

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique & Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE DJILLALI LIABES. SIDI BEL-ABBES
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE & DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour L'obtention Du Diplôme de MASTER en Biologie

Domaine : Sciences de la Nature & de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie de la Nutrition

Thème

**Evaluation des constituants principaux et des
caractéristiques physico-chimiques des laits de
diverses espèces animales**

Présenté par : M^{elle} Benhassaini Meroua

Soutenu le : 11. 07. 2021

Devant le jury d'évaluation composé de :

Président :

Mr ML. BENINE

Maître de Conférences "A" (Faculté S.N.V, Université de Sidi Bel-Abbès)

Examineur :

Mr Z. HAZEM

Maître de Conférences "B" (Faculté S.N.V, Université de Sidi Bel-Abbès)

Rapporteur :

Mr M. MISSOURI

Maître de Conférences "A" (Faculté S.N.V, Université de Sidi Bel-Abbès)

DEDICACE

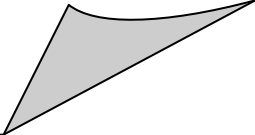
Mon travail est dédié à mon encadreur Mr M .Missouri qui a su guider mes pas dans l'immense océan du savoir.

A mes parents qui m'ont tenu la main et soufferts en silence.

A mes sœurs qui m'ont donné le gout de ne pas flancher.

A mes amis qui étaient toujours présents dans les moments de désespoirs.

A tous mes enseignants qui m'ont prodigué tant de savoir.



REMERCIEMENTS

Le travail qui a fait l'objet de ce mémoire, a été réalisé au sein du laboratoire de l'établissement Giplait Tessala de Sidi Bel-Abbès.

Mes vifs remerciements vont :

A Mr M.MISSOURI Maître de conférences A, qui m'a fait l'honneur de guider et orienter judicieusement ce travail. Je tenais à le remercier pour ses précieux conseils et son aide efficace dans la réalisation de ce travail.

Au Maître de conférences A, Mr ML. BENINE, qui m'a fait le grand honneur de bien vouloir présider ce jury.

A Mr Z. HAZEM Maître de conférences B, qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude, en acceptant de faire partie du jury.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur OUELD BEL-ABBES qui d'une part, ma accueillie, affectée au service et qui a mis à ma disposition tout le matériel nécessaire et d'autre part, pour sa précieuse collaboration et son attention.

J'adresse également mes vifs remerciements à tout le personnel pour leur contribution dans la réalisation de ce travail.

Je remercie enfin tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire dans les meilleures conditions.

ملخص

يهدف هذا العمل الى إجراء دراسة مقارنة للجوانب الرئيسية التركيبية والفيزيوكيميائية لثلاثة أنواع من الحليب (حليب البقر، الماعز والأغنام)، مع مقارنتها فيما يتعلق بالمعايير المطلوبة من خلال إظهار أفضل جودة بين هاته الحليب الثلاثة. تتم ممارسة الحليب بطريقة ميكانيكية ويتم إجراؤها في الصباح قبل مغادرة القطيع. تم وضع الحليب في قارورات زجاجية معقمة، تمت إعادة تعبئتها مباشرة بعد أخذ عينات بحجم 400 مل، ثم وضعها في مبرد مزود بتلج مجروش، ونقله إلى مخبر التحليل. تم تنفيذ او معايرة بعض المتغيرات الفيزيوكيميائية في نفس يوم أخذ العينة. من ناحية أخرى، تم اجراء او معايرة بعض المتغيرات الرئيسية التركيبية على الحليب المجمد. يتم التعبير عن النتائج بالمعدل او المتوسط \pm الخطأ المعياري (م \pm خ م). يتم مقارنة المعدلات التي تم الحصول عليها مع بعضها البعض باستخدام اختبار "t" ستودانت.

كانت نتائجنا على النحو التالي:

- يوجد فارق بالغ جدا لنسبة المستخلص الجاف الكلي الموجود عند الاغنام مقارنة بالأبقار. توجد ايضا نسب بالغة للمستخلص الجاف الكلي عند الاغنام مقارنة بالماعز.
- ان نسبة المادة الدهنية او الدسمة (الضعف) التي يتم الحصول عليها في حليب الاغنام بالغة جدا مقارنة بحليب الابقار. نسجل أيضا وجود فارق طفيف بالغ لنسبة المادة الدسمة او الدهنية في حليب الماعز مقارنة بحليب الاغنام.
- بالنسبة للمتغيرات الفيزيوكيميائية، نسجل فارق بالغ جدا للحموضة المعايرة عند الاغنام مقارنة بالأبقار. نفس الشيء يلاحظ عند الاغنام مقارنة بالماعز. لوحظت نتائج مماثلة للكثافة ودرجة الحموضة. من جهة اخرى وفيما يخص عامل درجة الحرارة، نسجل وجود فارق طفيف بالغ عند الابقار والاعنام مقارنة بالماعز.
- في الختام، إن حليب الأغنام هو الأغنى جدا بالدهون والمستخلص الجاف الكلي وعلى وجه الخصوص، محتوى البروتين والكالسيوم. بعد تحليل بعض المتغيرات الفيزيوكيميائية، لوحظ أن حليب الأغنام ذو جودة أفضل، وهو ما أكدته اختبار التذوق. تنتج العديد من أنواع الحيوانات الحليب الذي يستهلكه الإنسان. لم تحظ التركيبة الغذائية للحليب الواردة من أنواع الحيوانات الحلوبة الثانوية، أي الحيوانات بخلاف الأبقار، حتى الآن باهتمام كبير من الباحثين. هذا أمر مؤسف لأن بعض الحيوانات مثل الماعز والأغنام غير مستغلة. بمعنى آخر، يمكن أن يساعد إنتاج الحليب من هذه الأنواع الثانوية في تحسين الأمن الغذائي والصحة والتغذية للسكان، مع توليد الدخل.

كلمات المفتاح: الحليب؛ الحيوانات؛ المستخلص الجاف الكلي؛ المادة الدسمة؛ الصفات الفيزيوكيميائية.

SUMMARY

The aim of this work is to make a comparative study of the main constitutional and physicochemical aspects of three types of milk (cow's milk, goat's milk and sheep's milk), while comparing it with respect to the standards required by making appear the best quality between these three milks. The milking practiced is mechanical and carried out in the morning before the herd leaves. The milk was placed in sterile glass flasks, recapped immediately after sampling of 400 ml, and then placed in a cooler fitted with crushed ice, taken to the laboratory for analysis. Some physicochemical parameters are carried out on the same day as the sample is taken. On the other hand, some main constitutional parameters were carried out on frozen milk. The results are expressed as the mean \pm standard error ($\bar{X} \pm S.E$). The means obtained are compared with each other using Student's "t" test.

Our results were as follows:

- There is a highly significant difference in the total dry extract content found in ewes compared to cows. Significant total dry extract contents are found in sheep's milk compared to goat's.
- The fat content (double) obtained in sheep's milk is very significant compared to cow's milk. We also note a slightly significant decrease in the fat content found in goat's milk compared to sheep's milk.
- As for the physico-chemical parameters, we note a very significant difference in titratable acidity in ewes compared to cows. It is the same with the sheep in relation to the goat. Similar findings were noted for density and pH. In addition and concerning the temperature factor, we note a slightly significant difference found respectively in the cow and the ewe compared to the goat.

In conclusion, sheep's milk is the richest in fat and in TSE in particular, the protein rate and calcium. After analyzing some physicochemical parameters, he found that the sheep's milk was of better quality, which was confirmed by the taste test. Many animal species produce milk, which is consumed by humans. The nutritional composition of milk from minor dairy species, that is, animals other than cows, has so far received little attention from researchers. This is unfortunate because some animals such as goats and sheep are underutilized. In other words, the production of milk from these minor species could help improve the **food security, health** and **nutrition** of populations, while generating income.

Key words: Milk; Animals; Total dry extract; Fat; Physico-chemical characteristics.

RESUME

Le but de ce travail est de faire une étude comparative des principaux aspects constitutionnels et physico- chimiques de trois types de lait (lait de vache, chèvre et brebis), tout en comparant celle-ci par rapport aux normes requises en faisant paraître la meilleure qualité entre ces trois laits. La traite pratiquée est mécanique et effectuée le matin avant la sortie du troupeau. Le lait a été mis dans des flacons stériles en verre, rebouchés immédiatement après prélèvement de 400 ml, puis sont placés dans une glacière munie de la glace pilée, acheminée au laboratoire afin de les analyser. Quelques paramètres physico-chimiques sont effectués le jour même du prélèvement. En revanche, quelques principaux paramètres constitutionnels ont été réalisés sur du lait congelé. Les résultats sont exprimés par la moyenne \pm erreur standard ($\bar{X} \pm S.E$). Les moyennes obtenues sont comparées entre elles à l'aide du test "t" de Student.

Nos résultats ont été les suivants :

- Il existe une différence hautement significative de la teneur en extrait sec total retrouvée chez la brebis par rapport à la vache. Des teneurs significatives en extrait sec total sont trouvées dans le lait de brebis par rapport à la chèvre.
- La teneur en matière grasse (double) obtenue dans le lait de brebis est très significative comparée au lait de vache. Nous notons aussi une diminution légèrement significative de la teneur en matière grasse retrouvée dans le lait de chèvre par rapport au lait de brebis.
- Quant aux paramètres physico-chimiques, nous notons une différence très significative de l'acidité titrable chez la brebis par rapport à la vache. Il en est de même de la brebis par rapport à la chèvre. Des constatations semblables ont été notées pour la densité et le pH. Par ailleurs et concernant le facteur température, nous constatons une différence légèrement significative retrouvée respectivement chez la vache et la brebis par rapport à la chèvre.

En conclusion, le lait de brebis est le plus riche en matière grasse et en EST en particulier, le taux protéique et le calcium. Après analyse de quelques paramètres physico-chimiques, il a été constaté que le lait de brebis est de meilleure qualité, ce qui a été confirmé par le test de dégustation. De nombreuses espèces animales produisent du lait qui est consommé par l'homme. La composition nutritionnelle du lait provenant d'espèces laitières mineures c'est-à-dire des animaux autres que la vache, n'a bénéficié jusqu'à présent que de peu d'attention de la part des chercheurs. C'est regrettable car certains animaux tels que la chèvre et la brebis sont sous utilisés. En d'autres termes, la production de lait issu de ces espèces mineures pourrait contribuer à améliorer la **sécurité alimentaire**, la **santé** et la **nutrition** des populations, tout en générant des revenus.

Mots clés : Lait ; Animaux ; Extrait sec total ; Matière grasse ; Caractéristiques physico-chimiques.

ABREVIATIONS

FAO	: Food and Agriculture organization of the united nations.
INRA	: Institut National de la Recherche Agronomique.
AFNOR	: Agence Française de la normalisation.
KDa	: Kilodalton.
CMP	: Caséino-macropéptide.
SA	: Sérum albumine.
SAB	: Sérum albumine bovin.
β -Lg	: β -Lactoglobuline.
α -La	: l' α -Lactalbumine.
Ig	: Immunoglobulines.
IgG	: Immunoglobulines de classe G.
IgA	: Immunoglobulines de classe A.
IgM	: Immunoglobulines de classe M.
IgD	: Immunoglobulines de classe D.
IgE	: Immunoglobulines de classe E.
Asp	: Aspartate.
Gly	: Glycine.
Ala	: Alanine.
Cys	: Cystéine.
VIH	: Virus l'immunodéficience humaine.
APLV	: Allergie aux protéines du lait de vache.
IPLV	: Intolérance aux protéines du lait de vache.
HA	: Formules hypoallergéniques.
ITS	: Immunothérapie spécifique.
CUD	: Coefficient d'utilisation digestif.
AG	: Acide gras.
MG	: Matière grasse.
EST	: Extrait sec total.
Zn	: Zinc.

Mn	: Manganèse.
Fe	: Fer.
Hb	: Hémoglobine.
D°	: Degré Dornic.
C°	: Degré Celsius.
mg/l	: Milligramme/litre.
g/l	: Gramme/litre.
KJ/l	: Kilojoule par litre
Kcal/l	: Kilocalorie par litre
mg	: Milligramme.
ml	: Millilitre.
Å	: Ångström.
Na ⁺	: Sodium.
K ⁺	: Potassium.
Cl ⁻	: Chlore.
Ca ⁺⁺	: Calcium.
\bar{x}	: Moyenne.
U/I	: Unité Internationale.
J	: Jour.
H	: Heure.
Kg	: Kilogramme.

