

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE  
ET DE L'UNIVERS  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



## MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie.

Filière : Biologie

Spécialité/Option : Qualité des produits et sécurité Alimentaire.

---

### Thème : Qualité du lait : point sur le paramètre lipolyse

---

Présenté par :

- BEKAKRIA Roumayssa
- BOUAZDI Hanane
- HIMOUR Hakima
- MEKHALFIA Abir

Devant le jury composé de :

Président :	KSORI S	M.C.A	Université de Guelma
Examineur :	YEJED. S	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur :	MOKHTARI A	M.C.B	Université de Guelma

21 Juin 2022

## ***Remerciement***

***En préambule à ce mémoire, nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous aide et qui nous a donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce Modeste travail***

***Nos sincères remerciements vont également s'adressent à notre encadreur de ce mémoire,***

***Mokhtari Abdelhamid***

***Pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion***

***Nous remercions les professeurs de l'université 08 Mai 1945 Guelma, qui n'ont fourni les outils nécessaire à la réussite de nos études universitaire***

***Nos vifs remerciements vont aux membres du jury d'avoir accepté d'assister à la présentation de ce travail.***

***Merci à tous et à toutes.***

## **DEDICACE**

Avant de dédier ce travail, nous remercions Dieu, le très Miséricordieux, le Très miséricordieux le courage, la patience et la santé m'ont données pour terminer ce chemin encore cinq année d'études.

**Je dédie ce travail à .**

**Mon cher père, LAKHDER**, qui m'a soutenu toutes ces années et s'est sacrifié pour me donner ce bonheur et m'aider dans tout ce chemin pour réussir mes études.

**Ma** chère mère, **SADIKA**, qui m'a soutenu par ses prières, que Dieu la protège.

Un grande merci à ma chère grand-mère, **TEFAHA**.

A mes frères qui ont été mon soutien, **ZAID**, qui a été mon modèle dans la vie, je lui souhaite plus de succès, **SAMIH**, que Dieu le protège de tout mal, **ADAM**, le plus jeune de la famille. Je lui souhaite du succès dans ses études.

**Ma** seules sœurs, **AYAT**, je lui souhait de réussir ses études.

Sans oublier ma cousine **SALSABIL**, je lui souhait de réussir ses étude.

Merci à tous membres de ma famille de soutenir **BEKAKRIA**

**Je dédie** ce travail à mes chère collègues : zahra Fadia et Karima. Et sur tout que j'ai partagé un voyage d'étude (Hanane, Hakima et Abir).

***Bekakria Roumayssa***

**DEDICACE**

Je remercie tout d'abord Allah tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

Je dédie ce mémoire à mes très chers parents

**Amhamed et Fatima**

Pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études.

Aucun mot, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect et mon amour pour les

Sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien-être

Mon chère sœur **Zahra**, je veux juste te dire que je t'aime

Mon chère sœur **Alima** et ses enfants : **Aryame et Ishake**

Mes chère frères : **Billal, Azdinne, Abed elmalek et Djihade**

Mon mari **Nacer El dine** qui m'a soutenu et encouragé pendant tous les moments difficiles

Vécus, merci d'être avec moi

Je dédie ce travail à mes chère collègues : **Fadia et Karima** et surtout qui j'ai partagé un voyage d'étude ( **Roumaissa, Hakima et Abir**).

***Bouazdi Hanane***

# DEDICASE

*Je dédie ce modest travail A mes parents Bachir rahimah allah*

*A celle qui a attendu avec patience le fruit de sa bonne éducation, A ma mère Zina*

*A vous les chère êtres à mon cœur mes chère frères Mohamed, et mes sœur fahima, zahra,  
Naeima, Samia*

*Je le dédie aussi aux enfants de ma sœur*

*A Tous membre des familles Himour*

*A Celle dont l'amitié m'est Fierté orgueil CHahrazed, Meriem, Dounia.*

*Et sur tout que j'ai partagé un voyage d'étude (Hanane, Roumayssa et Abir).*

*Himour Hakima*

# DEDICASE

*Je dédie ce travail*

*À ma mère, qu'a été ma raison d'être, à la personne la plus chère à mon cœur, à qui je m'incline avec majesté, appréciation et respect, merci ma mère **Saliha***

*À mon père a cet homme que le temps ne répètera pas, tu as toute ma reconnaissance et tout mon amour **Amar***

*À mon mari, compagnon et partenaire de vie **Yasser Berakna***

*À mes frères mon soutien dans cette vie **Hadjras bader-E, Firas zaher -E, Areslan khair-E***

*Ma gentille tante **gania***

*Merci à tous membres de ma famille de soutenir **Mekhalfia et Atailia***

*Mon amie et ma sœur **Chahera***

*À mes collègues de pour les bons moments que nous avons partagé durant ces dernières années **Hakima , Hanene et Roumaissa***

***Mekhalfia Abir***

## **Résumé**

La lipolyse est le phénomène de dégradation des globules gras du lait par des enzymes appelées lipases. Elle conduit à l'augmentation de la teneur en acides gras libres dans le lait ce qui peut affecter le goût des produits laitiers (goût de rance, de savon, amertume), et en particulier les produits à haute teneur en matière grasse. Mais des facteurs thermiques ou mécaniques peuvent fragiliser les membranes des globules gras, les rendant plus facilement destructibles par ces enzymes. On définit 3 types de lipolyse : spontanée, microbienne et induite. La lipolyse spontanée est due à la lipoprotéine-lipase qui est une enzyme naturellement présente dans le lait. La lipolyse induite est favorisée par les chocs mécaniques et thermiques qui fragilisent la membrane des globules gras et favorisent l'action des lipases. La lipolyse microbienne est un risque lié à la qualité bactériologique du lait.

**Mots clé :** le lait de vache, propriété physico chimique, facteurs, lipolyse, lipase.

## **Abstract**

Lipolysis is the phenomenon of degradation of milk fat globules by enzymes called lipases. It leads to an increase in the content of free fatty acids in milk, which can affect the taste of dairy products (taste of rancidness, soap, bitterness), and in particular products with a high fat content. But thermal or mechanical factors can weaken the membrane of fat globules, making them more easily destructible by these enzymes. There are 3 types of lipolysis: spontaneous, microbial and induced. Spontaneous lipolysis is due to lipoprotein lipase which is an enzyme naturally present in milk. Induced lipolysis is favored by mechanical and thermal shocks which weaken the membrane of fat globules and promote the action of lipases. Microbial lipolysis is a risk linked to the bacteriological quality of milk.

**Keywords:** Milk, physico chemical property, lipolysis, factors, lipase..



## ملخص

تحلل الدهون هو ظاهرة تحلل كريات دهن الحليب بواسطة إنزيمات تسمى الليباز. يؤدي إلى زيادة محتوى الأحماض الدهنية الحرة في الحليب، مما قد يؤثر على طعم منتجات الألبان (طعم الزنخ ، والصابون ، والمرارة) ، وخاصة المنتجات التي تحتوي على نسبة عالية من الدهون. لكن العوامل الحرارية أو الميكانيكية يمكن أن تضعف أغشية الكريات الدهنية، مما يجعلها أكثر قابلية للتدمير بواسطة هذه الإنزيمات. هناك 3 أنواع من تحلل الدهون: عفوي، جرثومي ومستحث. ينجم تحلل الدهون العفوي عن بروتين ليباز البروتين الدهني وهو إنزيم موجود بشكل طبيعي في الحليب. ويفضل تحلل الدهون المستحث بالصدمات الميكانيكية والحرارية التي تضعف غشاء الكريات الدهنية وتعزز عمل الليباز. يعتبر تحلل الدهون الميكروبي من المخاطر المرتبطة بالجودة البكتريولوجية للحليب.

**الكلمات المفتاحية:** حليب البقر ، الخصائص الفيزيائية والكيميائية ، العوامل ، تحلل الدهون ، الليباز

# Table des matières

Résumé

Liste des figures

Liste de tableaux

Liste des abréviations

Introduction ..... 1

## Chapitre 01 : Le lait

1. Généralités sur le lait .....	3
1.1. Définition du lait .....	3
1.2. Composition du lait .....	3
1.2.1. L'eau .....	4
1.2.2. Les Minéraux .....	4
1.2.3. Le lactose .....	4
1.2.3. Les matières grasses du lait .....	5
1.2.4. Les protéines .....	9
1.2.5. Les vitamines .....	10
1.2.6. Les Enzymes .....	12
1.3. Les caractéristiques physico-chimiques du lait .....	12
1.3.1. La densité .....	13
1.3.2. Ph .....	13
2. facteurs de Variation de composition du lait .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.1. Facteurs liée à l'animale .....	14
2.1.1. Effet de la race .....	14
2.2. Facteurs alimentaire .....	14
2.2.1. Effets de l'alimentation .....	14
2.3 Facteurs physiologiques .....	15
2.3.1. Effet de stade de lactation .....	15
2.3.2. Effet de la saison .....	15
3. Qualité du lait .....	16
3.1. Les normes de qualité .....	16

<b>3.1.1. Qualités organoleptiques</b> .....	16
3.1.1.1. La couleur .....	16
3.1.1.2. L'odeur.....	16
3.1.1.3. La saveur.....	17
3.1.1.4. La flaveur.....	17
<b>3.1.2. La qualité microbiologique du lait</b> .....	17
3.1.2.1. flores originales .....	17
3.1.2.2. Les flores pathogènes .....	17
3.1.2.3. Flore d'altération .....	17

## Chapitre 02 : La lipolyse Du lait

<b>1-La lipolyse</b> .....	20
2.1. les lipases leucocytaires .....	21
2.2. les lipases microbiennes (LM) .....	21
2.3. Les lipases natives.....	21
<b>3-La lipolyse dans le lait et les produits laitiers</b> .....	22
3.1. La lipolyse dans le lait .....	22
3.2. La lipolyse dans le beurre .....	23
3.3 La lipolyse dans le fromage .....	23
<b>4. Les origines de la lipolyse</b> .....	24
4.1 La lipolyse spontanée (LS).....	25
4.2 La lipolyse induite (LI) .....	25
4.3. La lipolyse d'origine microbienne .....	26
<b>5. Les mécanismes de la lipolyse du lait de vache</b> .....	26
5.1. Le système enzymatique .....	26
5.2. Paramètres influençant l'activité de la lipase .....	27
5.2.1. Effet du refroidissement sur l'action de la lipase naturelle dans le lait.....	27
5.2.1.1. Évolution de la structure des globules gras .....	27
5.2.1.2. La migration de la lipo-protéine lipase à la surface des globules gras.....	28
5.2.2. Les inhibiteurs et les activateurs de la lipolyse .....	28
<b>6. Facteur de variation de la lipolyse dans le lait</b> .....	28
6.1. Facteur liée à l'animale et aux conditions d'élevage .....	28
6.1.1. Stade de lactation et niveaux de production. ....	28

