

### 1. Le lait

#### 1.1. Généralités

La dénomination "lait" sans indication de l'espèce animale de provenance, est réservée au lait de vache. Le lait est alors le produit de la sécrétion mammaire normale, obtenu par une ou plusieurs traites, sans aucune addition ou soustraction.

Le lait apparaît comme un liquide opaque blanc mat, plus ou moins jaunâtre selon la teneur en  $\beta$ -carotènes de la matière grasse. Il a une odeur peu marquée mais reconnaissable.

Le lait est caractérisé par différentes phases en équilibre instable :

- Une phase aqueuse contenant en solution des molécules de sucre, des ions et des composés azotés;
- Des phases colloïdales instables, constituées de deux types de colloïdes protéiniques;
- Des globules gras en émulsion dans la phase aqueuse.

#### 1.2. Sécrétion du lait dans les alvéoles

La sécrétion lactée dans les cellules sécrétrices est un processus composé de multiples étapes biochimiques complexes. Une fois lancée en début de lactation, la sécrétion du lait n'arrête jamais complètement, sauf au tarissement. Entre les traites, le lait qui s'accumule dans le pis y augmente la pression et diminue la vitesse de synthèse. Il est donc recommandé que les vaches soient traites à 12 heures d'intervalles.

Les vaches hautes productrices peuvent être traites les premières le matin et les dernières le soir. L'effet inhibiteur de l'augmentation de la pression interne reste minime, et la production laitière peut ainsi augmenter de 10 à 15% lorsque les vaches sont traites une troisième fois par jour.

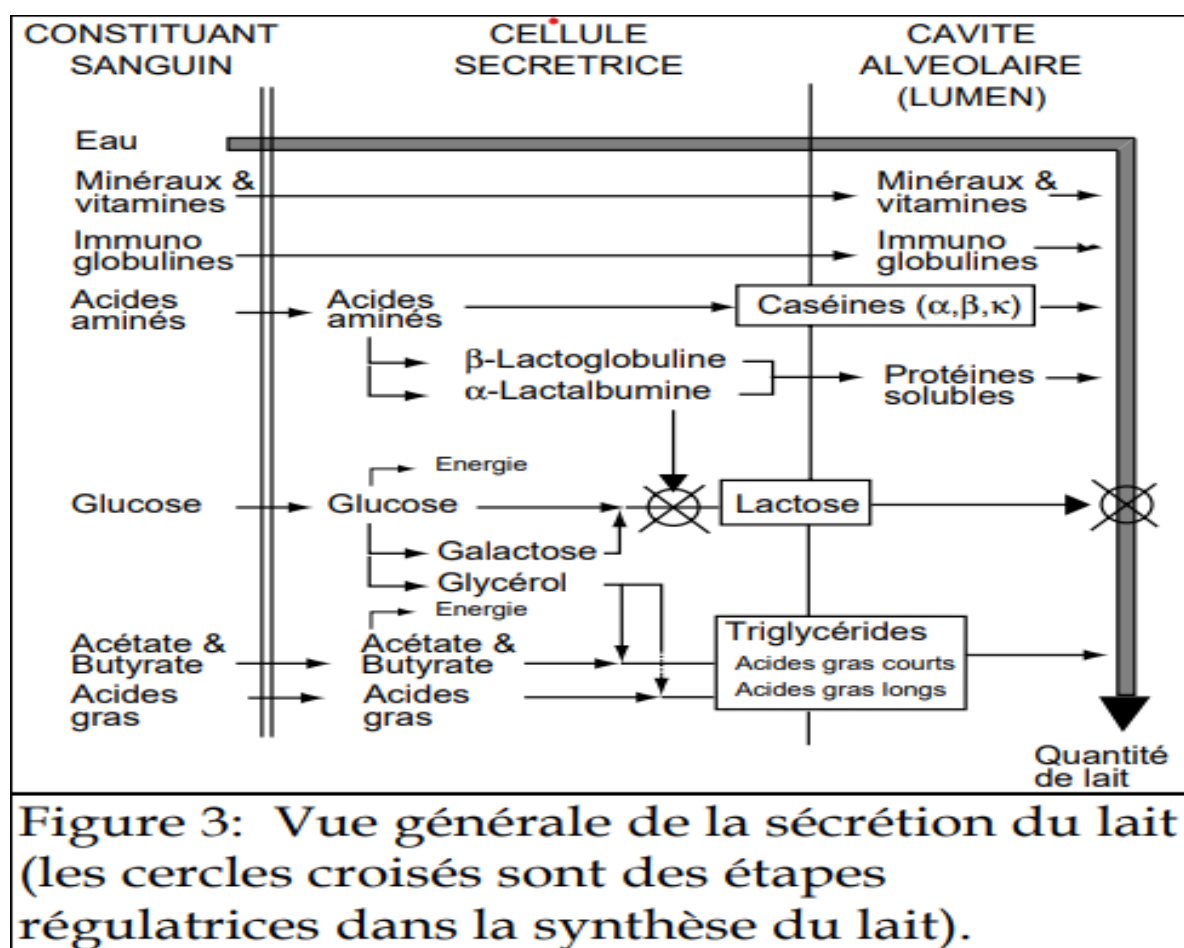
##### 1.2.1. Utilisation du glucose par les cellules sécrétrices

Le pis a besoin d'une grande quantité de glucose pour la synthèse du lait. Tout le glucose de la ration est fermenté en acides gras volatiles (acide acétique, propionique et butyrique) dans le rumen. Mais le foie utilise l'acide propionique pour synthétiser du glucose qui est transporté par le sang vers le pis où il est utilisé par les cellules sécrétrices.