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

1. Liste des tableaux :

Pages

1. Composition moyenne du lait (g/l) selon les espèces animales.....	5
2. Caractéristiques physico-chimiques des laits de diverses espèces animales.....	7
3. Composition du lait de vache, chèvre et brebis.....	9
4. Composition lipidiques du lait	11
5. Teneurs en minéraux et en oligo-éléments des laits de diverses espèces animales.....	14
6. Teneurs en vitamines des laits de diverses espèces animales.....	16
7. Composition moyenne des protéines du lait de vache et du lait de diverses espèces animales.....	17
8. Principales caractéristiques des protéines du lait de vache.....	20
9. La composition chimique de trois différents types de lait.....	39
10. Quelques constituants principaux des laits de diverses espèces animales (g/litre).....	46
11. Quelques caractéristiques physico-chimiques des laits de diverses espèces animales.....	46

2. Liste des figures :

1. Composition de la matière grasse du lait	11
2. Représentation des différentes couches de triglycérides.....	12
3. Micelles de caséine vues au microscope électronique.....	23
4. Micelles et sous-micelles de caséines du lait de vache.....	23
5. Structure tertiaire de la β -lactoglobuline (β -Lg) du lait de vache établie avec une résolution de 1,8 Å.....	28
6. Liaison disulfure entre la β -lactoglobuline (β -Lg) et la micelle de caséine du lait de vache.....	28
7. Classification des mécanismes des réactions adverses liées à l'ingestion d'un aliment.....	33
8. Centrifugeuse (Funke Gerber) à usages multiples pour le lait.....	41
9. Détermination de la matière grasse par le butyromètre.....	41
10. Détermination de l'acidité du lait.....	43
11. Mesure de la densité du lait par lactodensimétrie.....	43

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION GENERALE	1
RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES	3
A. Le lait en nutrition humaine.....	3
1. Historique.....	3
2. Définition du lait	4
3. Composition des laits des mammifères.....	4
4. Caractéristiques physico-chimiques des laits des mammifères.....	6
5. Constituants des laits des mammifères.....	8
5.1. Eau et matière sèche.....	8
5.2. Les glucides.....	8
5.3. Les lipides.....	10
5.3.1. Les triglycérides.....	10
5.3.2. Les phospholipides.....	10
5.3.3. Les acides gras.....	10
5.4. Les minéraux et les oligo-éléments.....	13
5.5. Les vitamines.....	13
5.6. Les protéines.....	15
5.6.1. Répartition des protéines dans le lait.....	15
5.6.2. Localisation des protéines dans le lait.....	18
5.6.3. Structures des protéines du lait.....	19
5.6.3.1. Caséines	19

5.6.3.1.1. Caséine α s1.....	22
5.6.3.1.2. Caséine α s2.....	22
5.6.3.1.3. Caséine β	24
5.6.3.1.4. Caséine γ	24
5.6.3.1.5 Caséine κ	24
5.6.3.2 Protéines soluble du lactosérum.....	25
5.6.3.2.1. β -Lactoglobuline (β -Lg).....	26
5.6.3.2.2. α -Lactalbumine (α -La).....	29
5.6.3.2.3. Sérum albumine (SA).....	29
5.6.3.2.4. Immunoglobulines du lait	30
5.6.3.2.5. Lysozyme du lait	31
5.6.3.2.6. Enzymes du lait.....	31
6. Autres composés du lait.....	31
6.1. Azote non protéique.....	31
6.2. Acides aminés libres.....	32
7. Composés nocifs du lait.....	32
B. Risques alimentaires des protéines laitières.....	32
1. Allergie aux protéines des laits de mammifères.....	32
1.1. Epidémiologie.....	34
1.1.1. Différentes hypersensibilités.....	34
1.1.2. Les allergènes du lait des mammifères.....	35
1.2. Traitement et prévention de l'APLV.....	35
2. Intolérance aux protéines des laits de mammifères.....	36
C. Les bienfaits santé des laits de mammifères.....	37
1. Importance du lait en nutrition.....	37
2. Valeur nutritionnelle du lait.....	38
MATERIELS & METHODES	40
1. Origine du lait utilisé.....	40
2. Prélèvement	40
3. Méthodes d'analyses.....	40

3.1. Mesure des principaux paramètres constitutionnels.....	40
3.2. Mesure des paramètres physicochimiques.....	40
4. Analyses statistiques.....	42
RESULTATS	44
1. Paramètres principaux constitutionnels des laits de diverses espèces animales.....	44
2. Paramètres physico-chimiques des laits de diverses espèces animales.....	44
DISCUSSION	47
1. Paramètres principaux constitutionnels des différents laits.....	47
1.1.Détermination de la teneur en extrait sec total.....	47
1.2.Détermination de la teneur en matière grasse.....	47
2. Paramètres physico-chimiques des différents laits.....	47
2.1. Détermination de l'acidité titrable.....	47
2.2. Détermination de la densité.....	47
2.3. Détermination du pH.....	48
CONCLUSION GENERALE	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	51

INTRODUCTION GENERALE

Les animaux principalement utilisés pour la production alimentaire de lait sont essentiellement la vache, la brebis, la chèvre, la chamelle, la bufflonne (et d'autres camélidés) et marginalement, la jument, l'ânesse, le yak, le renne et l'élan.

Aujourd'hui, la consommation du lait des mammifères domestiques par de nombreuses populations est fréquente quel que soit l'âge : on utilise selon les pays le lait de vache, de brebis, de chèvre, de chamelle, de jument, du Yak, du dromadaire, de la bufflonne, du Renne, etc. ...

Le lait sert d'aliment de base sous diverses formes pour les populations de pasteurs et c'est un aliment traditionnellement présent au menu des repas des populations occidentales, d'Afrique du Nord, du Proche-Orient, d'Asie centrale et d'Inde et de plus en plus dans le monde entier, souvent sous forme de fromage, de yaourt, de boissons lactées, de crèmes glacées ou de beurre. Il n'est pas seulement utilisé pour des raisons nutritionnelles strictes mais aussi pour varier les repas.

Les laits produits par les différentes espèces de mammifères présentent des caractéristiques communes et contiennent presque les mêmes catégories de composants : eau, protéines, lactose, matières grasses (lipides) et matières minérales. Toutefois, les proportions spécifiques de ces composants varient largement d'une espèce à une autre. Le contrôle de la qualité du lait est une nécessité fondamentale. Le non-respect des règles d'hygiène peut altérer gravement la qualité du lait (Vilain, 2010).

Par ailleurs, la composition des constituants protéiques, lipidiques et minéraux peut être très différente selon l'espèce considérée. Ces particularités se différencient vraisemblablement au cours du développement et témoignent de l'aptitude de chaque espèce à couvrir ses besoins nutritionnels en phase de croissance.

Chez l'humain, la croissance du nourrisson est plus lente que celle des autres mammifères, ceci est probablement dû à la composition du lait qui est plus riche en protéines et en minéraux (en calcium notamment) chez ces dernières. Ces laits ont par ailleurs moins de lactose et des concentrations assez variables en matières grasses.

Des travaux sur la composition des différents laits d'animaux ont montré une variation considérable des composés d'une espèce à une autre, mais aussi à l'intérieur d'une même espèce, voire à l'intérieur des types ou des races d'espèces identiques. Cette variabilité peut dépendre de la nutrition, du stade de lactation, de l'âge, de l'époque de l'année et du débit lacté (Derby, 2001).

Si de nombreux travaux sur les différents aspects des laits de diverses espèces animales sont disponibles dans d'autres pays, en revanche, très peu ou pas de travaux sont colligés quant aux aspects suscités en Algérie.

C'est donc pour cette raison que dans ce travail, nous nous sommes proposé de faire une étude comparative des principaux aspects constitutionnels et physico- chimiques de trois types de lait à savoir : le lait de vache, de chèvre et de brebis. A travers les résultats obtenus nous nous prononcerons sur la meilleure qualité de ces trois laits comparés aux normes requises.

RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

A. Le lait en nutrition humaine

1. Historique

Le lait est symbole de fertilité, richesse et abondance. Le lait des animaux a été utilisé dans l'alimentation humaine dès leur domestication. Les animaux ont été élevés en d'abord pour leurs viandes, leurs laines et leurs peaux, mais les élever pour leurs laits s'est avéré être une méthode efficace de transformation des pâturages incultes en nourriture. Les premières traces d'élevage laitier remontent à 10 000 ans au Moyen-Orient.

Durant l'antiquité, les grecs et les romains prisait le lait de brebis et de chèvre. Les gaulois possédaient des troupeaux de vaches. La race bovine est devenue la principale productrice de lait. Cependant, le lait, privilège des paysans, restait un produit rare et onéreux dans les villes, car il ne se conservait pas plus d'une journée.

Au XXème siècle, le développement de la prophylaxie et la sélection de plus en plus scientifique des espèces ont apporté des progrès considérables dans le rendement laitier (Vilain, 2010).

Le terme de « lait », sans aucune indication de l'espèce, indique le lait de vache ; il est le produit intégral de la traite complète et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée ; Il doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir du colostrum. Tout lait issu d'une femelle laitière autre que la vache doit être désigné par la dénomination « lait », suivie de l'indication de l'espèce animale dont il provient : lait de chèvre, lait de brebis, etc... (Hoden & Coulon, 1991).

Le lait et les produits laitiers occupent une place prépondérante dans l'alimentation humaine. Le lait de vache est de tous le plus connu et les données qui le caractérisent sont sans doute les plus exactes. Il est logiquement aussi le produit laitier ; très largement consommé et étudié dans la nutrition humaine. A titre d'exemple, la production laitière mondiale est estimée par la FAO à 537 millions de tonnes pour l'année 1990, dont 88,8% proviennent du lait de vache, 7,7% de celui de bufflonne, 1,9% de celui de chèvre et 1,7% de celui de brebis. La France est le deuxième producteur européen de lait de vache avec 22 milliards de litres de lait collectés. En 2007, le cheptel laitier français était de 3 800 000 vaches, la consommation française de lait liquide est de 60l/habitant par an (Vilain, 2010).

En Algérie, la production laitière ne permet pas l'autosuffisance, car l'accroissement du cheptel arrive à peine à suivre l'évolution de la population. Le lait représente environ 20% des importations alimentaires totales du pays.

L'Algérie représente ainsi le deuxième pays importateur de lait et produits dérivés, après le Mexique. Une élévation de la croissance des importations laitières estimée à 57% en moyenne par an a été enregistrée entre 1996 et 2004. Pour toutes ces raisons, l'Algérie a besoin de la moindre ressource en lait, en l'occurrence celle de la chèvre, de la brebis et de la chamelle particulièrement adaptée aux rudes conditions agro-climatiques du Sahara (Siboukeur, A & Siboukeur, O, 2012).

2. Définition du lait

Le lait est un liquide de couleur blanche, opaque, très nutritif, légèrement sucré, de densité supérieure à celle de l'eau, constituant un aliment complet et équilibré, sécrété par les glandes mammaires des mammifères femelles. Le lait sécrété dans les premiers jours après la parturition s'appelle le colostrum (Dillon, 2010).

Quelle que soit l'espèce, la fonction première du lait est de nourrir la progéniture jusqu'au sevrage, c'est à dire capable de digérer d'autres aliments. Selon les espèces, la lactation persiste plus ou moins longtemps ; pour les vaches, la période de lactation dure dix mois. Elle est entretenue par la tétée du veau ou la traite. Selon les races, elle peut atteindre à certaines périodes plus de 30 litres par jour. Dans la plupart des civilisations humaines, le lait des animaux domestiques (vache, brebis, chèvre, jument, yak, chamelle, dromadaire, bufflonne, renne) est consommé régulièrement, mais l'industrialisation concerne principalement le lait de vache, et à plus petite échelle, le lait de brebis et de chèvre (Vilain, 2010).

3. Composition des laits de mammifères

Seule la production laitière de quelques espèces de mammifères présente un intérêt immédiat en nutrition humaine, même si le lait d'autres espèces animales possède des qualités nutritives supérieures. Le lait de chaque espèce de mammifères est spécifiquement pour les besoins du nourrisson ; sa composition varie considérablement d'une espèce à l'autre, également au sein d'une même espèce, voire au sein des types ou des races d'espèces identiques pour s'adapter aux besoins.

Cette variabilité peut dépendre du stade de lactation, de la nutrition, de l'état sanitaire, de l'âge, de la saison et du débit lacté (tableau 1) (Massol, 1998 ; Vilain, 2010).

Il est reconnu que les laits sécrétés par les différentes espèces de mammifères présentent des caractéristiques communes et contiennent les mêmes catégories de composants : eau, matières grasses (lipides), protéines, glucides (lactose) et matières minérales.

Cependant, les proportions respectives de ces composants varient largement entre les espèces en raison de leurs propriétés physiologiques digestives, métaboliques et nutritionnelles très

Tableau 1 : Composition moyenne du lait (g/l) selon les espèces animales (Alain, 2010).

	Extra it sec total	Ea u	Lipi des	Protéines			Glucide s (lactose)	Matière s minéral es
				Total es	Caséin e	Album ine		
Lait maternel	100- 175	90 5	35	12-14	10-12	4-6	65-70	3
Vache	128,0 0	90 0	35- 40	30-35	27-30	3-4	45-50	8-10
chèvre	134,0 0	90 0	40- 45	32-34	30-35	6-8	40-45	8-10
Brebis	183,0 0	86 0	70- 75	57- 57,2	45-50	8-10	45-50	10-12
Jument	109,0 0	92 5	10- 15	20-22	10-12	7-10	60-65	3-5
Bufflon ne	166,0 0	85 0	70- 75	45-50	35-40	8-10	45-50	8-10
Ânesse	-	92 5	10- 15	20-22	10-12	9-10	60-65	4-5
Renne	-	67 5	160 -200	100- 105	80-85	18-20	25-50	15-20

- : signifie que les données font défaut ou sont sujettes à caution.

*: compilation de diverses sources.

différentes (Alais, 1984 ; Luquet, 1985 ; Belitz & Grosh, 1987 ; Massol, 1998 ; Lebeuf et *al.*, 2002 ; Vilain, 2010).

4. Caractéristiques physico-chimiques des laits de mammifères

Le lait est un système complexe constitué d'émulsions de graisses, de suspensions de protéines caséineuses, de protéines solubles, de lactose, de sels organiques et inorganiques, de vitamines et de traces de divers éléments (Derby, 2001).

Les principales caractéristiques physico-chimiques du lait de quelques espèces animales sont représentées dans le (tableau 2) (FAO, 1990 ; Chilliard & Bocquier, 1993 ; Pougheon & Goursaud, 2001; Carole, 2002) ; elles proviennent de diverses compilations.

Le lait comporte trois phases distinctes en équilibre instable :

- Une phase aqueuse : le lactosérum contenant en solution les sucres principalement le lactose, les protéines solubles, les composés azotés, les vitamines hydrosolubles et certains sels minéraux.

Ce lactosérum est une solution vraie, neutre qui contient en fait du lactose et du sodium. Ces deux éléments différents ainsi que d'autres minéraux « potassium et chlore » présentent la caractéristique commune d'être osmotiquement actifs.

Par conséquent ; leur niveau de sécrétion par la mamelle détermine donc l'écoulement de l'eau des cellules vers la lumière des acini sécrétoires, ce que signifie le niveau de production laitière (Lupien, 1995).

- Une phase colloïdale : c'est un mélange constitué d'une phase dispersée solide non solubilisée, présente sous forme de très fines particules solides dans une phase dispersante liquide (S/L) ; contenant les protéines en particulier, les caséines et les sels minéraux non solubilisés « phosphore et calcium ».
- Une phase lipidique : qui consiste en un mélange d'une phase dispersée liquide non solubilisée présente sous forme de très fines gouttelettes, dans une phase dispersante liquide ; contenant les globules gras et les vitamines liposolubles en émulsion dans la phase aqueuse (Remana, 2013).