<b>6.1.2. L'ensilage d'herbe</b> .....	28
<b>6.1.3. Etat sanitaire</b> .....	29
<b>6.1.4. Alimentation</b> .....	29
<b>6.1.5. L'espèce animale</b> .....	29
<b>6.2. Facteur technologique qui favorise la lipolyse</b> .....	30
<b>6.2.1. facteur liée en matérielle de trait</b> .....	30
<b>6.2.2. Facteur liée au stockage, à la collecte et la transformation</b> .....	30
<b>Conclusion</b> .....	33
<b>LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	35

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Composition globale du lait en g/L de lait .	3
<b>Figure 2:</b> Structure primaire du lactose	5
<b>Figure 3:</b> Structure d'un globule de matière grasse du lait (Haremarguira, 2019).	<b>Erreur !</b>
<b>Signet non défini.</b>	
<b>Figure 4:</b> Le lait contient des globules gras émulsionnés de même que de la caséine et des protéines du lait solubles	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 5 :</b> structure de la membrane des globules gras natifs	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 6:</b> représentation schématique de l'hydrolyse de la matière grasse (lipolyse) (Goy, 2011).	20
<b>Figure 7:</b> les différents types de lipolyse : spontané, induite et microbienne	25
<b>Figure 8:</b> système enzymatique impliqué dans la réaction de lipolyse du lait.	27



## Liste de tableaux

<b>Tableau 1:</b> teneur de différents minéraux dans le lait .....	4
<b>Tableau 2:</b> Classification des protéines .....	9
<b>Tableau 3:</b> propriété des principaux nutriments du lait (les vitamines).....	11
<b>Tableau 4:</b> constante physique usuelles du lait de vache .....	13
<b>Tableau 5 :</b> les composants estimés de la membrane du globule gras .....	13

## **Liste des abréviations**

**AG** : Acide gras

**AGL** : Acide gras libre

**GG** : Globule gras

**GM** : Glande mammaire

**LAB** : Lactic acid bacteria (en français, bactéries lactiques)

**LI** : Lipolyse induite

**LM** : Lipolyse microbienne

**LPL** : lipoprotéine lipase

**LS** : Lipolyse spontanée

**MFGM** : Milk fat globule membrane

**MG** : Matière grasse

**MS** : Matière sèche

**PP** : Protéose peptone

**SLI** : Système lipolytique

**TG** : Triglycéride

**TMG** : teneurs en matière grasse

**VL** : Vache laitière

**Vit** : vitamine

**FAO** : organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture.





# **Introduction**

### Introduction

Le lait est un aliment de base pour de nombreux mammifères. Sa composition est captivante pour ces propriétés nutritionnelles et sa capacité de transformation en produits dérivés (**EL Hachemi, 2019**). Les laits sécrétés par les différentes espèces de mammifères présentent des caractéristiques communes et contiennent presque les mêmes composants : eau, protéines, lactose, matière grasse et matières minérales. Malgré cela les proportions spécifiques de ces composants se varient largement d'une espèce à une autre (**Ruminants et all, 2018**). L'espèce de l'animal laitier, la race, l'âge et l'alimentation, ainsi que le stade de lactation, la parité (nombre de parturitions), le système d'exploitation, l'environnement physique et la saison influencent la couleur, la saveur et la composition du lait et permettent de produire une variété de produits laitiers (<https://www.fao.org>).[1] Le contrôle de la qualité du lait est une nécessité fondamentale. Et le non-respect des règles d'hygiène peut hypothéquer gravement la qualité du lait (**Ruminants et all, 2018**).

Le lait contient des nutriments essentiels et est une source importante d'énergie alimentaire, de protéines de haute qualité et de matières grasses. Le lait peut apporter une contribution significative aux besoins nutritionnels recommandés en calcium, magnésium, sélénium, riboflavine, vitamine B12 et acide pantothénique. Le lait d'origine animal peut jouer un rôle important dans l'alimentation des enfants dans les populations ne bénéficiant que d'un très faible apport en lipides et ayant un accès limité aux autres aliments d'origine animale.

Considérant l'importance de la composition en lipides sur la valeur nutritionnelle et les propriétés organoleptiques du lait et des produits laitiers. La lipolyse est considérée comme un paramètre de qualité qui mérite d'être analysé. Cet indice traduit une dégradation de la matière grasse, et peut varier en fonction des animaux, de l'alimentation, et des conditions de récolte et de conservation du lait. Au-delà de certains seuils, cette augmentation peut provoquer l'apparition de défauts de goûts (rance, savon...) dans les produits laitiers (**Deeth et all, 1983**).

L'objectif de cette recherche bibliographique est de présenter les mécanismes impliqués dans la lipolyse du lait. Pour réaliser cette étude nous suivrons un plan constitué de deux chapitres. Le premier chapitre présente la composition et les propriétés physico-chimiques du lait, les facteurs de variation de la composition du lait et les paramètres de qualité du lait. Dans le deuxième chapitre, nous aborderons une description du phénomène de lipolyse du lait et certains produits laitiers, les origines de la lipolyse et les facteurs de variation de la lipolyse dans le lait.

# **Chapitre 01**

## **Le lait**

## 1. Généralités sur le lait

### 1.1. Définition du lait

Le lait a été défini en 1908, au cours du Congrès International de la Répression des Fraudes à Genève comme étant : « Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de colostrum» (Alais, 1975). Le Codex Alimentarius en 1999, le définit comme étant la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite obtenue à partir d'une ou plusieurs traites, sans rien y ajouter ou en soustraire, destiné à la consommation comme lait liquide ou à un traitement ultérieur (Benhedane , 2012).

### 1.2. Composition du lait

La composition et les caractéristiques physico-chimiques varient sensiblement selon les espèces, animales, et même selon les races (DRA 2018). Le lait est défini comme étant une suspension colloïdale aqueuse de pH proche de la neutralité (6,7). Le lait de vache est constitué de nombreux composés dont le plus abondant est l'eau (87%), dans laquelle sont dispersés tous les autres éléments (Mathieu, 1998). Le lait contient des globules de matière grasse (environ 35 g/L) et des micelles de caséines (environ 30 g/L) en suspension dans la phase aqueuse formant un système composé de deux phases dispersées (Gelebart, 2019), de type émulsion huile dans eau (H-E). La composition globale du lait est résumée dans la Figure 1 :

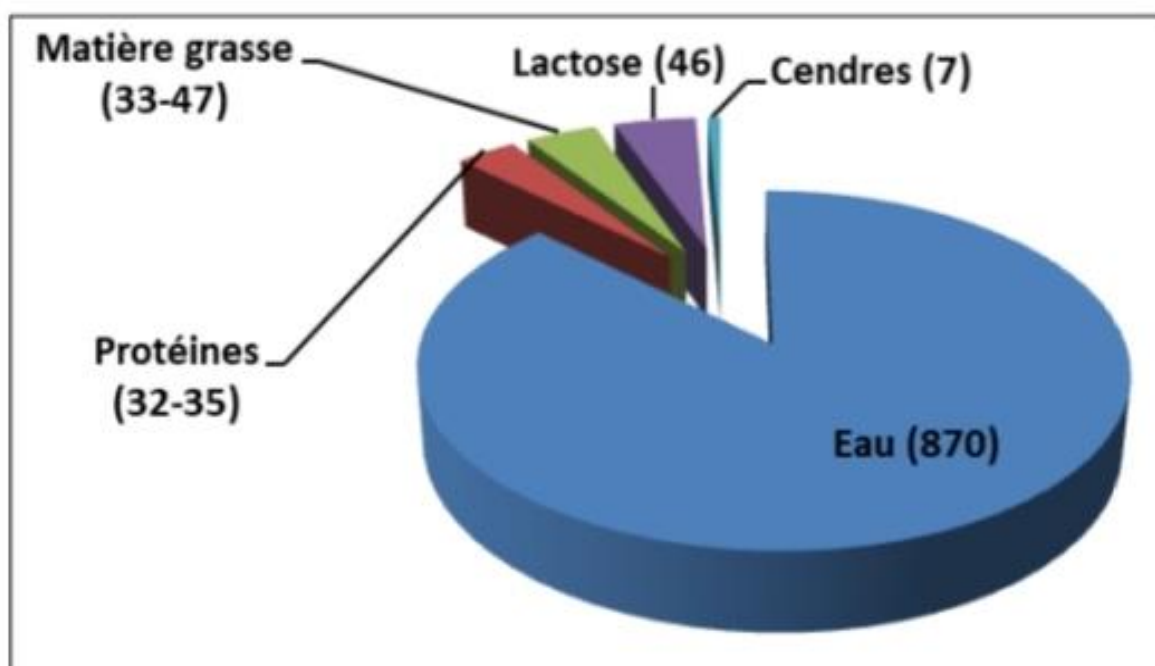


Figure 01 : Composition globale du lait en g/l de lait. (Gelebart, 2019).

### 1.2.1. L'eau

L'eau et le consistants le plus important du lait, en proportion elle représente environ 80% du lait. Son caractère lui permet de former une solution vraie avec les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines (**Kabir, 2015**). L'eau est l'élément quantitativement le plus important : 900 à 910 g par litre. En elles, sont dispersés tous les autres constituants du lait, tous ceux de la matière sèche (**Benhedane, 2012**).

### 1.2.2. Les Minéraux

Ils sont très divers, certains sont en concentration plus importante dans le lait, de l'ordre du gramme par litre : ce sont le calcium (minéral d'importance majeure dans le lait), le phosphore, le magnésium, le sodium, le potassium et le chlore. D'autres sont présents à raison de moins d'un milligramme : il s'agit du fer, du zinc, de l'iode, du cuivre, du molybdène, du sélénium et du fluor, Pour certains, la quantité existant dans le lait est constante quelle que soit l'alimentation de la vache et quel que soit son état physiologique : calcium, phosphore, magnésium et zinc. A l'inverse, les autres peuvent varier de manière importante (**tableau 01**) (**Cazet, 2007**).