Le glucose peut y servir comme source d'énergie, comme unité de base pour la synthèse du lactose ou comme source de glycérol nécessaire pour la synthèse de la matière grasse.

##### 1.2.2. Synthèse du lactose

La synthèse du lactose est contrôlée par une paire d'enzymes (synthétase du lactose). La sous-unité  $\alpha$ -Lactalbumine de cette enzyme est une protéine qui se trouve dans le petit lait.



#### 1.2.2.1. Contrôle du volume de lait synthétisé

La quantité de lait produite est contrôlée par la quantité de lactose synthétisée dans le pis. L'excrétion du lactose dans la cavité alvéolaire y augmente la concentration de substances dissoutes (pression osmotique) par rapport à celle qui existe dans le sang (de l'autre côté des cellules sécrétrices).

## COURS DE ZOOTECHNIE A3. LE LAIT

Ainsi, pour rétablir l'équilibre de concentration en substances dissoutes de chaque côté des cellules sécrétrices, l'eau passe du sang vers la cavité alvéolaire et s'y mélange avec les autres composants du lait qui s'y trouve.

Pour un lait normal, l'équilibre est atteint lorsqu'il y a 4,5 à 5% de lactose dans le lait.

Ainsi, la production de lactose agit comme une "valve" qui contrôle la quantité d'eau qui passe à travers le tissu alvéolaire et contribue ainsi au volume de lait produit.

Il y a, en général, une relation directe entre la ration alimentaire et la production laitière:

- 1) La quantité d'énergie dans la ration (càd les concentrés) influence la production de propionate dans le rumen;
- 2) Le propionate disponible détermine la quantité de glucose que le foie peut synthétiser;
- 3) Le glucose disponible influence la quantité de lactose que le pis peut synthétiser;
- 4) Le lactose disponible influence la quantité de lait produite par jour.

### 1.2.3. Synthèse des protéines

Les caséines qui se trouvent dans le lait sont synthétisées à partir d'acides aminés prélevés du sang. Ces protéines sont assemblées en micelles avant d'être libérées dans la cavité alvéolaire.

Le contrôle génétique de la synthèse du lait provient de la quantité d' $\alpha$ -Lactalbumine synthétisée par les cellules sécrétrices. Cette enzyme est un régulateur important de la synthèse du lactose et donc de la quantité de lait produite par jour.

- Les immunoglobulines sont synthétisées par le système immunitaire et ces grandes protéines passent directement du sang dans le lait le jour du vêlage.
- La perméabilité des cellules sécrétrices est élevée pendant la synthèse du colostrum, mais diminue vite dès le deuxième jour de lactation.
- La valeur immunologique du lait obtenu après la première traite diminue donc rapidement.

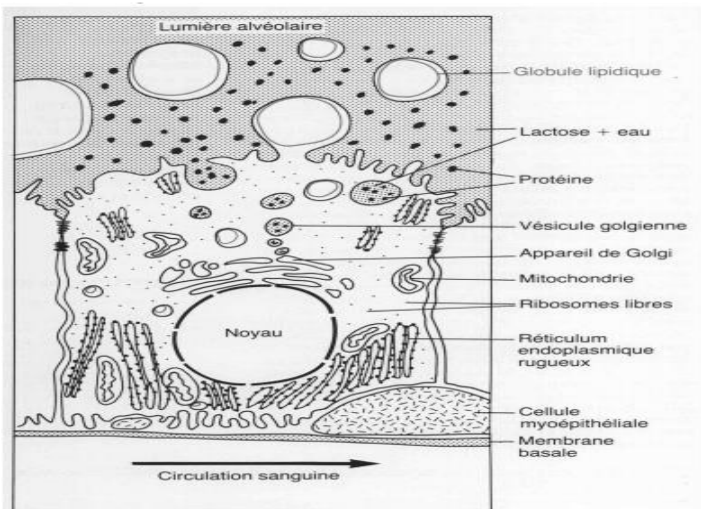
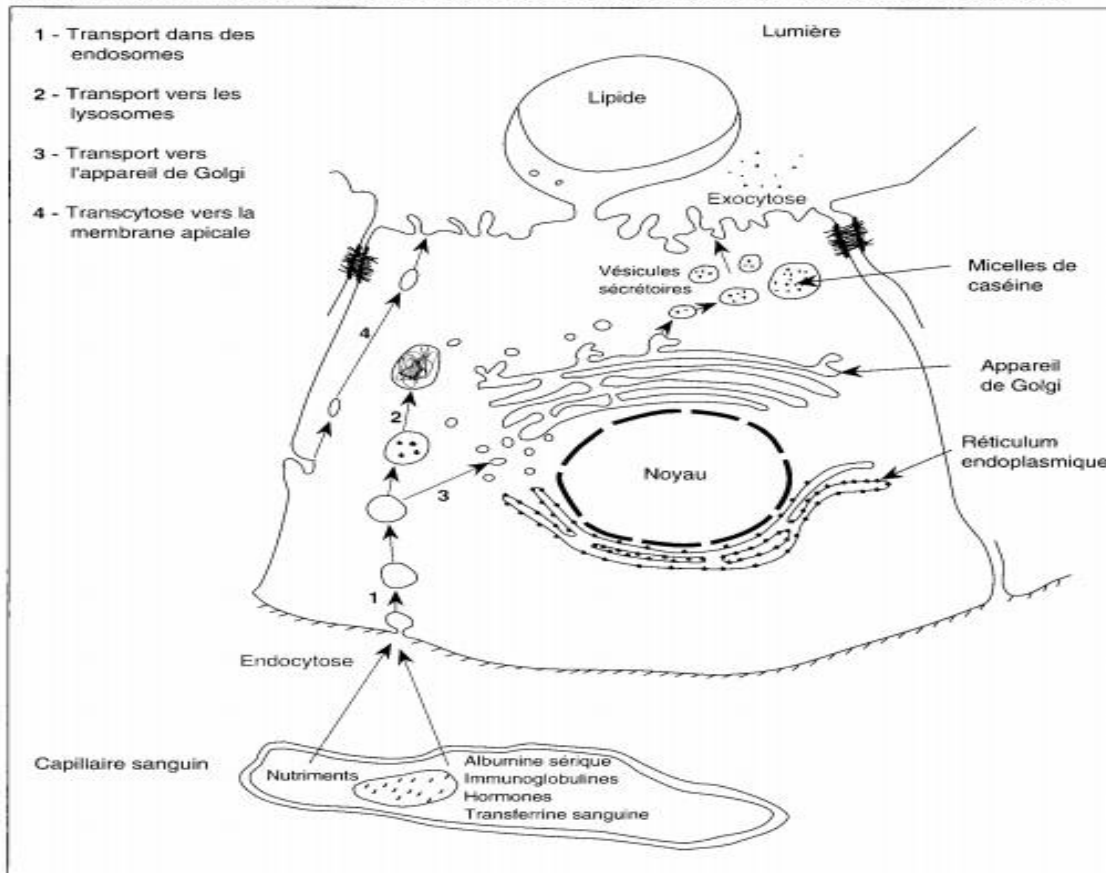


