines

La brune de l'Atlas

Le bovin local est souvent cité pour sa rusticité. Il est résistant aux conditions climatiques difficiles (chaleur, froid, sécheresse, etc.). Il présente une aptitude à valoriser des aliments médiocres. En

effet, il consomme en abondance et transforme les fourrages grossiers de faible qualité. Il présente une aptitude à la marche en terrain difficile, une résistance aux parasites et aux maladies, et une résistance aux insectes piqueurs, vecteurs des maladies.

La taille et le poids des bovins locaux sont variables. Ils sont plus faibles pour les animaux de montagne (250 à 300 Kg), et élevés pour ceux vivant en plaine (300 Kg). **(Boubezari, 2010)**



Figure 11 : Brun d'Atlas

La bretonne Pie Noir

La Bretonne Pie Noire est la plus petite des races françaises. Sa hauteur moyenne au garrot est de 1,17 mètre, et son poids est en moyenne de 450 kg. Sa robe est "Pie Noire" (en référence à l'oiseau) : blanche et noire. Cette race a de nombreuses qualités. Pour une petite taille, cette race est une très bonne laitière. Sa longévité et sa fécondité sont étonnantes. Elle vèle sans aide. Elle est également appréciée pour la qualité de sa viande. **(Boubezari, 2010)**



Figure12 : la Pie Noir

La Pie Rouge

La Pie Rouge est une vache laitière de grand format, avec une aptitude à prendre du muscle en fin de lactation. La taille moyenne au garrot est de 143 à 147 cm. Le poids d'une femelle est de 800kg. Cette race bien charpentée et bonne laitière, est dite mixte (lait et viande). Elle a une mamelle adaptée à la traite mécanique. **(Boubezari, 2010)**



Figure 13 : la Pie Rouge

4– La Biochimie de lait

Le lait était défini en 1908 au cours du congrès international de la répression des fraudes à Genève comme étant « Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir du colostrum » **(Pougheon et Goursad, 2001)**

Le lait est un liquide blanc, deux fois plus visqueux que l'eau, de saveur légèrement plus sucrée à odeur peu accentuée, sécrété par la glande mammaire d'une femelle, destiné à nourrir son nouveau-né durant les premières semaines de sa vie. Mais cette fonction a été déviée, pour le livrer à la consommation humaine, surtout les laits produits par les bovins, ovins, caprins et camelins **(Larousse agricole, 1981)**

Pour être consommable, le lait doit en particulier :

- Provenir d'animaux sains, bien nourris et non surmenés.
- Être prive de substances additionnées non autorisées.
- Être le produit total de la traite.
- Être non colore, ne doit pas contenir de mauvaises et d'espèces microbiennes pathogènes **(Alais, 1984)**.

4.1. Glande mammaire et mécanisme physique de la sécrétion

Le lait est forme dans les cellules de l'épithélium garnissant une alvéole ou acinus. La mamelle contient un grand nombre d'acini. Chez la vache, il y a réalité quatre glande indépendantes, habituellement dénommées " quartiers" (antérieur droit, antérieur gauche, postérieur droit, postérieur

gauche) ; ils n'ont en commun que l'enveloppe cutanée. La mamelle est suspendue à la région sous-pubienne de l'abdomen par des ligaments sans élasticité (Alais, 1984)

4.2. Composition chimique de lait

La propriété fondamentale du lait est d'être un mélange, aussi bien physiquement que chimiquement. C'est un mélange de substances définies.

Le lait constitue un édifice chimique et physico-chimique très complexe dont la connaissance parfaite est transformation du lait (Mokhtari, 1992)

Aliment complet, le lait est une émulsion de matière grasses dans un sérum aqueux qui contient, en suspension, des protéines et en solution des glucides, des minéraux et des vitamines (Larousse agricole, 1981)

Le lait contient aussi des enzymes (lipase, phosphate, amylase), des anticorps, des hormones, il convient, inévitablement, des antibiotiques et des antiparasitaires. La composition du lait varie toute fois beaucoup, en fonction de l'alimentation, de la période de lactation, de la saison et de la race de l'animal (Cheftel et Cheftel, 1979).

Les principaux constituants du lait par ordre croissant selon Pougheon et Goursaud (2001) sont :

- L'eau, très majoritaire.
- Les glucides principalement représentés par le lactose.
- Les lipides, essentiellement des triglycérides rassemblés en globules gras.
- Les sels minéraux à l'état ionique et moléculaire.
- Les protéines, caséines rassemblées en micelles, albumines et globulines solubles.
- Les éléments à l'état de trace mais au rôle biologique important, enzymes, vitamines et oligoéléments.



Figure 14 : Composition moyenne du lait de vache

L'eau

L'eau est l'élément quantitativement le plus important : 900 à 910 g par litre. En elles, sont dispersés tous les autres constituants du lait, tous ceux de la matière sèche (**Mathieu, 1998**).

Matière grasse

La matière grasse ou taux butyreux représente 25 à 45 g par litre (**Luquet, 1985**). Elle est constituée par 98,5% de glycérides (esters d'acide gras et de glycérol), 1% de phospholipides polaires et 0,5% de substances liposolubles cholestérol, hydrocarbures et vitamines A, D, E, et K (**Goursaud, 1985**). La matière grasse est dispersée en émulsion, sous forme de microgouttelettes de triglycérides entourées d'une membrane complexe, dans la phase dispersante qu'est le lait écrémé (**Boutonnier, 2008**).

Protéines

Selon (**Jeantet et al 2008**), le lait de vache contient 3.2 à 3.5% de protéines réparties en deux fractions distinctes :

- Les caséines qui précipitent à pH 4.6, représentent 80% des protéines totales,
- Les protéines sériques solubles à pH 4.6, représentent 20% des protéines totales.

Caséine

Le mot vient du latin "Caseus" qui veut dire fromage. La caséine est une protéine. Celle-ci est composée de différents fragments dans le lait : α_1 , α_2 , β , γ et K. La dernière (K signifiant kappa) permet au lait de rester homogène et non pas décanté. Elle est riche en acides aminés et en phosphore. On l'appelle un composant azoté du lait. Elle précipite après adjonction de présure (enzyme digestive protéolytique se trouvant exclusivement dans l'estomac du bébé). Elle est aussi utilisée dans la fabrication de la galalithe (plastique biodégradable), comme liant de peinture et dans l'œnologie, pour corriger la couleur et la madérisation du vin blanc.

Protéines du lactosérum

Les protéines du lactosérum représentent 15 à 28% des protéines du lait de vache et 17% des matières azotées (**Debry, 2001**). (**Thapon ,2005**), définit les protéines du lactosérum comme protéines d'excellente valeur nutritionnelle, riches en acides aminés soufrés, en lysine et tryptophane. Elles ont de remarquables propriétés fonctionnelles mais sont sensibles à la dénaturation thermique.

- **L' α -lactalbumine**

L' α -lactalbumine est une protéine de 123 acides aminés comportant trois variantes génétiques (A, B, C). Métalloprotéine (elle possède un atome de calcium par mole) du type globulaire (structure tertiaire quasi sphérique). Elle présente environ 22% des protéines du sérum (**Vignola, 2002**).

- **La β -lactoglobuline**

La β -lactoglobuline est la plus importante des protéines du sérum puisqu'elle en représente environ 55%. Son point isoélectrique est 5.1 la β -lactoglobuline est une protéine de 162 acides aminés comportant 7 variantes génétiques (A, B, C, D, E, F, G). Lors du chauffage la fixation d'une molécule de caséine K et d'une β -lactoglobuline se fait également par un pont disulfure (Debry, 2001).

Tableau 02 : Composition moyenne en g / litre et distribution des protéines dans le lait de diverses espèces animales (FAO, 2006)

Protéines	Vache	Chèvre	Brebis
A lactalbumine	1.5 (45%)	2.0 (25 %)	1.3 (10 %)
B lactoglobuline	2.7 (25%)	4.4 (55 %)	8.4 (67 %)
Albumine sérique	0.3 (5%)	0.6 (7 %)	0.6 (5 %)
Immunoglobuline	0.7 (12 %)	0.5 (6 %)	2.3 (18 %)
Protéose-peptone	0.8 (13%)	0.6 (7 %)	-
Total PS (100%)	6.0 (100%)	8.10 (100 %)	12.6 (100 %)
Caséine α -s	12.0 (46%)	-	21.0 (47 %)
Caséine β	9.0 (36 %)	-	16.1 (36 %)
Caséine κ	3.5 (13 %)	-	4.5 (10 %)
Caséine γ	1.5 (6 %)	-	3.0 (6 %)
Total CN (100%)	26.0 (100 %)	26.0 (100 %)	44.6 (100 %)
Protide totaux	32.0	34.1	57.2

La sérum-albumine

Représente environ 7% des protéines du sérum. Elle est constituée de 582 résidus d'acides aminés. Comptant un seul variant génétique A est identique au sérum albumine sanguine (Vignola, 2002).

Protéoses-peptones

Elles forment la fraction protéique soluble après chauffage du lait acidifié à pH 4.6 vers 95°C pendant 20 à 30 minutes. C'est un groupe hétérogène issu de la protéolyse par la plasmine de la caséine β (Debry, 2001).

Lactose

Le lactose est un disaccharide, composé de deux mono saccharides, le galactose et le glucose. Ceux-ci sont liés par une liaison beta-(1,4) glycosidique. Le lactose entre dans la composition du lait. Ce disaccharide est utilisé dans les industries pharmaceutiques, alimentaires et vétérinaires. C'est le premier et unique sucre que tous les petits des mammifères ingèrent. On l'appelle aussi le sucre de lait, ou comme le dirait on en nomenclature chimique, le 4-O- β -D-galactopyranosyl, D-gluco-pyranose. Il y a deux formes isométriques du lactose, alpha et beta qui se retrouvent (à température ambiante) respectivement à 40% et 60% dans le lait (Pougheon, 2001).

Lactase

La lactase est une Beta-galactosidase. Elle est une enzyme sécrétée à l'extrémité des villosités de la paroi de l'intestin grêle, par des cellules nommées les entérocytes. La lactase hydrolyse le lactose et produit du galactose et du glucose qui peuvent être absorbés par le système digestif ou la flore intestinale. **(Pougheon, 2001).**

Enzymes

Ce sont des substances organiques de nature protidique, produites par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Plus de 60 enzymes principales ont pu être isolées du lait ou dont l'activité a été déterminée. La moitié d'entre elles sont des hydrolases **(Blanc, 1982 ; Pougheon, 2001).**

Ces enzymes peuvent jouer un rôle très important en fonction de leurs propriétés : Lyses des constituants originels du lait ayant des conséquences importantes sur le plan technologique et sur les qualités organoleptiques du lait (lipases, protéases). Ainsi, on distingue des protéases originelles du lait ; la plasmine est le composant majoritaire (elle provient du sang et migre via la glande mammaire), et des protéases d'origine microbienne. **(Pougheon, 2001).**

Les minéraux

Les éléments essentiels contribuant aux équilibres minéraux sont le calcium, le phosphate inorganique et le citrate. Les ions calcium sont principalement associés avec les ions citrate et phosphate. Les autres minéraux tels que le magnésium, le sodium, le potassium et le chlorure sont également présents dans le lait mais ont un rôle moins crucial **(Gaiani C ,2006)**

Les vitamines

Le lait ne permet pas de satisfaire tous les besoins vitaminiques. Néanmoins, il contient des vitamines réparties en deux classes selon leur solubilité : les vitamines hydrosolubles et les vitamines liposolubles. **(Gaiani C ,2006)**

Tableau 3 : composition chimique du lait de chèvre, brebis et vache (Anifantakis *et al.*1987)

Composition	Chèvre	Brebis	Vache
Matière grasse (%)	3.8	7.9	3.6
Extrait sec non gras (%)	8.9	12.0	9.0
Lactose (%)	4.1	4.9	4.7
Protéine (%)	3.4	6.2	3.2
Caséine (%)	2.4	4.2	2.6
Albumine, globulin (%)	0.6	1.0	0.6
Azote non protéique (%)	0.4	0.8	0.2
Cendre (%)	0.8	0.9	0.7
Calories /100ml	70	105	69

4.3. Les caractéristiques essentielles du lait

a. Complexité

Le lait est un liquide sécrété par les glandes mammaires des femelles mammifères, après la naissance du jeune. C'est un liquide de composition complexe blanc et opaque, d'une saveur douce, d'une réaction ionique (pH) voisin de la neutralité (Alais, 1984).

La fonction naturelle du lait est d'être l'aliment exclusif des jeunes mammifères pendant la période critique de leur existence, alors que la croissance est rapide et qu'il ne peut lui être substitué par d'autres aliments. La grande complexité de la composition du lait répond à cette fonction.

La mamelle constitue également un émonctoire ; on peut trouver dans le lait des substances d'élimination sans valeur nutritive (Alais, 1984).

b. Hétérogénéité

D'après Alais (1984), le lait est une émulsion de matière grasse, sous forme globulaire, dans un liquide qui présente des analogies avec le plasma sanguin. Ce liquide est lui-même une suspension de matière protéiques dans un sérum ; ce dernier est une solution neutre contenant principalement du lactose et des sels.

Mais il y a aussi de nombreux autres constituants, présents en quantité minime : lécithines, vitamines, enzymes, nucléotides, gaz dissous, etc. Dont certains ont une grande importance du fait de leur activité biologique (Alais, 1984).

Variabilité de la composition

La composition du lait varie au cours du cycle de la lactation. A l'époque de la naissance, la mamelle sécrète le colostrum, liquide du lait principalement dans ses parties protéiques et salines.

L'état de la santé influe sur la composition du lait (laits pathologiques) La composition du lait parfait varie notablement d'une espèce à l'autre (Alais, 1984)

d. Altérabilité

Le lait est un produit facilement altérable. La chaleur le modifie. Des micro-organismes nombreux peuvent proliférer dans le lait, notamment ceux qui dégradent le lactose, avec production d'acide, avec, comme conséquence, la floculation d'une partie des protéines.

Le lait n'a qu'une faible et éphémère protection. Son usage pour l'alimentation et pour les transformations industrielles exige des mesures de défense contre l'envahissement par les microbes et contre l'activité des enzymes (Alais, 1984)

4.4. Les propriétés physico-chimiques du lait

Les différentes substances constituant la lait (eau, matière grasse, matière azotée et sels minéraux) lui confèrent des caractéristiques physiques (densité, point de congélation) et chimique (acidité, pH) plus ou moins stables.

- **La densité** du lait espèce donnée n'est pas une valeur constante. Deux facteurs de variation opposés la déterminent :
 - a- La concentration des éléments dissous et en suspension (solides non gras) ; la densité varie proportionnellement à cette concentration.
 - b- La proportion de matière grasse : celle-ci ayant une densité inférieure à 1, la densité globale du lait varie de façon inverse à la teneur en graisse (**Alais, 1984**)
- **Le point de congélation** peut varier de $-0,530^{\circ}\text{C}$ à $-0,575^{\circ}\text{C}$ avec une moyenne de $-0,555^{\circ}\text{C}$. Un point de congélation supérieur à $-0,530^{\circ}\text{C}$ permet de soupçonner une addition d'eau au lait (la vérification se fait à l'aide d'une cryoscopie).
- **Le point d'ébullition** est à $100,5^{\circ}\text{C}$.
- **L'acidité** est de 15 à 17 °D dans des conditions normales (**Vignola, 2002**)

4.5. Variations dans la composition du lait

Le lait qui arrive à l'usine, constitue une matière première dont la composition n'est pas fixe. Ce caractère rend donc l'utilisation de cette matière première assez difficile, diminue les rendements et modifie les caractères organoleptiques des produits finis.

Deux grands types de variation existent, au stade de l'animal et au stade du traitement du lait. La composition chimique du lait et ses caractéristiques technologiques varient sous l'effet d'un grand nombre de facteurs (**Stoll, 2003**). Ces principaux facteurs de variation sont bien connus. Ils sont soit intrinsèques liés à l'animal (facteurs génétiques, stade de lactation, état sanitaire, etc.), soit extrinsèques liés au milieu et à la conduite d'élevage (saison, climat, alimentation). Cependant, si les effets propres de ces facteurs ont été largement étudiés, leurs répercussions pratiques sont parfois plus difficiles à interpréter compte tenu de leurs interrelations (**Wolter, 1988**).

4.5.1. Facteurs intrinsèques

4.5.1.1. Facteurs génétiques

On observe des variations importantes de la composition du lait entre les différentes races laitières et entre les individus d'une même race. D'une manière générale, on remarque que les fortes productrices donnent un lait plus pauvre en matières azotées et en matière grasse. Ces dernières sont les plus instables par rapport au lactose (**Veisseyre, 1979**). **Jakob et Hänni en 2004**, notent l'existence de variants

généétiques A et B issus des mutations ponctuelles. Ces derniers donnent des protéines différentes qui ne se distinguent que par l'échange d'un ou deux acides aminés. Les variants génétiques des protéines du lait, notamment ceux de la caséine κ (κ -Cn) et de la β -lactoglobuline (β -Lg), influencent la composition du lait et certains critères de productivité des vaches.

4.5.1.2. Variabilité génétique entre individus

D'après **Pougheon et Goursaud (2001)**, il existe indéniablement des variabilités de composition entre les espèces et les races mais les études de comparaison ne sont pas faciles à mener, car les écarts obtenus lors des contrôles laitiers sont la combinaison des différences génétiques et des conditions d'élevage. Généralement les races les plus laitières présentent un plus faible taux de matières grasses et protéiques or le choix d'une race repose sur un bilan économique global.

4.5.1.3. Stade de lactation

Au cours de la lactation, les quantités de matière grasse, de matières azotées et de caséines évoluent de façon inversement proportionnelle à la quantité de lait produite. Les taux de matière grasse et de matières azotées, élevés au vêlage, diminuent au cours du premier mois et se maintiennent à un niveau minimal pendant le deuxième mois. Ils amorcent ensuite une remontée jusqu'au tarissement. L'amplitude de variation est généralement plus importante pour le taux butyreux que pour le taux protéique. Les laits de fin de lactation présentent les mêmes caractéristiques des laits sécrétés par les animaux âgés. En outre, les deux taux, protéique et butyreux, ont tendance à diminuer au cours des lactations successives (**Meyer et Denis, 1999**).

4.5.1.4. Age ou numéro de lactation

Selon **Pougheon et Goursaud. (2001)**, on peut considérer que l'effet de l'âge est très faible sur les quatre premières lactations. On observe une diminution du TB (TB : taux butyreux en g/Kg) de 1% et du taux protéique de 0.6%.