**Tableaux 01** : Teneur de différents minéraux dans le lait. (Filion, 2006).

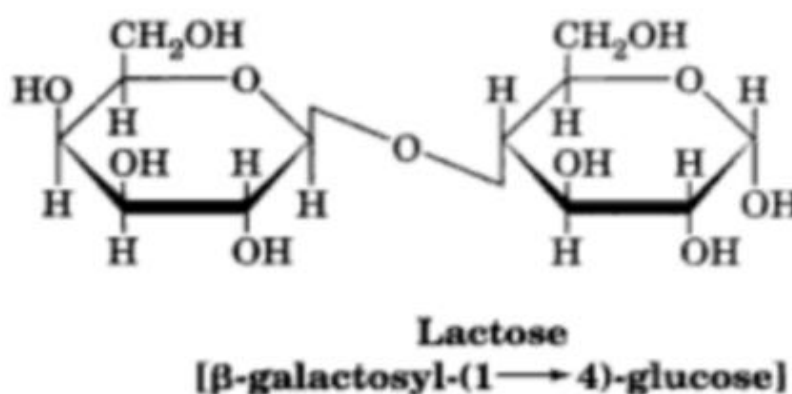
Minéraux	Teneur (ppm)	Minéraux	Teneur (ppm)
Na	445	Ca	1180
Mg	105	Fe	0.5
P	896	Cu	0.1
Cl	958	Zn	3.8
K	1500	I	0.28

Le lait et les produits laitiers sont les principales sources alimentaires de calcium et phosphore, pour lesquels ils couvrent plus de la moitié de nos besoins journalier. Ce sont des éléments intervenant dans l'ossification, et leur apport est crucial pour les sujets jeunes et âgés. La vitamine D favorisent l'assimilation du calcium, qui est maximale lorsque le rapport Ca / P est compris entre 1,6 et 1,8. Bien que ce rapport soit de 1,3 dans le lait de vache, ces deux éléments sont cependant bien absorbés ; les deux tiers du calcium et du phosphore sont liés aux micelles de caséine (**Benhedane, 2012**).

### 1.2.3. Le lactose

Le lactose est le glucide, ou l'hydrate de carbone, le plus important du lait puis qu'il constitue environ 40% des solides totaux. D'autres glucides peuvent être présents en faible

quantité, comme le glucose et le galactose qui proviendraient de l'hydrolyse du lactose ; en outre, certains glucides peuvent se combiner aux protéines. Ainsi, le lait contient près de 4.8% de lactose (Kabir, 2015). La formule brute du lactose est  $C_{12}H_{22}O_{11}$  et sa masse molaire est de 342,2965 g/mol. Il s'agit d'un glucide présent dans le lait des mammifères. Le lactose est composé de deux oses, le galactose et le glucose, c'est ce que l'on appelle un diholoside (**figure 02**). C'est un sucre réducteur car il contient une fonction hémiacétal. Son pouvoir sucrant est relativement faible (0,16). La digestion du lactose dans l'organisme fait intervenir une enzyme, l'hydrolase, aussi nommée lactase. Cette hydrolyse libère une molécule de glucose et une molécule de galactose, qui sont ensuite pris en charge séparément (**Lefebvre, 2017**).



**Figure 01:** Structure primaire de lactose. (El Hachemi, 2019).

### 1.2.3. Les matières grasses du lait

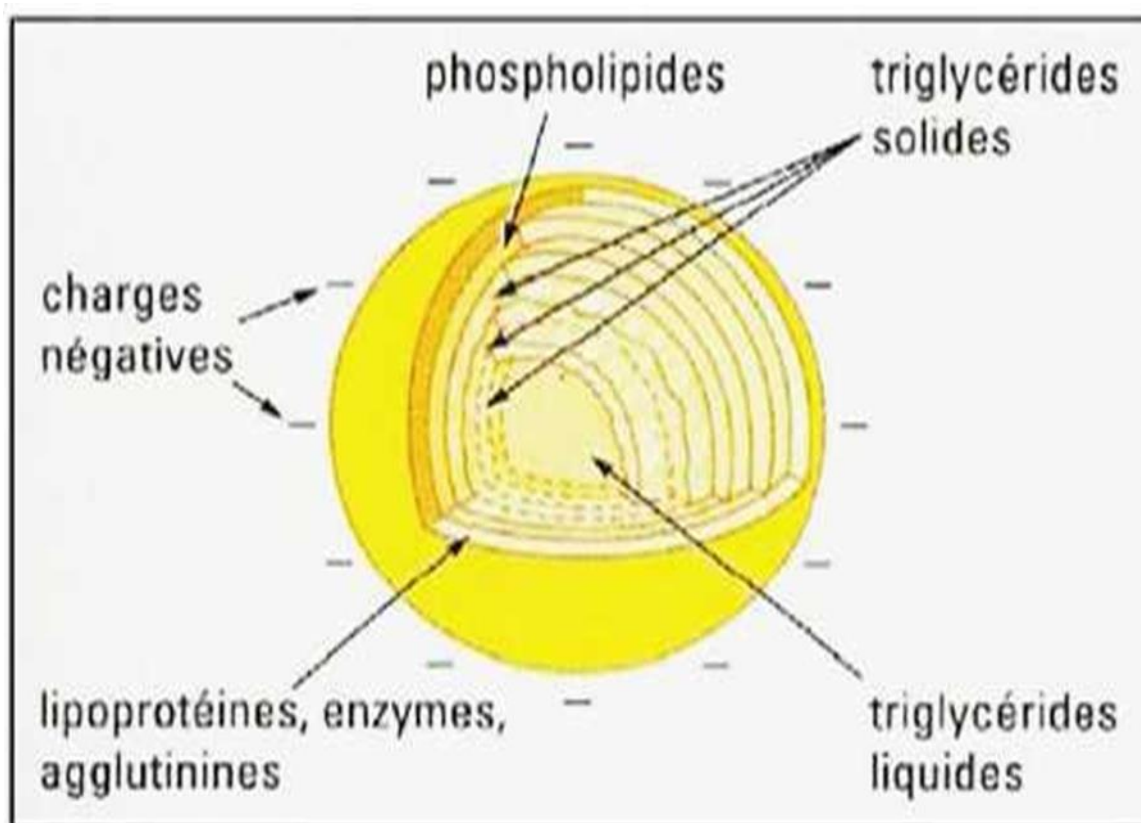
La composition lipidique du lait regroupe deux entités : les lipides simples (les glycérides et les lipides complexes (phospholipides)). Les lipides simple sont essentiellement constitué de (tri-) glycérides (98 pour cent de la matière grasse) avec, en faibles quantités, stérides et des cérébrosides ou cérides. Les glycérides (lipide neutres) sont constituées par des triglycérides, et des monoglycérides (traces). Si plus de 400 composés ont été identifiés dans le lait de vache, 15 d'entre eux seulement sont présents en quantités notables dans le lait (> 1 pour cent des lipides totaux [1]).

Les lipides complexes sont complexés avec du phosphore et /ou de l'azote. Les plus importants sont les phospholipides, qui ne représentent que 1 pour cent à peine de la matière grasse (de 0.3 à 0.5 g/l), mais jouent le rôle de constituant du globule gras et de stabilisant de l'émulsion. Leurs caractéristiques à fois lipo- et hydrophiles leur permettent de formes des ponts entre phases grasse et aqueuse. On en trouve donc tant dans la crème (environ 60 %) et le beurre que dans le lait écrémé (40 %) ou le babeurre.

Les phospholipides forment trois groupes principaux : lécithines, céphalines et sphingomyélines. Environ 85% des acides gras constituant des phospholipides sont des acides gras à chaînes longue. D'autres lipides complexes sont présents à des taux mineurs : les gangliosides, les glycolipides et les glycosphingolipides [2].

Les graisses sont dispersées dans le lait sous forme de globules sphériques au nombre de 1,5 à 4,6 10<sup>12</sup> par litre ; leur diamètre moyen se situe entre 3 et 5 microns. Les globules de gras dans le lait sont en émulsion de type « huile dans l'eau ». (La figure 03) montre que chaque globule est formé de différentes couches de triglycérides : les triglycérides liquides, à bas point de fusion, sont au centre du globule et les triglycérides solides, à plus haut point de fusion, se superposent aux précédents.

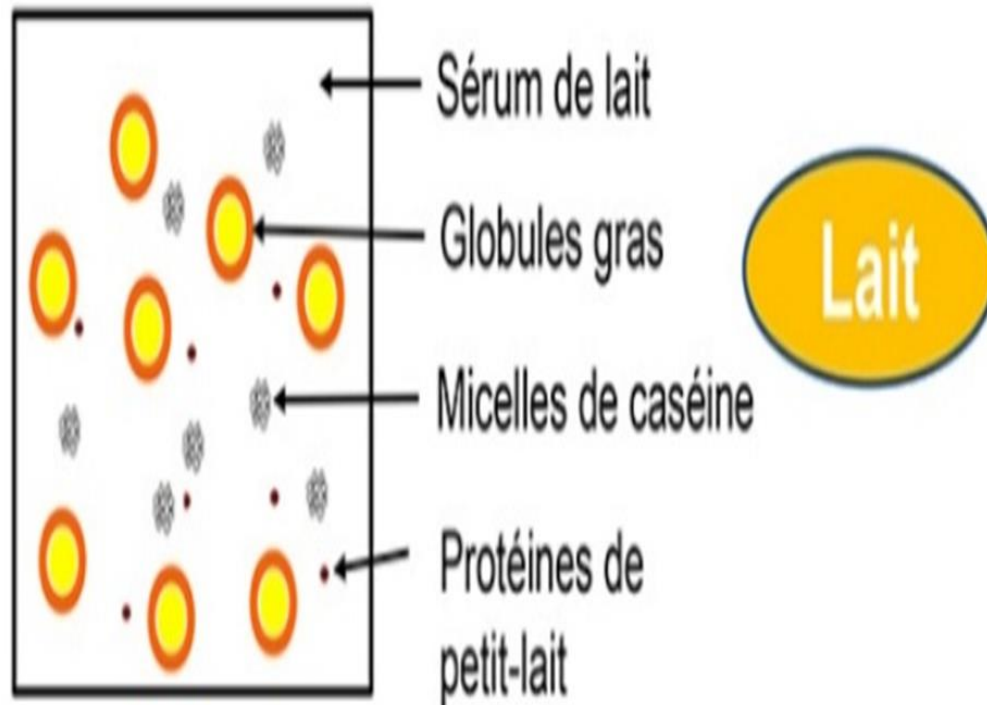
Le globule est formé à la périphérie d'une sorte d'enveloppe contenant premièrement des phospholipides, qui sont hydrophiles et hydrophobes ou lipophile et qui jouent un rôle d'émulsifiant dans la stabilité du globule de gras. Des protéines de membrane viennent compléter la couche externe du globule. Ce sont des lipoprotéines, des enzymes et des agglutinines. Enfin, la présence de charges négatives sur la structure des protéines de membrane empêchent les globules de matières grasses de s'agglomérer dans les conditions normales d'entreposage (Vignola, 2002).