Figure 6. Evolution de la quantité d'ADN mammaire, représentatif du nombre

**Figure 3. Cellule épithéliale mammaire en lactation. Voies de transport des substances provenant du sang et des produits synthétisés par la cellule : après synthèse dans le réticulum endoplasmique, les protéines sont transportées à travers l'appareil de Golgi puis les vésicules sécrétoires vers la lumière de l'acinus.**



## 1.2.4. Synthèse de la matière grasse

L'acétate et le butyrate produits dans le rumen sont utilisés, en partie, pour la synthèse des acides gras qui constituent la matière grasse du lait (triglycérides). Le glycérol nécessaire pour

## COURS DE ZOOTECHNIE A3. LE LAIT

assembler trois acides gras en un triglycéride provient du glucose. La matière grasse du lait provient de l'acétate (17 à 45%) et du butyrate (8 à 25%) produits dans le rumen.

La composition de la ration a une grande influence sur la concentration de matière grasse dans le lait. Le manque de fibre limite la synthèse d'acétate dans le rumen, ce qui conduit à la formation d'un lait pauvre en matière grasse (2 à 2,5%).

Les lipides mobilisés des réserves corporelles en début de lactation sont une source alternative d'acétate pour la synthèse de la matière grasse du lait.

En général, seulement la moitié de la matière grasse du lait est synthétisée dans le pis. L'autre moitié provient principalement des longues chaînes d'acides gras qui se trouvent dans la ration de la vache.

Ainsi, la composition des acides gras du lait peut être modifiée en manipulant le type de matière grasse présent dans la ration de la vache.

### 1.3. Caractéristiques physico-chimiques du lait

#### 1.3.1. Composition globale

La composition globale du lait ne fait apparaître que les grandes catégories de ses constituants et les valeurs données sont des valeurs moyennes. On remarque immédiatement que le constituant principal du lait est l'eau avec 902 g.L<sup>-1</sup>. Tandis que la matière sèche ne représente que 130 g.L<sup>-1</sup>.

| Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du lait |                                 |
|--|---------------------------------|
| pH (20°C)  | 6,5 à 6,7                       |
| acidité titrable                                       | 15 à 17 °D *                    |
| densité (20°C)   | 1,028 à 1,036                   |
| température de congélation                             | - 0,51 °C à - 0,55 °C           |
| valeur énergétique                                     | ± 275 kJ.(100 mL) <sup>-1</sup> |

#### 1.3.1.1. Composition de la matière sèche

Hydrates de carbone, graisses et protéines constituent les éléments essentiels de la sécrétion lactée. La proportion de ces différents composants varie selon les espèces animale et humaine.

**Tableau. 2. Composition physico chimique du lait selon les espèces**

| Espèces  | Graisses | Protéines | Lactose | Eau  |
|----------|----------|-----------|---------|------|
| Jument   | 1,9      | 2,5       | 6,2     | 88,8 |
| Vache    | 3,7      | 3,4       | 4,8     | 87,3 |
| Femme    | 3,8      | 1,0       | 7,0     | 87,6 |
| Chèvre   | 4,5      | 3,3       | 4,4     | 86,8 |
| Chamelle | 5,4      | 3,9       | 5,1     |      |
| Truie    | 6,8      | 4,8       | 5,5     | 81,2 |
| Brebis   | 7,5      | 5,6       | 4,4     | 80,7 |
| Ratte    | 10,3     | 8,4       | 2,6     | 79,0 |

**Tableau. 3. Composition physico chimique du lait**

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| Eau                                | 902    |
| Matière sèche                      | 130    |
| Glucides (lactose)                 | 49     |
| Matière grasse                     | 39     |
| lipides                            | 38     |
| phospholipides                     | 0,5    |
| composés liposolubles              | 0,5    |
| Matière azotée                     | 33     |
| protéines                          | 32,7   |
| caséines                           | 0,28   |
| protéines solubles                 | 4,7    |
| azote non protéique                | 0,3    |
| Sels                               | 9      |
| Biocatalyseurs, enzymes, vitamines | Traces |

### A- Les glucides

Le sucre principal du lait est le lactose, disaccharide constitué par l'association d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose. On ne relève que 70 mg.L-1 de glucose et 20 mg.L-1 de galactose ainsi que des traces d'autres glucides. Le lactose a un faible pouvoir sucrant (indice 17) comparé à ceux du saccharose (indice 100) et du glucose (indice 75).