Le lait a des caractéristiques liées à sa nature biologique, à savoir : variabilité, complexité, hétérogénéité et altérabilité.

Le tableau 2 montre qu'il existe une similitude entre les laits de vache et de bufflonne. La densité du lait de brebis (1,039) ainsi que celle des races de chèvre à lait gras (1,035) est supérieure que celle du lait de vache (1,033). De même, la viscosité du lait de brebis est élevée. L'apport énergétique est en moyenne de 1100 kcal/l pour le lait de brebis et inférieur pour celui de vache (705 kcal/l) ; cela dépend principalement de la teneur en matières grasses.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des laits de diverses espèces animales*

(FAO, 1990 ; Chilliard & Bocquier, 1993 ; Carole, 2002).

Constantes	Vache	Bufflonne	Chamelle	Chèvre	Brebis
Energie (kcal/l)	705	755 - 1425	800	600-750	1100
Densité du lait entier à 20°C	1,028 - 1,033	1,029 - 1,033	1,025 - 1,038	1,027 - 1,035	1,034 - 1,039
Point de congélation (°C)	-0,520 - - 0,550	-0,544	-0,580	-0,550- 0,583	0,570
pH-20°C	6,60 - 6,80	6,66 - 6,82	6,20 - 6,82	6,45 - 6,60	6,50 - 6,85
Acidité titrable (°Dornic)	15 - 17	14 - 18	-	14 - 18	22 - 25
Tension superficielle du lait entier à 15°C (dynes cm)	5	48,7	-	52	45 - 49
Conductivité électrique à 25°C (siemens)	45.10 ⁻⁴	66,2.10 ⁻⁴	-	43-56×10 ⁻⁴	38,10 ⁻⁴
Indice de réfraction	1,45 - 1,46	-	-	1,35 - 1,46	1,33 - 1,40
Viscosité du lait entier à 20°C (Centipoisies)	2,0 - 2,2	-	-	1,8 - 1,9	2,86 - 3,93

- : signifie que les données font défaut ou sont sujettes à caution.

*: compilation de diverses sources.

Le pH est proche de la neutralité : 6,50 à 6,85 pour le lait de brebis et 6,60 à 6,80 pour le lait de vache (Hoden & Coulon, 1991).

5. Constituants des laits de mammifères

Les laits sécrétés par les différentes espèces de mammifères présentent des caractéristiques communes et contiennent les mêmes catégories de composants (Pougheon & Goursaud, 2001) :

- 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.

Cependant, les proportions respectives de ces composants varient largement d'une espèce à l'autre (tableau 3).

5.1. Eau et matière sèche

Le principal constituant du lait de vache est l'eau avec 900 g/l soit une forte proportion de (87,2%) tandis que la matière sèche ne représente que 128 g/l.

L'eau représente environ 860 g/l du volume de lait de brebis soit une proportion de (82%), le reste constitue l'extrait sec qui représente 183 g/l (Fricker & Poussier, 1999 ; Chouraqui et *al.*, 2008 ; Vilain, 2010).

En revanche, Le lait de chèvre est constitué de (87,5%) d'eau, ce pendant que la teneur moyenne en matière sèche représente 130 g/l (Amiot, 2002).

5.2. Les glucides

Le lait contient des glucides essentiellement représentés par le lactose, son constituant le plus abondant après l'eau (Mathieu, 1998). Sa molécule est constituée d'un résidu galactose lié à un résidu glucose. Le lait de vache renferme une teneur très stable de 45 g/l de glucides y compris le lactose (97%) et les oligosaccharides (3%), ainsi 45 g/l dans le lait de brebis, tandis qu'une teneur moyenne en lactose d'un lait normal de chèvre est d'environ 50 g/l (Ftlq, 2002). Les oligosaccharides (quasiment absent des laits de vache et de brebis) sont plus de 130 et constituent de véritables prébiotiques ; ils jouent un rôle dans l'écosystème bactérien colique et protègent contre les infections digestives et extradiigestives. On constate aussi une teneur similaire en lactose dans les laits des espèces considérées à l'exception de celui de jument.

Tableau 3 : Composition du lait de vache, chèvre et brebis (Massol, 1998 ; Favier et *al.*, 1995).

Constituants	Lait de vache	Lait de chèvre	Lait de brebis
Protéines (g)	3,4	3,4	6
Lipides (g)	3 à 4,5	3,8	7
Glucides (g)	4,7	4,4	5
Eau (g)	87	87,5	83
AG saturés /AG non saturés	75 % / 75 %	2,5	4,6
AG mono insaturés/polyinsaturés (g)	-	0,9/0,1	1,7/0,3
Cholestérol (mg)	-	11	27
Sodium (mg)	50-60	45	44
Phosphore (mg)	90	103	-
Calcium (mg)	120	120	193
Magnésium (mg)	12	14	18
Potassium (mg)	-	185	137
Chlore (mg)	110	-	-
Vitamine A (UI)	45	-	147
Vitamine D (UI/ mg)	25	0,06	-
Vitamine E (mg)	0,1	0,03	-
Vitamine C (mg)	10	2	4,2
Vitamine B6 (mg)	-	-	0,1
Vitamine B12 (µg)	-	-	0,7

Les constituants font du lait un aliment complexe comportant plusieurs phases distinctes en équilibre instable.

5.3. Les lipides

La matière grasse de lait se compose principalement de triglycérides, phospholipides, et une fraction insaponifiable constituée en grande partie de cholestérol et de β -carotène (figure 1) (Ftlq et *al.*, 2002).

Le tableau 4 indique les proportions des différents constituants de la fraction lipidique du lait (Grappin & Pochet, 1999).

Le lait de brebis est beaucoup plus riche en lipides (71 g/l) que le lait de vache ; il contient environ deux fois plus de ce que contient le lait de vache (35 g/l). La matière grasse du lait de brebis est toutefois riche en acides gras à courte et à moyenne chaîne, mais moins d'acides gras à chaîne longue que le lait de vache, ce qui en fait plus facile à digérer. De même, dans le lait de brebis, les globules gras sont de dimension plus réduite que dans le lait de vache. La composition en acides gras partage des caractéristiques communes dans les laits de vache et de brebis.

Le lait de chèvre est pauvre en carotène et donc, moins coloré par rapport aux autres laits, il est plus riche en acides gras à 10 atomes de carbone et présente un pourcentage plus élevé de petits globules gras que le lait de vache, il ne contient pas d'agglutinines et présente une activité lipasique plus faible que le lait de vache (Chilliard, 1996).

5.3.1 Les triglycérides

Les triglycérides, qui ont un point de fusion bas, sont au centre du globule et les triglycérides solides, à plus haut point de fusion, se superposent aux précédents. Les triglycérides représentent près de 98% de la matière grasse présente dans le lait (Chilliard, 1996).

5.3.2 Les phospholipides

Les phospholipides représentent moins de 1% de la matière grasse, sont plutôt riches en acides gras insaturés. Le lait de vache est pauvre en acides gras essentiels (acide linoléique et acide linolénique), sa teneur en phospholipides est de 0,2-1,0% (Courtet, 2010). Pondéralement, les teneurs en cholestérol et en phospholipides, des lipides du lait de chèvre, sont faibles, respectivement de 0.3-0.6% et de 1% (Chilliard, 1996).

5.3.3. Les acides gras

Le lait de chèvre est légèrement plus riche en acides gras à chaîne moyenne (C6, acide caproïque, C8, acide caprylique, C10, acide caprique) que le lait de vache. Ce dernier est, en revanche, un peu plus riche en acides butyrique (C4), et oléique (C : 18) (Chilliard, 1996).

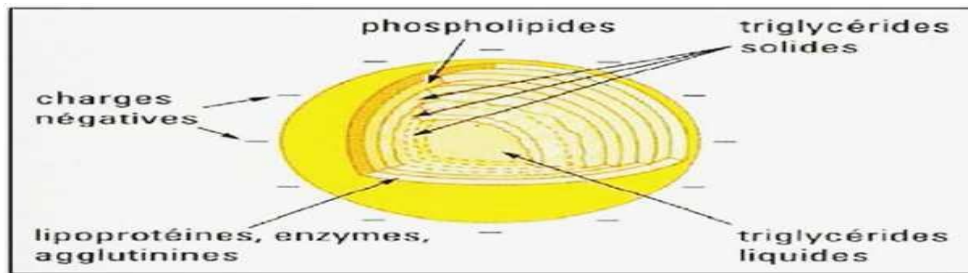


Figure 1 : Composition de la matière grasse du lait (Bylund, 1995).

Tableau 4 : Composition lipidiques du lait (Grappin & Pochet, 1999).

Constituants	Proportions de lipides du lait (%)
Triglycérides	98
Phospholipides	01
Fraction insaponifiable	01

Les matières grasses du lait ont la forme de petits globules sphérique qui sont invisible à l'œil nu. La dimension des globules de matières grasses est d'environ 0,1 à 20 μm ($1 \mu\text{m}=0,001 \text{ mm}$).

La matière grasse du lait de vache représente à elle seule la moitié de l'apport énergétique du lait. Elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés (Jeantet et *al.*, 2008). La figure 2 montre que chaque globule formé de différentes couches de triglycérides.

Il convient de noter que la dimension des globules de matières grasses varie selon l'espèce (les globules sont plus petits dans le lait de chèvre) dimension de globules diminue vers la fin de lactation). Le diamètre moyen des globules étant de 3 à 4 μm , on estime qu'il y a environ de trois à quatre milliards de globules de gras par millilitre de lait entier. Les globules gras dans le lait sont en émulsion de type «huile dans l'eau».

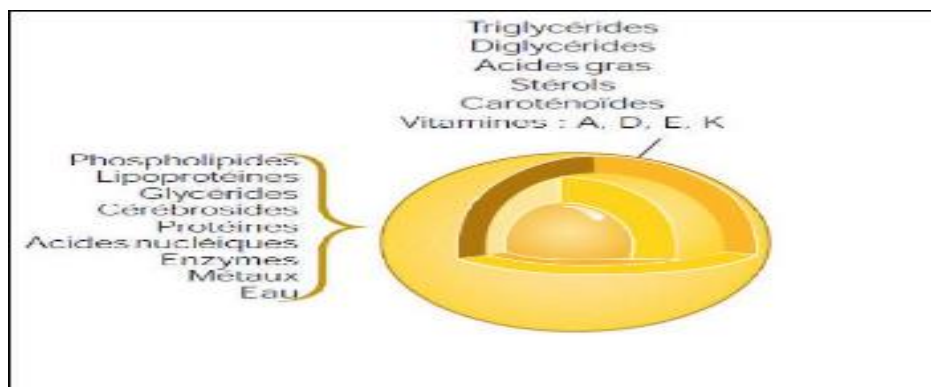


Figure 2 : Représentation des différentes couches de triglycérides

(Chilliard, 1996).

5.4. Les minéraux et les oligo-éléments

Le tableau 5 regroupe les données relatives aux teneurs en minéraux et en oligoélément des laits de diverses espèces animales.

Dans un ensemble de données relativement homogènes, on peut distinguer une teneur élevée en calcium et en phosphore du lait de brebis par rapport au lait de vache (2 mg/l et 1,18 mg/l) ; il en est de même pour les deux oligo-éléments notamment le cuivre (0,3-1,76 mg/l) et le manganèse (0,08-0,36 mg/l) (Brown et *al.*, 1998).

A cela, le lait de vache contient également du magnésium, du sodium et de nombreux oligo-éléments (Zn, Mn, Fe) qui sont des cofacteurs pour les enzymes (Lupien, 1995 ; Amiot, 2002).

Le lait de chèvre semble être plus riche en Calcium, Magnésium, Potassium et Chlore que le lait de vache mais moins riche en Sodium et Phosphore (Jeannes, 1980 ; Sawaya et *al.*, 1989).

Toutefois, les deux oligo-éléments particulièrement et successivement le cuivre (0,40 mg/l ; 0,10 -0,40 mg/l) et le zinc (3,20 mg/l ; 3-6 mg/l) présents dans le lait de chèvre et de lait de vache sont presque identiques.

5.5. Les vitamines

Selon Vignola (2002), les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent en tant que cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires. L'organisme humain n'est pas capable de les synthétiser. On différencie d'une part les vitamines hydrosolubles (vitamine groupe B et vitamine C) en quantité constantes, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K) (Jeantet et *al.*, 2008).

Le lait et les produits laitiers fournissent principalement des vitamines de groupes B, vitamine A et la vitamine D.

Le lait de vache est riche en vitamines liposolubles (A, D, E, K) et hydrosolubles (niacine ou vitamine PP, B₂ et B₁₂). Il recèle d'autres vitamines (C : antirachitique) mais en quantité moindres ou sous forme de traces ; leur contribution aux apports journaliers sont de (60-80%) pour la B₂ (90%) pour la B₁₂ et (15-20%) pour la vitamine A (Lupien, 1995; Amiot, 2002 ; Graulet, 2010).

Tableau 5 : Teneurs en minéraux et en oligo-éléments des laits de diverses espèces animales

(mg/l)* (Massol, 1998).

	Vache	Bufflon ne	Chamell e	Jument	Chèvre	Brebis
Minéraux						
Sodium	0,50	0,47	0,39	0,19	0,37	0,42
Potassiu m	1,50	1,39	1,76	0,68	1,55	1,50
Calcium	1,25	2,03	1,16	1,10	1,35	2,0
Magnésiu m	0,12	0,20	-	0,085	0,14	0,18
Phosphor e	0,95	1,29	0,83	0,55	0,92	1,18
Chlore	1,00	0,65	1,99	0,30	2,20	1,08
Acide citrique	1,80	0,49	-	-	1,10	
Oligo-éléments						
Fer	0,20-0,50	0,80-1,10		0,59	0,55	0,2-1.5
Cuivre	0,10-0,40	18-0,25		0,28	0,40	0,3-1,76
Zinc	3-6	2,4-6,2		2,00	3,20	1-10
Manganè se	0,010- 0,030	0,050- 0,170		0,05	0,06	0,08 - 0,36
Molybdè ne	0,070	0,222				
Aluminiu m	0,6-1	0,22		-	-	-
Iode	-	-		0,02		

Les valeurs exprimées sont des valeurs moyennes ou dans quelques cas, des valeurs extrêmes.