**Figure 03:** Structure d'un globule de matière grasse du lait (Haremarguira, 2019).

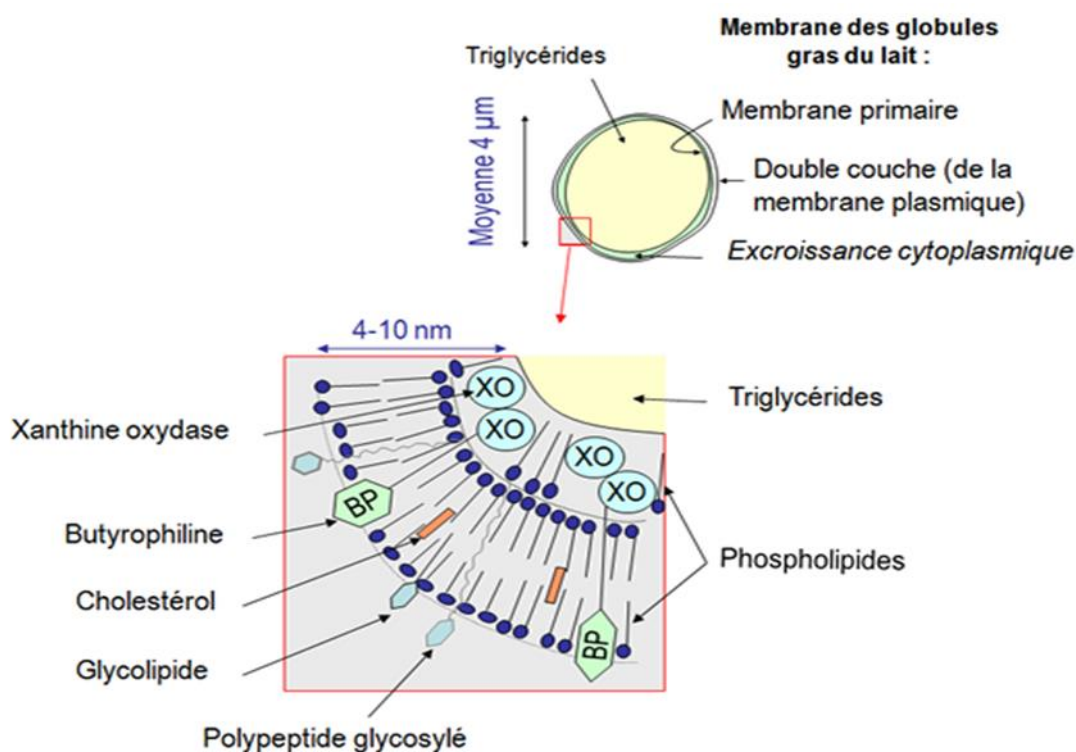


Ces globules sont enrobés et protégés par une membrane appelée membrane primaire. Cette membrane est essentiellement composée de substances à caractère émulsifiant, notamment des phospholipides, des lipoprotéines, des protéines et du cholestérol, contribuant ainsi à une répartition régulière des globules gras dans la phase aqueuse (figure 04) [1].



**Figure 04:** structure des globules gras dans le lait [4].

Cette membrane formée d'une quinzaine de polypeptides (à raison de 40 %), de triglycérides (à raison de 35 %) et de lipides complexes (phospholipides, stérols, cérebrosides, à raison de 15 % environ) (figure 05) [3]



**Figure 05 :** Structure de a membrane des globules gras native (MICHEL ET ALL, 2001).

La membrane lipoprotéique confère au globule gras sa stabilité. De fait, elle est fragile et sa rupture (agitation' réfrigérations répétées, acidification) déstabilise l'émulsion avec libération de matière grasse [3]. Comme on peut le voir dans le (Tableau 05), la MFGM est à 90% constituée de protéines et de phospholipides (Chloé, 2018)

**Tableau 05 :** structure de la membrane des globules gras natifs (Michel et all, 2001).

Composant	Mg pour 100g de globule gras
Protéines	1800
Phospholipides	650
Cérébrosides	80
Cholestérol	40
Monoglycérides	+
Eau	+
Caroténoïde + vitamines A	0.04
Fe	0.3
Cu	0.01
Totale	>2570

+ Présente mais constitué inconnu

### 1.2.4. Les protéines

Le lait contient 3.2% des protéines, dont 80% sont constitués de caséine. Généralement, la caséine qui précipite à pH 4.6 se distingue des autres qui sont appelées protéine de lactosérum. Ceux-ci ne précipitent pas avec la caséine, à moins qu'ils n'aient été préalablement dénaturés par la chaleur ou d'autres facteurs. La coagulation dans l'acide trichloracétique comprend toutes les protéines plus la protéose et les peptones.

Les protéines de lactosérum comprennent les lactalbumines et les lactoglobulines. Ces deux groupes peuvent être séparés au moyen d'une solution saturée de sulfate de magnésium qui précipite les lactoglobulines et retient les lactalbumines en solution (Riel, 1985). Les protéines sont composées de caséines, de protéines solubles et d'enzymes, on différencie (Tableaux 02) :

- **Les protéines « lentes » à 80 % (les caséines)**, qui sont insolubles, thermostables et très résistantes à la protéolyse, mais incriminées dans la majorité des allergies aux protéines de lait de vache. La caséine n'a pas de fonction biologique autre qu'un rôle nutritif d'apport d'azote et d'acides aminés indispensables. Elle est constituée de 4 caséines ( $\alpha$ SI,  $\alpha$ S2,  $\beta$ , K) (**tableaux 02**) qui sont synthétisées dans la glande mammaire à partir de 4 gènes de structure différents situés sur le même chromosome (Guillon et al, 1996). Un groupe de « caséines mineures » (caséines  $\gamma$ ) a été mis en évidence dans le lait de vache. Les 3 caséines de ce groupe ( $\gamma$ 1,  $\gamma$ 2,  $\gamma$ 3) correspondent aux fragments 29-209, 106-209, 108-209 de la caséine  $\beta$ .as proviennent de la protéolyse limitée de la caséine  $\beta$  par la plasmine, enzyme provenant du sang et naturellement présente dans le lait (Guillon et al, 1996). Dans le lait, les caséines sont présentes sous forme d'agrégats de haut poids moléculaire : les micelles. Ce sont des particules sphériques d'un diamètre moyen d'environ 100nm, constituées elles-mêmes de sous-unités sphériques, appelées submicelles (diamètre moyen de 15 à 20 nm), qui renferment les 4 caséines sur lesquelles sont fixés des ions calcium. Les submicelles sont « cimentées » entre elles par le « phosphate colloïdal » qui est un complexe phosphate-citrate de calcium et de magnésium amorphe (**Guillon et all, 1996**).

**Tableau 01:** Classification des protéines. (**Pougheon, 2001**).

Nome	% des protéines	Nombre d'AA

<b>CASEINES :</b>	75-85	
Caséine $\alpha$ S1	39-46	199
Caséine $\alpha$ S2	8-11	207
Caséine $\beta$	25-35	209
Caséine k	8-15	169
Caséine g	3-7	
<b>PROTEINES DU LACTOSERUM</b>	15-22	
b-Lactoglobuline	7-12	
$\alpha$ -Lactalbumine	2-5	162
Sérum-albumine	0.7-1.3	123
Immunoglobulines (G1, G2, A, M)	1.9-3.3	582
Protéoses-peptones	2-4	

- **Les protéines « rapides » à 20 %**, présentes dans le lactosérum ou « petit lait » (2 à 3 % D' $\alpha$ -lactalbumines, 40 % de  $\beta$ -lactoglobulines, les lactoferrines, les lactoferrines.), sont solubles, thermostables et très résistantes à la digestion. L'  $\alpha$ -lactalbumine intervient dans la biosynthèse du lactose. Sans elle il n'y aurait pas de lactose dans le lait, néanmoins la suppression de l'expression de cette protéine n'est pas envisageable pour obtenir des laits sans lactose.
- **La lactoferricine** est un peptide obtenu dans l'estomac lors du clivage de la lactoferrine bovine (Moiroud et Lasnier, 2017).

### 1.2.5. Les vitamines

Ce sont des molécules complexes de taille plus faible que les protéines, de structure très variées ayant un rapport étroit avec les enzymes, car elles jouent un rôle de coenzyme associée à une apoenzyme protéique (Benhedane, 2012).

Les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent comme 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 les retrouve en très petite quantité dans les aliments (tableau 03) (Kabir, 2015). Le lait est une source en vitamine intéressante pour l'ensemble de la population.

Les recommandations nutritionnelles de la pyramide alimentaire préconisent de consommer 2 à 3 produits laitiers par jour. Ces recommandations considèrent le lait et les produits laitiers comme une source de calcium facilement assimilable par l'organisme. Elles sont aussi fonction de l'âge et du sexe de la personne (Roost, 2020).

**Tableau 03:** propriété des principaux nutriments du lait (les vitamines) (Kabir, 2015).

Vitamine	Fonction
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riboflavine</li> <li>– Vit. B12</li> <li>– Biotine</li> <li>– Pantothénate</li> <li>– Vit A</li> <li>– Pyridoxine</li> <li>– Thiamine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Enzyme FAD et FMN du métabolisme énergétique.</li> <li>– Cofacteur dans la synthèse des acides nucléique (avec folate).</li> <li>– Cofacteur de réaction carboxylation-décarboxylation</li> <li>– Coenzyme A du métabolisme énergétique et de synthèse des acides gras</li> <li>– Constituant d'un pigment visuel de la rétine. Développement des os, des dents, de la peau.</li> <li>– Cofacteur de réaction de synthèse et de modification d'acide aminés</li> <li>– Coenzyme de réaction du métabolisme des glucides</li> </ul>

Parmi les vitamines présentes dans le lait, on distingue deux types :

- Les vitamines liposolubles : ce sont les vitamines A, D, E, K
- Les vitamines hydrosolubles : ce sont les vitamines B1 (thiamine), B2 (riboflavine), B3 (niacine), B5 (acide pantothénique), B6 (pyridoxine), B7 (biotine), B9 (acide folique), B12 (cobalamine) et C.
- Les vitamines liposolubles qui sont dissoutes dans la graisse du lait sont en grande partie éliminées lorsque le lait est écrémé. Tandis que les vitamines hydrosolubles sont dissoutes dans l'eau du lait. C'est pour cette raison que l'on recommande de donner du lait entier aux enfants, pour qu'ils profitent de toutes les vitamines (Roost, 2020).

### 1.2.6. Les Enzymes

Dans le lait de vache, environ 20 enzymes ont été caractérisées. Quarante autres enzymes ont été démontrées via leur activité. On trouve des enzymes indigènes de lait dans les micelles de caséine, dans des globules gras du lait, dans le sérum du lait ou des cellules somatiques. Ces enzymes peuvent être utilisées comme indices de la santé animale, elles peuvent entraîner une détérioration de la qualité ou induire des changements souhaitables dans le lait et les produits laitiers comme elles peuvent également offrir des effets protecteurs.