Le lactose est assimilé après hydrolyse en présence de l'enzyme "lactase" au niveau de l'intestin grêle.

Chez les mammifères, la production de lactase cesse entre le sevrage et l'âge adulte. Les sujets qui ne possèdent plus cette enzyme ne peuvent digérer le lactose, cause alors de troubles intestinaux.

#### - Le lactose

Le lactose est un sucre fermentescible. Il est dégradé en acide lactique par des bactéries lactiques (lactobacilles et streptocoques) ce qui provoque un abaissement du pH du lait entraînant sa coagulation ; celle-ci est indispensable pour la fabrication de fromages et de laits fermentés.

La synthèse de lactose nécessite l'intervention d'une enzyme :

- La lactosynthétase dans la constitution de laquelle on retrouve deux protéines : **l'alpha-lactalbumine** et la **galactosyltransférase** dont la synthèse est modulée d'une part par la prolactine qui a une action de stimulation et d'autre part par la progestérone qui, à concentration élevée inhibe la synthèse d'alpha-lactalbumine.

### B- La matière azotée (33 g/L)

On distingue deux groupes de matières azotées dans le lait : les protéines et les matières azotées non protéiques.

- Les protéines (32,7 g/L), parmi lesquelles la caséine (80 %), les protéines solubles (albumines et globulines - 19 % - et des protéines diverses (enzymes) - 1 % -) en constituent la fraction essentielle.

#### B.1. Les protéines

La teneur en protéines du lait est une caractéristique essentielle de sa valeur marchande, technologique et biologique. La méthode Kjeldahl est la méthode de référence dans laquelle on admet que la teneur moyenne en azote du lait est de 15,65 %. La teneur en protéines exprimée en gramme par litre s'obtient en multipliant la teneur en azote par 100/15,65 soit 6,39.

### ***B.1.1. Les protéines vraies***

Elles se différencient de l'ANP par la grosseur de leurs molécules et sont présentes, quel que soit l'espèce sous deux phases :

- Une phase micellaire insoluble (80 %) instable constituée essentiellement de caséines donnant au lait son aspect blanc opaque et ;
- Une phase soluble (20 %) stable constituée des protéines sériques stables ou protéines du lactosérum (petit lait).

### ***B.1.2. Teneur en protéines***

Cette méthode a le désavantage de surévaluer la teneur en protéines puisqu'elle dose également l'azote non protéique.

En routine, des appareils automatiques dosent les protéines par absorption infrarouge (Milko-Scan système qui permet de doser simultanément les protéines, le lactose, la matière grasse et l'eau) ou par fixation d'un colorant (Pro-Milk système réservé au dosage de la protéine).

### ***B.1.3. Teneur du lait en protéines***

Le taux moyen de protéine brute pour la race Holstein est de 3,35% et compris entre 2,8 et 4,5%. Le taux de protéine vraie est inférieur de 0,12 à 0,29% au taux moyen de protéine brute.

Le lait constitue donc une importante source de protéines pour l'homme, en particulier pour l'enfant. Sa teneur en protéines est par voie de conséquence une caractéristique essentielle de sa valeur marchande.

Les protéines lactées sont présentes dans deux phases différentes :

- Une phase instable constituée de particules solides en suspension qui diffusent la lumière et contribuent, avec les globules gras, à donner au lait son aspect blanc et opaque : ce sont les caséines.
- La phase soluble stable constituée des différentes protéines solubles ou protéines du lactosérum.

Les caséines se trouvent dans le lait sous forme d'un complexe des diverses caséines liées à du phosphate de calcium colloïdal :  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Ces protéines qui contiennent des groupes acides et des groupes amines à caractère basique, sont sensibles au pH du milieu. L'acidification du milieu à pH 4,6 provoque la coagulation de ces protéines qui se séparent de la phase aqueuse.

### **B.1.4. Synthèse des protéines du lait**

A l'exception de l'albumine et des immunoglobulines qui proviennent directement du sang, les autres protéines du lait sont synthétisées par les cellules mammaires à partir des acides aminés. Certains sont dits essentiels car ils doivent être apportés par l'alimentation. D'autres non-essentiels sont synthétisés par la cellule mammaire.

#### **B.1.4.1. L'albumine**

L'albumine est synthétisée dans le foie. Sa concentration dans le lait reflète donc celle du sang. Les immunoglobulines sont synthétisées dans la rate et le système lymphatique. Cette synthèse protéique, nécessitant du glucose, il est indispensable pour augmenter le taux protéique dans le lait de fournir à l'animal cette source d'énergie ou l'un de ses précurseurs.

#### **B.1.4.2. La fraction azotée non protéique du lait (ANP)**

Elle représente respectivement chez la vache, la chèvre et la femme 5, 9 et 20 % de l'azote total du lait. Elle est essentiellement constituée 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'ammoniaque, la créatinine. L'augmentation de la fraction non azotée est principalement due à un excès d'apport alimentaire azoté combiné ou non avec une insuffisance énergétique glucidique.

Elle peut également être associée à une mammite. Il y a une corrélation étroite entre la teneur en urée du lait et celle du sang. Cette teneur augmente lors de la mise à l'herbe et est maximale en automne.

#### **B.1.4.3. Composition protéique du lait de vache de race Holstein**

##### **B.1.4.3.1. Les caséines**

Elles représentent 78 à 80 % des protéines du lait. Constituées d'environ 200 acides aminés, elles se différencient en alpha S1 (38%), alpha S2 (12 %), beta caséine (35%) et kappa caséine (15%) (la gamma caséine correspond en fait à certains segments de la beta-caséine).