4.5.1.5. L'état sanitaire de l'animal

Les saletés se trouvant dans le lait proviennent le plus souvent de la chute, au moment de la traite, de particules d'excréments, de terre, de végétaux ou de litière, attachées à la peau de l'animal et aussi des poils et des cellules épithéliales (**Rubino, 1999**).

4.5.2. Facteurs liés l'environnement

4.5.2.1. Facteurs alimentaires

L'alimentation n'est pas un des principaux facteurs de variation du lait mais elle est importante car elle peut être modifiée par l'éleveur. Une réduction courte et brutale du niveau de l'alimentation se traduit par une réduction importante de la quantité de lait produite et une baisse variable du taux protéique (**Bendimerad et al. 2013**).

4.5.3. Facteurs climatiques et saisonniers

(Parck *et al.* 2007), confirment que la saison a une influence importante qui se rajoute aux autres facteurs de façon immuable, le TB (TB : taux butyreux en g/Kg) passe par un minimum en juin-juillet et par un maximum à la fin de l'automne. La teneur en protéines passe par deux minimums un à la fin de l'hiver et l'autre au milieu de l'été et par deux maximums à la mise à l'herbe et à la fin de la période de pâturage.

5– Les Caséines

5.1. La Biochimie des caséines

5.1.1. La micelle de caséine

Malgré les variations dans la composition en caséine du lait des différentes espèces, les caséines se présentent sous forme de micelles. La couleur plus ou moins blanche caractéristique du lait est principalement due à la diffusion de la lumière par les micelles. L'ultrastructure des micelles de caséines de la majorité des espèces est similaire. La présence de micelles dans le lait suggère qu'elles doivent avoir un rôle physiologique ou nutritionnel qui va au-delà de la seule valeur nutritionnelle des caséines. Le calcium et le phosphate sont nécessaires au développement des dents et des os et le taux de croissance est positivement corrélé avec les concentrations de calcium et de phosphate inorganique. Cependant, le phosphate de calcium est très peu soluble au pH du lait. Il devrait donc précipiter dans la glande mammaire provoquant la formation de concrétions bouchant les canaux galactophores et pouvant entraîner la mort de cet organe. En formant des micelles, les caséines maintiennent l'excès de phosphate de calcium dans un état colloïdal stable et permettent la sécrétion de lait contenant une forte concentration en phosphate de calcium soluble. La coagulation des micelles dans l'estomac du nouveau-né (chez certaines espèces) par la chymosine pourrait retarder l'entrée des constituants du lait dans l'intestin grêle améliorant ainsi leur digestibilité (Fox et Brodkorb, 2008).

La caséine est une particule sphérique d'environ 180 nm, constituée de submicelles de 8 à 20 nm (Lenoir, 1985) ; elle est très hydratée (2 à 4 g d'eau par g de protéine). 7% environ de son extrait sec est composé de sels (phosphate, calcium, magnésium, citrate dans l'espace intersubmicellaire).

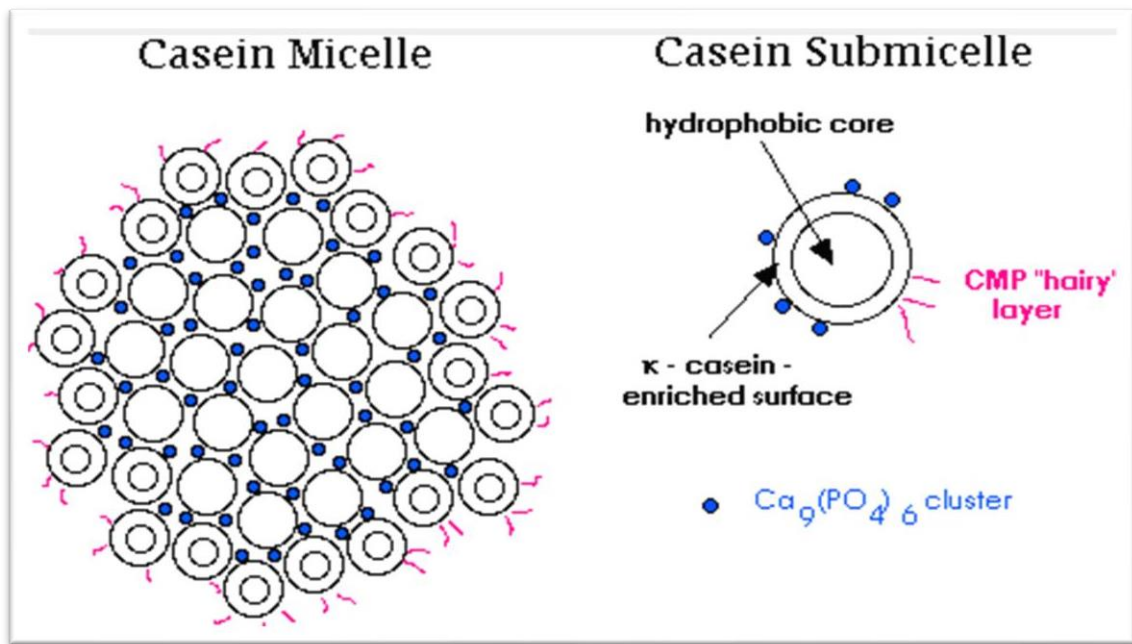


Figure 15 : Architecture de la micelle de caséine selon le modèle de Walstra et Jenness (1984).

Généralement admis est voisin de 180 nm, quelle que soit la technique d'analyse (**Banon et Hardy, 1991 ; Ghazarossian, 1996 ; Wade et al. 1996**).

La micelle contient environ 92 à 93 % (m/m) de protéines, principalement des caséines en proportions variables. Le rapport moyen dans la micelle $\alpha_{S1}/\alpha_{S2}/\beta/\kappa$ est d'environ 4/1/3,7/1,4. La proportion de caséines κ serait plus forte dans les submicelles périphériques (**Walstra, 1990**).

La stabilité micellaire dépend de l'équilibre minéral du milieu. L'étude de l'effet des paramètres physicochimiques du milieu sur la stabilité permet de caractériser les forces contribuant à l'intégrité de la micelle (**Walstra, 1990**).

Les submicelles pourraient être constituées d'environ 10 molécules des 4 caséines en proportion variables avec une répartition de caséine (hydrophile) en surface. Les submicelles les plus riches en caséine sont situées en surface de la micelle, ce qui la stabilise. Les portions « C » terminales de la caséine hérissent la micelle et l'enveloppent d'une chevelure périphérique particulièrement hydrophile (**Cayot, 1998**).

5.1.2. Les caséines constituant la micelle

La caséine est une substance hétérogène, complexe protéique phosphoré à caractère acide qui précipite dans le lait à pH 4,6. (**Cayot et lorient, 1998**).

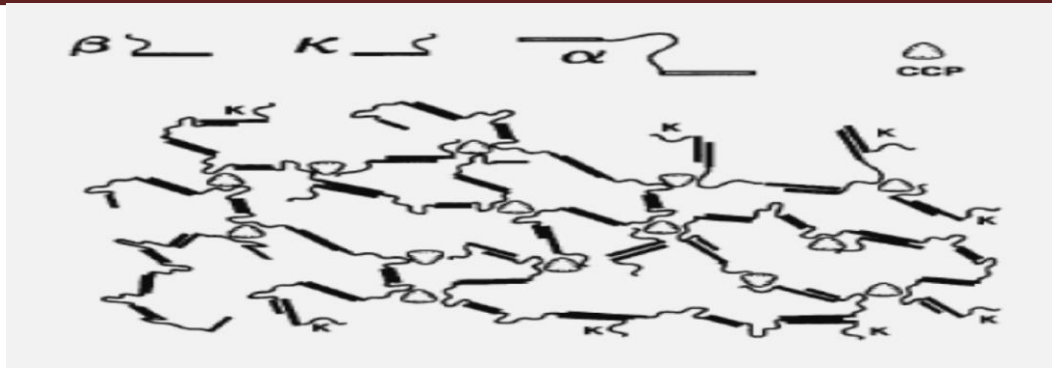


Figure 16 : Modèle de type structure ouverte d'après **Horne (1998)**

a. La caséine α_{s1}

La caséine α_{s1} est la protéine la plus abondante du lait : 10 g/L pour 26 g/L de caséine (α , β , κ et γ) et 33 g/L de protéines (**Ribadeau-Dumas et Grappin, 1989**). Elle est constituée par un composé majeur et un composé mineur avec une chaîne peptidique dont les séquences d'acides aminés sont identiques (**Mercier *et al*, 1971**) et différents seulement dans leur degré de phosphorylation. Le composé mineur contient en plus un résidu sérine phosphorylé à la position 41 (**Eigel *et al*, 1984**). La séquence complète de la caséine α_{s1} est composée de 199 résidus. La CN α_{s1} ne possède pas de résidu cystéine. Huit variants génétiques sont connus et sont désignés dans l'ordre décroissant de mobilité électrophorétique : A, B, C, D, E, F, G et H (**Farrell *et al*, 2004**) dont trois nouveaux : α_{s1} variant F, α_{s1} variant G et le variant H. Le phénotype B de la caséine α_{s1} est le plus abondant dans le lait. Pour une vache Holstein- Frisonne, la fréquence de ce variant est de 87 à 99 % (**Rameuf *et al*, 1991**). Le variant B est prédominant dans le lait de *Bostaurus* (**Eigel *et al*, 1984**).

b. La caséine α_{s2}

Le lait contient en moyenne 2,6 g/L de caséine α_{s2} (**Ribadeau-Dumas et Grappin, 1989**). Elle est constituée par deux composés majeurs et plusieurs composés mineurs avec des variations du niveau de phosphorylation post traductionnelle (**Swaisgood, 1992**). La caséine α_{s2} est très riche en résidus phosphosérine et lysine. Les caséines désignées par α_{s2} , α_{s3} , α_{s4} et α_{s6} , après migration électrophorétique en milieu réducteur et dissociant, possèdent la même structure primaire et se différencient par le nombre de résidus phosphorylé. La protéine référence des caséines α_{s2} est la CN- α_{s2} A-11P constituée de 207 résidus (**Hoagland *et al*, 2001**).

c. La caséine β

La caséine β est présente en forte proportion dans le lait 9,3 g/L dans le lait sur les 26 g/L de caséines au total. Sa masse moléculaire est de 23,983 kDas. Douze variants génétiques (A^1 , A^2 , A^3 , B, C, D, E, F, G, H^1 , H^2 , I) de la caséine β sont actuellement recensés (**Farrell *et al*, 2004**) avec

majoritairement les variants A¹ et A² retrouvés dans le lait en moyenne à 58,3% et 37,5% respectivement (**Remeuf et al.,1991**). La structure primaire de la caséine β A²-5P contient 209 résidus ; elle ne contient pas de résidu cystéine. Il faut souligner la très forte proportion de résidus prolines (17% de la séquence primaire). Cette richesse en résidus prolines influe sur la structuration de la protéine en raison des courbures que ces résidus induisent). La caséine β possède une forte hydrophobie, c'est aussi la protéine où la répartition en une zone hydrophobe (C-terminale) et en une zone hydrophile (N-terminale) est la plus marquée (**Aaki et al., 1990**). Compte tenu de cette balance hydrophile/hydrophobe, la caséine β est fortement susceptible de s'associer avec d'autres protéines (**Kumosinski et al, 1993**), particulièrement avec certains segments de caséine α_{S1} et α_{S2} .

d. La caséine κ

La teneur moyenne de la caséine κ est de 3,3 g/L dans le lait. Onze variants génétiques (A, B, C, E, F¹, F², G¹, G², H, I, J) de la caséine κ sont actuellement recensés (**Farrell et al. 2004**) avec majoritairement les variants A et B retrouvés dans le lait en moyenne de 75 à 85% pour la caséine κ A et de 15 à 25% de la caséine κ B (**Rameuf et al. 1991**). La structure primaire de la caséine κ A-1P contient 169 résidus. La caséine κ , est après la caséine β , la plus hydrophobe des caséines ; la partie qui correspond au glycomacropeptide (106 – 169) est de nature très hydrophile et donne un caractère amphiphile à la protéine. La partie N-terminale (1–105) appelé para-caséine κ est légèrement cationique et très hydrophobe et reste associée à la micelle. La caséine κ est caractérisée par sa glycosylation des résidus thréonines 131, 133, 135 et 136 (**Jolles et al.1972**). Une fois phosphorylée, la caséine κ occuperait une position plus interne dans la micelle car elle est susceptible de s'associer à d'autres caséines, alors que les caséines κ O-glycosylées seraient exposées au solvant et occuperaient une position externe (**Cheftel et al, 1985**).

Si la caséine κ existe sous forme de monomérique, elle existe surtout en forme de polymères correspondant à des monomères de caséine κ associés par des ponts disulfures (**Vreeman et al, 1981 ; Pepper et Farrell, 1982**). Toutefois, il semblerait que le degré de polymérisation de la caséine κ est inversement relié au degré de glycosylation (**Groves et al, 1992**).

e. Caséine γ

Un groupe de caséine mineure (caséines γ) a été mis en évidence dans le lait de vache. Les 3 caséines de ce groupe (γ_1 , γ_2 , γ_3) correspondent aux fragments 29-209, 106-209, 108-209 de la caséine β , ils proviennent de la protéolyse limitée de la caséine β par la plasmine, enzyme provenant du sang et naturellement présente dans le lait. La caséine α_{S1} est hydrolysée par la plasmine en caséine γ . La caséine α_{S2} est également sensible à l'action de cette protéase. (**Cheftel et al.,1985**)

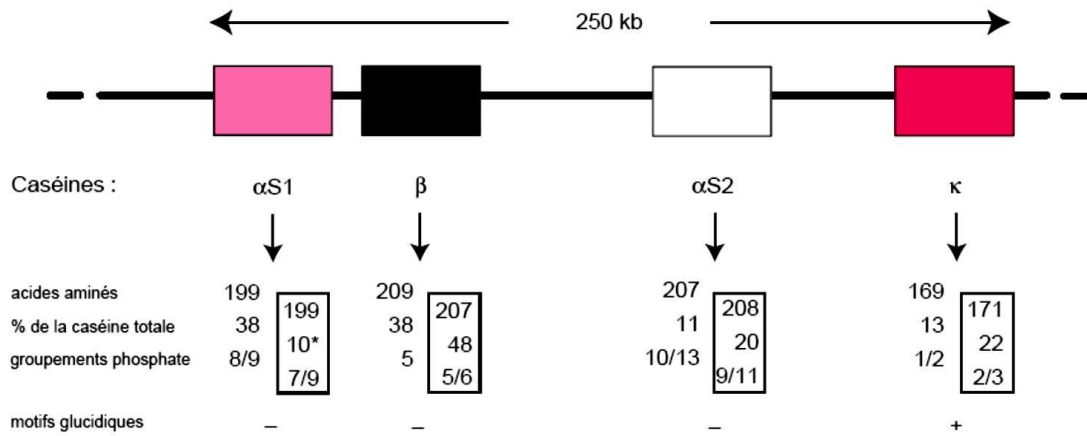


Figure 17 : Organisation des gènes spécifiant les caséines au locus Cn localisé dans les espèces bovines et caprines sur le chromosome 4.

5.2. La génétique des caséines

5.2.1. Le gène de caséine

L'analyse en cours des gènes de structure des caséines a conforté l'hypothèse d'une origine commune de ceux codant pour les caséines α 1. α 2 et β présence de plusieurs motifs structuraux communs immédiatement en amont de la boîte ATA similitude d'organisation du début de l'unité de transcription et des séquences codant pour les sites multiples de phosphorylation de type Ser-Ser-Ser-Glu-Glu qui sont engendrées par l'épissage de 2 exons. Ces 3 gènes différents toutefois par la taille et le degré de mosaïcisme.

On notera la conservation de l'organisation du gène de structure de la caséine β au cours de l'évolution, les seules différences notables portant sur la taille de certains introns ou sont souvent localisées des séquences répétitives.

L'organisation très différente du gène de structure de la caséine κ suppose une autre origine et son appartenance à la famille des gènes codant pour les fibrogènes a été suggérée. Les structures primaires de ces protéines, dont les fonctions sont analogues puisque leur protéolyse limitée conduit respectivement à la coagulation du lait et du sang, présentent effectivement quelques similitudes, ultérieurement observées au niveau des exons codant pour ces régions. (Alexander *et al*, 1988)

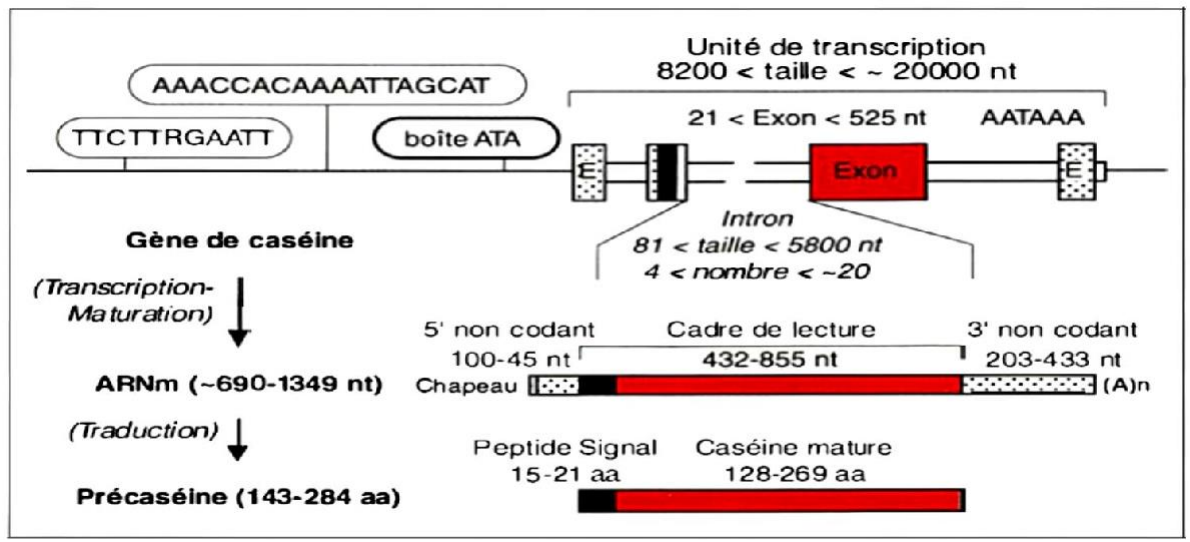


Figure 18 : le gène de la caséine

5.2.2. Les quatre caséines et leur polymorphisme

Les caséines du lait est constituée de quatre protéines différentes appelées alpha s1, alpha s2, bêta et kappa. Il existe une liaison très étroite entre les loci des quatre caséines. Cette liaison a été démontrée par des études mendéliennes rendues possibles par l'existence d'un polymorphisme (**Piacere et Elsen, 1992**)

5.2.3. Polymorphisme de la caséine chez les bovins

Trois de quatre caséines du lait de vache, les caséines α_{s1} , β , κ ainsi que la β -lactoglobuline, principale protéine du lactosérum, présentent dans toutes les races un polymorphisme génétique, c'est-à-dire plusieurs formes alléliques, ou 'variant génétiques', facilement décelables par la technique d'électrophorèses.