Les principales enzymes laitières indigènes importantes sur le plan technologique sont la plasmine, la lipoprotéine lipase, la phosphatase alcaline et la lactoperoxydase (El Hachmi, 2019). Une grande partie se retrouve dans la membrane des globules gras mais le lait contient de nombreuses cellules (leucocytes, bactéries) qui élaborent des enzymes : la distinction entre éléments natifs et éléments extérieurs n'est donc pas facile. Ces enzymes peuvent jouer un rôle très important en fonction de leurs propriétés :

- lyses des constituants originels du lait ayant des conséquences importantes sur le plan technologique et sur les qualités organoleptiques du lait (lipase, protéase).
- rôle antibactérien, elles apportent une protection au lait (lactoperoxydase et Lysozyme).
- indicateurs de qualité hygiénique (certaines enzymes sont produites par des bactéries et des leucocytes), de traitement thermique (phosphatase alcaline, peroxydase, acétyl estérase, sont des enzymes thermosensibles) et d'espèces (test de la xanthine-oxydase pour détecter le lait de vache dans le lait de chèvre) (Pougheon, 2001).

### 1.3. Les caractéristiques physico-chimiques du lait

Les laits sécrétés par les différentes espèces ont des caractéristiques communes et contient presque les même composant : eau, matière grasse et matière minérale, protéines,

lactose. Malgré cela les proportions spécifiques de ces composants ce varient largement d'une espèce à une autre [2]. Le lait est un milieu aqueux caractérisé par différentes phases se différenciant par la taille des particules qui les composent, sa densité (3% de matières grasses) est à 4°C de 1,0295 g /ml (tableaux 04). La solution aqueuse vraie renferme des molécules (lactose) ou des ions à l'état dissous. Cette phase est stable. Les solutions colloïdales renferment des albumines et globulines, des minéraux tels le phosphate tricalcique et des micelles de caséine associées au calcium. Les globules gras (1 à 8 microns) sont entourés d'une membrane lipoprotéique. Les microorganismes enfin, sont essentiellement constitués de bactéries (Hanzen, 2010).

**Tableau 02:** Constante physique usuelles du lait de vache (kizi et Makdoud, 2014).

Constante	Valeur
PH	6,5 à 6,7
Acidité titrable (°4)	15 à 18
Densité	1,028 à 1,036
Température des congélations	(-0,51) à (-0.55)
Point d'ébullition (°C)	100,5

### 1.3.1. La densité

Elle oscille entre 1,028 et 1,034 et elle doit être supérieure ou égale à 1,028 à 20°C. La densité des laits de grand mélange des laiteries est de 1,032 à 20°C. La densité des laits écrémés est supérieure à 1,035. Un lait à la fois écrémé et mouillé peut avoir une densité normale (Bachtarzi, 2012).

### 1.3.2. PH

Le pH du lait de vache est compris entre 6.5 et 6.7 à 20°C. Celui de la brebis est d'environ 6.5 et celui de femme légèrement alcalin soit 7 à 7.5. Un lait mammiteux est basique  $pH > 7$  et le colostrum a un pH voisin de 6 (Hanzen, 2010).

## **2. facteurs de Variation de composition du lait**

La composition chimique du lait et ses caractéristiques technologiques varient sous l'effet d'un grand nombre de facteurs. Ces principaux facteurs de variation sont bien connus, ils sont liés soit à l'animal (facteurs génétiques, stade de lactation, état sanitaire ...) soit au milieu et à la conduite d'élevage (saison, climat, alimentation). Cependant, si les effets propres de ces facteurs ont été largement étudiés, leurs répercussions pratiques sont parfois plus difficiles à interpréter compte tenu de leurs interrelations (**Boigheon, 2001**).

### **2.1 Facteurs liée à l'animal**

La tendance des laits à lipolyser est variable d'une vache à l'autre en fonction de différents facteurs (**Marguet, 2009**).

#### **2.1.1. Effet de la race**

De nombreuses études ont été réalisées pour évaluer l'effet des caractéristiques génétiques des animaux sur les caractéristiques du lait. On sait ainsi que les vaches de race Normande, Montbéliarde ou Brune produisent un lait plus riche en protéines et de meilleure aptitude fromagère que celui de vaches Holstein conduites dans les mêmes conditions. Le gel obtenu après adjonction de présure est plus ferme et les fromagers plus élevés. L'ensemble de cet effet est lié aux différences de teneurs en caséines des laits d'une race. Selon la FAO (1995), il existe de grands écarts dans la composition du lait d'une race à une autre et surtout dans le taux de matière grasse (**Meribai, 2010**).

### **2.2. Facteurs alimentaire**

#### **2.2.1. Effets de l'alimentation**

De nombreux travaux ont été réalisés dans le monde entier pour déterminer l'influence des divers aliments de la ration sur la composition du lait. Selon l'étude de Coulon (1991), l'utilisation d'ensilage de maïs et souvent associée à des taux protéiques élevé parce qu'il permet en générale de réaliser des rations où les apports énergétiques sont plus facilement couverts (**Meribai, 2010**). Le taux de matière grasse du lait varie considérablement en fonction du régime alimentaire de l'animal. Une grande partie de cette variation peut être attribuée aux modifications survenues dans les acides gras produits par la fermentation dans le rumen. Précisons que plus le rapport acétate/propionate est élevé dans le rumen, plus la teneur en matière grasse du lait est élevée. Pour un grand nombre des éléments du régime alimentaire traités ci-après, au moins une partie de leur effet consiste à modifier le rapport des acides gras [5].

#### **2.2.2 Proportion de fourrage dans la ration**



La cause la plus répandue d'une faible teneur en matière grasse est le régime qui renferme une faible proportion de fourrage et un taux élevé de concentré. Il arrive souvent que l'on tire des conclusions erronées dans ce cas en raison du fait que les rations pauvres en fourrage sont fréquemment associées à une production élevée de lait, et qu'une production élevée contribue en soi à réduire la teneur en matière grasse du lait. Un grand nombre des règles empiriques utilisées pour établir la bonne proportion du fourrage dans l'alimentation ont pour but de favoriser le type de fermentation dans le rumen qui permet d'obtenir une teneur normale en matière grasse. On s'entend à dire que la matière sèche de la ration doit renfermer au moins 35 % de fourrage, ou encore que la consommation quotidienne de matière sèche du fourrage doit correspondre à 1,5 % du poids corporel de la vache [5].

## 2.3 Facteurs physiologiques

### 2.3.1 Effet de stade de lactation

Les teneurs en matière grasses et en protéines évoluent de façon inverse à la quantité de lait produite. Elles sont maximales au cours des premiers jours de lactation, minimales durant les 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> mois de lactation, et s'accroissent ensuite jusqu'à la fin de lactation (**Meribai, 2010**).

### 2.3.2 Effet de la saison

Les pourcentages de gras et de protéines dans le lait sont plus élevés pendant l'hiver que pendant l'été. Le composant du lait qui varie le moins dû aux saisons est le lactose et celui qui varie le plus est la MG, avec les protéines qui représente un résultat mitoyen. Cette variation est due aux changements dans la ration et aux conditions climatiques (**Pacheco, 2016**). Les effets spécifiques de la température, soit chaude ou froide, ne sont pas clairs. Des vaches exposées à des températures au-dessous de -5 °C réduisent leur production de lait et, par conséquent, la TMG du lait augmente. En contrepartie, certains travaux suggèrent que le stress thermique en été peut entraîner des conditions semblables à l'acidose et donc une diminution de la TMG du lait. Aussi, les vaches hautes productrices sont plus vulnérables au stress thermique dû à leur production de chaleur métabolique plus élevée qui est fortement associée à la production laitière (**Pacheco, 2016**). Le stress thermique réduit la consommation de matière sèche (MS), qui à son tour réduit la consommation d'énergie. C'est cette diminution d'apport en énergie qui affecterait la teneur des composants du lait. C'est d'ailleurs pour cette raison que West (2003) a suggéré de modifier les besoins des animaux pendant la saison chaude (**Pacheco, 2016**).

La saison agit essentiellement par l'intermédiaire de la durée du jour la plupart des travaux ont en effet montré qu'une photopériode expérimentale longue (15 à 16 h par jour)

augmentait la production laitière et diminuait parfois la richesse du lait en matière utile (Meribai, 2010).

### 3. Qualité du lait

#### 3.1. Les normes de qualité

Généralement, un lait cru provenant d'un animale en bonne santé contient une faible charge microbienne (moins de  $1000 \text{ ml}^{-1}$ ), mais cette charge peut augmenter jusqu'à 100 fois ou plus quand le lait est abandonné à température ambiante (Beldjilali, 2015). La qualité du lait collecté à la ferme peut être analysée selon les critères suivants :

- Qualité physique (le lait doit être exempt de toute impureté)
- Qualité chimique (teneur en matière grasse, protéine, extrait sec dégraissé...)
- Qualité bactériologique (dénombrement de la flore microbienne du lait. Celle-ci doit être la plus faible possible) et autres critères (dénombrement des cellules leucocytes indicateurs de mammites, présence de résidus d'antibiotique ...) (Beldjilali, 2015).

##### 3.1.1. Qualités organoleptiques

La qualité organoleptique englobe les caractéristiques suivantes : couleur, odeur, saveur et flaveur (Kizi et Makdoud, 2014).

###### 3.1.1.1. La couleur

Le lait est de couleur blanc mat, qui est due en grande partie à la matière grasse (Kizi et Makdoud, 2014), l'opacité du lait est due à sa teneur en particules suspendues de matière grasses, de protéines et de certains minéraux, la couleur varie du blanc au jaune en fonction de la coloration (teneur en carotène) de la matière grasse (Boucenna, 2019).

###### 3.1.1.2. L'odeur

L'odeur normale d'un bon lait est douce, agréable et légèrement sucrée, ce qui est principalement dû à la présence de matière grasse. La saveur du lait se compose de son goût et de son odeur. Généralement, si le lait sent bon, il a bon goût. Le consommateur désire un lait au bon goût ; par contre, à la ferme, on se contente de sentir le lait pour s'assurer de ce qu'il goûtera. Puisque le lait est un produit fragile, il peut perdre facilement ce bon goût et même en développer de mauvaise. L'odeur du lait est un indice important de sa qualité. La présence d'une mauvaise odeur dans le lait reflète un problème dans la manipulation et la conservation du lait. On classe les odeurs selon qu'elles sont absorbées ou développées.