- : signifie que les données font défaut ou sont sujettes à caution.

* : compilation de diverses sources.

Il convient de remarquer la richesse du lait de brebis dans presque toutes les vitamines, par rapport au lait de vache ; riche en vitamine A (rétinol) et les vitamines C et D. Il est également riche en vitamines du groupe B notamment B₁, B₂, B₆, B₉ et B₁₂ (Park et *al.*, 2007).

Par rapport au lait de vache, le lait de chèvre se distingue par l'absence de β -carotène. Elles sont réparties en deux classes : les vitamines hydrosolubles et les vitamines liposolubles. Pour ce qui est de vitamines, le lait de chèvre est particulièrement plus pauvre en vitamines C, D, pyridoxine, B₁₂ et acide folique (Belarbi, 2015).

Le tableau 6 regroupe les données concernant les teneurs en vitamines des laits de diverses espèces animales.

5.6. Les protéines

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers (Amiot et *al.*, 2002). Leur importance tient à plusieurs raisons : quatrième groupe de substances par son abondance après l'eau, le lactose et les matières grasses (Mathieu, 1998).

Les matières azotées, protides ou protéines du lait de vache constituent un ensemble complexe dont la teneur totale avoisine 32 g/l indépendamment des procédés thermiques et d'écémage employés (Gordon & Kalan, 1993 ; Amiot, 2002 ; Vilain, 2010). En revanche, le lait de brebis est plus riche en protéines que les autres laits de mammifères (les teneurs en protéines totales sont plus élevées (57,2 g/l), une fois et demi à deux fois, que dans le lait de vache (Chilliard & Bocquier, 1993) contre 8 à 11 g/l dans le lait maternel. La composition moyenne des protéines du lait de brebis et du lait de diverses espèces animales est donnée dans le tableau 7 (Massol, 1998). Différentes études ont montré que les protéines du lait maternel et de quelques laits de mammifères présentent des différences et des similitudes (Gordon & Kalan, 1993 ; Lupien, 1995 ; Wong et *al.*, 1996). Du point de vue quantité, le lait maternel contient 3 fois moins de protéines que le lait de vache. Ce taux est compris entre 8 et 11 g/l (Ribadeau-Dumas & Brigon, 1993 ; Hamosh, 2001 ; Chouraqui et *al.*, 2008 ; Vilain, 2010).

5.6.1. Répartition des protéines dans le lait

Sur la base de la précipitation à pH 4,6 (20°C) qu'on répartit les protéines dans le lait de vache et le lait de brebis en deux fractions : la fraction des caséines entières ou protéines non solubles (α s, β , γ , κ) et des protéines solubles (protéines sériques ou protéines du lactosérum) et se trouvent dans un rapport (80 : 20) (Jeantet et *al.*, 2007). Les protéines représentent

respectivement 95% et 93% environ des matières azotées dans le lait de vache et le lait de brebis et sont constituées soit d'acides aminés seulement

Tableau 6 : Teneurs en vitamines des laits de diverses espèces animales (mg/l)*
(Massol, 1998).

Vitamines	Vache	Brebis	Bufflonne	Chamelle	Jument	Chèvre
B ₁	0,42	0,85	0,40-0,80	-	0,28	0,41
B ₂	1,72	3,30	1,07-1,65	-	0,38	1,38
B ₆	0,48	0,75	0,23-0,70	-	-	0,60
B ₁₂	0,0045	0,006	0,0004-0,0006	0,0023-0,0039	-	0,0008
Acide nicotinique	0,92	4,28	0,80-1,72	-	0,70	3,28
Acide folique	0,053	0,006	-	-	-	0,006
C	18	47,0	19-25	57-98	145,0	4,20
A	0,37	0,83	0,48-0,69	0,37-1,26	-	0,24
β-carotènes	0,21	0,02	0,00-0,30	0,16-0,46	-	< 0.10

Les valeurs exprimées sont des valeurs moyennes ou dans quelques cas, des valeurs extrêmes.

- : signifie que les données font défaut ou sont sujettes à caution.

* : compilation de diverses sources.

Tableau 7 : Composition moyenne des protéines du lait de vache et du lait de diverses espèces animales (g/l)* (Massol, 1998).

Protéines	Vache	Bufflonne	Jument	Chèvre	Brebis
Lactalbumine	1,5 (25%)	2,50 (37%)	2,30 (26%)	2,0 (25%)	1,3 (10%)
β-lactoglobuline	2,7 (45%)	2,70 (39%)	5,30 (59%)	4,4 (55%)	8,4 (67%)
Albumine sérique	0,3 (5%)	0,20 (3%)	0,20 (2%)	0,6 (7%)	0,6 (5%)
Immunoglobuline	0,7 (12%)	1,35 (20%)	1,10 (13%)	0,5 (6%)	2,3 (18%)
Protéose-peptone	0,8 (13%)	-(-)	9,0 (100%)	0,6 (7%)	
Total des protéines solubles (100%)	6,0 (100%)	6,75 (100%)		8,10 (100%)	12,6 (100%)
Caséine α-S	12,0 (46%)	9,30 (26%)			21,0 (47%)
Caséine β	9,0 (36%)	18,20 (51%)			16,1 (36%)
Caséine κ	3,5 (13%)	-(-)			4,5 (10%)
Caséine γ	1,5 (6%)	8,25 (23%)			3,0 (6%)
Total des caséines (100%)	26,0 (100%)	35,75 (100%)	13,60 (100%)	26,0 (100%)	44,6 (100%)
Protides totaux	32,0	42,50	22,60	34,1	57,2

Les valeurs exprimées sont des valeurs moyennes ou dans quelques cas, des valeurs extrêmes.

- : signifie que les données font défauts ou sont sujettes à caution.

* : compilation de diverses sources.

(β Lactoglobuline, α -Lactalbumine), soit d'acides aminés et d'acide phosphorique (caséines α et β) avec parfois en plus une partie glucidique (caséine κ) (Jeantet et *al.*, 2007).

Le lait de vache contient une fraction azotée non protéique (environ 5%). L'azote non protéique chez la brebis (de 6 à 8% de l'azote total) est distribué un peu différemment de celui du lait de vache : plus d'urée et d'acide urique et moins d'acides aminés libres.

Les protéines du lait maternel sont très assimilables, non allergisantes et en quantité juste adaptée.

Dans le lait maternel, la fraction des caséines et des protéines solubles représentent respectivement environ 30% et 70% de la composante azotée totale (Gordon & Kalan, 1993 ; Lupien, 1995 ; Amiot, 2002). Comme le lait de vache, le lait maternel contient une fraction azotée non protéique (environ 5%). De plus, nous notons dans le lait de femme, une proportion d'urée bien plus élevée que chez la vache.

Concernant la répartition des aminoacides, le lait maternel est plus riche en cystéine, plus pauvre en tyrosine, phénylalanine et tryptophane (Ribadeau-Dumas & Brigon, 1993).

5.6.2. Localisation des protéines dans le lait

Les protéines du lait constituent une phase colloïdale qui est caractérisée par deux phases distinctes :

1. La phase instable micellaire, contenant les caséines ou micelles en suspension qui diffusent de la lumière et contribuent avec les globules gras à donner au lait son aspect blanc opaque. C'est leur dispersion avec les sels de calcium qui donne cette opacité caractéristique dite laiteuse.

Les micelles sont des éléments sphériques plus petits que les globules gras (50-500 nm) (Cayot & Lorient, 1998). Elles représentent 80% des protéines totales soit 2,73 g/100 ml de lait.

Les micelles sont fortement hydratées et sont composées de phosphoprotéines, de caséines et de phosphate de calcium amorphe.

Les micelles de caséines sont en suspension stable grâce à la présence de charges négatives et de groupements glucidiques hydrophiles (Amiot, 2002).

Isolées, les caséines du groupe α sont insolubles à température ambiante en présence de faibles concentrations de calcium. La caséine β est soluble même à forte concentration en calcium et à basse température. La caséine κ est soluble à toutes les températures et stabilise les autres caséines en formant les agrégats que sont les micelles ; elle est la seule à être glycolysée (Cayot & Lorient, 1998).

Sur les micelles, on trouve la lactoperoxydase qui est l'enzyme la plus abondante du lactosérum du lait de vache (Sveden *et al.*, 1984). Dans le lactosérum, on trouve d'autres enzymes comme (la plasminogène, la plasmine, la lipoprotéine-lipase) qui les rendent plus accessible à la digestion carboxypeptidasique dans l'intestin. Il existe également des inhibiteurs de protéase (Lupien, 1995 ; Wong *et al.*, 1996 ; Amiot, 2002).

2. La phase aqueuse ou solution colloïdale du lait (lactosérum) contenant en solution plusieurs autres protéines solubles (20%). Ce sont la β -lactoglobuline, l' α -lactalbumine, le sérum albumine, la lactoferrine bovine, les immunoglobulines, les lysozymes, autres enzymes... (Vilain, 2010).

Le lysozyme ou muramidase est une enzyme hydrolysant des liaisons glycosidiques particulières qui interviennent notamment dans la configuration des parois bactériennes (Reiter, 1984).

Ces protéines constituent la phase stable. Elles sont liées plus ou moins fortement aux différentes membranes cellulaires et aux fragments membranaires (plasmiques, réticulaires, golgiennes et des leucocytes de différentes classes).

La plupart de ces protéines sont des enzymes qui peuvent agir dans la mamelle durant le stockage du lait frais et au cours des traitements technologiques (Gordon & Kalan, 1993 ; Wong *et al.*, 1996).

Dans le lait frais écrémé, nous trouvons la sulfhydryle-oxydase et la Ca^{++} ATPase (Nayl, 1985 ; Wong *et al.*, 1996). La catalase est associée aux fractions membranaires de la crème et du lait écrémé (Amiot, 2002).

Aux globules gras, entourés d'une membrane phospholipidique classique, sont associées la xanthine-oxydase, la phosphatase alcaline et la butyrophénone 43. Ces enzymes liées aux membranes, peuvent disparaître du lait au moment de l'écémage (Gordon & Kalan, 1993 ; Amiot, 2002).

5.6.3. Structure des protéines du lait

Les caséines et les protéines du lactosérum constituent deux catégories de protéines, de structure tertiaire très différentes (Wong *et al.*, 1996). Les principales caractéristiques de ces protéines sont résumées dans le tableau 8 (Jost, 1991).

5.6.3.1. Caséines

La caséine est la protéine la plus abondante dans le lait de vache puisqu'elle représente environ 80% des protéines totales. Il en est de même pour la brebis, la bufflonne et la chèvre. Dans l'espèce équine, seulement 47 à 68% de l'azote du lait est sous forme de caséines. La teneur en caséines des laits est très variable. Celles-ci représentent près de 80% (soit 25-28

Tableau 8 : Principales caractéristiques des protéines du lait de vache (Jost, 1991).

	Protéines 30-35 g/l	Concentration g/l	Proportion (%)	Masse moléculaire	Nombre de résidus d'acides aminés	Nombre de ponts s-s par mole	pHi
Lactosérum 20 %	β -Lg	3,0-4,0	9	18.300	162	2	5,3
	α -lac	1,0-1,5	4	14.200	123	4	4,8
	Immunoglobulines SAB	0,6-1,0	2	-	-	-	-
	Lactoferrine	0,1-0,4	1	66.300	582	17	4,9-
		0,09	Traces	80.000	703	16	5,1 8,7
Caséines 80 %	α -s1	12-5	34	23.600	199	-	4,9-
	α -s2	3-4	8	25.200	207	1	5 5,2-
	β	9-11	25	24.000	209	-	5,4 5,1-
	κ	3-4	9	19.000	169	1	5,4 5,4-
	γ	-	-	-	-	-	5,6 -

g/L) des protéines du lait des ruminants, tandis que, dans le lait humain, leur pourcentage n'excède pas 50% (soit 4-8 g/L). Avec une teneur qui dépasse 50 g/L, le lait de brebis, est celui qui présente la teneur en protéines totales la plus élevée des ruminants laitiers. Au-delà de cette variabilité globale, il existe des différences de proportions relatives des caséines, entre les espèces (INRA, 2013).

Cette protéine du lait est obtenue par coagulation sous l'action d'une présure ou d'un acide (FAO, 1998 ; Boirie, 2004). La caséine est un complexe protéique phosphoré à caractère acide marqué, qui précipite facilement sous forme de caillots volumineux dans le lait ; leur point isoélectrique moyen est de 4,65.

La microscopie électronique montre que la caséine est une substance hétérogène, caractérisée par son organisation en micelles généralement sphériques, ayant un diamètre variant entre 50 et 500 nanomètres (figure 3) et des masses molaires comprises entre 106 et 109 KDa. Il y a de 1014 à 1016 micelles par ml du lait. Les micelles de caséine sont constituées de 92% de protéines (partie protéique) et 8% de sels minéraux (partie inorganique) principalement le phosphate de calcium (Wong et *al.*, 1996 ; Fox & Mc Sweeney, 1998 ; Vignola, 2002).

Les caséines sont très bien adaptées à la nourriture des nouveaux nés. Leurs structures moléculaires ne leur confèrent pas d'activité enzymatique (Damodaran & Paraf, 1997). Environ 95% des caséines dans le lait existent sous forme colloïdale, appelées micelles.

Elles constituent la matière première des fromages. En base sèche, les micelles de caséine contiennent 94% de protéines et 6% d'espèces de faible poids moléculaire notamment le calcium, le magnésium, le phosphate et citrate (Fox & Mc Sweeney, 1998 ; Léonil et *al.*, 2001).

Lorsque les caséines sont coagulées, les autres protéines restent en solution en même temps que le lactose et les sels minéraux constituant le lactosérum. Les caséines sont très thermostables et résistantes à la protéolyse et sont mises en cause dans la majorité des allergies IgE-dépendantes persistantes aux protéines du lait de vache.

Il existe plusieurs types de caséines du lait dont les principales sont les caséines (α s1, α s2, β , γ , κ). Elles s'organisent en micelles sous forme de caséinate et de phosphate de calcium (Walstar, 1990 ; Wong et *al.*, 1996 ; Brule et *al.*, 1997 ; Léonil et *al.*, 2001).