Le polymorphisme des lactoprotéines bovines est certainement, de tous les polymorphismes animaux, celui qui a été étudié de la manière la plus approfondie, avec une forte contribution d'équipes de l'INRA à Jouy-en-Josas (Laboratoire de Génétique biochimique et Laboratoire de Biochimie et technologie laitières). Par ailleurs, comme il s'agit de protéines d'intérêt économique, plusieurs équipes dans le monde se sont intéressées aux relations éventuelles entre ce polymorphisme et la production du lait, sa composition et ses aptitudes fromagères (**Grosclaude, 1988**)

Les caséines

Pour les Caséines α_{s1} deux variant principaux α_{s1} -Cn B et α_{s1} -Cn C semblent universellement répandus chez les bovins et les Zébus. Toutefois, prédomine α_{s1} -Cn C.

Chez les zébus alors qu' α_{s1} -Cn B est plus fréquent dans toutes les races bovines étudiées jusqu'ici.

Caséine α 2 Cette caséine paraît être monomorphe dans la presque totalité des races bovines étudiées jusqu'ici. Un polymorphisme (variant α 2 -Cn D) a toutefois été mis en évidence par notre équipe dans les races Vosgienne et Montbéliarde (**Grosclaude *et al* 1978**) ; il est différent de celui déjà décrit chez des zébus et chez des yaks (variants α 2-Cn B et C).

Caséine β Les deux variants universellement répandus chez les bovins et les zébus sont β -Cn A1 et β -Cn A2, ce dernier étant souvent le plus fréquent, comme c'est le cas dans au moins 16 des 21 races françaises étudiées. Le variant β -Cn A1 atteint ses fréquences les plus élevées dans les races originaires d'Europe du nord-ouest.

Caséine κ Les variants κ -Cn A et κ -Cn B paraissent universellement répandus chez les bovins et les zébus, κ -Cn A étant en moyenne un peu plus fréquent. Mais β -Cn B, κ -Cn B atteint des fréquences élevées dans les races Jersiaise. Un troisième variant, κ -Cn C, sans doute assez localisé, a été mis en évidence en Italie par **Di Stasio et Merlin (1979)** et **Mariani et Leoni (1985)**.

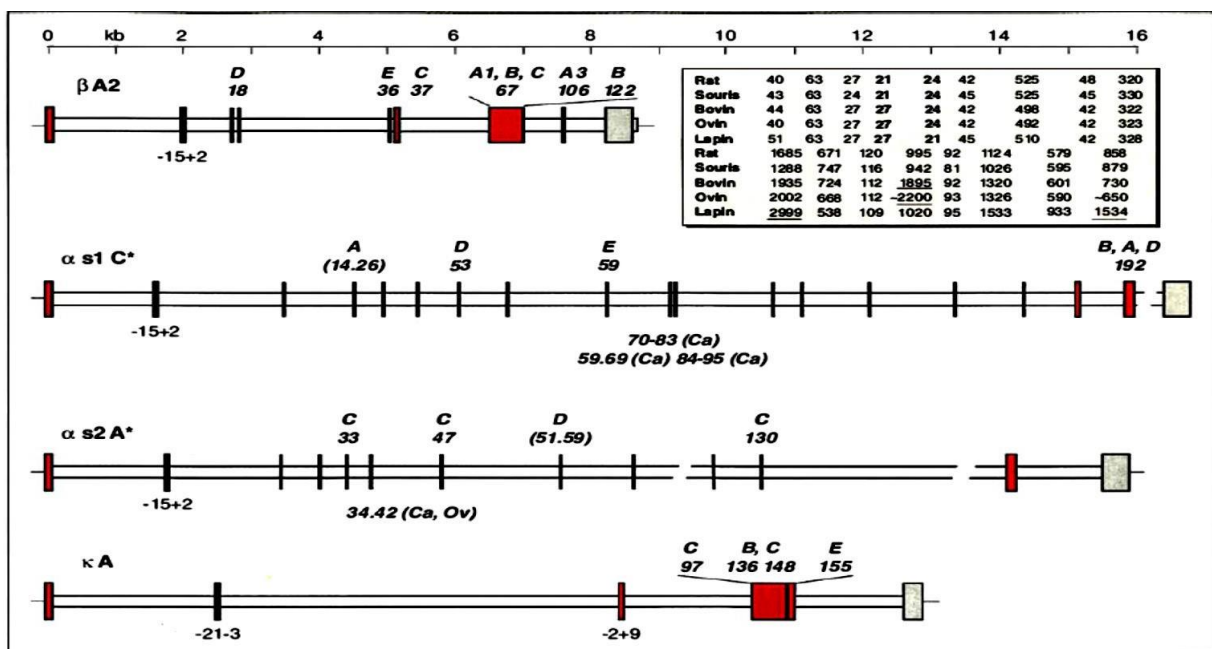


Figure 19 : structures des gènes codant pour les caséines bovines

5.2.3.1. La liaison génétique des locus de structure des 4 caséines et ses conséquences

Un des résultats les plus intéressants de l'analyse du polymorphisme des lactoprotéines bovines a été la mise en évidence d'une étroite liaison génétique entre les locus de structure des 4 caséines. La liaison entre α -Cn et β -Cn a été découverte par (**Grosclaude *et al* 1964**) et confirmée par **Larsen et Thyman (1966)**. La liaison du locus κ -Cn avec les deux locus précédents a été montrée indépendamment par **Grosclaude et al (1965)** ; encore ces derniers auteurs ont-ils conclu à un phénomène de pléiotropie (contrôle des trois polymorphismes par un seul locus) plutôt qu'à une liaison génétique.

La liaison entre α_{S2} -Cn et les 3 autres locus a été mise en évidence par Grosclaude et al (1978). Sur l'ensemble des données de Grosclaude et al et de Larsen et Thymann aucun cas de recombinaison n'a été observé pour 448 possibilités a priori, ce qui confirme bien l'étroitesse de la liaison entre les locus de ce groupe (**Grosclaude 1979**). Dans des études similaires font état d'un certain pourcentage de recombinaisons ; à notre avis, ces résultats pourraient s'expliquer par des erreurs de filiations (**Grosclaude et al 1973**).

L'étroitesse de la liaison génétique entre les locus de structure des caséines se traduit au niveau des populations par un déséquilibre de liaison, c'est-à-dire par une association non aléatoire des allèles de ces locus. Ce phénomène a été mis en évidence entre les allèles des locus α_{S1} -Cn et β -Cn. Les résultats obtenus dans les races françaises (**Grosclaude, 1974**) et italiennes, le déséquilibre de liaison est particulièrement accusé entre les allèles des locus α_{S1} -Cn et β -Cn, fort entre ceux des locus β -Cn et κ -Cn, mais paraît plus lâche entre ceux des locus α_{S1} -Cn et κ -Cn. Il y a trop peu de données sur le locus α_{S2} -Cn. Concrètement, ce déséquilibre de liaison se traduit par la transmission mendélienne, de parents à descendants, de combinaisons presque indissociables d'allèles des 4 locus, que l'on appellera des 'haplotypes' en adoptant un terme utilisé par les spécialistes de l'histocompatibilité pour désigner un phénomène similaire.

5.2.4. Polymorphisme des caséines caprines

Il existe chez les caprins, comme chez les bovins, quatre caséines différentes appelées α S1 β , α S2 et κ , codée par un groupe de quatre locus, situés dans cet ordre sur le même chromosome et étroitement liés. Ces caséines sont plus ou moins polymorphes, chaque gène s'exprime par un ou plusieurs allèles.

- **La caséine α S1** possède de nombreux allèles ; des allèles forts, A et B, associés à des taux élevés de caséine α S1, un allèle intermédiaire E associé à un taux moyen, un allèle faible F qui fixe peu de caséine α S1 et deux allèles nuls O1 et O2 (pas de caséine α S1 chez les homozygotes O/O). Chez la chèvre, c'est l'association de deux de ces allèles (l'un provenant d'un père, l'autre de la mère) qui détermine son génotype (par exemple : A/E ou E/O ou A/B en caséine α S1). On connaît quatre allèles de type B, c'est-à-dire B1, B2, B3, ces deux derniers ayant été identifiés et caractérisés récemment grâce notamment aux études sur l'ADN des chères payréennes (**Ricordeau et al, 1999**)

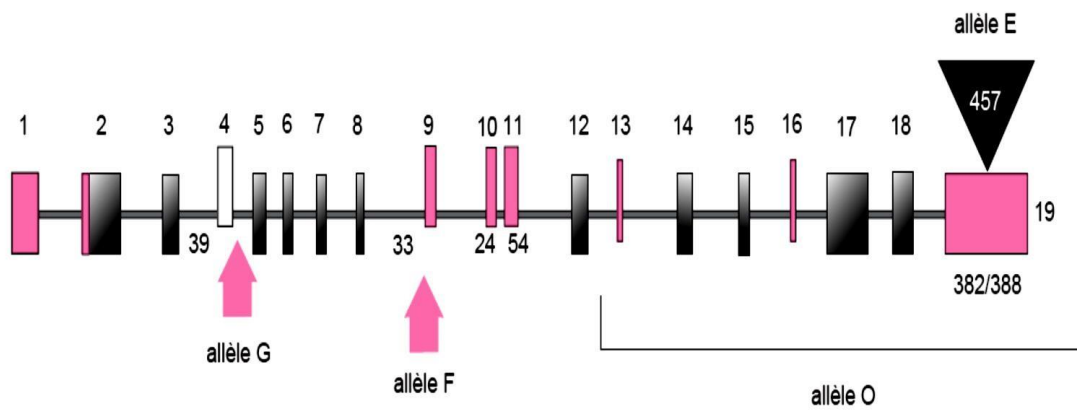


Figure 20 : Mutation responsable du polymorphisme quantitatif

- **La caséine β** ne présente habituellement pas de polymorphisme (cas des races alpine, Saanen ou poitevine ou l'on ne connaît que l'allèle A). Cependant, dans plusieurs autres races, chèvres des Pyrénées, race Créole de Guadeloupe, race Corse, race Garganica, on connaît au moins deux allèles, l'allèles normal A et l'allèle nul O correspondant à une mutation, de sorte qu'on observe trois génotypes : AA = homozygote normal, A/O = hétérozygote β nul, O/O = homozygote β nul (**Ricordeau *et al*, 1999**)
- **La caséine α S2** possède 3 allèles, B et C.
- **La caséine κ** n'est pas polymorphe dans les races françaises, mais elle présente au moins deux variants chez certaines chèvres italiennes (**Ricordeau *et al*, 1999**)

5.2.5. Polymorphisme chez les ovins

Chez les ovins, il existe un polymorphisme de la caséine alpha s1. On connaît 2 allèles, A et W (Welsh). En race Lacaune, W est pratiquement éliminé (fréquence 0.7 %), tandis qu'en race Sarde il est présent avec une fréquence de 22 %. Les études sur cette espèce sont beaucoup moins avancées que sur les précédentes. (**Piacere et Elsen ,1992**)

5.2.6. Les effets possibles du polymorphisme

Inscrites dans la séquence nucléotidique du gène et traduites dans la séquence des acides aminés de la protéine, les différences de structure moléculaire spécifiques d'un polymorphisme génétique peuvent s'accompagner de deux types d'effets :

- Les propriétés physico-chimiques et biologiques d'un variant sont susceptibles de différer de celles de la protéine de référence ; il s'agit donc d'un effet biologique direct du variant.
- Le taux de synthèse d'un variant peut être différent, en dépit du fait que la mutation correspondante se situe dans la partie codante du gène, et non dans une séquence régulatrice proprement dite ; il s'agit ici d'un effet quantitatif direct de la mutation.

D'autre part, avant de prendre la décision de diffuser un allèle qui présenterait des effets directs favorables, il faut vérifier s'il a des effets indésirables génétiquement associés, que ce soit des effets pléiotropiques (effet d'un gène sur un autre caractère que le caractère principal) ou des effets résultant d'un gène associé par déséquilibre de liaison.

Le cas de la caséine alpha s1 caprine, particulièrement étudié du fait des variations importantes de taux de synthèse des différents allèles. Est un bon exemple des multiples recherches qui accompagnent la découverte d'allèles à " effet majeurs " avant qu'on puisse définir une stratégie d'utilisation en sélection. **(Piacere et Elsen ,1992)**

Tableau 04 : Allèles du locus de la caséine alpha s1 caprine et fréquence. (Piacere et Elsen ,1992)

Allèles	Taux de synthèse approximatif	Fréquence estimée (en 1987)	
		Race Alpine	Race Saanem
A	Fort : 3.6 g / l	0.14	0.07
B	Fort : 3.6 g/l	0.05	0.06
C	Fort : 3.6 g / l	0.01	-
E	Moyen : 1.6 g/l	0.34	0.41
F	Faible : 0.6 g/l	0.41	0.43
D	Faible : 0.6 g/l	} 0.05 } 0.03	
O	Nul : 0.0 g/l		

5.3. La caséine et fromage

Il existe différentes variantes du kappa caséine. Jusqu'à présent, les variantes A, B, C, E, F, G et H ont été décrites. Ce sont des mutations génétiques qui sont à l'origine des différences entre les variantes et la qualité du lait s'en trouve influencée. **(Hannes, 2008)**

En présence de la variante B, le lait convient particulièrement bien pour la fabrication de fromages. Elle apporte une meilleure structure du fromage et un meilleur rendement fromager. La variante kappa caséine B dans le lait de mélange représente un critère de qualité du lait. De ce fait, les résultats sont donnés en pourcentage de kappa caséine dans le lait du tank. Pour cela, la quantité de kappa caséine est estimée sur la base de la teneur en protéine. Un résultat entre 80 et 100 doit être interprété comme très bon, un résultat entre 0 et 20 indique que le lait du tank donnera un faible rendement fromager et une structure des fromages plus grossiers.

La relation entre qualité du fromage et variante du kappa caséine est linéaire, ce qui signifie que plus le pourcentage en kappa caséine B est élevé, meilleurs seront le rendement fromager et aussi la structure du fromage **(Hannes, 2008)**

5.3.1. Détermination du kappa caséine

Le kappa caséine B dans le lait de mélange est déterminé à l'aide d'un test d'adsorption

immunitaire associé à des enzymes. Le nom de ce procédé est Elisa kappa caséine B bovine (= enzyme-linked immunosorbent assay). Le test est désigné comme indirect, car il ne recherche pas l'anticorps de la protéine kappa caséine B, mais le kappa caséine B du lait nettoyée est fixée sur les récepteurs. Les anticorps sont mélangés avec l'échantillon de lait dans les récepteurs. Cela crée une situation de concurrence aux points de liaison des protéines du kappa caséine B sur le récepteur dans le lait (**Hannes, 2008**)

Un échantillon de lait avec présence de kappa caséine A, les anticorps vont exclusivement lier la protéine B du récepteur. Dans un échantillon avec kappa caséine B, la plupart des anticorps vont se lier à la protéine B dans le lait. Le lait avec les anticorps libres et ceux liés aux protéines du lait va être lavé et il ne restera que les anticorps liés par le kappa caséine B au récepteur. Un deuxième anticorps sera ajouté à celui dans le récepteur. Ce deuxième anticorps est associé à une enzyme qui a la faculté de colorer certaines substances. Ainsi, suivant le nombre d'enzymes présentes, une solution incolore dans le récepteur développe un bleu plus ou moins intense. En ajoutant un acide, on obtient un ton jaune correspondant qui est plus facilement mesurable. En présence d'un échantillon avec la protéine du kappa caséine B, le test ELISA indique une très faible coloration. Sur la base de l'intensité de décoloration mesurée, la quantité de protéine du kappa caséine B peut être déterminée dans le lait (**Hannes, 2008**)

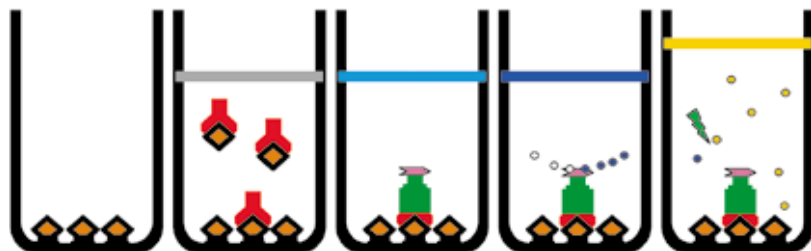


Figure 21 : Déroulement d'un test ELISA kappa caséine B

La fromageabilité est estimée sur la base de différents critères comme par exemple le temps de coagulation, la durée de durcissement, la dureté du caillé et le rendement fromager. De très nombreux facteurs influencent la fromageabilité du lait. Pour le rendement fromager, des teneurs élevées en protéine, spécialement en caséine, sont recherchées. Un nombre de cellules élevé fait diminuer le rendement, car plus les cellules sont nombreuses, plus la teneur en caséine du lait et les protéines du petit-lait baissent. Les variantes génétiques des composantes de la caséine et des protéines du petit-lait jouent un rôle important pour la fromageabilité. Comparé à du lait avec de la kappa caséine AA, le lait avec de la kappa caséine BB offre des propriétés nettement meilleures pour la transformation. La kappa caséine BB permet d'avoir un temps de coagulation plus court de 25 %, une durée du durcissement plus rapide de 59 % et 33 % de meilleure dureté du caillé.

5.3.2. Signification du kappa caséine pour le lait de fromagerie

Pour la fabrication de fromages, non seulement les teneurs du lait jouent un rôle important, mais aussi son aptitude à coaguler. Du lait paresseux coagule plus lentement et forme un caillé mou et fragile. Le fromager utilisera davantage de présure pour corriger la lenteur de la coagulation. En plus le rendement sera plus faible, car un caillé mou forme davantage de poussière de fromage au décaillage et laisse échapper davantage de matière grasse dans le petit-lait.