Les odeurs absorbées peuvent provenir de l'alimentation ou d'autre source, tandis que les odeurs développées peuvent être d'origine microbiologique ou chimique. Une troisième catégorie pourrait inclure les saveurs détectables (Vignola, 2002).

### 3.1.1.3. La saveur

Il est difficile de définir cette caractéristique du lait normal car elle provient de l'association d'éléments diversement appréciés selon l'observateur. En effet, on distingue la saveur douce du NaCl, la saveur particulière de lécithines qui s'équilibre et qui est atténuée par la masse des protéines (Boucenna, 2019).

### 3.1.1.4. La flaveur

Résulte d'un équilibre subtil entre de multiples composés : acides, alcools, ester, amines composés carbonyles et soufré ...etc. En interaction avec une matière lipidique et protéique (Kizi et Makdoud, 2014).

## 3.1.2. La qualité microbiologique du lait

Le lait est un aliment dont la durée de vie est très limitée. En effet, son PH voisin de la neutralité, le rend très facilement altérable par les microorganismes et les enzymes, sa richesse et sa fragilité font du lait un milieu idéal aux nombreux microorganismes comme les moisissures, les levures et les bactéries qui se reproduisent rapidement (Kizi et Makdoud, 2014).

### 3.1.2.1. flores originales

Le lait contient peu de micro-organisme lorsqu'il est prélevé dans la bonne condition à partir d'un animal sain (moins de  $10^{-3}$  germes/ml). Il s'agit essentiellement des microcoques mais aussi des streptocoques lactique (*Lactococcus*) et lactobacilles. Le lait cru est protégé contre les bactéries par des substances inhibitrices appelées « lacténines » mais leurs action est de très court durée (1 heure environ). D'autres micro-organisme peuvent se trouver dans le lait lorsqu'il est issu d'un animal malade ils sont généralement pathogènes et dangereux au point de vue sanitaire, il peut s'agit d'agents de mammites, c'est-à-dire d'infections du pis : *Streptocoques pyogènes (Streptococcus)*, *Corynebactéries pyogènes*, *Staphylocoques*, etc... (Bouaziz, 2022).

### 3.1.2.2. Les flores pathogènes

Leur origine est variée : infection mammaire, matériel de traite, ensilage, trayeur et d'autre facteurs liés à la saison elle présente un danger pour le consommateur c'est le cas de *Mycobacterium*, est des espèces des genres *Brucella*, *Salmonella* qui est un agent de toxo-infection (Beldjilali, 2015).

### 3.1.2.3. Flore d'altération

Elle est constituée essentiellement des entérobactéries, coliformes, bactéries psychrotrophes, la flore dite thermorésistante, des entérobactéries, coliforme, bactériose,

psychrotrophes, la flore dite thermorésistante, levures et de moisissures cette flore est à l'origine des défauts sensoriel de gout, d'arômes, de texture et de la réduction de vie des produit laitiers (**Beldjilali,2015**).

# **Chapitre 02**

## **La lipolyse Du lait**

## 1-La lipolyse

La lipolyse est une dégradation de la matière grasse du lait par des lipases (enzymes) libérant ainsi des acides gras libres dans le lait. Ces lipases sont soit produites naturellement Par la mamelle, soit accidentellement par des microbes résistants au refroidissement. En quantité excessive, les lipases microbiennes entraînent le développement de « défauts de saveur », notamment le goût caractéristique de rance. Les produits gras (beurre, crème, butter oil) ne sont pas les seuls sensibles, les laits de Consommation, les yaourts, voire les poudres grasses, sont également concernées [6].

### ❖ .Les enzymes lipolytiques

Les enzymes lipolytiques ont une classe d'enzymes particulière. Elles catalysent les réactions impliquant des molécules organiques qui ont une hydrophobicité élevée (triglycérides, phospholipides, galactolipides...) (El Alaoui, 2015). Ainsi, les lipases des psychrotrophes manifestent une hydrolyse plus rapide sur les triglycérides homogènes dont, les acides gras ont des chaînes courtes ou moyennes ou insaturées (figure 06). On considère habituellement que les enzymes peuvent jouer un rôle direct dans la lipolyse sont essentiellement :

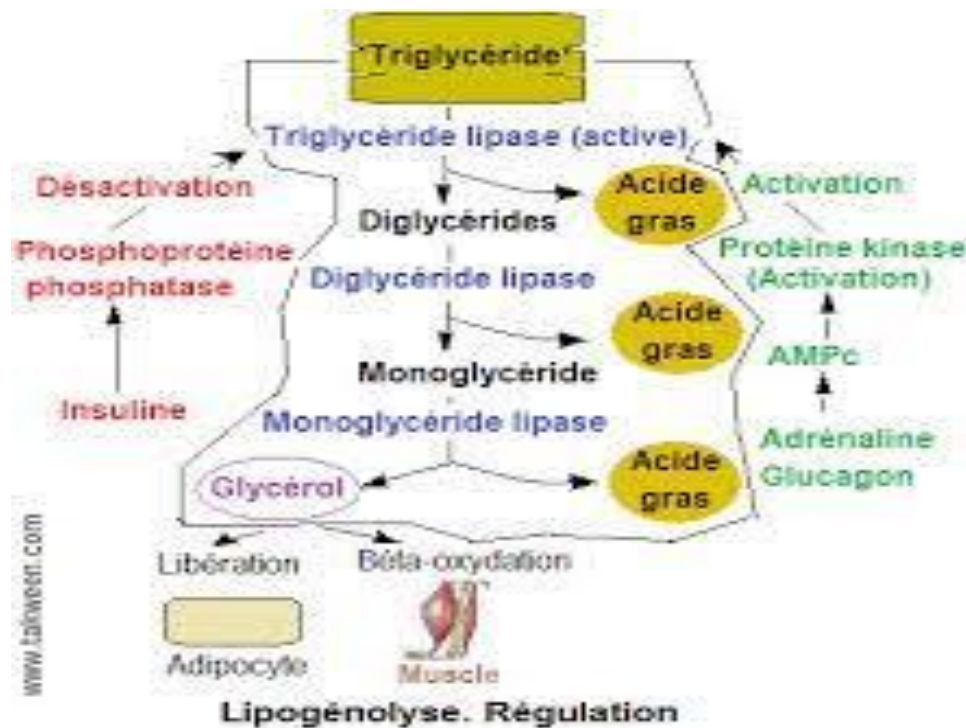


Figure 02: Représentation schématique de l'hydrolyse de la matière grasse (lipolyse) [10].

### 2.1 les lipases leucocytaires

L'intervention des lipases ou estérases sécrétées par les cellules Somatiques (leucocytes notamment) est très mal connue. Elles peuvent toutefois être présentes dans le lait en quantité significative (**Chilliard et Lamberet, 1984**). Ces enzymes peuvent donc modifier les teneurs en AGL du lait. L'importance quantitative de leur action et leur durée de vie sont probablement faibles. Leur rôle dans les variations de la lipolyse est probablement restreint aux premières heures de stockage du lait, mais pourrait expliquer certaines « anomalies » des cinétiques d'évolution des AGL pendant cette période, rapportées dans plusieurs expériences (**Chilliard et Lamberet, 1984**).

### 2.2. les lipases microbiennes (LM)

Les lipases sont largement répandues chez les bactéries, les levures et les champignons filamenteux. Elles sont aussi bien produites chez les bactéries Gram + telles que celles des genres *Bacillus* et *Staphylococcus* que par des bactéries Gram – telles que *Pseudomonas*. Elles sont également largement répandues chez les levures du genre *Candida* ou *Geotrichum* ainsi que chez les champignons filamenteux tels que *Rhizopus* ou *Thermomyces*. La lipolyse microbienne, qui résulte de l'action des lipases sécrétées par les micro-organismes, essentiellement par les germes psychrotrophes qui constituent l'essentiel de la flore des laits refroidis. Les lipases microbiennes des laits crus réfrigérés proviennent essentiellement de la flore psychrotrophe (bactéries capables de se multiplier suffisamment rapidement et de devenir dominantes à des températures inférieures à 7° C). Ce type de lipolyse est étroitement lié au problème de la qualité bactériologique du lait (**Fickers et all, 2007**).

### 2.3. Les lipases natives

L'activité de la lipase dans le lait frais (lipase native) est en grande partie -voire entièrement- due à la présence de la lipoprotéine lipase (LPL). La lipase naturelle du lait ou lipoprotéine-lipase (LPL) est sécrétée en grande quantité par les cellules mammaires dans le lait de vache post-colostral et est toujours présente dans le lait en assez grande quantité (1 à 2 mg/l). Cette enzyme intervient dans le métabolisme 'de l'animal en permettant le prélèvement des lipides sanguins (lipoprotéines) par les cellules mammaires ; elle est donc à l'origine de près de 50 % des matières grasses du lait (**Chilliard et Sauvart, 1984**).

La LPL est une glycoprotéine présente sous deux formes : une forme active et une forme inactive. La forme inactive, une sous unité monomérique de 50 kDA s'associe en dimères avec une autre unité monomérique pour constituer la forme active de la LPL. La N-glycosylation et

la dimérisation dans le réticulum endoplasmique sont des prérequis à l'activation de la LPL. Son PH optimal d'activité se situe entre 8 et 9. Elle est rapidement inactivée par des teneurs élevées en sels et par l'action de la chaleur. Cependant, dans le lait fraîchement traité, elle possède une très grande rapidité d'action et ce d'autant plus si le lait est refroidi. La LPL génère la lipolyse spontanée, variable d'un animale à l'autre, en fonction du stade physiologique et des conditions d'élevage (Marguet, 2009).

### 3-La lipolyse dans le lait et les produits laitiers

La lipolyse est une hydrolyse enzymatique de la matière grasse (triglycéride) du lait au travers de laquelle sont formés des acides gras libres ainsi que des mono- et diglycérides (Goy et al, 2011). L'hydrolyse des TG par la LPL peut être à l'origine d'une dégradation organoleptique des produits laitiers. Historiquement, le terme « rance » a été le plus utilisé pour décrire ce défaut de goût. Les termes de « savonneux », « chèvre », « butyrique » et « amer » ont également été utilisés. Or, les termes « amer » et « rance » ne sont pas spécifiques à la lipolyse et sont parfois utilisés pour décrire des saveurs liées à l'oxydation ou à la dégradation protéique. De ce fait, il est recommandé d'utiliser le terme de « lipolysé » pour faire référence à la saveur spécifique qui correspond à l'hydrolyse des TG. Cependant cette nomenclature n'est pas toujours scrupuleusement respectée dans la littérature et le terme de « rance » est souvent rencontré (Vanbergue, 2017).