La caséine est une substance protéique (protéine) qui constitue la majeure partie des composants azotés du lait. Dans la fabrication du fromage, elle précipite après adjonction d'acide ou de présure.

##### **- Kappa caséine**

##### **Définition**

Protéines insolubles du lait qui sont reliées par des ions calcium et phosphates. La caséine kappa a un rôle coagulant et sert à la fabrication de fromage.

## COURS DE ZOOTECHNIE A3. LE LAIT

La Kappa-Caséine est la plus importante dans le processus de coagulation du lait. Si elle est en proportion plus grande, le caillage est plus rapide et plus ferme.

De plus, il existe plusieurs variantes génétiques de la Kappa-Caséine : A et B principalement mais aussi E. Les animaux peuvent donc être soit AA, AB, BB, BE ou EE.

Le lait possédant le variant BB de la Kappa-caséine présente une meilleure aptitude au caillage et donc à la transformation fromagère. La quantité et la qualité de la Kappa caséine influent le rendement fromager.

Les différentes associations influencent la qualité et la fabrication du fromage. Il peut s'avérer une hausse d'au moins 10% de fabrication de fromage selon le typage.

- BB : Résultat favorable pour la production de fromage et typage recherché.
- AB et BE : Résultats intermédiaires pour la production de fromage.
- AA et AE : Résultats moins favorables pour la production de fromage

En résumé, les éleveurs soucieux d'améliorer la transformation de leur lait en fromage rechercheront des taureaux testés BB et dans un second temps les taureaux testés AB ou BE. Les taureaux testés AA, AE, et EE sont ceux qui auront moins de qualité à une meilleure fabrication de fromage.

### - La Bêta-Caséine

#### Définition

La Bêta-caséine est une classe de protéine du lait de vache qui peut produire des effets au-delà de la nutrition, en raison de la libération de peptides biologiquement actifs sur la digestion.

Les animaux peuvent être majoritairement soit A2/A2, A1/A2 ou A1/A1.

Il arrive parfois de trouver des animaux A1/B ou A2/B.

- A2/A2 : Bêta-Caséine recherché pour une meilleure santé de l'homme
- A1/A2 : Bêta-Caséine intermédiaire
- A1/A1 : Bêta-Caséine non souhaitée.

En résumé, les études sur la santé humaine ont démontré une meilleure santé de l'homme et digestibilité du lait à partir des animaux produisant une Bêta-Caséine A2/A2. Les animaux porteurs de la Bêta-Caséine A1/A1 auraient une incidence négative sur la santé humaine.

### - L'alpha caséine

Chacune de ces protéines est présente sous plusieurs variants génétiques. La caséine alpha constitue un puissant chimio-attracteur pour les leucocytes.

### - La gamma-caséine

La gamma-caséine augmente dans le lait lors de mammites. En effet lors d'inflammation, la plasmine passe du sang dans le lait et dégrade la caséine en gamma-caséine.

#### B.1.4.3.2. Les protéines sériques

Elles sont au nombre de quatre : la beta-lactoglobuline (60%), l'alpha-lactalbumine (20%), l'albumine sérique (7%) et les immunoglobulines (13%). La beta-lactoglobuline est présente dans le lait de la vache, de la truie mais pas de la jument.

Son rôle est peu connu. Elle servirait d'apport protéique complémentaire pour le nouveau-né. L'alpha-lactalbumine est un des composants de la **lactose-synthétase** et à ce titre joue un rôle essentiel dans la synthèse du lactose.

Elle se trouve dans le lait de toutes les espèces animales. L'albumine sérique (BSA) est un bon indicateur d'un état inflammatoire de la mamelle.

Cependant sa méthode d'évaluation est trop difficile que pour en permettre l'utilisation en pratique. Sa concentration basale est très variable d'un animal à l'autre. Elle est également indépendante de sa concentration sanguine, de la parité de l'animal et des quartiers. Elle augmente avec le stade de gestation.

#### • Les immunoglobulines et le système immunitaire de la mamelle

Outre la nutrition du nouveau-né, les sécrétions mammaires assurent également la protection immunitaire de la glande mammaire et du jeune. La nature du système immunitaire est donc double : immunité humorale systémique d'une part et immunité locale d'autre part. L'immunité locale se caractérise par une production locale d'anticorps. Le transfert de l'immunité humorale systémique varie selon les espèces animales par sa voie et sa durée en fonction du type de placentation. Trois groupes doivent être distingués :

- Le groupe 1 concerne les primates et les lagomorphes chez lesquels le transfert des anticorps sériques s'effectue surtout en fin de gestation au travers du placenta hémochorial et du sac vitellin (transfert actif). A la naissance, le jeune possède une concentration sérique d'immunoglobulines identiques à celle observée chez la mère. Le colostrum renferme peu d'IgG et beaucoup d'IgA.
- Le groupe 2 intermédiaire entre le groupe 1 et 3 comprend les rongeurs et les carnivores à placentation **hémochoriale et endothéliochoriale**. Le transfert de l'immunité systémique s'effectue à la fois in utero et par le colostrum.
- Le groupe 3 est constitué des ongulés (artiodactyles et artiodactyles et périssodactyles) à placentation **syndesmochoriale et épithéliochoriale**. La persistance de l'épithélium utérin pendant

La gestation rend les enveloppes embryonnaires imperméables au transfert d'anticorps.

Le colostrum est particulièrement riche en IgG suite à un phénomène de concentration spécifique au niveau du tissu mammaire.

## COURS DE ZOOTECHNIE A3. LE LAIT

L'acquisition passive par le jeune de l'immunité systémique maternelle s'effectue entièrement par le colostrum ingéré pendant les 24 à 36 heures après la naissance.