Les facteurs suivants déterminent principalement l'aptitude de coagulation du lait :

- PH (dépend du nombre de cellules et du mois de lactation)
- Teneur en caséine (dépend de la génétique/race, alimentation, nombre de cellules et mois de lactation)
- Variantes génétiques du kappa caséine et de la beta caséine (**Hannes, 2008**)

Le kappa caséine est un des quatre éléments composant la caséine. Celle-ci représente près de 80% de la protéine du lait et constitue la base de chaque fromage. Si le lait est emprésuré, les enzymes de la présure divisent le kappa caséine qui se trouve à la surface des particules de caséine qui va ensuite former des chaînes.

Le lait coagulé différentes variantes génétiques existent pour le kappa caséine. Un animal peut avoir le type AA, BB ou AB suivant l'héritage génétique de ses parents. Les variants génétiques différentes peu dans la structure mais influencent nettement le lait (**Hannes, 2008**)

Les variantes B améliorent l'aptitude à coaguler

Le lait d'une vache avec le type de kappa caséine BB a en moyenne un temps de coagulation 25 % plus court que le lait d'une vache du type AA. Les valeurs du lait des vaches du type AB se situent environ au milieu. Du point de vue dureté du caillé les différences sont encore plus prononcées, avec une teneur identique du lait en protéine, le caillé pour le type BB mesuré avec un fromagraphe est presque deux fois plus dur que celui du type AA.

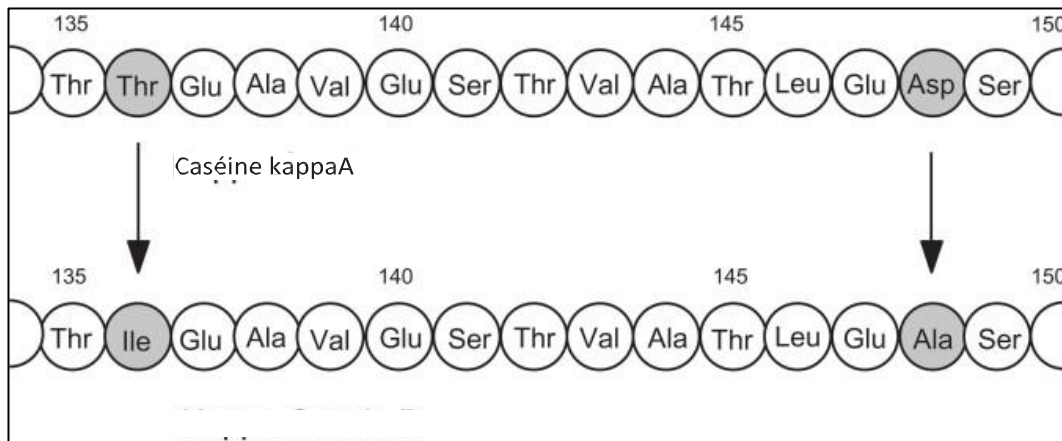


Figure 22 : la différence entre les variants A et B de la caséine

5.3.3. Le rendement fromager

La signification des variantes du kappa caséine pour l'industrie fromagère a fait l'objet de nombreuses études. Elles montrent toutes que le lait de type BB, en présence d'une même teneur du lait en protéine et une même teneur en eau des fromages, possède un rendement fromager supérieur de 0.5 à 1.5% à celui de lait du type AA. Le rendement supérieur observé repose surtout sur moins de pertes sous forme de matière grasse et de poussière de fromage dans le petit-lait et en partie aussi sur le fait que la protéine du lait de type BB contient un peu plus de caséine.

Dans la pratique, l'influence des variantes du kappa caséine devraient être beaucoup moins marquée, car dans la chaudière il n'y a jamais que du lait AA ou BB. Il faut aussi souligner que c'est principalement une bonne teneur en caséine qui va permettre d'obtenir un bon rendement fromager et de beaux caillés. Concernant la qualité des fromages, ce n'est pas forcément un lait qui coagule le mieux qui donnera les meilleurs fromages. Cependant, si la teneur en caséine du lait et le pourcentage de kappa caséine B est faible, cela peut perturber la coagulation et menacer la qualité des fromages comparé aux autres races, le lait de race Brune se trouve en bonne position aussi bien pour le pourcentage de Kappa caséine B que pour l'aptitude à coaguler ou pour la teneur en caséine (Hannes, 2008)

6. Les différentes techniques d'isolement de caséine

6.1. Méthodes électrophorétiques

a. Présentation de la méthode

L'électrophorèse est la migration de molécules chargées, en solution, sous l'action d'un champ électrique. Les protéines, qui comportent des groupes chargés positivement ou négativement, possèdent une charge globale non nulle sauf à leur pH isoélectrique, pH auquel ces charges se compensent exactement. Si l'on place une protéine dans un champ électrique, elle va donc migrer selon sa charge globale nette et sa taille moléculaire soit vers l'anode soit vers la cathode, et d'autant plus vite que cette charge est élevée.

Le gros avantage de la méthode électrophorétique est de permettre à la fois de séparer et de quantifier les différentes protéines d'un mélange. La quantification des protéines nécessite leur coloration par le bleu de Coomassie ou le Noir Amido. La coloration est ensuite enregistrée à l'aide d'un densitomètre à la longueur d'onde correspondant à l'absorption du colorant. Un tracé densitométrique est obtenu et la quantité de chaque protéine est proportionnelle à la surface de 'Chaque pic. Cette méthode nécessite la constitution d'une gamme étalon obtenue avec une quantité connue de chacune des protéines. (Gillou *et al*, 1976)

b. Application au dosage des protéines du lait

Les différentes techniques électrophorétiques mentionnées précédemment, ont été appliquées au dosage quantitatif des caséines et des protéines du lactosérum. L'électrophorèse sur papier, l'électrophorèse sur gel en plaquée et sur gel en tube.

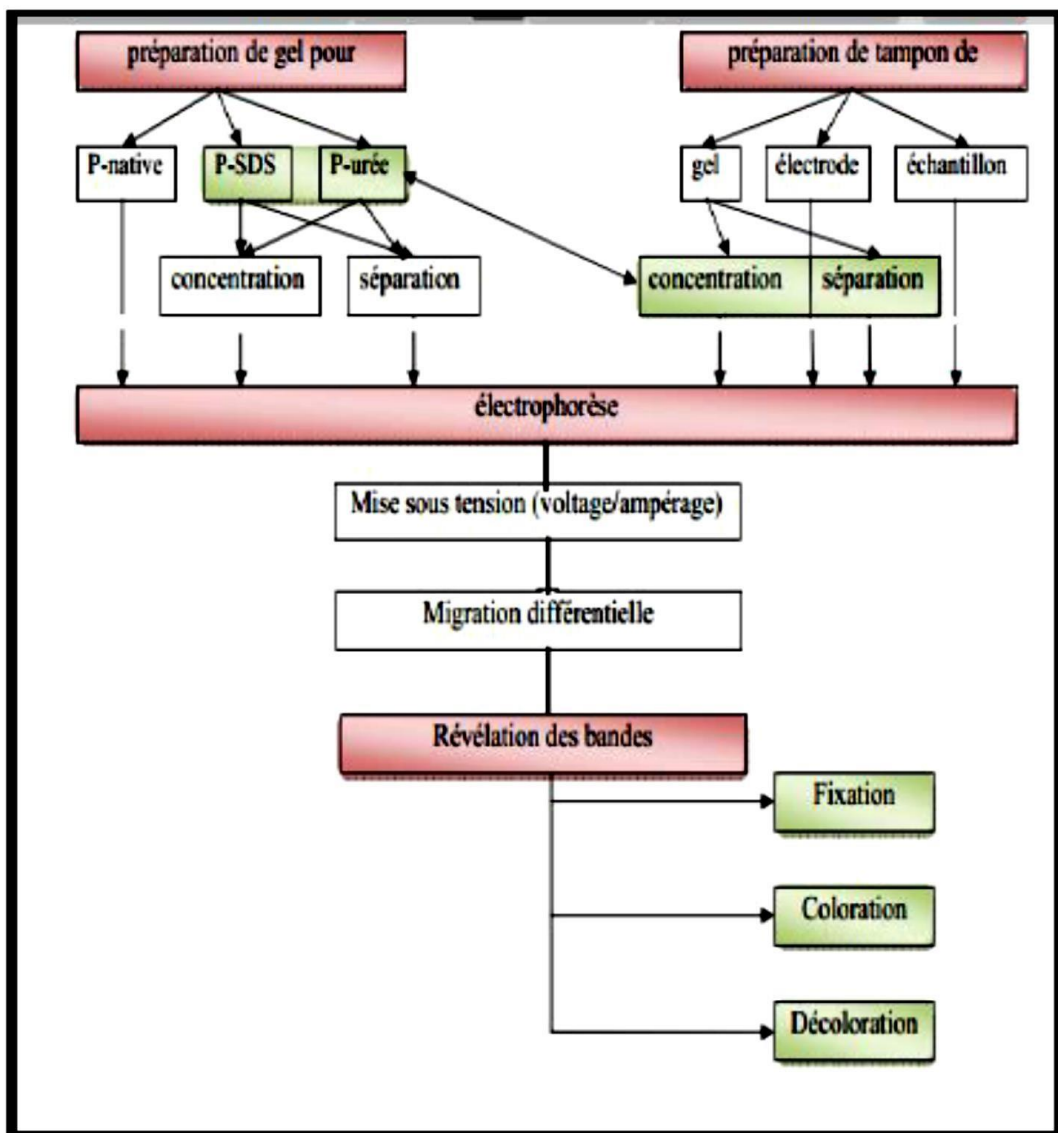


Figure 23 : Les étapes de la méthode électrophorétique

6.2. Méthodes chromatographiques

Chromatographie sur DEAE cellulose Cette méthode consiste à fixer les protéines par l'intermédiaire de leurs charges négatives, sur les charges positives de la colonne de DEAE cellulose (interactions électrostatiques). Comme en électrophorèse, le tampon utilisé (tampon imidazole de pH 7) contient de l'urée et du 2-mercaptoéthanol permettant une bonne séparation des protéines. Certains auteurs rajoutent de l'iodacétamide. L'iodacétamide permet l'alkylation des fonctions thiols des cystéines, évitant ainsi leur réassociation ultérieure. Une fois fixées sur la colonne, les différentes protéines sont éluées, par le même tampon, mais de concentration croissante en NaCl. Plus la charge nette de la protéine est négative, plus la concentration de NaCl nécessaire pour l'éluer est élevée. L'absorbance à 280 nm est mesurée pour obtenir un profil d'élution dans lequel chaque pic a été identifié par électrophorèse lors de la mise au point de la technique. Si le pic correspond à une seule protéine, l'aire de ce pic est proportionnelle à sa concentration. Connaissant l' ϵ (molaire de chaque protéine, leur concentration peut être obtenue directement à partir du profil d'élution par application de la loi de Beer Lambert ($D_0 = \epsilon Z c l$) ou après coloration des différentes fractions éluées par la méthode de Biuret et mesure de la densité optique à 310 nm.

Cette méthode a été appliquée pour le dosage des caséines 5 fractions sont obtenues par ordre d'élution les caséines γ , les caséines κ , la caséine β , les caséines α_2 et les caséines α_1 . (Gillou *et al*, 1976)

6.2.1. Chromatographie sur hydroxyapatite

Cette méthode consiste en l'adsorption, par l'hydroxyapatite, des protéines par l'intermédiaire de leurs charges négatives. Le tampon utilisé est un tampon phosphate de pH 6,8 contenant du dithiothréitol et de l'urée. Plus la charge nette de la protéine est négative, plus elle est retenue lors de l'élution qui se fait avec le tampon phosphate à des concentrations croissantes en phosphate. Un profil d'élution est obtenu par mesure de l'absorption de l'éluât à 280 nm. Une électrophorèse permet, là aussi, d'identifier les différents pics. Connaissant la molaire de chaque protéine, leur concentration est obtenue directement par application de la loi de Beer Lambert ($D_0 = \epsilon Z c l$).

Cette méthode a été appliquée pour le dosage des caséines et pour le dosage des protéines du lait écrémé. La caséine entière est éluée en 4 fractions : les caséines Y, les caséines K, la caséine \sim et les caséines α_s . Contrairement à la chromatographie sur DEAE cellulose, cette méthode ne permet pas de séparer les caséines Us en deux fractions. La précision est limitée par la contamination de la fraction de la caséine \sim par les caséines α_s . La fraction contenant les caséines a été contaminée par la caséine \sim et des composés mineurs (protéoses peptones). Le profil d'élution obtenu avec le lait écrémé donne aussi 4 fractions. Les caséines κ sont éluées avec les protéines majoritaires du lactosérum (c-Iactalbumine, \sim -lactoglobuline, sérum albumine). L'impossibilité de les séparer empêche leur quantification (Gillou *et al*, 1976)

6.2.2. Chromatographie rapide

a) FPLC (Fast Protein Liquid Chromatography)

Dans le cas du lait, cette méthode consiste à séparer les différentes protéines d'un mélange sur une colonne échangeuse d'anions. Le principe et les limites de la méthode sont identiques à ceux de la chromatographie « classique » sur DEAE cellulose. Le gros avantage de cette méthode est que la séparation des différentes protéines est très rapide. La séparation des caséines du lait dure 30 min au lieu de plusieurs heures (*Gillou et al, 1976*).

b) HPLC (High Pressure Liquid Chromatography)

En HPLC, on peut distinguer suivant la polarité de la phase stationnaire, deux modes de travail : phase normale et phase inverse. En phase normale, la phase stationnaire est polaire. Les composés sont donc élués par ordre de polarité croissante. Cette phase n'est pas utilisée pour la séparation des protéines.

En phase inverse, la phase stationnaire est apolaire (colonne de silice possédant des groupements alkyles de longueur variable). Cette phase est utilisée pour la séparation, en fonction principalement de leur hydrophobicité, et la quantification des protéines d'un mélange. (*Gillou et al, 1976*)

Deuxième partie
Matériel et Méthodes

I. Matériel

I.1. 1. Matière première

Matière première : Les échantillons de lait analysés proviennent de trois espèces de ruminants : bovine, ovine et caprine. Le lait frais a été collecté auprès d'animaux (vache, brebis et chèvre) élevés dans la commune de Bir Mekadem située dans la wilaya de Tébessa (Algérie). En complément, des laits industriels ont également été inclus dans l'étude, notamment le lait de la marque Candia ainsi que du lait conditionné en sachets, provenant des laiteries Numedia (Constantine), Aurès (Batna) et Athmani de la wilaya de kenchela.

I.1. 2. Lait individuel

Les échantillons du lait cru individuel provenaient à partir d'une chèvre.



Figure 24 : chèvre sujet de notre étude

Un deuxième lait cru individuel provenant à partir d'une brebis est pris d'une femelle bien portante.



Figure 25 : brebis sujet de notre étude

Le lait de bovin est issu d'une femelle bien portante.



Figure 26 : bovin sujet de notre étude

Les échantillons de lait ont été prélevés à partir d'animaux sains puis sont acheminés dans une glacière au laboratoire où ils sont aussitôt analysés.

1. 3. Appareillage :

- Unité d'électrophorèse sur petite cuve verticales (Consort.n.v). Comprenant : Cuves d'électrophorèse, générateur de courant consort ; Belge (max : 1000V et 250mA), plaque en verre et en hydroxyde d'alumine (17x15cm), espaceurs d'épaisseurs de 1,5 mm
- PH mètre ; (WTW, Allemagne).
- Balance de précision à 0,01 mg et balances analytiques à affichage digital (0,01g).
- Agitateur basculant (SCIOLOGEX MS7-H550-PRO).
- Centrifugeuse réfrigérée, max.speed 18000 rpm (SIGMA, Allemagne).
- Agitateurs variés, à plateau à barreaux magnétiques chauffant (DLAB) et non chauffant (RS Lab70) et à vortex.
- vortex
- Dessiccateur en verre et à infrarouge.
- Distillateur d'eau.
- Bain marie avec agitateur (Memmert, Allemagne).
- Étuve max 220°C (Memmert, Allemagne).