Par leurs poids moléculaires variant de 19 KDa à 25,2 KDa, les caséines se distinguent très nettement de toutes les autres protéines du lait (Gordon & Kalan, 1993). Elles se distinguent également :- par leur comportement en solution ;

- par leur structure tertiaire lâche peu ordonnée qui les rend particulièrement sensibles à l'action des protéases et insensibles aux traitements qui dénaturent les protéines : chauffage, addition d'urée ou de HCl (figure 4) (Tetra Pak . 1995 ; Léonil et *al.*, 2001).

Par leurs groupements phosphates, elles participent, en s'intercalant dans le réseau semi-cristallin de phosphate de calcium, à l'assemblage micellaire (Amiot, 2002).

Les caséines sont réparties comme suit (Gordon & Kalan, 1993 ; Lupien, 1995) :

- 45 à 55% sont des α s caséines,
- 25 à 35% des β caséines,
- 8 à 15% des κ caséines.

5.6.3.1.1. Caséine α s₁

La caséine α s₁ (nomenclature du variant B, typique au lait de vache) est la protéine la plus abondante en masse puisqu'elle représente environ 40% des caséines (Vignola, 2002). Elle contient 199 acides aminés et son poids moléculaire est de 23,6 KDa ; elle est fortement Hydrophobe, c'est à dire qu'elle contient 3 régions hydrophobes entre les résidus 1-44, 9-113 et 132-199 (Swaigood, 1982). Le N-terminal provient de l'arginine et le C-terminal du tryptophane (Gordon & Kalan, 1993 ; Wong et *al.*, 1996).

Son pHi est acide car les groupes acides prédominent sur les groupes basiques 8 phosphates sont fixés à la sérine (Wong et *al.*, 1996 ; Amiot, 2002).

Issue de 5 variantes génétiques (A, B, C, D, E), cette caséine est très sensible au pH=6,7 du lait et au calcium. Quel que soit la température et en présence de Ca⁺⁺ ionisé, on constate une formation de flocons.

La caséine α s₁ est peu accessible à la plasmine ce qui est probable qu'elle se situe au cœur des micelles masquées par d'autres caséines (Ribadeau-Dumas, 1993 ; Wong et *al.*, 1996).

Le taux de caséine alpha-S₁ est naturellement faible dans le lait de chèvre environ 5% contre 26% dans le lait de vache.

5.6.3.1.2. Caséine α s₂

La caséine α s₂, nomenclature du variant A est issue de 4 variantes génétiques (A,B,C,D). Elle représente 8 à 11% de la micelle de caséine et possède 207 acides aminés (Lebars & Gripon, 1989) et 10 à 13 phosphates (il s'agit de α s₂, α s₃, α s₄ ou α s₁₃ selon le nombre de phosphates). Son poids moléculaire estimé varie de 25,15 KDa à 25,39 KDa. Par sa richesse en phosphate, elle est très sensible au Ca⁺⁺ (Wong et *al.*, 1996). Elle est la plus hydrophile de toutes les caséines, elle est fortement phosphorylée et elle se présente à pH 6,7 (Rollema,

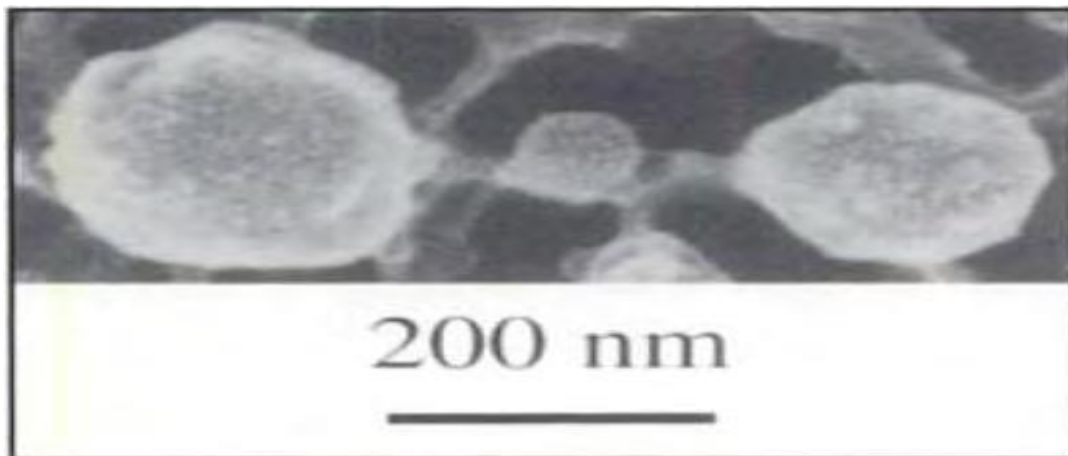


Figure 3 : Micelles de caséine vues au microscope électronique (Cayot & Lorient, 1998).

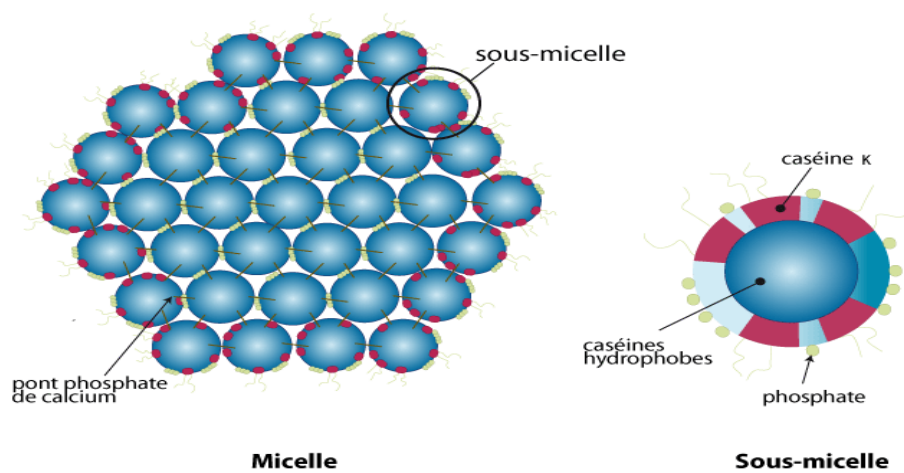


Figure 4 : Micelles et sous-micelles de caséines du lait de vache (Tetra Pak, 1995 ; Léonil et *al.*, 2001).

1992). Comme pour l' α_1 , la caséine α_2 semble ne pas être en surface de la micelle (Ribadeau-Dumas, 1993 ; Amiot, 2002).

5.6.3.1.3. Caséine β

Nomenclature du variant A, la caséine β est issue de 7 variantes génétiques (A_1 , A_2 , A_3 , B, C, D, E). Elle a une masse moléculaire de 23,983 KDa et représente 25 à 35% de la micelle avec 209 acides aminés et 5 groupements phosphates.

La caséine β possède beaucoup d'analogie avec la caséine α_1 par sa sensibilité au Ca^{++} à la température ambiante.

Après déphosphorylation, la molécule perd sa sensibilité et devient incapable d'empêcher la précipitation de la caséine α_1 par le Ca^{++} (Wong et *al.*, 1996).

La caséine β est sensible au froid et très hydrophobe. Les zones hydrophobes sont à l'origine de l'association des caséines β entre-elles pour former des néomicelles β (Ribadeau-Dumas, 1993 ; Amiot, 2002).

5.6.3.1.4. Caséine γ

La caséine γ est un fragment C-terminal résultant de la protéolyse de la caséine β par la plasmine (protéase alcaline du lait). Il existe 3 caséines γ : la caséine γ_1 possède un groupement phosphate tandis que les 2 autres caséines (γ_2 et γ_3) n'en ont aucun.

- γ_1 = Lys 29-C-terminale de la caséine β ;
- γ_2 = His 106-C-terminale ;
- γ_3 = Glu 108-C-terminale (Girardet & Linden, 1996 ; Wong et *al.*, 1996 ; Amiot, 2002).

Les caséines du lait maternel sont des glycoprotéines phosphorylées. Séparées par électrophorèse, elles sont identifiées d'après leur pouvoir de migration en caséine α , β , γ et κ . Seules les caséines κ et surtout β sont présentes en quantité notable (Chtourou et *al.*, 1985). Des traces de caséine α_1 ont été décelées plus tard (Yoshikawa & Chiba, 1988 ; Ribadeau-Dumas, 1993).

Les caséines du lait maternel se constituent en micelles ce qui les rend plus accessible à la digestion carboxypeptidasique dans l'intestin. Elles sont presque totalement assimilables (Ribadeau-Dumas, 1993 ; Lupien, 1995).

5.6.3.1.5. Caséine κ

La caséine κ (nomenclature du variant B) se trouve en grande majorité à la surface des micelles, ce qui la rend accessible à la présure. Elle est constituée de 169 acides aminés fortement phosphorylés (Remeuf et *al.*, 1997) ; elle existe certes sous forme de monomères

mais surtout sous forme de polymères qui existent en l'absence de calcium (Groves et *al.*, 1992). Cette protéine est sensible au Ca^{++} .

La coagulation du lait se fait suite à la protéolyse de cette caséine par la présure (ou chymosine : enzyme naturelle de la caillette du jeune bovin pré ruminant) qui scinde la molécule en deux parties : la partie N-terminale ou para caséine κ (1-105) et la partie terminale ou caséino-macropéptide (CMP) (106-169) (PM=19 KDa) (Gordon & Kalan, 1993 ; Wong et *al.*, 1996).

5.6.3.2. Protéines solubles du lactosérum

Le lait écrémé débarrassé de la caséine n'est qu'un lactosérum dont les protéines majeures est de type globulaire. Il est constitué de diverses protéines, ayant par conséquent, plusieurs propriétés fonctionnelles et donc de multiples utilisations possibles :

- Essentiellement de quatre protéines qui sont : la β -Lactoglobuline (β -Lg), l' α -Lactalbumine (α -La), le sérum albumine (SA) et finalement le groupe des immunoglobulines (Ig).
- D'autres protéines mineures en poids comme (la lactoperoxydase, la lactoferrine) et des produits de dégradation enzymatique (protéase-peptone) qui complètent la fraction protéique du lactosérum.
- Le lactose.
- Une partie des sels minéraux (Morr & Ha, 1993 ; Damodaran & Paraf, 1997 ; Hamosh, 2001).

Les protéines solubles représentent environ 20% des protéines totales du lait de vache et 17% des matières azotées. Elles constituent un groupe protéique qui précipite à pH 4,6 à 20°C. On les distingue des caséines par leur composition, leur structure et diverses propriétés (Gordon & Kalan, 1993 ; Wong et *al.*, 1996 ; Amiot, 2002) :

- Teneur élevée en lysine, tryptophane, cystéine et autres acides aminés soufrés leur confèrent une très bonne valeur nutritionnelle.
- Structure globulaire compacte : ces protéines fixent peu d'ions et résistent à l'action des protéases (Wong et *al.*, 1996).
- Elles sont plus sensibles à la chaleur car dénaturées par le chauffage (80°C), elles flocculent difficilement et deviennent ainsi insolubles (à l'exception des protéases-peptones) (Amiot, 2002).

Les protéines du lactosérum sont thermostables et très résistantes à la digestion. Dans ces protéines, les proportions de β -Lg et d' α -La et sont presque dans un rapport de 2 à 1 dans le lait de vache.

Dans le lactosérum, on peut trouver 1 à 2% de la caséine totale à température ambiante. A 4°C, le taux de la caséine β augmente dans le lactosérum et après stockage pendant 48 heures, 42% de la caséine peut devenir soluble (Wong *et al.*, 1996 ; Amiot, 2002).

Les protéines du lactosérum peuvent être classées en 3 groupes hétérogènes ou en 8 constituants électrophorétiques. Dans le lait, elles sont sous forme de monomères ou d'homooligomères (Cayot & Lorient, 1998). Ce sont :

5.6.3.2.1. β -Lactoglobuline (β -Lg)

Le lait de vache contient de nombreuses protéines à l'origine des réactions allergiques (caséines, β -Lg, α -La, SAB), mais la β -Lg est considérée la protéine la plus allergénique (Wal, 1998).

La β -Lactoglobuline (β -Lg) est le constituant essentiel du lactosérum. Elle représente 10 à 15% des protéines totales de la fraction protéique du lait de vache et 50 à 55% de celle du lactosérum (Massol, 1998 ; Braunschweig *et al.*, 2000 ; Sawyer & Kontopidis, 2000 ; Perez-Gago & Krochta, 2002 ; Wong & Lucey, 2003 ; Chen *et al.*, 2005 ; Ledesma *et al.*, 2006).

Protéine soluble, la majeure en masse, elle est présente dans les laits de nombreux ruminants, de quelques monogastriques (truie, jument, chienne, ânesse, dauphin, lamantin) sous forme d'un monomère et chez le Kangourou sous forme d'un dimère par des ponts S-S intermoléculaires de poids moléculaire = 36 KDa (Godovac *et al.*, 1988 ; Ribadeau-Dumas, 1993 ; Wong *et al.*, 1996 ; Sawyer & Kontopidis, 2000 ; Ledesma *et al.*, 2006). On ne trouve pas de β -Lg dans le lait des primates et des rongeurs. Elle est normalement absente de la composition du lait humain, bien que de faibles quantités aient été trouvées (Brignon *et al.*, 1985).

Il convient de souligner que la richesse du lait de brebis en protéines sériques est surtout marquée par une teneur élevée de la β -Lactoglobuline (8,4 g/l) chez la brebis contre seulement (2,7g/l) dans le lait de vache (FAO, 1998). La β -Lg existe sous forme de 2 variantes principaux A et B qui se trouvent en proportions égales. La différence entre les deux variantes provient de la substitution des résidus Asp 64 et Val 118 dans le variant A, par les résidus Gly 64 et Ala 118 dans le variant B (Sawyer & Kontopidis, 2000 ; Wal, 2001 ; Amiot, 2002).

Cette protéine a été particulièrement étudiée et sa structure primaire est entièrement connue ; elle est formée d'une seule chaîne peptidique de 162 acides aminés comptant 7 variantes génétiques (A, B, C, D, E, F, G). Le poids moléculaire de la sous-unité de β -Lg est de 18,36 KDa (Massol, 1998 ; Amiot, 2002).