Les anticorps du colostrum sont absorbés par les entérocytes immatures. Ce transfert s'arrête lorsque les entérocytes sont remplacés par des cellules épithéliales matures par les macromolécules.

### • Les protéines de défense antimicrobienne non-spécifique

Elles sont responsables des propriétés bactéricides et bactériostatiques des laits frais. Leur activité complémentaire est de nature enzymatique (lactoperoxydase, lysozyme) ou non enzymatique (complément, lactoferrine).

1. La lactoperoxydase ou peroxydase est présente dans tous les laits. Ce fut la première enzyme découverte dans le lait (1881). Son activité bactériostatique s'exerce surtout au cours des premières heures suivant la traite.

Elle agit sur le peroxyde d'hydrogène élaboré par les lactobacilles de la flore intestinale et catalyse la libération d'oxygène fortement toxique pour de nombreuses bactéries.

La lactoperoxydase Cet effet dépend de l'alimentation puisque une nourriture à base de maïs entraîne une activité nettement supérieure à celle obtenue avec une alimentation à base de betteraves. Son taux moyen est de 30 mg /l.

Il est légèrement plus élevé en début de lactation. Il varie selon l'individu et la race.

2. Le lysozyme est capable de détruire la paroi de certaines bactéries. Sa concentration est plus faible dans le lait de vache (13 µg/100ml) que de femme (39 µg/100ml).
3. La lactoferrine est une glycoprotéine synthétisée par le tissu mammaire (70 %) et par les leucocytes (30 %).

Sa concentration varie selon l'espèce (concentrations élevées dans le colostrum et le lait de la femme, de la truie et du cochon d'Inde) et selon la nature de la sécrétion mammaire. Ainsi les sécrétions du tarissement, du colostrum et du lait mammiteux renferment respectivement 100, 10 et 5 fois plus de lactoferrine que le lait normal.

Sa concentration est peu influencée par le stade de lactation et par la parité. Elle possède deux rôles physiologiques : transport du fer alimentaire vers des récepteurs intestinaux et rôle bactériostatique lorsqu'elle n'est pas saturée en fer.

Elle prive ce faisant les bactéries du fer dont elles ont besoin pour leur croissance. Cet effet s'exerce davantage à l'encontre des coliformes et du *Streptococcus uberis* qu'à l'encontre des staphylocoques et du *Streptococcus agalactiae*.

### 4. Le complément

Le complément présent dans la sécrétion mammaire pendant le tarissement et dans le colostrum, n'a été que très irrégulièrement retrouvé dans le lait.

#### B.1.4.3.3. Les enzymes

Ils sont normalement présentes en grand nombre dans le lait (60) puisqu'en effet les six classes définies par l'Union Internationale de Biochimie à l'exception d'une (les ligases) y sont représentées soit les oxydoréductases, les transférases, les hydrolases, les lyases et les isomérases. Ils sont inactivés par la pasteurisation.

Cette influence d'inhibition disparaît à l'approche du part, c'est-à-dire au moment où la progestéronémie diminue.

Une insuffisance d'apport en lactose ou une lésion de la cellule sécrétoire (mammite) sont de nature à réduire la concentration de lactose du lait. Par ailleurs, celle-ci augmente chez la vache avec le stade de lactation.

Leur rôle apparaît divers. Ce sont des facteurs de dégradation des constituants du lait. Elles induisent donc des modifications technologiques (pertes de rendements) et organoleptiques (lipases et protéinases). Elles ont un rôle antibactérien (peroxydase et lysozyme). Elles peuvent servir d'indicateur de qualité hygiénique (catalase augmentée par les germes et les leucocytes), de traitement thermique vu leur thermosensibilité et d'espèce puisque tous les laits ne renferment pas les mêmes enzymes.

### C. La matière grasse

La matière grasse du lait est fréquemment quantifiée par le taux butyrique. Elle se compose pour 98 % de triglycérides, le reste étant représenté par des phospholipides participant à la structure lipoprotéique de la membrane des globules gras.

Présents en très grand nombre dans le lait (200), les acides gras se répartissent en acides gras courts (C4-C10), moyens (C12-C16) et longs ( $\geq$ C18). Pour une espèce donnée, leur nature est fort différente. De même, leur proportion varie selon les espèces.

Cette matière grasse est constituée principalement de composés lipidiques.

Le trait commun aux lipides est la présence d'acides gras qui représentent 90 % de la masse des glycérides ; ils sont donc les composés fondamentaux de la matière grasse.

Chez les ruminants, les acides gras à chaîne courte se trouvent en grande proportion ; ils proviennent de la fermentation anaérobie de glucides, tels la cellulose, par les microorganismes présents dans le système digestif de ces animaux.

## COURS DE ZOOTECHNIE A3. LE LAIT

Environ 50 % des acides gras sont d'origine sanguine et 50% d'origine mammaire. Leur origine varie cependant en fonction de leur nature. Les acides gras courts proviennent d'une synthèse mammaire à partir d'acétate et d'hydroxybutyrate.

Les acides gras longs prélevés dans le sang, sont d'origine alimentaire (résorption intestinale sous forme de chylomicrons et de lipoprotéines) ou corporelle (lipolyse dans le tissu adipeux de réserve).

Les acides gras moyens sont synthétisés dans la glande mammaire ou sont d'origine alimentaire ou corporelle.

L'allongement progressif de la chaîne carbonée des acides gras en mono, di et triglycérides s'effectue dans le réticulum endoplasmique à l'intervention d'une enzyme tissulaire, la lipoprotéinelipase dont l'activité augmente dans la glande mammaire en fin de gestation et en début de lactation alors qu'elle diminue dans les autres tissus à activité lipogénique. Cette activité enzymatique est stimulée par la prolactine.