Liste des outils utilisés :

- Pipette graduée et pipette électrique (JOANLAB, China)
- Micropipettes automatique utilisées :
 - JOANLAB : modèles 0,5-10 μL , 5-50 μL , 100-1000 μL et 10 mL (Made in China).
 - Sci-Logex : modèle 2-20 μL .
 - DLAB : modèle 100-1000 μL
- Tubes et Tubes d'électrophorèse.
- Entonnoir
- Cylindre gradué
- Papier filtre
- Seringue
- Exmire Micro Syringe MS-R100
- Bécher
- Erlenmeyer
- Fiole jaugée
- Mortier
- Ependorf 1.5ml
- Bec de Bunsen
- Gants
- Spatules
- Barreau magnétique

II. Méthodes

2. 1. Isolement des caséines

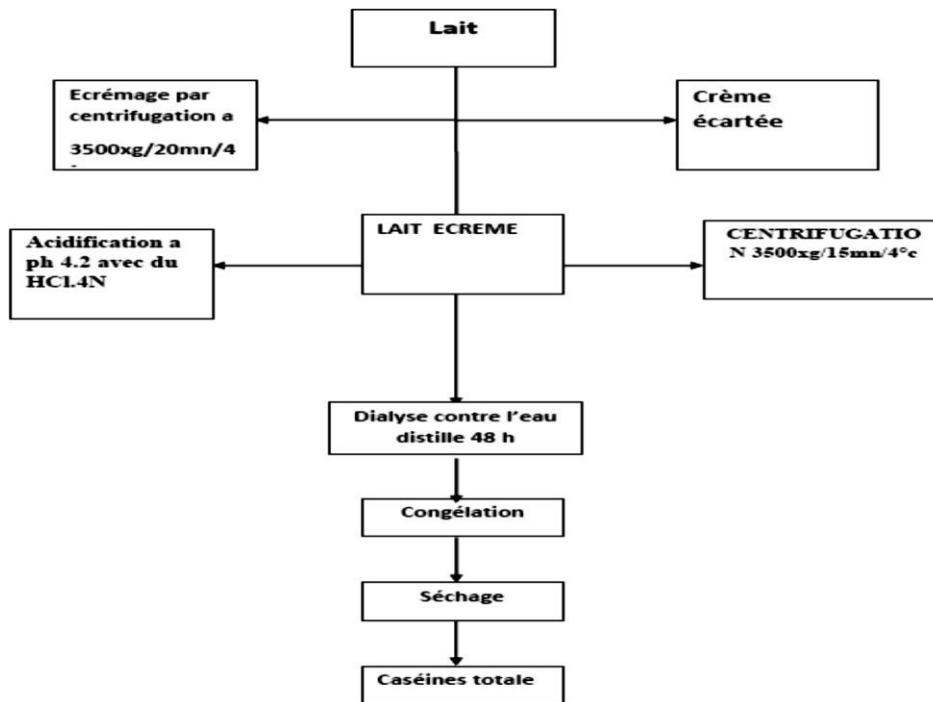


Figure27 : Etapes d'isolement des caséines et des protéines sériques du lait caprin

Etape 1 : Ecrémage

- Prendre 10 ml de lait
- Le lait est chauffé et agité pendant 10 min au bain marie 30-35C
- Par centrifugation à 3500g pendant 20 min à 4°C
- Filtration par papier filtre
- L'opération est répétée 2 à 3 fois

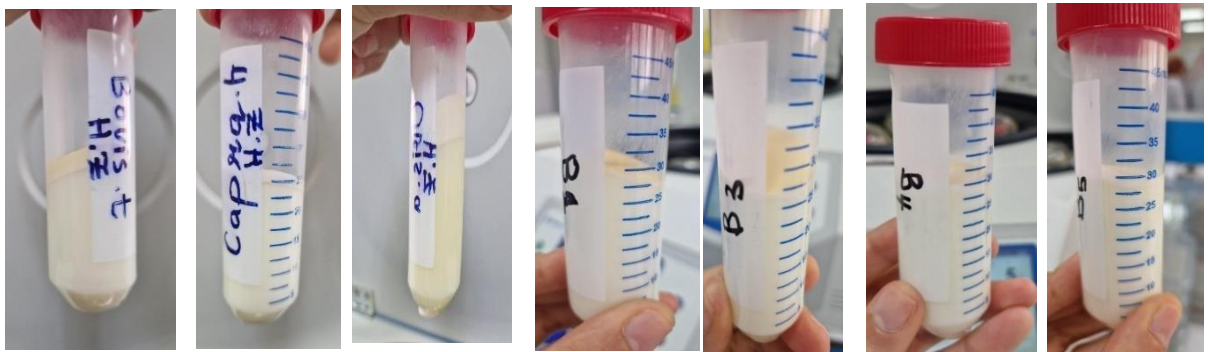


Figure 28 : Tubes contenant le culot des caséines

Etape 2 : isolement

- Précipitation pH (4.6) par l'acide chlorhydrique (4N)
- Centrifugation pendant 20 min à 4°C
- Récupération des caséines par l'ajoute de l'eau distillée
- L'opération est répétée 2 à 3 fois
- Augmentation le pH à 7 par le NaOH (1N)
- Centrifugation pendant 20 min à 4°C
- Les protéines sont séchées dans une étuve à 150°C pendant 2 à 3 heures
- Puit en met dans un dessiccateur en verre jusqu'à utilisation.

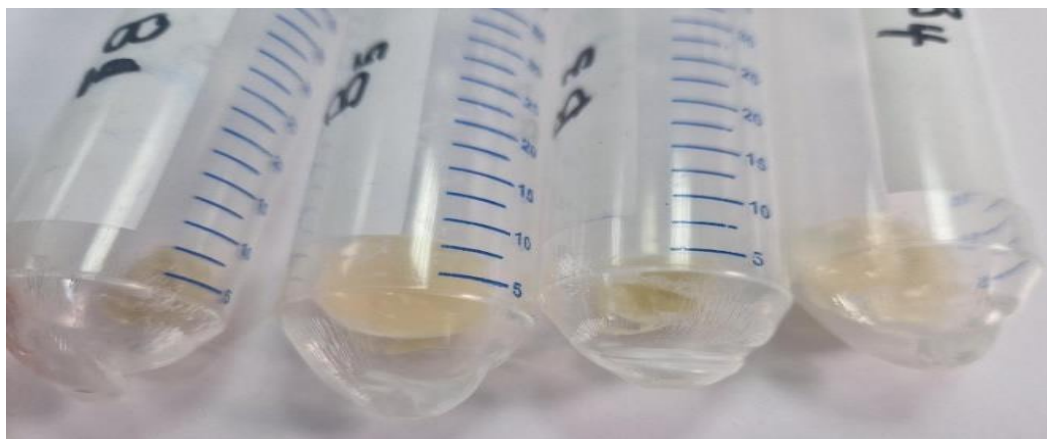


Figure 29 : Tubes contenant l'hydrolysate de caséines

2.2. Conduite de l'électrophorèse SDS-PAGE

- Séparation des protéines par électrophorèse en conditions dissociantes et dénaturantes, en présence de SDS et de 2-Mercaptoéthanol (PAGE-SDS)

- **Principe**

Le SDS (sodium dodécyl sulfate) $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{11}\text{-SO}_3\text{- Na}^+$, détergent anionique a pour rôle la dissociation des complexes protéiques. Il est associé à un agent réducteur, le 2- mercaptoéthanol ($\text{HS-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$) qui rompt les ponts disulfures. Le SDS, se fixe sur les protéines et leur conférant une charge négative, ainsi, leur séparation se fait selon la différence de poids moléculaire.

Suivant le protocole de Laemmli et Favre (1973), nous avons réalisé un gel de concentration (T = 4% et C = 5%), en tampon (TRIS - HCl, pH 6,8), dont l'objectif est la concentration des protéines, pour une migration homogène dans le gel de séparation. Ce dernier, se caractérise par (T = 14% et un C = 2,1%), en tampon (TRIS - HCl, pH 8,8).

La détermination du poids moléculaire des protéines d'intérêt est effectuée en faisant migrer en parallèle (dans les mêmes conditions), des protéines étalons de poids moléculaire connus.

- **Mode opératoire**

Le gel de polyacrylamide, est coulé entre une plaque en verre et une plaque en Alumine Les échantillons sont déposés dans des puits à raison 1 mg, ils sont réalablement dissous dans un tampon composé de bleu de bromophénol

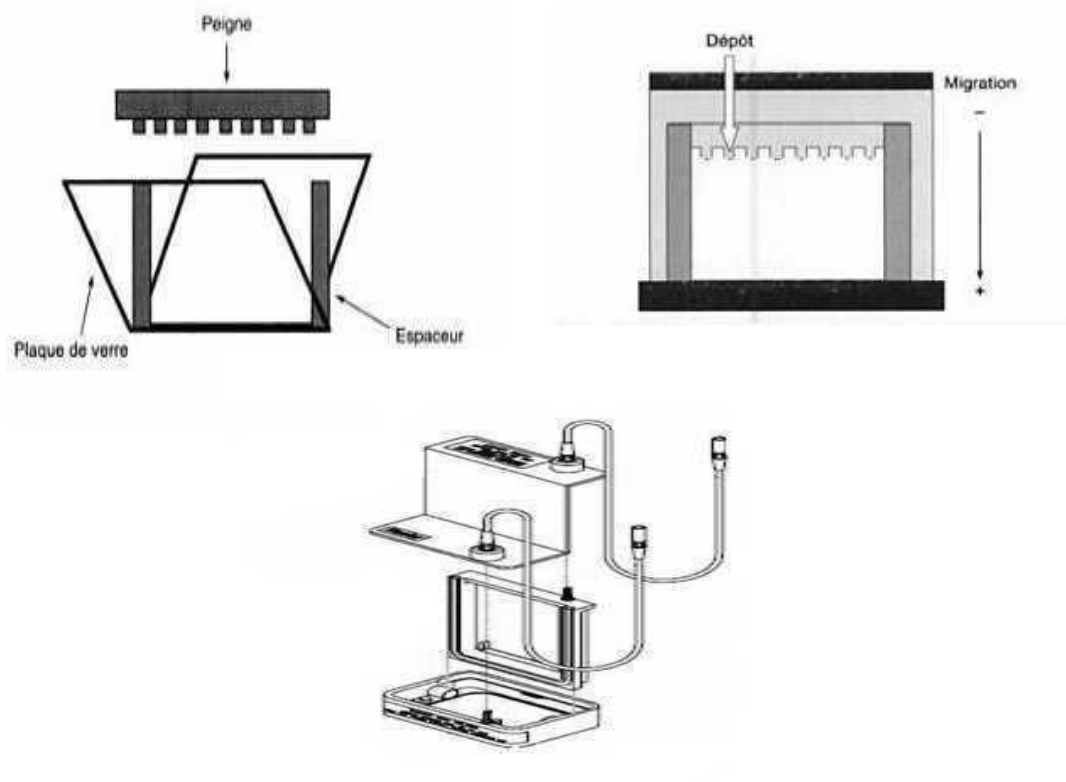


Figure30 : Montage de l'électrophorèse.

Indicateur de la progression de la migration électrophorétique. Celle-ci a lieu sous un voltage de 400 V maximum et une intensité d'un ampérage constant de 40mA par gel (20x20) ce qui donne 80 mA pour les deux.

- Préparation de la cuve d'électrophorèse et du gel.
- Placer le support de plaque de gel sur sa base.
- Verrouiller les deux loquets inférieurs pour une bonne stabilité : Support pour plaque de gel

Support pour plaque de gel

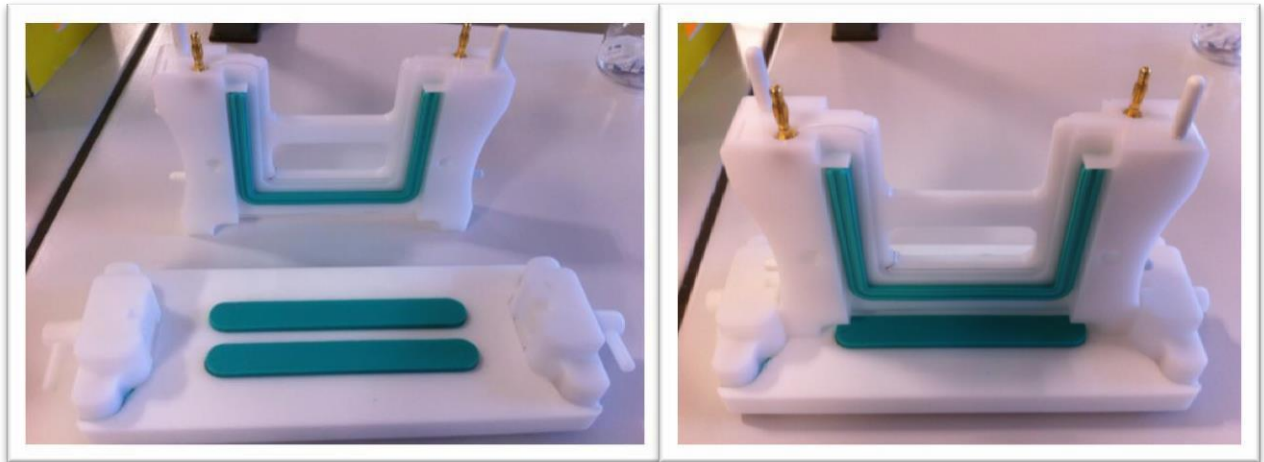


Figure 31 : Montage de support

Ouvrir un sachet de gel en cassette prêt à l'emploi, Eliminer les excédents de tampon et bien essuyé les deux faces plastiques, Adapter la cassette de gel dans son support. Refermer avec le système de verrouillage en visant fermement mais sans excès. S'assurer que les joints plats en silicone assurent l'étanchéité.

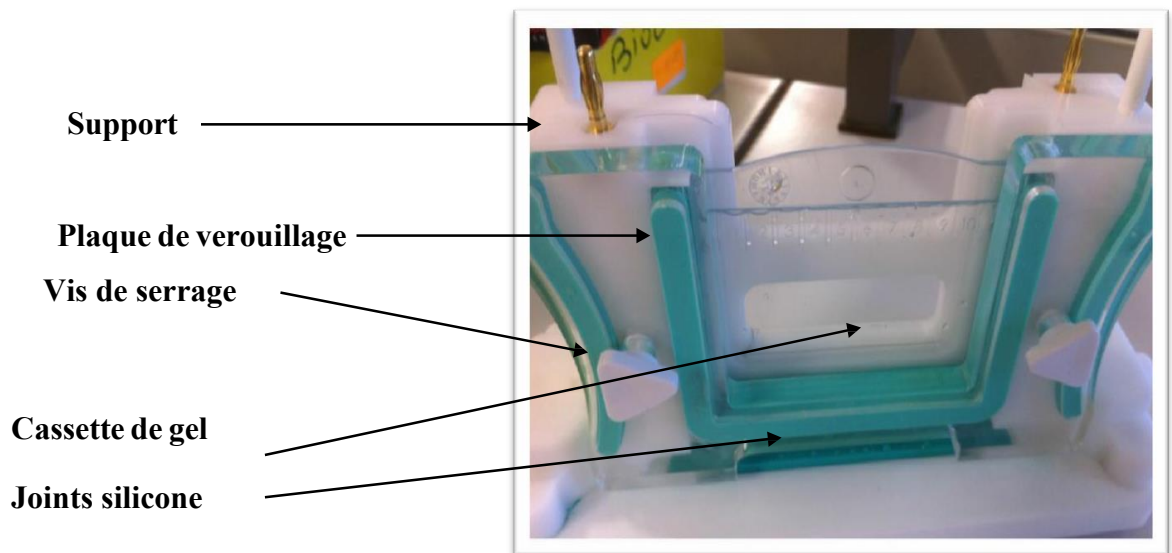


Figure 32 : Support des plaques

Si une seconde cassette de gel n'est pas utilisée, il faut placer sur l'autre côté du support une plaque de barrage. Placer la plaque en plexiglas en refermant avec le système de verrouillage dans les mêmes conditions que pour le gel.

Dissocier le support de la base d'assemblage, puis insérer le support + cassette

de gel dans la cuve à électrophorèse. S'assurer que le support est correctement bloqué dans les ergots de guidage :

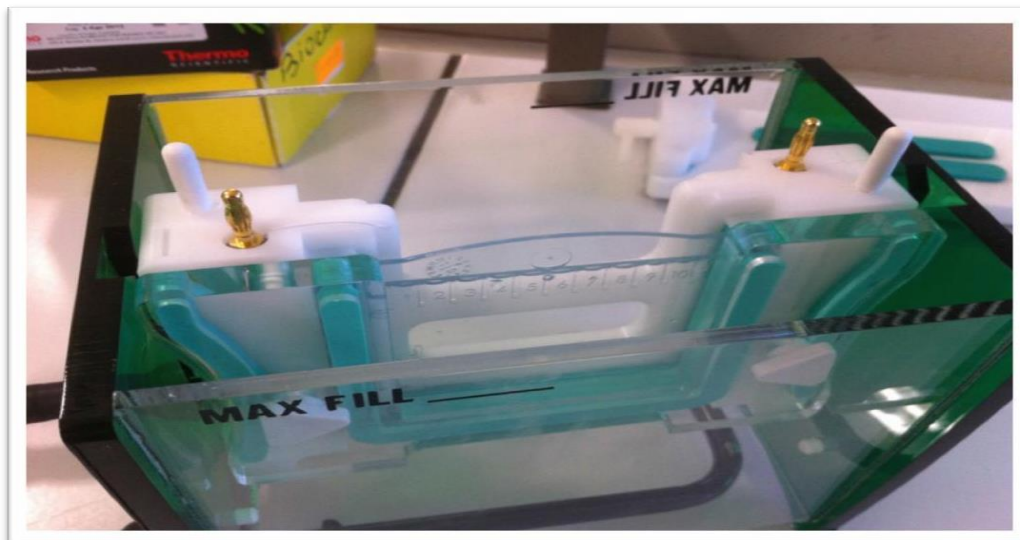


Figure 33 : Insertion de support dans la cuve d'électrophorèse

Remplissage de la cuve ; Remplir le compartiment intérieur (entre la cassette de gel et la plaque de barrage) jusqu'à 4cm de la plaque avec le tampon de migration pH 8,8. Puis en attendre jusqu'au séchage des gels.



Figure 34 : Coulage des gels entre les plaques

Préparation des échantillons

Pour chaque échantillon, à l'aide d'un scalpel et d'une pince, prélever 1 mg de poudre afin de préparer les gels de concentration et séparation et aussi le tampon (voir annexe).

Remarque :

Bien nettoyer les deux instruments entre les deux prélèvements pour éviter les contaminations.

-Transférer chaque prélèvement dans un tube Eppendorf de 1,5 mL

-Ajouter dans chaque tube, 200 μL de tampon d'échantillon, Composition du tampon : SDS, β mercaptoéthanol et bleu de Bromophénol

-Mélanger brièvement au Vortex, puis laisser les échantillons reposer pendant 5 minutes à température ambiante. -Vortex pendant 20 mn, puis on les met dans l'étuve 65 °c après la centrifugation a10000/3mn/3°c

-Chargement du gel : Le gel comporte en surface des puits matérialisés par des créneaux répartis sur la face supérieure du gel. Deux gels seront utilisés pour chaque groupe. Chaque binôme utilisera 3 puits consécutifs et réalisera 3 dépôts : -un dépôt de 5, 10, 15,20 μL d'échantillon.

Bien noter l'ordre des dépôts et le nom du binôme pour retrouver vos échantillons, Pour réaliser chaque dépôt, il faudra veiller à approcher le cône de pipette automatique, le plus près possible de l'ouverture du puits, sans descendre trop bas et à appuyer sur le piston très doucement pour délivrer les 10 μL .

Chargement du gel ; Le gel comporte en surface 15 puits matérialisés par des créneaux répartis sur la face supérieure du gel. Deux gels seront utilisés pour chaque groupe. Chaque binôme utilisera 4 puits consécutifs et réalisera 4 dépôts : un dépôt de 5, 10, 15, 20 μL d'échantillon. Bien noter l'ordre des dépôts pour retrouver vos échantillons, Pour réaliser chaque dépôt, il faudra veiller à approcher le cône de pipette automatique, le plus près possible de l'ouverture du puits.



Figure 35 : Le dépôt des échantillons

On met le bloc support ci dessus des plaques et remplit avec le tampon d'électrode.