La chaîne est repliée sur elle-même et possède 5 résidus cystéine dont 4 forment deux ponts disulfures intramoléculaires qui stabilisent une structure tertiaire compacte avec une résolution de 1,8 Å et une cystéine libre (groupement sulfhydrile) (Goursaud, 1999 ; Pougheon, 2001).

La structure secondaire de la β -Lg est constituée de 10-15% d'hélice α , 43% de feuillets β (8 feuillets β antiparallèles) et 47% de structures désordonnées. Les feuillets β forment une cavité centrale hydrophobe, d'où sa classification dans la famille des lipocalines (Slangen & Visser, 1999 ; Sawyer & Kontopidis, 2000). Cette structure secondaire lui confère une bonne résistance à l'hydrolyse acide et à la pepsine gastrique (Reddy et al., 1988 ; Asselin et al., 1989).

La β -Lg est alors absorbée au niveau de l'intestin à l'état natif ou légèrement hydrolysée, ce qui explique, en partie, sa forte allergénicité (Schmidt et al., 1995).

La structure tertiaire de la β -Lg bovine est aussi connue (figure 5) ; elle montre une petite poche hydrophobe qui lui permet de fixer la vitamine A et certains acides gras (Perez & Calvo, 1995 ; Wong et al., 1996). De plus, il semble que lors du chauffage du lait, la fixation d'une molécule de caséine κ avec une molécule de β -Lg se fasse également par un pont disulfure (figure 6) (Tetra Pak, 1995).

La conformation et la polymérisation de la β -Lg sont sensibles au pH et à la température (Perez-Gago & Krochta, 2002). La structure tridimensionnelle de la protéine semble être stable même à des températures allant jusqu'à 75 à 80°C (Edward et al., 2002).

Les caractéristiques de la β -Lg font que cette protéine est remarquablement stable à pH acide, résistante à la dénaturation à pH=2 et à l'hydrolyse par la chymotrypsine et surtout par la pepsine (Reddy et al., 1988 ; Wong et al., 1996). Elle peut demeurer intacte après la digestion gastrique.

Il a été montré, in vitro, que des clastases pancréatiques peuvent hydrolyser partiellement la β -Lg et améliorer ainsi sa digestibilité par la pepsine et la trypsine (Gestin et al., 1997). Le rôle physiologique de la β -Lg est encore incertain et l'hypothèse admise actuellement, est que la β -Lg est impliquée dans la fixation des acides gras et qu'elle peut lier une grande variété de molécules hydrophobes (Dimitrios, 2001 ; Amiot, 2002 ; Lametti et al., 2002).

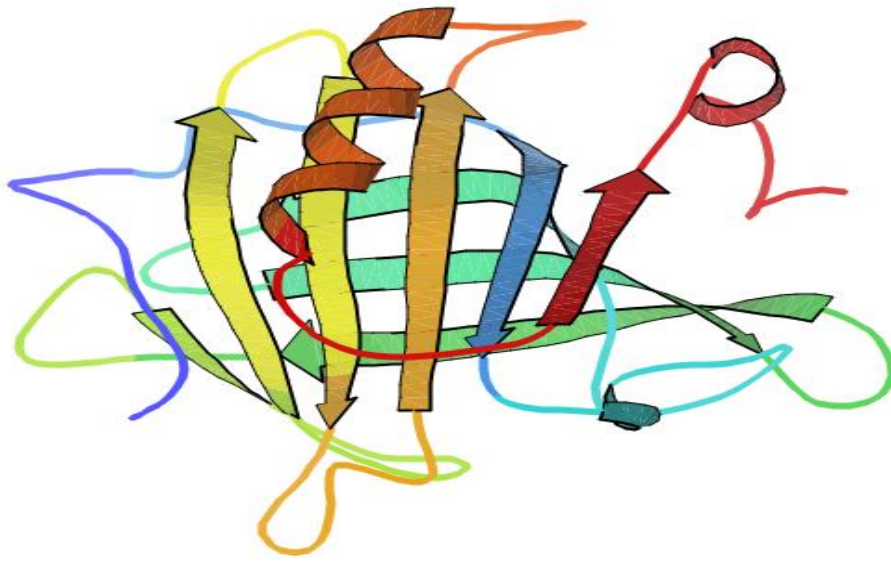


Figure 5 : Structure tertiaire de la β -lactoglobuline (β -Lg) du lait de vache établie avec une résolution de 1,8 Å (Perez & Calvo, 1995 ; Wong *et al.*, 1996).

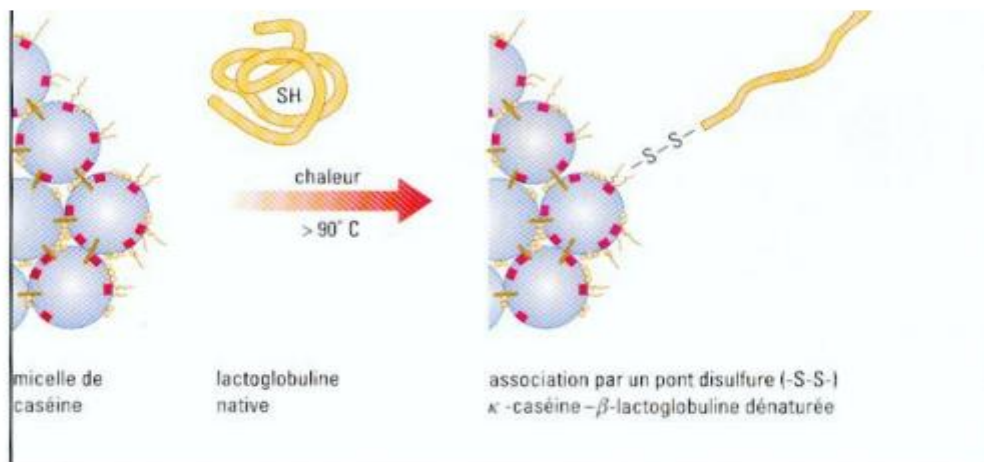


Figure 6 : Liaison disulfure entre la β -lactoglobuline (β -Lg) et la micelle de caséine du lait de vache (Tetra Pak, 1995).

5.6.3.2.2. α -Lactalbumine (α -La)

Par ordre d'importance, l' α -Lactalbumine (α -La) est la deuxième plus abondante protéine soluble du lactosérum. Elle est présente dans le lait de tous les mammifères qui secrètent du lactose puisque cette protéine est partie intégrante de l'enzyme de synthèse du lactose.

Le lait maternel contient une grande quantité de L' α -La (3,6 g/l). C'est le coenzyme de la synthétase qui catalyse la formation du lactose dans la glande mammaire (Lupien, 1995 ; Wong *et al.*, 1996). Elle représente environ 19% de l'ensemble des protéines du lactosérum. C'est une petite molécule d'environ 14 KDa, de poids moléculaire comportant 123 aminoacides et quatre ponts disulfures (S-S). Elle possède trois variantes génétiques (A, B, C) (Massol, 1998 ; Amiot, 2002 ; Perez-Gago & Krochta, 2002).

L' α -La est un composant régulateur du système enzymatique de la galactosyl-transférase, responsable de la synthèse du lactose (Amiot, 2002), elle présente des analogies de structure (40% d'homologie de séquence) avec le lysozyme du blanc d'œuf et sa structure tridimensionnelle est similaire (Mekenzie & White, 1991 ; Morr & Ha, 1993 ; Wong *et al.*, 1996). Elle ne donne pourtant pas de réaction croisée avec le lysozyme de sorte que les déterminants antigéniques majeurs ne semblent pas portés par les séquences communes (Lupien, 1995).

L' α -La pourrait aussi agir comme transporteur de certains métaux, notamment les ions calcium. C'est une métalloprotéine fixant un atome de Ca^{++} par protéine. Cette liaison de haute affinité stabilise sa structure secondaire (Wong *et al.*, 1996 ; Amiot, 2002).

Type de protéine globulaire, de structure tertiaire quasi sphérique. La molécule comporte 30% d'hélice α et 9% de feuillet β (Wong *et al.*, 1996 ; Slangen & Visser, 1999). L'existence de la forme glycolysée de l' α -La a été clairement prouvée par (Slangen & Visser, 1999). Son point isoélectrique est de 4,8 (Gislason *et al.*, 1995).

L' α -La est une protéine soluble, très présente dans le lait maternel (3,6 g/l), mais en faible concentration dans le lait de vache (1,5 g/l) et dans le lait de brebis (1,3 g/l) (Lien *et al.*, 2004). Elle apporte des acides aminés essentiels indispensables à l'enfant et à son développement, en particulier du tryptophane et de la cystine (Heine *et al.*, 1996).

5.6.3.2.3. Sérum albumine (SA)

Le sérum albumine est le seul variant génétique A. C'est une protéine non glycolysée qui représente 5% soit 0,3 g/l des protéines totales du lait de vache et environ 7% des protéines du lactosérum contre le double chez le lait de brebis (0,6 g/l) et 5% des protéines. Elle est

constituée de 582 résidus d'acides aminés, un poids moléculaire de 66,2 KDa et a une faible valeur nutritionnelle (Massol, 1998 ; Amiot, 2002 ; Pilette et *al.*, 2003).

Le sérum albumine bovine contient 17 ponts disulfures et un groupe thiol libre, ce qui la rend très structurée. Cette protéine organisée en trois domaines homologues est constituée de 9 structures centrées sur 8 paires de cystéine (Perez-Gago & Krochta, 2002 ; Pilette et *al.*, 2003 ; Restani et *al.*, 2004).

Elle est identique au sérum albumine sanguine : même composition en acides aminés et mêmes propriétés électrophorétiques et immunologiques.

Son rôle peut servir dans le plasma de transporteur de différentes substances comme certains métabolites physiologiques (bilirubine, acide biliaire, acides gras insolubles), d'hormones (testostérone, thyroxine) ou encore de médicaments (antibiotiques). C'est également une source importante dans la production du glutathion dans le foie, un peptide qui pourrait avoir une activité de facilitation immunitaire pour les patients atteints par le VIH. Elle peut lier différents ligands comme les acides gras libres, d'autres lipides et arômes (molécules volatiles), lesquels la stabilisent contre la dénaturation thermique (Spector, 1975 ; Wong et *al.*, 1996 ; De Wit, 1998 ; Amiot, 2002 ; Perez-Gago & Krochta, 2002 ; Pilette et *al.*, 2003).

5.6.3.2.4. Immunoglobulines du lait

Les immunoglobulines (Ig) constituent environ 12% soit 0,7 g/l des protéines du lactosérum du lait de vache ; leur concentration est 3 fois plus importante dans le lait de brebis soit (2,3 g/l) et 18% des protéines sériques.

Les immunoglobulines forment une famille hétérogène de glycoprotéines de grande taille c'est à dire les plus grosses du lait (de 100 à 148 KDa). Elles sont synthétisées par les lymphocytes B et véhiculées à la mamelle par le sang ainsi qu'à tous les fluides du corps. Leurs points isoélectriques varient de 5,5 à 8,3 (Gordon & Kalan, 1993).

Elles possèdent des propriétés immunologiques. Ce sont des anticorps capables d'agglutiner plusieurs sortes de bactéries et de spores. Elles constituent les principales substances antibactériennes du lait (Wong et *al.*, 1996 ; Amiot, 2002).

Elles se dénaturent à une température plus élevée que celle de la β -Lg et de l' α -La. Elles sont d'autant plus sensibles à la température en présence de la SAB, ce qui est probablement dû à l'interaction avec le groupe thiol libre (Damodaran & Paraf, 1997).

Elles existent sous cinq formes différentes : IgA, IgG, IgM, IgD et IgE. Elles sont toutes présentes dans le lait maternel et le type le plus abondant est l'IgA, particulièrement la forme connue sous le nom d'IgA sécrétoire, que l'on retrouve en grande quantité dans les systèmes

gastro-intestinaux et respiratoires des adultes. Elles assurent avec d'autres protéines comme la lactoferrine, la lactoperoxydase et le lysozyme une protection locale de la muqueuse intestinale (Alberts *et al.*, 1992 ; Lupien, 1995 ; Wong *et al.*, 1996).

Il convient de souligner que la richesse du lait de brebis en protéines sériques est surtout marquée par une teneur élevée des immunoglobulines (Ig) (FAO, 1998).

5.6.3.2.5. Lysozyme du lait

Le lysozyme ou muramidase est une enzyme hydrolysant des liaisons glycosidiques particulières qui interviennent notamment dans la configuration des parois bactériennes (Reiter, 1984). Il est impliqué dans la dégradation des polysaccharides constituant la paroi des bactéries Gram+ ; la molécule contient un site de fixation de calcium (Derby, 2001).

5.6.3.2.6. Enzymes du lait

La signification des enzymes dans le lait n'est pas formellement claire et leur rôle n'est pas très bien connu. Ils peuvent agir dans la mamelle :

- durant le stockage du lait frais,
- au cours des traitements technologiques,
- ou dans le tractus digestif du nouveau-né (Wong *et al.*, 1996 ; Amiot, 2002).

De nombreux enzymes existeraient dans le lait : ce sont des protéines liées plus ou moins fortement aux différentes membranes présentes dans le lait. Elles sont quantitativement minoritaires (1%) (Gordon & Kalan, 1993 ; Lupien, 1995).

La lactoperoxydase est l'enzyme la plus abondante du lactosérum de vache (Sveden *et al.*, 1984).

Dans le lactosérum, on trouve d'autres enzymes comme la plasminogène et la plasmine (Wong *et al.*, 1996 ; Amiot, 2002).

Les enzymes du lait de chèvre sont principalement des estérases, c'est-à-dire les lipases, les phosphatases alcalines et des protéases. Il est bon de noter que le lait de chèvre contient environ trois fois moins de phosphatase alcaline que lait de vache (Pougheon, 2001).

6. Autres composés du lait

6.1. Azote non protéique

Dans le lait de vache, l'azote non protéique constitue 25% des matières azotées. Il est essentiellement constitué par l'urée (33 à 79% de l'azote non protéique du lait). On y trouve également et par ordre d'importance les acides aminés, l'acide urique, l'ammoniac, la créatinine (Hansen, 2000 ; Lupien, 1995 ; Amiot, 2002).