L'arrêt de la traite supprime la décharge de la prolactine qu'elle provoque normalement, entraînant de ce fait une diminution de l'activité de la lipoprotéinelipase dans le tissu mammaire mais une augmentation de l'activité de cette même enzyme dans les autres tissus.

Une fois synthétisés, les acides gras fusionnent en gouttelettes lipidiques dont la taille va aller sans cesse croissante jusqu'à leur élimination par exocytose dans le canalicule excréteur.

La teneur en matière grasse du lait varie selon les espèces et chez la vache selon les races. Il y a environ 10 milliards de globules gras par ml de lait dont la taille moyenne est de 3 à 5 microns.

Le globule gras se compose d'une goutte de lipides centrale et d'une membrane périphérique dans la composition de laquelle on retrouve essentiellement des protéines et des phospholipides formant la membrane secondaire entourée d'une membrane primaire constituée des éléments figurés de la cellule.

Il n'est pas inutile de préciser qu'il existe une relation positive entre la teneur en matières grasses et celle en protéines : plus il y a de matières grasses, plus il y a de protéines.

### D. Les minéraux

Le lait contient des sels à l'état dissous (molécules et ions) et à l'état colloïdal. Ils sont essentiellement d'origine minérale.

Le calcium et le phosphore sont les deux éléments fondamentaux de la structure de la micelle. Ils sont avec le magnésium, responsables de la stabilisation de la micelle. Les ions potassium, sodium et chlore réalisent avec la lactose, l'équilibre de pression osmotique du lait dans la mamelle vis à vis de la pression sanguine. Ils subissent

Des variations importantes en cas de mammite. La concentration du chlore augmente dans le lait en cas de mammite. Bien que sa détermination puisse être possible en laboratoire au moyen d'un test à base de bichromate de potassium et de nitrate d'argent, en pratique elle s'avère peu fiable puisque la concentration dépend également de la quantité de lait produite.

Les teneurs en oligo-éléments sont très variables en fonction du degré de contamination du lait après la traite. Les teneurs en Ca, P et Mg sont indépendants de la ration, l'animal pouvant faire appel à ses réserves osseuses. En cas de carence, c'est la production de lait qui diminue.

### E. Les vitamines

On distingue les vitamines hydrosolubles (B, C) présentes dans la phase aqueuse du lait c'est-à-dire le lait écrémé et le lactosérum et les vitamines liposolubles (A, D, E) associés à la matière grasse (crème, beurre).

### 1.3.2. Facteurs de variation de la composition du lait

#### 1.3.2.1. Facteurs liés à l'animal

##### 1.3.2.1.1. Facteurs génétiques

- **La race de l'animal**

L'influence la composition du lait. La variation inter-races est importante pour le taux butyrique, intermédiaire pour les protéines et faible pour le lactose. Les taux de calcium, phosphore, potassium et sodium sont fortement héréditaires. L'hérédité de la production laitière, des quantités de matière grasse et de protéine est moyennement élevée puisque respectivement comprise selon les études entre 0,19 et 0,38 ; 0,15 et 0,38 et 0,21 et 0,36.

A l'inverse, les taux butyreux et protéique sont fortement héréditaires puisque leur hérédité est comprise selon les études respectivement entre 0,41 et 0,64 et entre 0,39 et 0,71. L'hérédité des différentes protéines du lait est très variable : alpha-caséine 0,02, beta-caséine 0,03, kappa-caséine 0,005, beta-lactoglobuline 0,24, alpha-lactalbumine 0,14, albumine sérique 0,15 et immunoglobuline 0,02.

En théorie, les vaches kappa-caséine BB ont un rendement fromager supérieur de 4 à 8 % aux vaches AA. En pratique, la différence est moins grande puisque les laiteries utilisent des laits de mélange.

L'impact des variants génétiques des caséines est double : il modifie d'une part la répartition des différentes caséines sans en modifier le total et d'autre part, il peut modifier l'aptitude fromagère des laits.

- *Les facteurs physiologiques*
  - **Le colostrum**

C'est un liquide jaune visqueux, à réaction acide présent dans la mamelle quelques jours avant et après l'accouchement. Son taux de protéines y est très élevé du fait de la concentration élevée en immunoglobulines.

La proportion des caséines est faible bien que leur quantité soit supérieure à celle du lait. Ses concentrations en azote et en matières grasses passent respectivement de la première traite au 10e jour de 160 g/l à 35 g/l et de 50g/l à 39 g/l.

### - **Le stade de lactation**

La quantité de matières grasses diminue jusqu'au pic de lactation puis augmente par la suite à raison de 0,05% par mois.

Par ailleurs, la part des acides gras à chaîne courte et moyenne augmente suite à la mobilisation des graisses corporelles tandis que celle des acides gras à chaîne longue diminue pendant la première moitié de la lactation.

La plupart des études rapportent une diminution du taux protéique au cours des premiers jours de lactation avec une concentration minimale au moment du pic de production puis une augmentation constante jusqu'au moment du tarissement. Cette évolution au cours des premières semaines de lactation s'explique par l'absence en quantité suffisante des nutriments nécessaires à la synthèse protéique et en particulier des acides aminés.

Les protéines sériques et les caséines présentent une évolution parallèle c'est-à-dire une chute rapide au cours des premières semaines de la lactation puis une augmentation progressive jusqu'au moment du tarissement. Elles présentent cependant une évolution variable selon leur nature.

Les laits de fin de lactation présentent les mêmes caractéristiques que ceux des animaux âgés c'est-à-dire une augmentation du taux leucocytaire, l'apparition d'un goût de rance, une augmentation du taux de protéines solubles, une diminution des caséines et donc du rendement fromager et augmentation de la teneur en chlorures (goût salé).