Figure 36 : Le bloc support contenant le tampon d'électrode

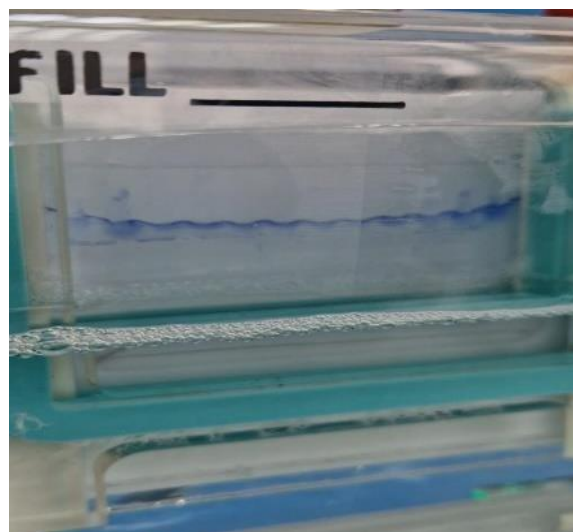
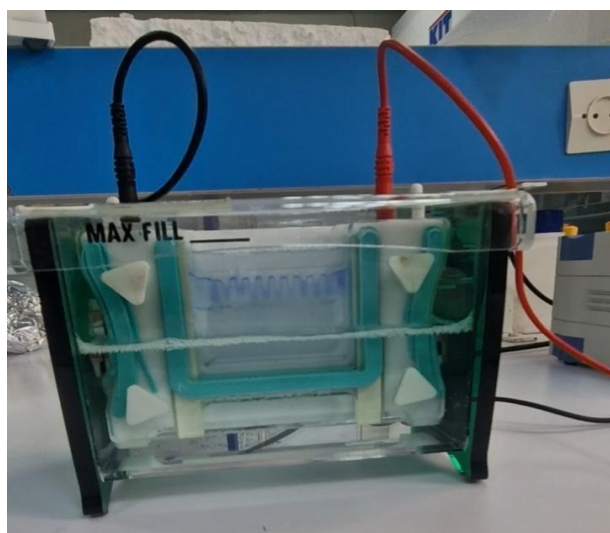


Figure 37 : Début de la migration à l'aide du générateur

Le générateur est programmé pour 1h et arrêtera automatiquement l'alimentation. Pour vérifier le bon fonctionnement de la migration ;

- Quelques instants après le lancement, il faut vérifier que de la buée apparaît sur le couvercle, ainsi que l'apparition de fines bulles dans la cuve, traduisant le bon fonctionnement du champ électrique.
- Régulièrement en cours de migration, vérifier visuellement le bon déplacement du front de bleu de méthylène au sein du gel.
- Après la fin de la migration, ouvrir le couvercle, sortir le bloc support contenant le gel d'électrophorèse.
- Récupérer le tampon présent dans le compartiment interne dans un

réceptient. Le tampon présent dans la cuve principale doit être récupéré aussi.

- Démontez les différentes fixations pour récupérer la cassette de gel.
- A ce stade, pour récupérer le gel, il faut séparer les deux plaques plastiques au sein desquelles il a été coulé. On utilisera une spatule inox pour faire levier entre les deux plaques. Attention : le gel est très fragile.
- Dès que les deux parties plastiques ont été séparées, plonger la face en plastique sur laquelle le gel est encore collé dans un bain d'eau distillée.
- Achever la séparation du gel sous l'eau, progressivement par mouvements d'oscillations.



Figure38 : Le gel final avant la coloration

2.3. Révélation des bandes de migration électrophorétique

À la fin de la migration, le gel est démoulé avec précaution puis soumis à une série d'étapes pour permettre la visualisation des bandes protéiques :

-**Fixation** : Le gel est immergé dans une solution d'acide trichloroacétique (TCA) à 12 % (p/v) pendant 45 minutes. Cette étape permet de précipiter et fixer les protéines dans le gel, évitant leur diffusion ultérieure.

- **Coloration** : Le gel est ensuite placé toute la nuit (24 heures) dans une solution de bleu de Coomassie à 1 % (p/v). Le colorant est dissous dans un mélange composé d'eau distillée, de méthanol et de TCA à 60 % (p/v). La coloration se fait sous agitation constante à l'aide d'un agitateur à plateau, afin d'assurer une distribution homogène du colorant

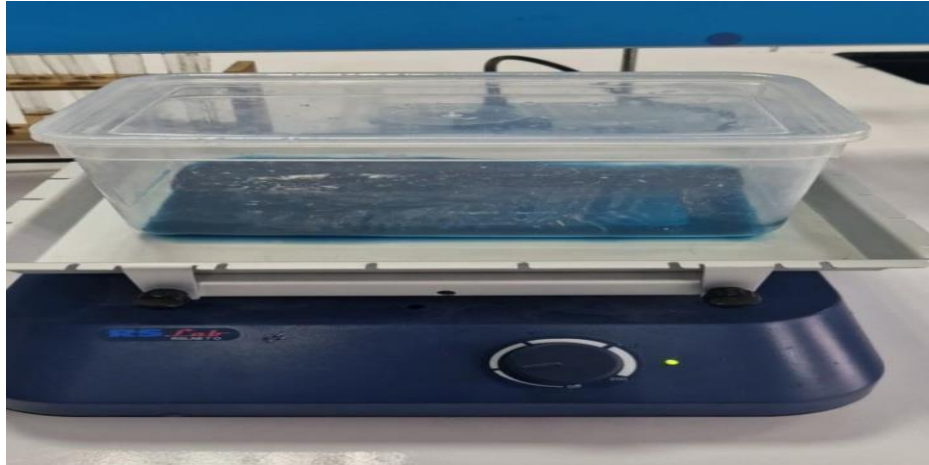


Figure39 : coloration du gel

La décoloration : elle est réalisée par immersion du gel dans l'eau pendant 2 jours pour éliminer tout traces de solution décoloration.



Figure 40 :la décoloration du gel

Tableau 5 : Représentation du gel réalisé avec les 12 puits et les dépôts en μl

Le nombre des puits												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	B1	B1	B1	B2	B2	B3	B4	B5	B1	C	C	O
Gel	20 μl	20 μl	20 μl	30 μl	20 μl	20 μl	20 μl	30 μl	20 μl	30 μl	20 μl	30 μl

*B1 : lait de bovin - B2 : lait de la laiterie Numidia Constantine - B3 : lait de laiterie Aures Batna –
B4 : lait de laiterie Athmanie kenchela - B5 : lait Candia- C : lait de caprin - O : lait d'ovin*

Après la décoloration à l'eau courante, les gels sont numérisés à l'aide d'un scanner afin de permettre leur lecture et réaliser l'analyse nécessaire permettant l'interprétation des résultats.

Troisième partie

Résultats et discussion

Troisième Partie : Résultats et discussion

I. Résultats

I.1. Analyse biochimique

Lecture du gel

L'électrophorèse en conditions dissociantes et dénaturantes, réalisée en présence de dodécyl sulfate de sodium (SDS) et de 2-mercaptoéthanol (PAGE-SDS), permet la séparation des protéines exclusivement en fonction de leur poids moléculaire.

Le SDS agit comme un détergent anionique, en solubilisant les protéines et en leur conférant une charge négative uniforme, ce qui annule l'influence de leur forme et de leur charge native sur la migration.

La figure présente le gel obtenu à partir des échantillons d'extraits de caséines, Celui-ci met en évidence la séparation des fractions protéiques selon leur poids moléculaire.

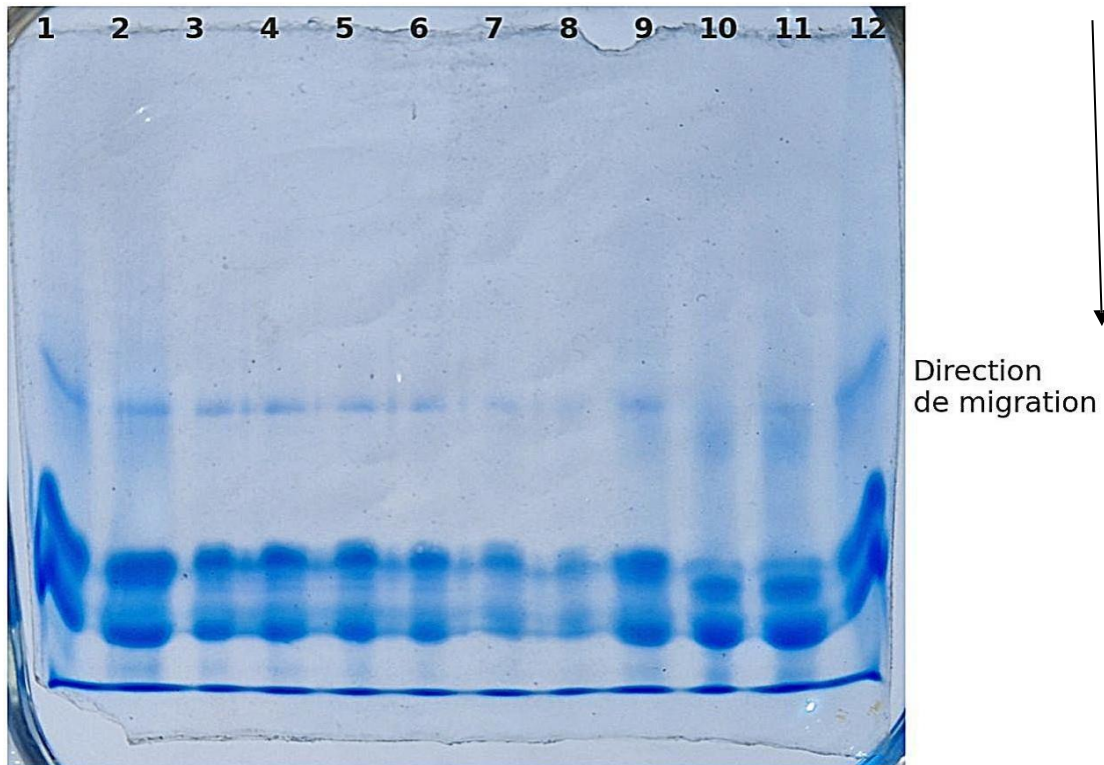


Figure 41 : Profils électrophorétiques des caséines du lait

(Dépôts de 20 μ l et 30 μ l) et Coloration au bleu de Coomassie G-250.

Bovin 1 : puit 1,2,3,9 - bovin 2 puit 4,5- Bovin 3, puit 6 - Bovin 4 : puit 7- Bovin 5 : puit 8- Caprin : puit 10, 11- Ovin : puit 12.

L'analyse électrophorétique des caséines des trois espèces de ruminants étudiées (caprins, ovins et bovins) a été réalisée au moyen d'un gel de polyacrylamide,

suivi d'une coloration au bleu de Coomassie G-250. L'examen initial du gel révèle une structure physiquement homogène, caractérisée par la présence de bandes protéiques distinctes, formées sous l'effet du champ électrique. Ces bandes, de différentes intensités et épaisseurs, reflètent la distribution des fractions des caséines au sein des échantillons.

L'intensité des profils électrophorétiques est directement proportionnelle à la quantité de protéines déposée. Afin d'optimiser cette quantité, deux volumes d'échantillons ont été testés : 20 μ l et 30 μ l. L'analyse comparative des résultats montre que l'application d'un volume de 20 μ l permet d'obtenir des bandes bien définies, offrant une résolution optimale pour l'interprétation génétique. Concernant le marqueur de poids moléculaire, une quantité de 20 μ l a été utilisée dans les puits dédiés, garantissant une séparation efficace des références protéiques.

I.2. Analyse génétique

Comparaison des profils protéiques

L'analyse SDS-PAGE réalisée sur 12 échantillons de laits d'origines différentes a révélé un profil protéique comparable, marqué par la présence d'une **bande en haut du gel**, correspondant à la **BSA (Bovine Serum Albumin)**, une protéine de haut poids moléculaire (~66 kDa). Cette bande, visible dans tous les puits, indique que la BSA est présente dans l'ensemble des types de lait étudiés, ce qui en fait un bon **point de référence** pour comparer les autres protéines migrantes.

L'examen des bandes électrophorétiques révèle des différences marquées entre les profils des caséines des trois espèces de ruminants étudiées. Sur le plan quantitatif, le lait bovin présente une concentration plus élevée, confirmant sa prédominance en matière de dépôt protéique.

Les puits contenant du lait de bovin (1, 2, 3, 9) semblent présenter des bandes plus intenses, ce qui confirme une plus grande concentration de caséines par rapport aux laits d'origine caprine et ovine.

L'analyse du gel électrophorétique indique une correspondance avec les données rapportées dans la littérature. Les quatre fractions principales des caséines— α S2, α S1, β et κ —sont identifiées dans les échantillons de lait provenant des bovins, caprins et ovins. Cependant, ces fractions se distinguent particulièrement dans le lait bovin, où

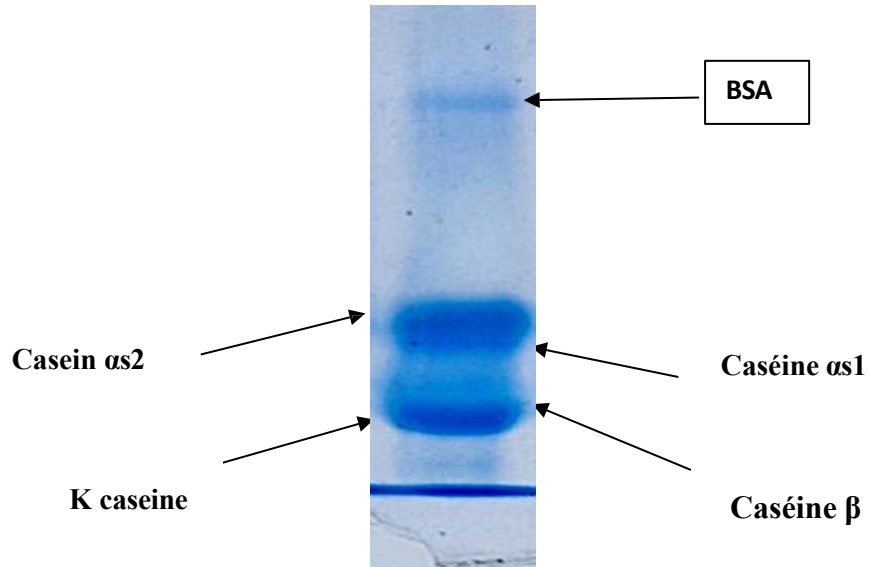


Figure 42 : Electrophorégramme des quatre fractions de caséines du lait de vache leur intensité et leur clarté permettent une identification plus aisée (Figure 41).

Les puits de lait de caprin (10, 11) et d'ovin (12) montrent des profils distincts, avec des différences dans la répartition des fractions α S1, α S2, β et κ des caséines. L'analyse électrophorétique des échantillons de lait caprin et ovin révèle la présence de trois fractions bien distinctes (Figure 43), avec une superposition notable des fractions α S2 et α S1. Cette observation indique une composition protéique cohérente entre ces deux types de lait.

La superposition des fractions α S1 et α S2 du caprin pourrait être le reflet d'un polymorphisme génétique au niveau du gène CSN1S1, influençant la production de caséine dans ces échantillons.

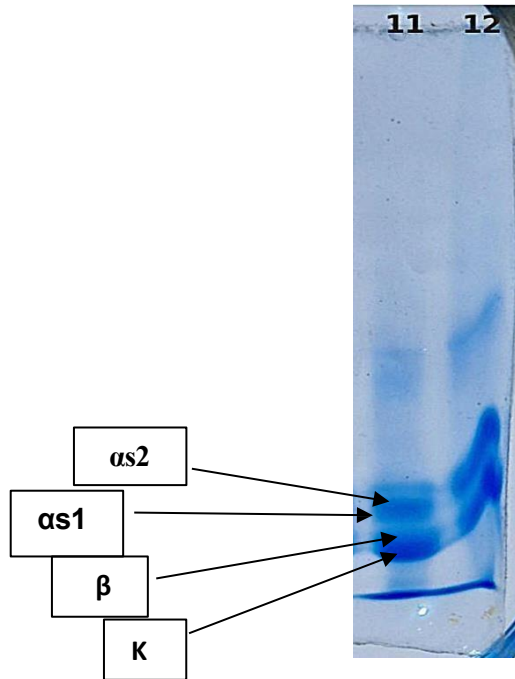


Figure 43 : profile d'électrophorèse du lait de caprin et l'ovin respectivement puit 11 et 12.

Dans notre analyse SDS-PAGE, les puits **3 à 7**, correspondant aux échantillons de lait provenant de différentes origines (B1 : bovin de Tébessa ; B2 : laiterie Numidia, Constantine ; B3 : laiterie Aurès ; B4 : laiterie d'Athmani, Khenchela), ont révélé **deux bandes distinctes au niveau de l' α 1-caséine**.

Cette observation suggère un **polymorphisme génétique au niveau du gène CSN1S1**, plus précisément une situation d'**hétérozygotie**, où les animaux porteraient **deux allèles différents** de l' α 1-caséine.

Pour confirmer l'origine génétique des observations, une analyse complémentaire par PCR ciblée sur le gène CSN1S1 pourrait être envisagée. Cela permettrait d'établir un lien direct entre les profils électrophorétiques et les variantes génétiques de la caséine α S1.