L'étude des nucléotides révèle des différences notables entre le lait de vache brebis et de chèvre.

6.2. Acides aminés libres

Le lait cru contient des acides aminés libres. Dans le lait de vache, les plus abondants sont l'acide glutamique (30 à 80 mg/l) et la glycine. Il y a également de l'arginine, de l'acide aspartique, de la sérine, de la lysine et de la valine en quantité variant de 2 à 10 mg/l pour chacun. D'autres acides aminés sont présents en plus faibles quantités (Lupien, 1995 ; Amiot, 2002).

7. Composés nocifs du lait

En plus des bactéries pathogènes, le lait peut évoquer la présence de composés plutôt nocifs tels que les facteurs d'environnement, les hormones, la prise de médicaments (antibiotiques), les pesticides, les métaux lourds, la furane et la dioxine. Les récentes révélations sur la présence de dioxine dans le lait de vache relancent la polémique sur les conséquences de l'industrialisation et de l'hyperproduction agroalimentaire (Amiot, 2002).

B. Risques alimentaires des protéines laitières

1. Allergie aux protéines des laits de mammifères

L'absorption des protéines alimentaires entières, à travers la muqueuse intestinale, est donc un processus physiologique normal. Par ailleurs, dans certaines conditions, l'organisme de certains individus réagit anormalement au contact des protéines du lait de vache qui peuvent induire des effets indésirables comme la sensibilisation et le déclenchement de l'allergie (Rancé & Dutau, 2009).

L'allergie aux protéines du lait de vache (APLV) est une réaction anormale du système immunitaire qui se rebelle contre les protéines lactées bovines, particulièrement à la caséine, à la β -Lg et à l' α -La (Rancé, 2003). Le lait de chèvre contient également des protéines qui peuvent provoquer des allergies.

D'ailleurs, les principales protéines responsables de l'APLV ressemblent beaucoup à celles du lait de chèvre (Höst, 1994 ; Paupe, 1997 ; Rancé, 2003).

Il convient de signaler tout d'abord une distinction entre l'allergie et intolérance aux protéines du lait de vache (APLV et IPLV); l'intolérance ne s'exprime que par des signes digestifs alors que l'allergie se manifeste par des signes généraux, cutanés, digestifs, respiratoires et peuvent aller jusqu'à l'anaphylaxie. Le délai de l'apparition des signes cliniques est retardé dans le cas d'une intolérance et immédiat (elle peut se déclarer très précocement parfois avant 6 mois) ou retardé lors d'une allergie. De plus, l'APLV se distingue de l'IPLV par la positivité du test cutané et du dosage des IgE sériques spécifiques (figure 7) (Höst, 1994 ; Paupe, 1997 ; Rancé, 2003).

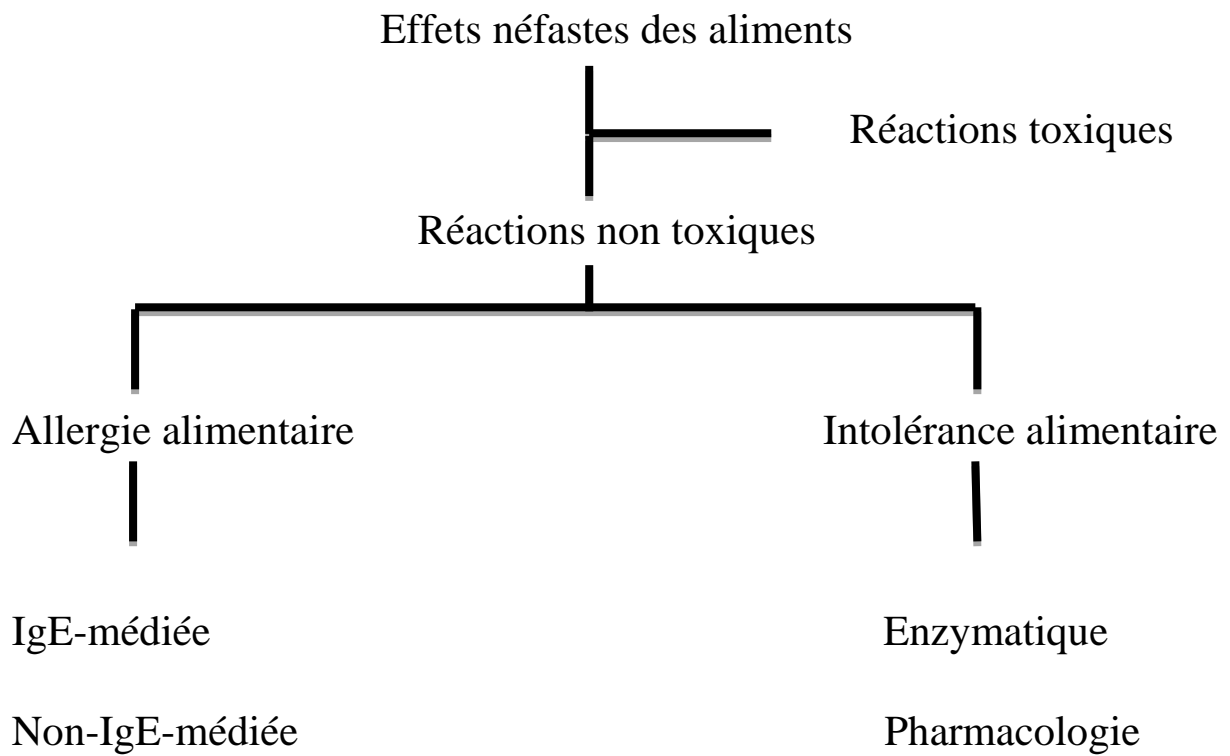


Figure 7 : Classification des mécanismes des réactions adverses liées à l'ingestion d'un aliment (Höst, 1994 ; Paupe, 1997 ; Rancé, 2003).

1.1. Epidémiologie

L'allergie aux protéines du lait de vache (APLV) est probablement l'allergie alimentaire la plus fréquente chez le nourrisson. Elle représente la quatrième allergie alimentaire chez l'enfant, derrière les allergies à l'œuf, à l'arachide et au poisson (Rancé et *al.*, 1999 ; Leung et *al.*, 2003 ; Rancé & Dutau, 2009). La plupart des enfants atteints d'allergie au lait de vache présentent une allergie croisée au lait de chèvre et de brebis. C'est pourquoi il est fortement déconseillé d'utiliser ces laits comme substituts du lait de vache en cas d'APLV connue. Néanmoins, depuis quelques années, des cas d'allergie isolée au lait de chèvre et brebis ont été observés. L'allergie au lait de chèvre et lait de brebis sans allergie au lait de vache est de plus en plus fréquente et est responsable la plupart du temps de symptômes sévères.

D'apparition récente, l'incidence de l'allergie aux protéines du lait de vache varie de 0,1 à 7,5% selon les études (Höst, 1994 ; Höst et *al.*, 2002 ; Rancé & Dutau, 2009) et il semble que la fréquence de l'allergie isolée au lait de chèvre et brebis augmente depuis le début des années 2000. Cette allergie se manifeste le plus souvent chez des enfants atopiques, ayant un terrain allergique avec parfois d'autres allergies alimentaires. L'allergie au lait de chèvre et brebis survient le plus souvent autour de 6 ans, ce qui est tardif en comparaison des autres allergies alimentaires fréquentes chez l'enfant (De Boissieu & Dupont, 2007).

1.1.1. Différentes hypersensibilités

Selon (Gell & Coombs, 1975), trois types d'allergies aux protéines de lait de vache sont constatés :

- L'APLV de type I : Appelée également réaginique, il s'agit de l'allergie aux protéines de lait de vache la plus fréquente. Elle survient dans un délai très bref (inférieur à 4h après ingestion). Il s'agit d'un mécanisme dépendant des immunoglobulines de type E qui, se fixant aux basophiles sanguins et aux mastocytes tissulaires entraînent la libération de médiateurs de l'inflammation (histamine, protéases, cytokines ou leucotriènes) par le phénomène de dégranulation. Ce mécanisme immunologique est notamment responsable des réactions immédiates anaphylactiques.
- L'APLV de type III : Celle-ci dite hypersensibilité semi-retardée, elle survient entre 4 et 12h après ingestion. Ce mécanisme implique la formation de complexes immuns solubles formés par l'association d'IgG ou d'IgM spécifiques avec l'allergène. Ces complexes précipitent et activent la voie du complément, entraînant des lésions tissulaires.
- L'APLV de type IV : Appelée aussi hypersensibilité retardée, elle survient dans un délai supérieur à 24h après la prise du biberon. Contrairement aux deux types d'allergies précédents, ce mécanisme fait intervenir des cellules immunocompétentes : les lymphocytes

T. Ces cellules, après contact avec l'antigène provoquent la production de cytokines inflammatoires ou une cytotoxicité entraînant des lésions intestinales (Diabi & Diboun, 2014).

1.1.2. Les allergènes du lait des mammifères

La plupart des protéines contenues dans le lait de vache sont des allergènes potentiels et la plupart des patients allergiques au lait de vache sont sensibilisés à plusieurs protéines du lait de vache (Wal, 1998).

Les allergènes sont identifiés, séquencés et ont la dénomination Bos d pour *Bos domesticus* (Wal, 1998) : caséines (Bos d 8), β -Lg (Bos d 5), α -La (Bos d 4), sérum albumine (Bos d 6) et les immunoglobulines (Bos d 7).

Les caséines et la β -Lg sont le plus souvent en cause, mais toutes les protéines peuvent être incriminées. La caséine est impliquée dans les allergies durables.

On divise les allergènes en deux types :

- Les allergènes majeurs sont les caséines, la β -Lg et l' α -La (les peptides 19-30 et 93-98 de la caséine α s1, le peptide 97-108 de la β -Lg et le peptide 5-8 de l' α -La).
- Les allergènes mineurs présents sous forme de traces notamment la lactoferrine et les immunoglobulines (Paupe *et al.*, 2001).

1.2. Traitement et prévention de l'APLV

Le traitement de l'APLV est uniquement diététique ; il repose quelle que soit la forme immunologique, sur l'éviction stricte et prolongée de toute protéine lactée bovine jusqu'à l'âge de 1 à 2 ans et de retarder la diversification alimentaire, notamment l'introduction des aliments les plus allergisants (Viola & Sarrio, 2004).

Le risque d'un régime d'exclusion du lait est un appauvrissement des apports en calcium. Cela nécessite parfois une supplémentation en calcium si les apports de lait sont inférieurs à 500 ml par 24 heures (H).

L'éviction totale des protéines est parfois difficile. A cet égard, un régime de remplacement (formule de substitution) est assuré par des substituts du lait ayant subi une hydrolyse extensive des protéines ; cependant, il peut exister une allergie à ces hydrolysats de protéines, dans 1 à 2% des cas, probablement par la présence de peptides de poids moléculaire supérieur à 5000 daltons dans certains hydrolysats de caséine et de protéines du lactosérum. La persistance des symptômes sous ces hydrolysats de protéines fait évoquer une allergie aux hydrolysats et conduit à remplacer l'hydrolysats par une formule à base d'acides aminés de synthèse (Rancé, 2003).

Les formules hypoallergéniques «HA» sont contre-indiquées en raison de l'importante réactivité croisée comme l'utilisation de lait d'autres espèces animales (chèvre, brebis,

jument, ânesse, chamelle) du fait d'une même composition protéique de base et d'une forte homologie de structure entre les protéines entrant dans leur composition (Dean *et al.*, 1993 ; Sicherer, 2001 ; Wal, 2001).

Les hydrolysats de protéines ont été et restent un apport utile, tant dans la prévention que dans le traitement de l'APLV. Il est cependant nécessaire de prendre en compte l'immunogénicité et l'allergénicité primaire des hydrolysats partiels et poussés de protéines du lactosérum, ainsi de la fréquence de la sensibilisation croisée secondaire (Moneret-Vautrin *et al.*, 2001).

D'autres traitements sont basés d'une part, sur l'éducation thérapeutique qui prend toute sa place pour éviter les réactions par exposition accidentelle aux protéines du lait de vache (Boyano-Martinez *et al.*, 2009). D'autre part, les protocoles de la tolérance orale, qu'il s'agisse du régime d'éviction, ou d'autres approches comme la désensibilisation spécifique, mieux appelée immunothérapie spécifique (ITS). L'ITS représente une autre approche thérapeutique des enfants non guéris à l'âge habituel de la guérison.

L'objectif est de protéger les enfants allergiques en évitant des réactions par ingestion accidentelle de lait de vache et en induisant une tolérance orale à long terme (Meglio *et al.*, 2004 ; De Boissieu & Dupont, 2007 ; Staden *et al.*, 2007 ; Longo *et al.*, 2008 ; Meglio *et al.*, 2008).

Le pronostic est globalement bon ; la disparition des symptômes, sous régime d'éviction, nécessite un délai très variable qui peut atteindre 2 à 4 semaines. L'évolution de la maladie elle-même, sous régime d'éviction, se fait en général vers la rémission, plus ou moins parallèle à l'évolution des tests biologiques, mais de façon parfois lente et incomplète. Les taux de guérison sont de 45 à 50% à 1 an, 60 à 75% à 2 ans et 85 à 90% à 3 ans (avec une allergie alimentaire associée dans 50% des cas) (Skripak *et al.*, 2007 ; Rancé, 2008 ; Dupont *et al.*, 2010).

2- Intolérance aux protéines des laits de mammifères

Pour être absorbé au niveau de l'intestin, le lactose doit être hydrolysé (coupé) en deux sucres absorbables : le glucose et le galactose. Ce processus se fait grâce à une enzyme présente dans l'intestin, la lactase. Lorsque la quantité de lactase est insuffisante chez un individu, il digère mal le lactose et peut avoir des symptômes gastro-intestinaux (nausées, douleurs abdominales, ballonnements, diarrhées, borborygmes...).

La quantité de lactase dans l'intestin est maximale à la naissance jusqu'au moment du sevrage du bébé. Elle diminue ensuite pour se stabiliser à un âge variable. Cette évolution normale n'induit pas obligatoirement une intolérance au lactose. En effet, les populations

d'Europe du Nord qui ont toujours consommé beaucoup de lait et de produits laitiers (et donc de lactose) conservent un taux en lactase intestinale suffisant tout au long de la vie.