#### 3.1. La lipolyse dans le lait

Normalement, l'activité de la lipase dans le lait cru frais n'est pas assez élevée pour produire une hydrolyse de la matière grasse du lait. Dans des conditions normales, la membrane du globule gras empêche la lipase de rentrer en contact avec les globules gras et de les découper. En effet, dans le lait, la matière grasse (MG) se trouve sous forme de globules gras. Ces entités sont formées d'un noyau constitué de lipides insolubles dans l'eau et couvert d'une membrane faite principalement de phospholipides et de protéines (Van Reusel, 1993). Cette membrane constitue une barrière naturelle contre l'accès de la lipoprotéine-lipase du lait (LPL) qui décompose les lipides en acides gras libres et en glycérides partiels.

De plus dans le lait natif, la LPL se trouve associée aux micelles de caséine qui, dans le tissu mammaire, sont secrétées séparément de la matière grasse. Pour qu'il produise effectivement de la lipolyse, la LPL doit quitter cette association, migrer vers les globules gras, s'intégrer dans la membrane du globule gras et établir un contact opérationnel avec les lipides. Ce n'est que lors d'une lésion mécanique de la membrane des globules gras que la lipolyse est initiée. Les chocs thermiques peuvent également fissurer la membrane des globules gras (comme par exemple un brusque refroidissement à une température inférieure à 5 °C juste après



la traite). Un brusque réchauffement de la température à environ 20 °C favorise également la friabilité de la membrane des globules gras.

Le processus lipolytique est favorisé, notamment par une manipulation excessive du lait. Une installation de traite mal conçue ou mal utilisée introduit une lipolyse importante. La collecte du lait à la ferme peut contribuer également le matériel adhoc et son utilisation pourraient être optimisée. Sur le parcours de la collecte, les transvasements d'une citerne à l'autre constituent aussi un élément défavorable. Enfin, la réception en usine et le traitement de la matière première jusqu'à la pasteurisation, qui détruit la LPL Peuvent également faire progresser sensiblement le taux de Lipolyse (**Van Reusel, 1993**).

### 3.2. La lipolyse dans le beurre

Au cours de l'année le beurre fabriqué a une acidité libre de la phase grasse qui reflète celle du lait à partir duquel il est fabriqué. A basse température (-10° C ou - 20° C) l'acidité libre de la phase grasse reste constante, mais les beurres qui présentent la plus faible acidité libre sont aussi les beurres qui manifestent la meilleure aptitude à la conservation. A 15° C par contre, l'acidité libre de la phase grasse évolue, plus particulièrement pour les beurres non salés (**Auclair et all, 1975**).

Les beurres présentant la plus faible lipolyse proviennent généralement de régions où le climat particulièrement doux et humide qui permet aux vaches laitières de bénéficier d'une vie prolongée au pâturage (Basse-Normandie par exemple). A la lipolyse due à l'action des enzymes lipolytiques naturelles du lait s'ajoute le risque de lipolyse dû à la présence des micro-organismes psychrotrophes. La lipolyse due aux micro-organismes a peu d'effet dans le lait de consommation ou même le beurre, sauf si la prolifération des micro-organismes psychrotrophes dépasse 10<sup>7</sup> par ml (**Auclair et all, 1975**).

### 3-3 La lipolyse dans le fromage

L'intensité de la lipolyse varie suivant le type de fromage et également en fonction de sa maturité. Dans le cas du Camembert le degré d'acidité libre (exprimé en ml d'une solution NaKOH pour 100g de matière grasse) qui est de 3,2 à 3,5 pour des fromages jeunes, passe à 6,1 pour des fromages affinés et atteint 13 pour les fromages sur maturés. Dans le Coulommiers la lipolyse semblerait moins intense (acidité libre de 2,3 pour un fromage aux trois quarts affiné) (**Adda et Dumont, 1974**).

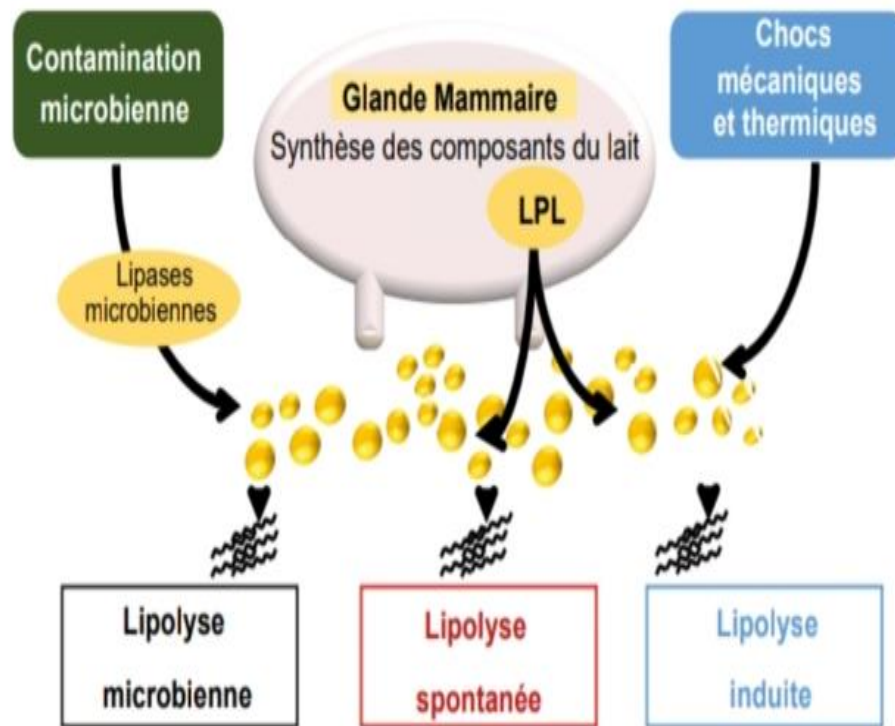
La lipolyse est particulièrement importante dans les fromages à pâte persillée et les fromages à pâte molle et à croûte fleurie tels que le Brie et le Camembert où les moisissures *P. roqueforti* et *P. camemberti* sont les principaux agents lipolytiques. Il est connu que les bactéries propioniques telle que *Propionibacterium freudenreichii* sont 10 à 100 fois plus

lipolytiques que les bactéries lactiques. En raison de leur important niveau de population dans les fromages, les bactéries lactiques sont considérées comme responsables de la libération d'un nombre non négligeable d'acides gras libres malgré leur faible activité lipolytique comparée à celle des espèces de *Pseudomonas*, *Acinetobacter* et *Flavobacterium* (Fréтин, 2016).

Les enzymes lipolytiques des bactéries lactiques sont majoritairement intracellulaires. L'autolyse des cellules bactériennes (en particulier des LAB utilisées comme ferment) qui résulte de la dégradation enzymatique du peptidoglycane formant la paroi cellulaire par des hydrolases endogènes participe à la libération des enzymes intracellulaires (Lipases, peptidases et enzymes du catabolisme des acides aminés) et leur permet d'atteindre les substrats présents dans la matrice fromagère (Fréтин, 2016). Ces enzymes jouent un rôle clé dans le développement de la flaveur des fromages au cours de l'affinage (Fréтин, 2016). Ce processus de saponification de la matière grasse contribue à la flaveur du fromage, mais peut aussi causer un mauvais goût tel que le rancissement (rance). L'influence négative de la flaveur repose sur la libération excessive des acides gras volatils butyrique (C4) et caproïque (C6) (Goy et al, 2011).

#### 4. Les Types de la lipolyse

La dégradation des globules gras du lait se fait par des enzymes (lipase) présentes soit naturellement dans le lait ou d'origine microbienne. Mais des facteurs thermiques mécaniques peuvent fragiliser les membranes des globules gras, les rendant plus facilement destructible par ces enzymes on définit 3 type de lipolyse : spontané, microbienne et induite (figure 07) (Lebehot, 2014).



**Figure 03:** Les différents types de lipolyse : spontané, induite et microbienne (**vanbergue et all, 2020**).

#### 4.1. la lipolyse spontanée (LS)

Elle est due à la lipoprotéine-lipase qui est une enzyme naturellement présente dans le lait. Elle agit faiblement sur les triglycérides à longues chaînes et hydrolyse préférentiellement les liaisons « ester » situées en position externe dans les triglycérides. La présence d'un activateur, cofacteur protéique, favorise son action. Cette enzyme est thermolabile et est en général détruite par un traitement de pasteurisation, par exemple de 75 C° (**Luc, 2017**). Bien qu'ayant une faible activité lipasique, des laits de fin de lactation semblent particulièrement susceptibles au développement de la lipolyse. D'autres constituants du système lipolytique pourraient en être la cause, bien que des relations de cause à effet n'aient pas encore été démontrées (**Chilliard, 1982**).

#### 4-2 La lipolyse induite (LI)

La lipolyse induite est provoquée par des chocs mécaniques et thermiques intervenant pendant la traite, le stockage et la transformation du lait (**Health et all, 2022**). Les chocs mécaniques et thermiques que subit le lait pendant sa récolte et sa conservation entraînent la déstructuration de la membrane qui entoure des globules gras ; cette fragilisation facilite alors l'action des lipases naturellement présentes ; parce qu'elle est favorisée par les chocs, cette lipolyse est dit induite.

Tout phénomène qui contribue à chahuter le lait lors de son acheminement vers le tank est propice à fragiliser la membrane des globules gras (écoulement du lait turbulent, des entrées d'air venant de l'extérieur de l'installation de traite). Le matériel de traite peut donc avoir une incidence sur la lipolyse (Lebehot, 2014).

#### 4.3. La lipolyse d'origine microbienne

La lipolyse microbienne est un risque lié à la qualité bactériologique du lait ; le développement de certaines bactéries (notamment *Pseudomonas*), n'est pas bloqué par la réfrigération du lait. Ces bactéries sécrètent des lipases et protéases thermostables responsables d'altération dans le lait lorsqu'elles sont présentes en grand nombre ( $10^6$  à  $10^7$  germes/ml). (Pougheon et al, 2001). La présence de ces germes est liée à une contamination du lait au cours de la traite ou lors du stockage du lait au cours de traite ou lors du stockage du lait. Les lipases microbiennes peuvent résister aux traitements thermiques subis par le lait lors de sa transformation. Il est donc impératif d'avoir une bonne hygiène de traite et de stockage du lait, et un bon nettoyage de l'installation et du tank pour limiter la présence de ces lipases dans le lait (Lebehot, 2014).