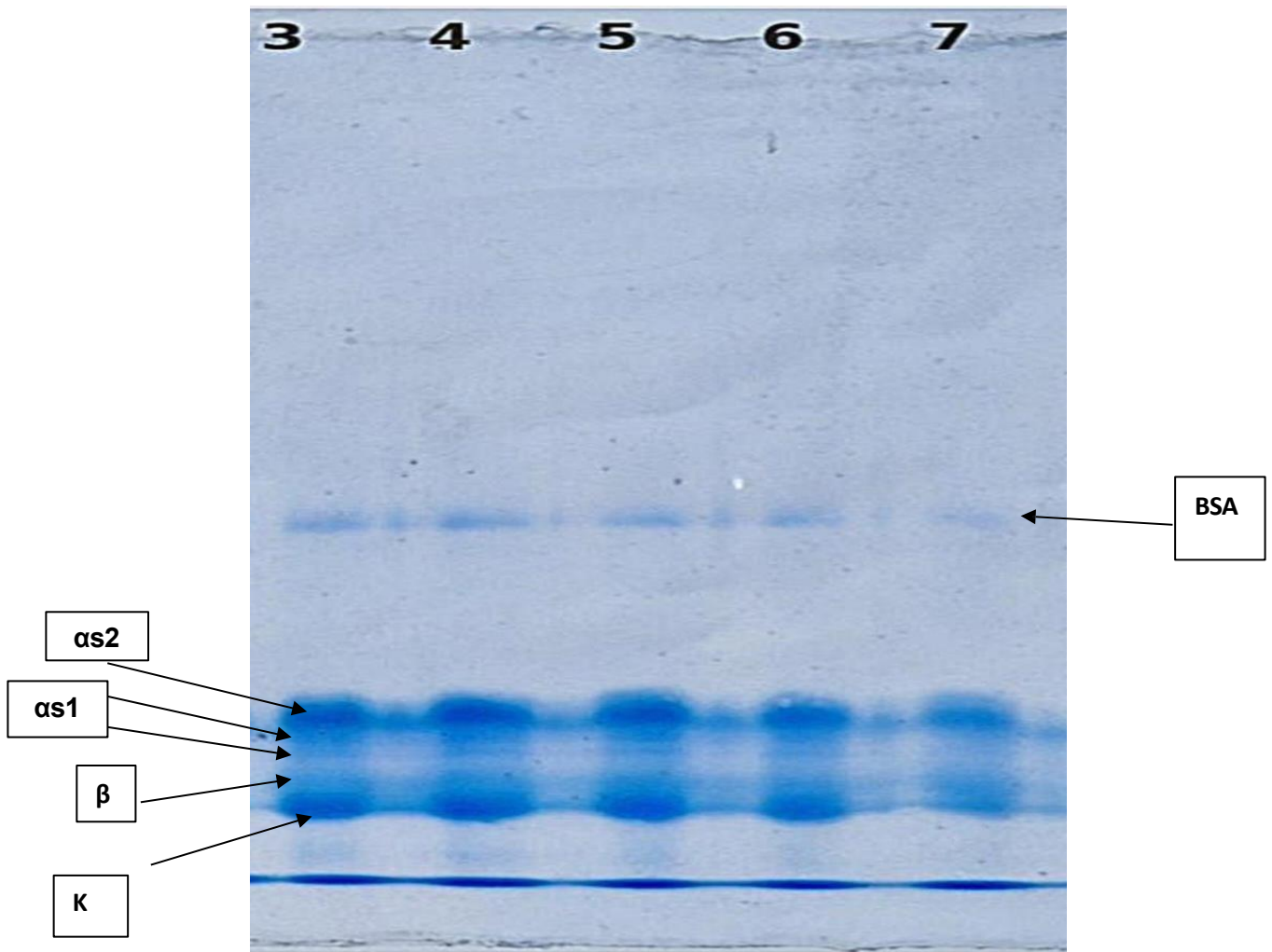


Figure 44 : profil d'électrophorèse (une image agrandie des puits de 3 jusqu'à 7)

Dans le puits 8 (Candia), on observe la présence de deux bandes, contenant, comme tous les autres puits, les fractions de caséines α S1, α S2, β et κ . Cependant, une particularité notable est que la densité de ces bandes est plus faible par rapport aux autres échantillons, ce qui suggère une concentration en caséines moins élevée.

Le lait industriel Candia (puits 8) pourrait présenter des variations dans la qualité et la proportion des protéines, potentiellement influencées par les traitements thermiques appliqués lors de sa production.

Les profils obtenus confirment que les caractéristiques biochimiques et génétiques des échantillons analysés correspondent aux données rapportées dans la littérature scientifique. La présence de la fraction κ caséine est clairement établie, ce qui souligne son rôle central dans les processus de coagulation du lait.

Selon les références bibliographiques, les paramètres technologiques de la coagulation—tels que la durée de coagulation, la résistance du caillé et la synérèse—sont principalement influencés par les variants génétiques de la caséine κ , mettant en évidence son impact déterminant sur les propriétés fonctionnelles du lait.

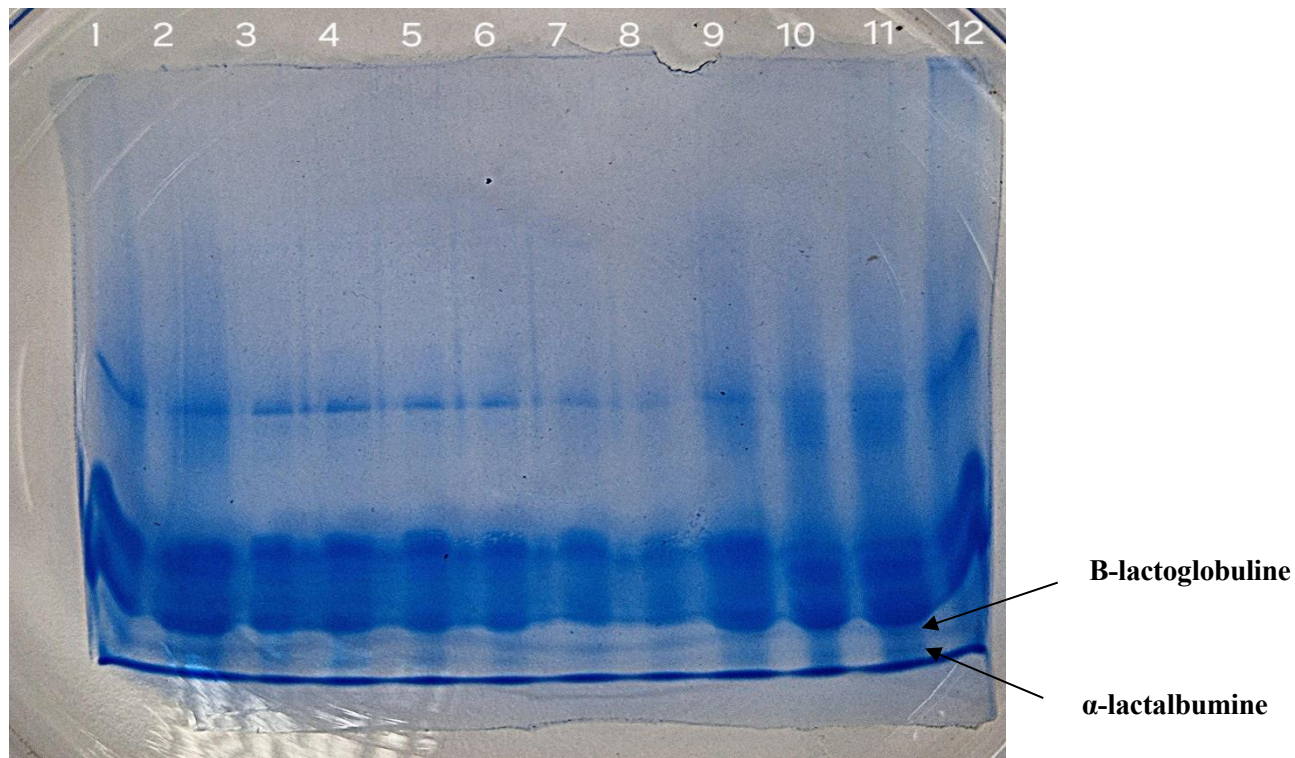


Figure 45 : Profil d'électrophorèse de laits (la couleur est plus dense)

L'analyse SDS-PAGE montre la présence de bandes communes dans tous les échantillons, situées dans la partie inférieure du gel, correspondant vraisemblablement aux protéines du lactosérum : l' α -lactalbumine (α -La) et la β -lactoglobuline (β -Lg). Ces deux protéines sont typiquement présentes dans tous les puits, ce qui confirme leur caractère constant et majoritaire dans la phase soluble du lait. Leur présence indique également que l'extraction protéique a été efficace et que les échantillons analysés contiennent bien les principales protéines du lactosérum, utiles pour des analyses comparatives ou de polymorphisme.

II. Discussion

L'analyse électrophorétique menée dans cette étude met en évidence l'impact du polymorphisme des caséines sur les aptitudes laitières et fromagères des différentes espèces de ruminants. Les résultats obtenus à partir des profils SDS-PAGE montrent

des variations marquées entre les types de lait analysés, particulièrement en ce qui concerne la caséine α S1.

1. Influence du polymorphisme des caséines

Les différences observées dans l'intensité des bandes au niveau des caséines α S1 et α S2 suggèrent une diversité génétique parmi les échantillons étudiés, notamment pour les laits issus de différentes laiteries. Cette variabilité est confirmée par la présence de deux bandes distinctes dans certains puits, indiquant une hétérozygotie au niveau du gène CSN1S1.

Les études antérieures, notamment celles de Azevedo *et al.* (2008) ont démontré que les variants B de CSN3 et CSN1S1 influencent positivement la coagulation du lait et augmentent le rendement fromager. En revanche, les variants A sont davantage associés à une meilleure production laitière.

2. Relation entre polymorphisme et aptitude technologique

Les résultats obtenus dans cette étude corroborent la littérature récente, notamment les travaux de Miluchová *et al.* (2018) et Caroli *et al.* (2009), qui mettent en évidence l'impact des variants du gène κ -caséine (CSN3) sur la fermeté du caillé et le rendement en fromage.

Lait industriel (Candia, puits 8) présente une densité de bandes plus faible, ce qui suggère une concentration réduite en caséines, probablement influencée par des traitements thermiques. Cette observation est en accord avec les travaux de Botaro *et al.* (2009) sur les effets du traitement du lait sur la composition protéique.

Le lait caprin est généralement moins riche en caséine α S1 comparé au lait bovin, ce qui peut affecter la texture du caillé et le rendement fromager (**Pierre *et al.*, 2020 ; Talach, 2013**).

La composition observée peut expliquer pourquoi le lait caprin donne des fromages plus tendres, avec une coagulation plus douce et une synérèse plus rapide (**Caravaca *et al.*, 2011**).

3. Perspectives et recommandations

L'étude expérimentale confirme que le polymorphisme génétique des caséines joue un rôle crucial dans la qualité du lait et son aptitude à la transformation fromagère. Une approche combinant analyses protéiques (SDS-PAGE) et génétiques (PCR) permettrait de mieux comprendre la sélection génétique pour améliorer la qualité technologique du lait.

Dans les prochaines recherches, une quantification précise des caséines par spectrométrie de masse, couplée à des analyses génétiques approfondies, pourrait permettre une meilleure caractérisation des variants génétiques et de leur impact sur la transformation du lait.

Cette étude met en évidence le lien étroit entre polymorphisme des caséines et aptitudes technologiques du lait, confirmant ainsi l'importance de la sélection génétique et de l'optimisation des procédés de transformation.

La présence de la fraction κ est démontrée. D'après la bibliographie les trois paramètres de la coagulation (paramètres technologiques), durée de coagulation, résistance du caillé et synérèse, sont essentiellement fonction des variants génétiques de la caséine κ .

Conclusion

La technique utilisée pour la caractérisation des caséines du lait collecté à partir des différents animaux de notre étude (deux caprins, 1 ovin et 1 bovin), en l'occurrence la SDS-PAGE a permis de montrer que ces laits présentent les mêmes composants protéiques nécessaires à une transformation technologique.

Les laits de chèvre et de brebis diffèrent du lait de vache de par leur composition. Mais il existe également des différences considérables entre lait de chèvre et lait de brebis. Ce qui les unit cependant, c'est qu'on peut les déguster tous deux sous forme liquide, mais également transformés en yogourt et en fromage, de plus en plus appréciés d'ailleurs. Le lait de brebis se distingue des deux autres par sa teneur particulièrement élevée en matière grasse et en protéines. Ce qui explique qu'il soit particulièrement riche en vitamines A et E, toutes deux liposolubles. Dernier atout du lait de brebis : une teneur en calcium remarquablement élevée. Ces trois laits ne présentent aucune différence significative de teneur en lactose.

C'est sur le plan des protéines que la composition des trois laits diffère notablement. Alors que la fraction protéique du lait de vache est composée de 80 pour cent de caséines et de 20% de protéines du lactosérum, les laits de chèvre et de brebis contiennent une part considérablement plus élevée de protéines du lactosérum, donc proportionnellement moins de caséines.

Notre travail a consisté à un balisage pour des travaux plus poussés afin de démontrer que le lait de notre cheptel, toutes espèces et races confondues, a toutes les potentialités pour une meilleure production et une transformation de qualité.

Références Bibliographiques :**A**

- **Aaku E, Sorsa T, Wilkstrom M.** 1990. Human immunoglobulin G potentiates superoxide production induced by chemotactic peptides and causes degranulation in isolated human neutrophils. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1052:243-247.
- **Alais C.** 1984. Science du lait. Édit : Sépac. Paris pp 593.
- **Alexander LJ, Stewart AF, Mackinlay AG, Kapelinskaya Tv, Tkach TM, Gorodetsky SI.** Isolation and characterization of the bovine κ -casein gene. *Eur J Biochem* 1988; 178: 395-401.
- **Anifantakis E.M.K et Aminarides S.E.,** 1987, Effet of various starters on quality pf kefalotyri cheese, le lait, 67, 527-536.
- **Azevedo ALS, Nascimento CS, Steinberg RS, Carvalho MRS, Peixo-to MGCD, Teodoro RL, Verneque RS, Guimarães SEF, Machado MA (2008)** Genetic polymorphism of the kappa-casein gene in Bra-zilian cattle. *Gen Mol Res* 7 : 623–630. <http://doi.org/10.4238/vol7-3gmr428>
- **Azevedo ALS, Nascimento CS, Steinberg RS, Carvalho MRS, Peixo-to MGCD, Teodoro RL, Verneque RS, Guimarães SEF, Machado MA (2008).** *Association of kappa-casein and beta-lactoglobulin genes with milk production traits in Gyr dairy cattle.*

B

- **Banon S, Hardy J.** 1991. Study of acide milk coagulation by an optical method using light reflection. *J. Dairy Res.*, 58: 75-84.
- **Beldjilali A, 2014.** Étude microbiologique et sanitaire du lait cru de brebis de la région ouest de l'Algérie. Université d'Oran 1.
- **Bencharif A, 2001.** Stratégies des acteurs des filières lait en Algérie : état des lieux et problématiques. In : les filières et marchés du lait et dernies en méditerranée. Options méditerranéennes, Série B 32/ 25-45.
- **Bendimerad N, Kihal M et Berthier F.** 2013. Isolation, identification, and technological characterization of wild leuconostocs and lactococci for traditional Raib type milk fermentation, *Dairy Sci. & Technol*, 92, 249–264.
- **Bey D, Laloui S.** Les teneurs en cuivre dans les piols et l'alimentation des chèvres dans la région d'El-Kantra (W. Biskra). Thèse Doc. Vét. Batna, 2005, p 60.
- **Blanc B,** 1982. Les protéines du lait à activité enzymatique et hormonale.
- **BORŞ, A., RUSU, O. R., BORŞ, I., ARITON, M. A., & FLORIŞTEAN, V.** (2024). PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF A2 MILK-A REVIEW. *Lucrari Stiintifice: Seria Medicina Veterinara*, 67(2).
- **Botaro, BG, De Lima YVR, Cortinhas CS, Silva LFPE, Rennó FP., Dos Santos MV (2009).** *Effect of kappa-casein and beta-lactoglobulin polymorphisms on milk composition in Brazilian Holstein cows.*
- **Botaro, BG, De Lima YVR, Cortinhas CS, Silva LFPE, Rennó FP., Dos Santos MV (2009).** Effect of the kappa-casein gene polymorphism, breed and seasonality on physicochemical characteristics, composition and stability of bovine milk. *R Bras Zootec* 38: 2447–2454. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009001200022>

- **Boubezari MH, 2010.** Contribution à l'étude des caractéristiques physicochimiques et mycologiques du lait chez quelques races bovines, ovines et caprines dans quelques élevages de la région de jijel. Université de Mantouri de constantine.
- **Bouguerra, A., Bensalem, A., & Toumi, M. (2024).** 'Caractérisation du lait de chèvre de race Alpine dans le Nord-Est algérien et valorisation fromagère'. *Revue des Sciences Vétérinaires et Agroalimentaires d'Algérie*, 15(1), 45–52.
- **Boutonnet J.P. 1989.** La spéculation ovine en Algérie. Série note et documente n° 90. INRA.
- **Boutonnier JL, 2008.** Matière grasse laitière Composition, organisation et propriétés.

C

- **Cayot P, Lorient D. 1998.** Structures et technofonctions des protéines du lait. Arilait. Recherche, Lavoisier, paris.
- **Caravaca, F., Ares, J. L., Carrizosa, J., Urrutia, B., Baena, F., Jordana, J., Badaoui, B., Sánchez, A., Angiolillo, A., Amills, M., & Serradilla, J. M. 2011.** Effects of α S1-casein (CSN1S1) and κ -casein (CSN3) genotypes on milk coagulation properties in Murciano-Granadina goats. *Journal of Dairy Research*, 78(1), 32-37.
- **Cheftel, J.C et Cheftel, H. 1979.** Introduction à la biochimie et la technologie des aliments (volume 1). Imprimerie Bayausaine. Édité : Lavoisier. 75008.Paris. pp326.
- **Cheftel J.C., Cuq J.L., & Lorient D. 1985.** Dénaturation des protéines. In protéines alimentaires ; Biochimie - propriétés fonctionnelles – valeurs nutritionnelles – modifications chimiques. Tech & Doc, Lavoisier, Paris, France, 35-43.
- **Chellig R, 1992.** Les races ovines algériennes, office des publications universitaires, alger, 180p.
- **Comin A., Cassandro M., Chessa S., Ojala M., Dal Zotto R., de Marchi M., Carnier P., Gallo L., Pagnacco G., Bittante G., 2008.** Effects of composite β - and κ -Casein genotypes on milk coagulation, quality, and yield traits in Italian Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 91, 4022–4027.

D

- **Debry G, 2001.** Lait, nutrition et santé.
- **Di Stasio DT, Merlin P., 1979.** A new κ -casein variant in cattle. Proc. XVth International Conference on Animal Blood Groups and biochemical polymorphism, Leningrad, 2.97-100.

E

- **Eddebbabarh A., 1989.** Systèmes extensifs d'élevage bovin laitier. Options Méditerranéennes, Série A, Séminaires Méditerranéennes n° 6, 123-133.
- **Eigle W.N., Ernstrom C.A., Farrell H.M., Harwalker V.R., Jenness R., & Whitney R. 1984.** Nomenclature of proteins of cow' milk: Fifth Revision. *J. Dairy Sci.*, 67:1599-1631.

F

- **F.A.O STAT, 2014.** FAO Statistical database, Disponible en : <http://apps.Fao.Org>, accès 12 novembre 2014.