Changer de type de lait n'est généralement pas une solution pour les personnes intolérantes. Le lait de chèvre, à titre d'exemple, présente une teneur en lactose a peine inférieure à celle du lait de vache. Toutefois, cette teneur légèrement inférieure combinée à une plus grande digestibilité du lait de chèvre peut conduire à une meilleure tolérance chez certains individus tolérants au lactose (celagri.be).

C. Les bienfaits santé des laits de mammifères

1. Importance du lait en nutrition

Le lait est un aliment de forte densité nutritionnelle, en regard de son contenu en énergie métabolisable il présente une forte concentration en nutriments. Il contient des protéines riches en résidus d'acides aminés essentiels et des minéraux d'intérêt nutritionnel (calcium et phosphore) sous forme organique et minérale facilement assimilables par l'organisme, mais il présente une carence en fer et acides aminés soufrés (méthionine, cystéine).

Au-delà de ses qualités nutritives reconnues, le lait de vache possède également de nombreuses vertus. En plus d'exercer un effet antibactérien, antiviral ou même immunomodulateur, le lait joue un rôle protecteur sur notre organisme vis-à-vis de certains cancers, des maladies cardiovasculaires ou de la consolidation de notre squelette (Moiroud, 2017).

Le lait de brebis contient autant de lactose que le lait de vache. Mais, le lactose que l'on trouve dans le lait de brebis est plus facile à digérer. Il n'est cependant pas plus adapté aux personnes sensibles ou intolérantes au lactose. Il est simplement plus digeste. En tant qu'alternative au lait de vache, cette boisson est riche en protéines. Elle favorise donc le bon développement des muscles et apporte également de l'énergie à l'organisme. Il contient également de nombreux minéraux (calcium, phosphore, zinc) ainsi qu'une teneur élevée en vitamines, notamment D, E et B₂ (naturaforce.com).

Par ailleurs, le lait de chèvre possède moins de caséine que le lait de vache, une protéine allergénique. Ce lait est celui qui ressemble le plus au lait maternel. Sa teneur en acides gras à chaîne moyenne contribue à favoriser la digestion du lait qu'ils requièrent moins d'enzymes, il offre aussi une plus grande richesse en minéraux et oligo-éléments, il est également recommandé à la ménopause par sa richesse en calcium et vitamine D.

Le lait de chèvre protège des infections : il contient en effet des sucres qui contribuent à l'essor de bactéries intestinales essentielles pour préserver le système immunitaire (chevrette.com.ua).

Pour rappel, le lait contient plusieurs vitamines et minéraux, dont calcium et la vitamine D (ajoutée), essentiels au maintien de la santé osseuse. De plus, le calcium laitier pourrait jouer un rôle dans la prévention de diverses maladies telles les maladies cardiovasculaires, l'hypertension artérielle et l'obésité.

D'autres composés bioactifs sont présents dans le lait et auraient eux aussi des effets sur la santé. C'est le cas de la lactoferrine, une protéine qui joue un rôle dans la lutte contre les infections. Elle protégerait aussi contre certains types de cancers (passeportsante.net).

2. Valeur nutritionnelle du lait

Le lait constitue la source unique de lactose dans la nature. La présence du lactose dans le tube digestif favorise l'implantation d'une flore de putréfaction, il favorise également l'assimilation du calcium et des matières azotées.

La valeur protéique du lait est excellente grâce à un très bon équilibre en acides aminés indispensables et à une bonne digestibilité des acides aminés. En plus de leur intérêt nutritionnel, indique que le lait a un rôle fonctionnel important de protection contre les agressions grâce à la fourniture des composants protéiques (immunoglobuline) (Debry, 2001).

Les corps gras sont la meilleure source d'énergie, ils confèrent au lait entier la moitié de sa valeur énergétique qui est environ 48 %, ils constituent la forme de mise en réserve de l'énergie. Le coefficient d'utilisation digestif "CUD" des lipides est de l'ordre de 95. La matière grasse laitière est le véhicule des vitamines liposolubles (tableau 9).

La fraction minérale, bien que mineur dans la composition du lait joue un rôle essentiel du point de vue nutritionnel. Elle est caractérisée par sa teneur élevée en calcium liée à la phosphosérine de la caséine. Le calcium joue un rôle positif dans la coagulation du lait par la présure (Luquet, 1986).

Tableau 9 : La composition chimique de trois différents types de lait
(Luquet, 1986).

Composition pour 100 ml	Brebis	Chèvre	Vache
Energie (Kcal/l)	104	70	67
Energie (KJ/l)	434	292	278
Matière grasse	7	4.3	3.9

MATERIELS & METHODES

Cette étude est réalisée en collaboration entre le chef de service (sous-directeur) de la filière Agro élevage de l'établissement Giplait Tessala de Sidi Bel-Abbès (Mr M. Oueld Bel-Abbès) et le Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature & de la Vie. Université de Sidi Bel-Abbès (Dr M. Missouri).

1. Origine du lait utilisé

Les échantillons du lait (vache, brebis et chèvre) analysés sont des mélanges de lait de plusieurs femelles de la même ferme située dans la Willaya de Sidi Bel-Abbès à l'Ouest de l'Algérie qui sont élevées sous un mode d'alimentation moyen et extensif.

2. Prélèvements

La traite pratiquée est mécanique et effectuée le matin avant la sortie du troupeau. Le lait a été mis dans des flacons stériles en verre, rebouchés immédiatement après prélèvement de 400 ml, puis sont placés dans une glacière munie de la glace pilée, acheminée au laboratoire afin de les analyser. Dès l'arrivée des échantillons, les analyses commenceront environ 8 h 30 mn du matin. L'analyse porte sur 6 échantillons de lait de la même espèce correspondent à des prélèvements effectués en Février respectivement pour le lait de vache 2021, en Mars pour le lait de chèvre et en Avril pour le lait de brebis 2021.

3. Méthodes d'analyses

3.1. Mesure des principaux paramètres constitutionnels

L'extrait sec total et la matière grasse ont été réalisés sur du **lait congelé**.

La teneur en extrait sec est le produit résultant de l'évaporation au bain marie à 70°C puis dessiccation de l'échantillon (10 ml) 3 heures à l'étuve à $105 \pm 2^\circ\text{C}$ (Amarglio, 1986).

La méthode suivie dans la détermination de la teneur en matière grasse est une méthode acido-butyrométrique dite Gerber (AFNOR, 1993 ; Koceir, 2010). Dans cette technique, les protéines du lait sont dissoutes par l'acide sulfurique, les matières grasses résistantes à l'action de l'acide sulfurique sont séparées par centrifugation à chaud en présence d'alcool isoamylique (3-méthyl-1-butanol). La matière grasse, moins dense, se rassemble en une couche claire et transparente (Audigie et *al.*, 1978) (Figures 1 & 2).

3.2. Mesure des paramètres physico-chimiques

Le pH, l'acidité (en °D) et la densité sont effectués le **jour même** du prélèvement. Le pH est mesuré à 20°C à l'aide d'un pH mètre de type Thermo-Orion, permet la mesure d'une différence de potentiel et effectué après étalonnage par des solutions tampons à pH 07 et pH 04 (Kamoun, 1977).



Figure 1 : Centrifugeuse (Funke Gerber) à usages multiples pour le lait
(Benhassaini, 2021).



Figure 2 : Détermination de la matière grasse par le butyromètre
(Benhassaini, 2021).

L'acidité est dosée par titration avec une solution de NaOH. Elle est mesurée par titrage avec la soude Dornic (N/9) en présence de phénolphtaléine et est exprimée en degré Dornic (Guiraud, 1998) (Figure 3). La mesure de la densité est déterminée à l'aide d'un thermo-lactodensimètre PAR DMA 35 à 20°C. Le principe consiste à plonger le densimètre dans une éprouvette de 100 ml remplie de lait à analyser, lorsqu'il se stabilise ; une lecture directe donne le résultat (Figure 4).

4. Analyse statistique

Les résultats sont exprimés par la moyenne \pm erreur standard ($\bar{X} \pm S.E$). Les moyennes obtenues sont comparées entre elles à l'aide du test "t" de Student. La différence entre deux moyennes a été habituellement considérée significative lorsque $p < 0,05$ et non significative dans les autres cas.



Figure 3 : Détermination de l'acidité du lait (Benhassaini, 2021).

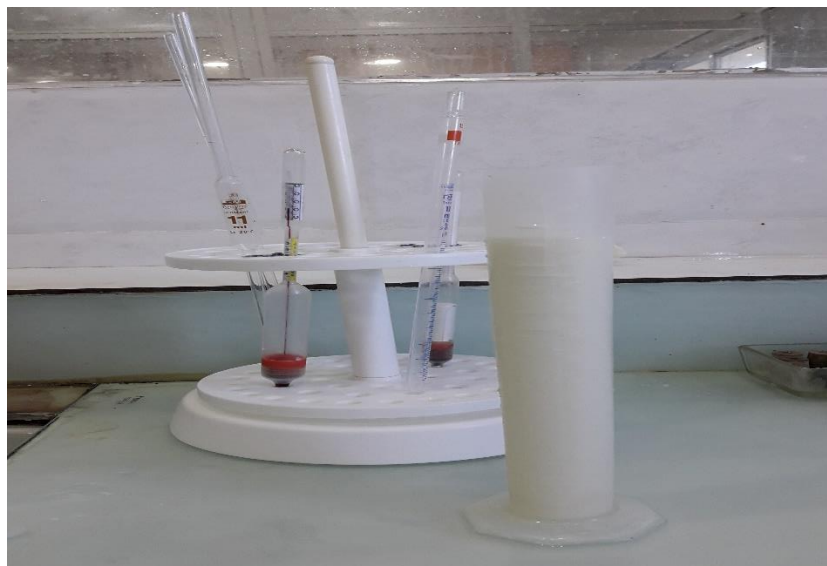


Figure 4 : Mesure de la densité du lait par lactodensimétrie (Benhassaini, 2021).

RESULTATS

1. Paramètres principaux constitutionnels des laits de diverses espèces animales

Le tableau 1 résume ou représente quelques principaux paramètres constitutionnels recueillis de différents laits lors de notre étude et qui sont comparés entre diverses espèces animales.

L'extrait sec total et la matière grasse ont été réalisés sur du **lait congelé**. La comparaison des moyennes montre qu'il existe une différence hautement significative de la teneur en extrait sec total retrouvée chez la brebis par rapport à la vache ($p < 0,001$). Il en est de même de la chèvre par rapport à la vache ($p < 0,001$). Des teneurs significatives en extrait sec total sont trouvées dans le lait de brebis par rapport à la chèvre ($p < 0,01$).

Nos résultats montrent également que la teneur en matière grasse (double) obtenue dans le lait de brebis est très significative comparée au lait de vache ($p < 0,0001$). La comparaison des moyennes montre aussi qu'il existe une différence hautement significative de la teneur en matière grasse chez la chèvre par rapport à la vache ($p < 0,001$). Quant à la teneur en matière grasse retrouvée dans le lait de chèvre, nous notons une diminution légèrement significative par rapport au lait de brebis ($p < 0,01$).

2. Paramètres physico-chimiques des laits de diverses espèces animales

Les caractéristiques physico-chimiques des différents laits sont regroupées ou indiquées au tableau 2.

L'acidité (en °D), la densité, la température et le pH sont effectués le **jour même** du prélèvement.

Les résultats obtenus montrent que l'acidité titrable exprimée en (°Dornic) est très significative chez la brebis par rapport à la vache ($p < 0,0001$). Nous constatons aussi une différence hautement significative chez la chèvre par rapport à la vache ($p < 0,001$). Il en est de même de la brebis par rapport à la chèvre ($p < 0,001$).

Quant à la densité, nous constatons une différence hautement significative obtenue chez la brebis par rapport à la vache ($p < 0,001$). A cela, une autre différence hautement significative est notée chez la chèvre par rapport à la vache ($p < 0,001$). Quant à la chèvre par rapport à la brebis, nous notons une différence légèrement significative ($p < 0,01$).

Par ailleurs, aucune différence significative de la température n'a été observée chez la brebis par rapport à la vache. En revanche, nous constatons une différence légèrement

significative retrouvée respectivement chez la vache et la brebis par rapport à la chèvre ($p < 0,05$).

Concernant le facteur pH, nous notons une différence hautement significative observée respectivement chez la brebis et la chèvre par rapport à la vache ($p < 0,001$). A cela, des valeurs très significatives du pH ont été observées chez la brebis par rapport à la chèvre ($p < 0,0001$).

Enfin, à propos de l'antibiothérapie ; nous notons l'absence totale d'antibiotiques (ATB) dans les laits de diverses espèces animales étudiées.

Tableau 1 : Quelques constituants principaux des laits de diverses espèces animales (g/litre).

Constituants	Vache	Brebis	Chèvre
Extrait sec total	129,33 ± 0,33	257,16 ± 20,94	204,83 ± 11,95
Matières grasses	31,25 ± 0,79	70,33 ± 2,37	61,00 ± 4,20

Les valeurs indiquées sont des moyennes ± erreur standard (X ± S.E) (n = 6).

Les moyennes sont comparées à l'aide du test "t" de Student entre diverses espèces animales.

Tableau 2 : Quelques caractéristiques physico-chimiques des laits de diverses espèces animales.

Constantes	Vache	Brebis	Chèvre
Densité du lait entier à 20 °C	1028,98 ± 0,21	1032,76 ± 0,43	1031,76 ± 0,51
Point de congélation (°C)	- 0,55 ± 0,00	-0,57 ± 0,00	- 0,58 ± 0,00
pH-20°C	6,43 ± 0,05	6,80 ± 0,06	6,74 ± 0,004
Température (°C)	18,41 ± 0,54	19,66 ± 0,21	20,50 ± 0,42
Acidité titrable (°Dornic)	17,33 ± 0,14	23,50 ± 0,80	19,00 ± 0,25

Les valeurs indiquées sont des moyennes ± erreur standard (X ± S.E) (n = 6).

Les moyennes sont comparées à l'aide du test "t" de Student entre diverses espèces animales.