### - **Le numéro de lactation**

L'influence du numéro de lactation est faible. Certaines modifications peuvent être imputées à une détérioration de l'état sanitaire de la mamelle avec l'âge.

Le taux butyrique augmente avec l'âge de l'animal. A défaut d'effet significatif, on note une tendance à avoir le taux protéique le plus faible chez les primipares et le plus élevé chez les vaches en seconde lactation avec ensuite une diminution progressive avec le nombre de lactations et une chute de 0,4 % après 5 lactations. Cette évolution est imputable à la réduction du taux de caséines puisque le taux de protéines sériques reste pratiquement constant.

Les alpha-caséines augmentent avec l'âge alors que les beta-caséines diminuent et que les kappa restent constantes en fonction de la parité. Les immunoglobulines augmentent nettement avec l'âge alors que la beta-lactoglobuline et l'alpha-lactalbumine diminuent et que l'albumine sérique tend à augmenter. Ces variations ont été imputées au taux de cellules somatiques.

### - **La rétention de lait**

Elle peut être due à un stress, une lésion du pis, une traite défectueuse, une interruption de la traite ou de la tétée ou à une absence de traite.

Les modifications de la composition du lait dépendront de l'importance de la rétention. On observe une diminution du lactose avec passage dans le sang et les urines, une diminution des

matières grasses, des matières minérales et azotées, une augmentation du chlorure de sodium et des mononucléaires.

### **- Facteurs pathologiques : les mammites**

Plus la mammite est grave et plus la composition du lait se rapproche de celle du plasma sanguin. La mamelle lésée se comporte comme un organe d'élimination : il y a donc une diminution des molécules élaborées (lactose, caséines, lipides) et une augmentation des molécules filtrées (protéines solubles : immunoglobulines et albumines sérique, matières minérales).

On n'observe pas de modifications significatives de la matière azotée non protéique. Le pH ( $\text{pH} > 6.7$  voire 7) et la conductivité électrique augmentent.

Ces modifications réduisent l'aptitude du lait à coaguler, la production d'acide lactique par les bactéries et perturbent donc les processus de transformation du lait.

Le taux protéique augmente avec le taux cellulaire, cette augmentation étant surtout imputable à l'augmentation des protéines sériques, le taux des caséines restant pratiquement constant.

La part caséique des protéines du lait diminue passant de 82 % pour un lait renfermant moins de 100 000 cellules à 77 % lorsque la concentration en cellules somatiques est supérieure à 3 000 000 cellules.

Considérées individuellement, les différentes protéines subissent des modifications de concentration variable en réponse à l'augmentation du taux cellulaire : diminution de la beta-caséine, de la beta-lactoglobuline et de l'alpha-lactalbumine (protéolyse), augmentation de la kappa-caséine, de l'alpha-caséine, de la gamma-caséine, de l'albumine sérique et de l'immunoglobuline. Ces changements résulteraient d'une intensification de l'activité protéolytique du lait mammitiqueux.

Certains auteurs ont proposé l'évaluation de la concentration de lactose comme test de dépistage des mammites. Selon eux un taux cellulaire supérieur à 1 million de cellules s'accompagnerait d'une concentration en lactose inférieure à 3,8%, celle-ci étant supérieure à 5% pour des taux cellulaires inférieurs à 100 000 cellules.

Il conviendrait cependant de corriger les concentrations en lactose pour l'âge, le stade de lactation et le moment du prélèvement (idéalement au moment de la traite).

### **- La traite**

A l'inverse de la matière grasse, le lait du début de traite tend à être plus riche en protéines que le lait de fin de traite. Le lait de fin de traite est ainsi 4 à 5 fois plus riche en matières grasses que le lait de début de traite suite à la meilleure libération des globules graisseux par les acinis.

## COURS DE ZOOTECHNIE A3. LE LAIT

L'intervalle entre deux traites a peu d'influence sur la concentration en protéines. En cas d'intervalles de traite inégaux, le meilleur taux butyrique sera obtenu après l'intervalle le plus court. La concentration en protéines du lait de la traite du soir est toujours plus importante.

La lipolyse et donc la concentration d'acides gras libres peut être accentuée par le transport du lait dans les lactoducs par comparaison aux pots trayeurs.

La réduction de l'intervalle entre les traites augmente la teneur en matières grasses mais n'a pas d'effet sur le taux protéique ou la composition de la fraction azotée du lait.

### - **La saison, le climat**

L'influence de la saison résulte des effets combinés de l'alimentation, des facteurs climatiques et du stade de lactation des vaches. On peut observer qu'après avoir augmenté passagèrement lors de la mise à l'herbe, les teneurs en matière grasse et azotée du lait diminuent pendant deux à trois mois jusqu'en juillet puis augmentent du mois d'août au mois d'octobre. Des écarts de 0.25 Kg de matières azotées /100 litres de lait ont été rapportés au Québec entre le mois de mai le plus faible et le mois de novembre le plus élevé. La concentration en calcium est minimale en été et maximale au printemps.

On peut également observer une réduction de la production laitière lors de températures supérieures à 27°C et inférieures à -4°C.

### **Références bibliographiques**

- Coulon et al. 1998. Facteurs de variation de la proportion de caséines dans les protéines du lait de vache. INRA Prod. Anim., 1998, 11 (4), 299-310.
- Bousquet. 1993. Les hormones du lait: provenance et rôles. INRA Prod. Anim., 1998, 6 (4) 253-263.
- Jammes et Djiane. 1988. Le développement de la glande mammaire et son contrôle hormonal dans l'espèce bovine. INRA Prod. Anim., 1988. 1(5), 299-310.
- Wattiaux. La sécrétion du lait.