- **Fantazi K. 2004.** Contribution à l'étude du polymorphisme génétique des caprins d'Algérie. Cas de la vallée d'Oued Righ (Touggourt). Thèse de Magister I.N.A. Alger, 2004,145p.
- **Farrell H.M, jimenez-Flores R, Bleck J.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. *J. Dairy Sci.*, 87:1641-1674.
- **Feliachi K. 2003.** Rapport National sur les Ressources Génétiques Animales : Algérie. Commission générale AnGR, Point focal algérien pour les ressources génétiques. Octobre 2003, 29-30p.
- **Fox P. F, rodkroub A, 2008.**The casein micelle: Historical aspects, current concepts and significance. *International Dairy Journal*, 18,677-684.

G

- **Gaiani C, 2006.** Etudes des mécanismes de réhydratation des poudres laitières. L'institut national polytechnique de Lorraine.
- **Ghazarossian F. 1996.** Etude de l'effet des hautes pressions sur la structure de la micelle de caséines bovines. Mémoire d'Ingénieur Ensba. Université de bourgogne.
- **Gillou H, Pelissier JP, Grappain R, 1976.** Méthodes de dosage du lait de vache. 66. P 143-175.
- **Goursaud J, 1985.** Composition et propriétés physico-chimiques. Dans *Laits et produits laitiers vache, brebis, chèvre*. Tome 1: Les laits de la mamelle à la laitière .
- **Gredaal, 2008.** Les ressources génétiques animales : les espèces d'ovicaprinae d'Algérie. Site www.gredaal.com.
- **Grosclaude F, 1988.** Le polymorphisme génétique des principales lactoprotéines bovines. Relation avec la quantité, la composition et les aptitudes fromagères du lait. *anim génétique biochimique*. 1 (1), 5-17.
- **Grosclaude F, Joudrier P, Mahé M-F, 1978.** Polymorphisme de la caséine α_2 bovine : étroite liaison du locus α_2 -Cn avec des loci α_1 -Cn, β -Cn et κ -Cn : mise en évidence d'une délétion dans le variant α_2 -Cn D. *Ann.Génét.Sél.anim.*, 10, 313-327.
- **Grosclaude F, Joudrier P, Mahe M-F, 1978.** Polymorphisme de la caséine α_2 bovine : étroite liaison du locus α_2 -Cn avec les loci α_1 -Cn, β -Cn et κ -Cn : mise en évidence d'une délétion dans le variant α_2 -Cn D. *Ann.Génét.Sét.anim*. 10, 313-327.
- **Grosclaude F.,1991.** Structure, déterminisme génétique etPolymorphisme des 6 lactoprotéines principales des bovins, des caprins et des ovins. Colloque Qualité des laits à la Production et aptitude fromagère INRA-ENSAR, Rennes 23-24/01/91
- **Groves M.L, Dower H.J,Farrell H.M. 1992.** Reexamination of the polymeric distributions of κ casein isolated from bovine milk. *J. Prot. Chem.* 11 :21-28.

H

- **Hannes J, 2008.** Détermination de la Kappa caséine. Race Brune.
- **Hoagland P.H., Unruh J.J., Wickham E.D., & Farrell H.M.Jr. 2001.** Secondary structure of bovine α_2 -casein: Theoretical and experimental approaches. *J. Dairy Sci.* 84: 1944-1949.

J

- **Jakob E. et Hänni J-P, 2004.** Fromageabilité du lait. Edition, Agroscope Liebefeld Posieux.
- **Jeanet R, Crouguennec T, Mahaut M, Schuck P et Brule G, 2008.** Les produits laitiers ,2ème édition.
- **Jolles J, Schoentgen F, Alais C, Fiat A.M, & Jolles P. 1972.** Studies on the primary structure of cow kappa-casein. Structural features of para-kappa-casein; N-terminal sequence of kappa-caseinoglycopeptide studied with a sequencer. *Helv. Chim. Acta.* 55:2872-83.

K

- **Kaouche S, 2015.** La filière laitière en Algérie. Etat des lieux et focus sur quelques contraintes de développement. Université Mohamed bougara , Algérie.
- **Khelify Y, 1997.** Les productions ovines et caprines dans les zones steppiques algériennes, *Cihem options méditerranéennes*, 245-246 p.
- **Kumosinski T.F, Brown E.M, Farrell H.M, 1993.** Three-dimensional molecular modeling of bovine caseins: an energy-minimized beta-casein structure. *J. Dairy Sci.* 76: 931- 45.

L

- **Larousse Agricole, 1981 :** édit : Larousse. Pp 1208.
- **Lenoir J. 1985.** les caséines du lait. *Rev lait franç* , 440 : 17-23
- **Luquet F.M, 1985.** Les produits laitiers, transformation et technologie. Édit : Lavoisier. Paris. pp 633.
- **Luquet F. M, 1985.** Laits et produits laitiers - Vache, brebis, chèvre. Tome 1 : Les laits De la mamelle à la laiterie. Tech. & Doc., Coll. STAA, Lavoisier, Paris.

M

- **M.A.D.R, 2014.** Rapports annuels des statistiques agricoles du Ministère de l'Agriculture et du développement Rural, Alger
- **Madani T, 2000.** L'élevage caprin dans le Nord Est de l'Algérie. Gruner L et Chabert Y (Ed). INRA et Institut de l'Elevage Pub, Tours. Actes de la 7 ème Conférence Internationale sur les Caprins, Tours (France) 15-21/05/2000, 351-353.
- **Mariani P, Leoni M, 1985.** Il tempo di coagulation de latte in rapporto alle varianti genetiche delle caseine β et κ . *Annaltpac. Med. Vet. Univ. Parma*, S, 185-195.
- **Mathieu J, 1998.** Initiation à la physicochimie du lait. Guides Technologiques des IAA.
- **Mercier J.C, Grosclaude F, Ribadeau-Dumas B, 1971.** Structure primaire de la caséine α_{s1} bovine. Séquence complète. *Eur. J. Biochem.* 23:41-51.
- **Meyer C, Denis J.P, 1999.** Elevage de la vache laitière en zone tropicale. Edition Quae.
- **Miluchová, M., Gábor, M., Candrák, J., Trakovická, A., & Candráková, K. 2018.** Association of HindIII-polymorphism in kappa-casein gene with milk, fat and protein yield in Holstein cattle. *Acta Biochimica Polonica*, 65(3), 403–407. https://doi.org/10.18388/abp.2017_2313
- **Mokhtari S, 1992.** Essai de caractérisation de la collecte et de la transformation du lait à travers l'unité O.R.E.L.A.C. de Bir-Khadem (thèse ING. Agro. INA. El-Harrach).
- **Moulin C, 1980.** La chèvre Rove. Thèse de doctorat vétérinaire, Université

Claude Bernard, Lyon, 75 p.

- **Mourad M, 1986.** Contribution à la connaissance des populations caprines dans les systèmes sylvo- pastoraux méditerranéens. Thèse de docteur ingénieur, Université d'Orsay, France, 157p.

N

- **Nadjaoui D, 2001.** FAO Country pasture / Forage resource Profiles: Algeria <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/Counprof/Algeria.htm>.

P

- **Park Y.W, Juarez M, Ramosc Met Haenlein G.F.W., 2007.** Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk, *Small Rumin. Res*, 68 : 88-113.
- **Pepper L, Farrell H.M, 1982.** Interactions leading to formation of casein submicelles. *J. Dairy Sci.*, 65 : 2259-2266.
- **Piacere, Elsen JM, 1992.** Aptitude fromagère du lait et polymorphisme des protéines : perspectives d'utilisation en sélection. Station amélioration génétique des animaux.
- **Piacère, A., & Elsen, J.-M. (2004).** Aptitude fromagère du lait et polymorphisme des protéines : perspectives d'utilisation en sélection. *Productions Animales*. <https://productions-animales.org/article/download/4274/12804/31052>
- **Pierre, A., Le Quéré, J.-L., Famelart, M.-H., Riaublanc, A., & Rousseau, F. 2020.** Composition, yield, texture and aroma compounds of goat cheeses as related to the A and O variants of α S1 casein in milk. *HAL Open Science*.
- **Pougheon S, Goursaud J, 2001.** Les laits caractéristiques physicochimiques. In DEBRY G., *Lait, nutrition et santé*.

R

- **Remeuf F., Cossin V., Dervin C., Lenoir J., & Tamassone R. 1991.** Relation entre les caractères physico-chimiques des laits et leur aptitude fromagère. *Lait*, 71:397-421.
- **Ribadeau-Dumas B, Grappin R. 1989.** Milk protein Analysis. *Lait*, 69 :357-416.
- **Ricordeau G, Mahe M-F, Persuy M-A, Leroux C, François V, Amigues Y, 1999.** Fréquence allélique des caséines chez les chèvres des Pyrénées. Cas particulier de la caséine β nulle. *Anim Genetic resources* infr .12(1), 29-38.
- **Rubino R, Morand-Fehr P, Renieri C, Peraza C et Sarti F.M., 1999.** Typical products of the small ruminant sector and the factors affecting their quality, *Small Rumin. Res*, 34: 289–302.

S

- **Saad M, 2002.** Analyse des systèmes d'élevage et des caractéristiques Phénotypiques des ovins exploités en milieu steppique. *Mém. Ing. Agr. CUZA. Djelfa*. 78p.
- **Stoll W, 2003.** Vaches laitières : l'alimentation influence la composition du lait.
- **Swaisgood H.E. 1992.** Chemistry of the caseins. In *Advanced Dairy Chemistry-I: Proteins*. P.F.Fox, ed. Elsevier Applied Science, New York, NY. 63-110.

T

- **Talach, A, 2013.** Determination of relation between α S1 casein concentration and coagulation properties of goat milk. Swedish University of Agricultural Sciences.
- **Thapon M, 2005.** Lait pathogènes staphylocoques.

V

- **Veisseyre R, 1979.** Technologie du lait constitution, récolte, traitement et transformation du lait. 3^{ème} édition. Edition la maison rustique, Paris
- **Vignola C, 2002.** Science et Technologie du Lait Transformation du Lait.
- **Vreeman H.J., Brinkhuis J.A., & van der Spek C.A. 1981.** Some association properties of bovine SH-kappa-casein. Biophys. Chem. 14 :185-93.

W

- **Wade T., Beattie J.K., Rowlands W.N., & Augustin M.A. 1996.** Electroacoustic determination of size and zeta potential of casein micelles in skim milk. J. Dairy Sci., 63: 387-404.
- **Walstra P. 1990.** On the stability of the casein micelles. J. Dairy Sci., 73 :1965-1979.
- **Wolter R ,1988.** Alimentation de la vache laitière. 3^{ème} édition. Editions France Agricole. Paris

Annexe (Protocole)

Electrophorèse en présence de SDS et de 2-mercaptoéthanol (SDS-PAGE)

Solutions

Solution d'acrylamide (A) :

- Acrylamide.....36 g
- Bisacrylamide..... 1g
- Eau distillée..... 100 ml

Tampon de gel de séparation (S) :

- Tris 18,15 g
- Eau distillée..... 100 ml

Ajuster à pH 8,8 avec HCl 4N

Tampon de gel de concentration (C)

- Tris 6g
- Eau distillée..... 100 ml

Ajuster à pH 6,8 avec du HCl 4N

Tampon d'électrode

- Tris 1,2 g
- Glycine.....5,76 g
- SDS 0,2 g
- Eau distillée.....200 µl

Ajuster à pH 8,3 avec du Tris

Tampon d'échantillon

- Solution (C).....500 µl
- Eau distillée.....250 µl
- SDS (10%)..... 250 µl-
- 2-mercaptoéthanol50 µl

- Dissoudre 1 mg de protéines lyophilisées dans 800 µl de ce tampon chauffage à 100°C pendant 4 à 5 mn puis refroidir dans un bain d'eau froide.

- Ajouter 200 µl d'une solution de Glycérol 50% (V/V) et quelques grains de bleu de bromophénol.

Solution de fixation

- TCA 12g
- Eau distillée (qsp) 100 ml

Solution de coloration

- Bleu de coomassie R250.....0,5 g
- TCA4 g
- Méthanol 100 ml
- Eau distillée..... 100 ml

Solution de décoloration

- Acide acétique.....37,5 ml
- Eau distillée.....312,5 ml
- Méthanol 150 ml

Solution de persulfate d'ammonium (APS)

- Persulfate d'ammonium 0,1 g
- Eau distillée (qsp) 1 ml

Electrophorèse

Préparation du gel de séparation T = 17% et 2,7%

- Solution (A) 4,6 ml
- Solution (S)..... 2,51 ml
- Eau distillée.....2,73 ml

Dégazer le mélange pendant 2 mn maximum

- SDS (10%)..... 100 µl
- TEMED.....13 µl
- Persulfate d'ammonium 10%.....75 µl

Couler à environ 1,5 cm du sommet de la plaque

Préparation du gel de concentration : T = 4,8% et C = 2,7%

- Solution (A) 1,3 ml
- Solution (C).....2,5 ml
- Eau distillée.....5,8 ml

Dégazer le mélange quelques secondes

- SDS 10%.....100 µl
- TEMED.....20 µl
- APS ; Persulfate d'Ammonium à 10% 10µl

Couler immédiatement sur le gel de séparation puis introduire le peigne

Dépôt d'échantillon : 10 à 20 µl

Mise sous tension : 20 mA, 25 V

Fixation : 45 mn dans la solution de fixation

Coloration : 1 heure dans la solution de coloration

Décoloration : A l'eau de robinet.

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche de caractérisation génétique et technologique du lait à travers l'étude du polymorphisme des caséines dans différents types de laits de ruminants. L'objectif principal est d'identifier les profils caséiques présents dans le lait cru de bovins, ovins et caprins collecté dans la wilaya de Tébessa, ainsi que dans plusieurs **laits industriels** issus de laiteries algériennes (Numidia – Constantine, Aoures – Batna, Athmani – Khenchela, et Candia).

L'analyse a été réalisée au Laboratoire de la Faculté SNV de Khenchela (El Hamma) en utilisant la méthode électrophorétique SDS-PAGE, permettant la séparation et l'identification des principales fractions de caséines ($\alpha 1$, $\alpha 2$, β et κ). Les résultats ont révélé que les quatre fractions de caséines sont présentes dans tous les types de lait étudiés, confirmant ainsi leur potentiel fromager. Toutefois, une densité caséique globalement plus faible a été observée dans les laits industriels, en comparaison avec les laits crus. Un polymorphisme de la caséine $\alpha 1$ a également été détecté, notamment dans le lait cru bovin et certains laits industriels, témoignant de la diversité génétique des produits laitiers disponibles sur le marché.

En conclusion, cette étude met en évidence que tous les laits analysés possèdent les composants nécessaires à la fabrication du fromage, bien que le lait cru conserve une richesse protéique supérieure, favorable à la transformation fromagère. Ces résultats soutiennent l'intérêt d'une meilleure valorisation du lait cru local et d'une prise en compte du polymorphisme des caséines dans les stratégies d'amélioration technologique.

Mots clés : Polymorphisme, caséines ($\alpha 1$, $\alpha 2$, β et κ), laits, Bovin, Ovin, Caprin, Tébessa, khenchela, Batna, Constantine, SDS-PAGE, fromage.

Abstract

This thesis aims to genetically and technologically characterize milk by studying the casein polymorphism in various types of ruminant milk. The main objective is to identify casein profiles in raw milk from bovine, ovine, and caprine species collected in the Tébessa region, as well as in several industrial milks from Algerian dairies (Numidia – Constantine, Aoures – Batna, Athmani – Khenchela, and the Candia brand). The analysis was carried out at the Laboratory of the SNV Faculty of Khenchela (El Hamma) using the SDS-PAGE electrophoresis method, which allowed the separation and identification of the main casein fractions (α_1 , α_2 , β , and κ). The results showed that all four casein types were present in all milk samples, confirming their suitability for cheese production. However, a lower casein density was observed in industrial milks compared to raw milks. A polymorphism of the α_1 -casein was also identified, particularly in raw bovine milk and some industrial samples, highlighting the genetic variability of available dairy products. In conclusion, the study demonstrates that all milk types tested contain the essential components for cheese-making, with raw milk offering a higher protein richness, making it more favorable for cheese production. These findings support the need to better valorize local raw milk and to consider casein polymorphism in dairy technology strategies.

Keywords: Polymorphism, casein (α_1 , α_2 , β et κ), milk, bovine, ovine, caprine, Tébessa, khenchela, Batna, Constantine, SDS-PAGE, fromage.

ملخص

تهدف هذه الأطروحة إلى توصيف الحليب وراثيا وتقنيا من خلال دراسة تعدد أشكال الكازين في أنواع مختلفة من حليب المجترات. الهدف الرئيسي هو تحديد ملامح الكازين في الحليب الخام من أنواع الأبقار والأغنام والماعز التي تم جمعها من ولاية تبسة، وكذلك العديد من أنواع الحليب الصناعي من مصانع الألبان الجزائرية (نوميديا-قسنطينة، أوراس - باتنة، عثمانى - خنشلة، وماركة كانديا). تم إجراء التحليل في مختبر كلية البيولوجيا باستخدام طريقة الرحلان الكهربائي SDS-PAGE والتي سمحت بفصل و تحديد كسور الكازين الرئيسية (β , α_2 , α_1 , κ) أظهرت النتائج أن جميع أنواع الكازين الأربعة كانت موجودة في جميع عينات الحليب، مما يؤكد ملاءمتها لإنتاج الجبن. ومع ذلك، لوحظت كثافة أقل من الكازين في الحليب الصناعي مقارنة بالحليب الخام. كما تم تحديد تعدد أشكال α_1 لاسيما في حليب الأبقار الخام وبعض العينات الصناعية، مما يسלט الضوء على التباين الجيني لمنتجات الألبان المتاحة. في الختام، توضح الدراسة أن جميع أنواع الحليب التي تم اختبارها تحتوي على المكونات الأساسية لصنع الجبن، حيث يوفر الحليب الخام ثراء أعلى من البروتين، مما يجعله أكثر ملاءمة لإنتاج الجبن. تدعم هذه النتائج الحاجة إلى تحسين تقييم الحليب الخام المحلي والنظر في تعدد أشكال الكازين في استراتيجيات تكنولوجيا الألبان.

الكلمات المفتاحية: تعدد الأشكال، الكازين (κ و β و α_2 و α_1)، الحليب، الماشية، الأغنام، الماعز، تبسة، خنشلة، باتنة، قسنطينة، SDS-PAGE، الجبن.