### 5. Les mécanismes de la lipolyse du lait de vache

#### 5.1. Le système enzymatique

Le système lipolytique (SLi) est le système enzymatique qui conduit à la réaction de lipolyse (figure 08). Le SLi est constitué par :- 1) une enzyme native du lait, la LPL, -2) son substrat, les TG constituants et les Globules Gras (GG) et -3) ses cofacteurs, activateurs et inhibiteurs. Plusieurs études se sont centrées sur l'identification des différents cofacteurs de la LPL. L'albumine sérique bovine, les glycosaminoglycanes du type héparine et les apolipoprotéines ont été identifiés comme de potentiels activateurs de la LPL. La Protéose Peptone (PP) 3 et dans une moindre mesure le composant 8F des PP, la  $\beta$ -lactoglobuline et la lactoferrine ont été identifiés comme de potentiels inhibiteurs de la LPL. À noter qu'aucune relation entre l'albumine sérique, le PP8, et la LS n'a été montrée directement dans le lait. Le composant 5 des PP a été, quant à lui, identifié dans certaines études comme activateur et dans d'autres études comme inhibiteur de la LPL. L'effet activateur de la PP5 est supprimé par la présence de faibles doses de PP3. Finalement, il y a très peu de certitudes concernant les cofacteurs de la LPL (Vanbbergue et al, 2020).

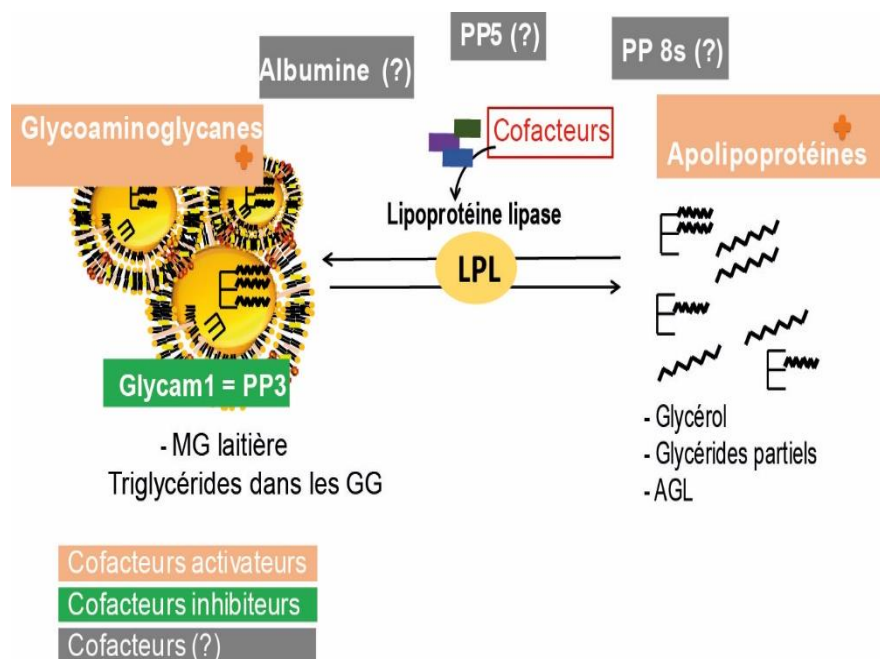


Figure 04: Système enzymatique impliqué dans la réaction de lipolyse du lait (Vanbergue, 2020).

## 5.2. Paramètres influençant l'activité de la lipase

### 5.2.1. Effet du refroidissement sur l'action de la lipase naturelle dans le lait

#### 5.2.1.1. Évolution de la structure des globules gras

Le refroidissement du lait est un prérequis à l'activation du SLi. En effet, Bengtsson et Olivecrona (1982) ont montré qu'il n'y avait pas de LS dans un lait prélevé manuellement et maintenu à 37°C. La réfrigération permet une réorganisation des composants du lait, propice à la LS, car elle permet de mettre en contact l'enzyme LPL et son substrat, les TG (Vanbergue et al, 2020). Cet effet du refroidissement pourrait résulter en partie d'une redistribution de la lipase dans les différentes phases du lait :

- dissociation du complexe caséine-lipase
- solubilisation d'une partie des micelles de caséine
- adsorption de la lipase du sérum sur les globules gras probablement par suite de l'altération de la membrane des globules gras (Chilliard, 1982).

En effet l'évolution de la structure des GG en fonction du degré de refroidissement du lait entraîne une cristallisation fractionnée de la MG, qui se manifeste par une rétractation des GG et une altération de leur membrane (Dickow et al, 2011). Il se produit une exsudation des TG hors du GG, accompagnée d'une agglomération et d'une perte d'intégrité des GG (Dickow et al, 2011), entraînant des modifications de la taille des GG par coalescence. Le refroidissement du lait est également marqué par des phénomènes d'absorption/désorption des composants de la membrane des globules gras. Plusieurs auteurs ont rapporté un changement

de morphologie et d'organisation des domaines lipidiques, accompagné d'une perte des phospholipides de cette membrane. Cette perte est évaluée entre 10 et 18 % selon les auteurs (Patton et al, 1980 ; Evers, 2004), mais reste néanmoins très variable selon les individus (**Patton et al, 1980**). Le réarrangement des composants de la membrane des GG permet à la LPL d'avoir accès aux TG. L'évolution de la structure des GG suite à un refroidissement est variable selon la race des vaches laitières (**Dickow et al, 2011**).

#### **5.2.1.2. La migration de la lipo-protéine lipase à la surface des globules gras**

Le refroidissement entraîne également une migration de la LPL, des micelles de caséines vers la surface des GG. Les déterminants de cette migration sont toutefois peu connus. La réduction de la taille des micelles de caséines et leur plus grande dispersion dans le lait, ainsi que leur solubilisation (essentiellement la caséine  $\beta$ ) dans la partie non grasse du lait pourraient, en partie, expliquer ces changements d'interaction entre composants du lait (**Dickow et al, 2011**). La réorganisation de la membrane des GG précédemment décrite pourrait modifier la liaison entre la LPL et les GG lors de la migration en surface (**Dickow et al, 2011**).

#### **5.2.2. Les inhibiteurs et les activateurs de la lipolyse**

Les protéose peptones (fragment protéique, et notamment la fraction pp3) auraient une action inhibitrice. L'action de la LPL peut également être inhibée par une accumulation d'acides gras libres au voisinage de l'enzyme. Les albumines ou les ions  $Ca^{++}$  qui se lient aux acides gras ou des agitations trop intenses peuvent lever l'inhibition de l'activité de la LPL. Par ailleurs, il semble que certaines lipoprotéines du plasma sanguin activent la LPL (**L'égide, 1997**)

### **6. Facteur de variation de la lipolyse dans le lait**

#### **6.1. Facteur liée à l'animale et aux conditions d'élevage**

La tendance des laits à "lipolyser" naturellement varie sous l'influence de plusieurs facteurs tel que l'alimentation, le stade de lactation, la santé de l'animal et la race (**Goy et al, 2011**).

##### **6.1.1. Stade de lactation et niveaux de production.**

La sensibilité du lait à la lipolyse augmente progressivement à partir du 3<sup>ème</sup> mois de lactation, puis fortement après le 8<sup>ème</sup> mois. A ce stade, on assiste en réalité à un effet combiné :

- avec le stade de gestation (probablement lié à l'état hormonal des animaux),
- et avec le niveau de production (les taux de lipolyse sont plus élevés chez les faibles productrices).

Ce phénomène peut expliquer des augmentations importantes de lipolyse en fin de lactation dans les troupeaux à vêlages groupés [7]. D'un autre côté, l'alimentation a peu d'effet

en début et en milieu de lactation. En fin de lactation en revanche, il existe plusieurs facteurs propices à la dégradation de la lipolyse :

- des sous-alimentations (pâturages ou ensilages d'herbe de mauvaise qualité, restriction excessive des concentrés) peuvent être associées à des niveaux de lipolyse très élevés.

**6.1.2. L'ensilage d'herbe :** même de bonne qualité, il a tendance à entraîner des taux de lipolyse supérieurs à ceux observés avec l'ensilage de maïs ou le foin [7].

### **6.1.3. Etat sanitaire**

Le lait contient des cellules somatiques, constituées en majeure partie de leucocytes d'origines sanguine et lymphatique. Le nombre de ces cellules par millilitre de lait varie avec l'état physiologique de l'animal (stade de lactation, ...) et les techniques de traite. Il s'élève fortement. Dans les cas de mammites cliniques, et il est utilisé pour détecter les mammites subcliniques (Serieys, 1982). La lipolyse tend à augmenter avec le nombre de cellules somatiques, en particulier au-delà de 300 000 cellules/ml et dans le lait mammitique. Les corrélations ne sont toutefois pas toujours élevées. Ceci provient du fait qu'en cas de mammites les transformations du lait sont très complexes et peuvent soit diminuer, soit augmenter la lipolyse (Chilliard, 1982).

### **6.1.4 Alimentation**

La nature du fourrage influence les variations de LS. En effet, lorsque les vaches laitières (VL) sont au pâturage, des niveaux de LS bas ont été observés. Un foin de bonne qualité, utilisé comme fourrage principal est également généralement associé à des niveaux de LS bas. L'utilisation d'ensilage d'herbe comme fourrage principal augmenterait les niveaux de LS comparé à la l'herbe fraîche (+130 %) et au foin (+93 %). L'ensilage de maïs semble être associé à des niveaux de LS plus faibles que l'herbe conservée (Vanbergue, 2017).

### **6.1.5 L'espèce animale**

Il existe d'importantes variations entre espèces. Ainsi, la lipoprotéine- lipase du lait natif est presque entièrement liée à la crème chez la femme et pour moitié chez la chèvre Il en résulte que chez ces deux espèces la lipolyse « spontanée » est fortement ou assez fortement corrélée à la quantité totale de lipase sécrétée et que les facteurs physiologiques n'ont pas le même effet que chez la vache. Ainsi, chez la chèvre, activité lipasique et lipolyse du lait varient parallèlement avec le génotype, sont maximum en pleine lactation (et non en fin de lactation comme chez la vache), sont diminuées par le jeûne. Alors qu'il existe quelques données sur la lipase du lait de bufflonne, on ignore presque tout de celle du lait de brebis, qui semblerait assez résistant à la lipolyse. Les globules gras du lait de bufflonne seraient plus fragiles et sensibles

à la lipolyse induite que ceux du lait de vache. Le lait de jument est riche en lipoprotéine-lipase mais la lipolyse n'a pas été étudiée chez cette espèce (**Chilliard et Lamberet, 1984**).

## **6.2. Facteur technologique qui favorise la lipolyse**

### **6.2.1. facteur liée en matérielle de trait**

Avec un robot c'est la conjugaison de plusieurs facteurs qui fait que la lipolyse est plus difficile à maîtriser. Le taux de lipolyse sera toujours un peu plus élevé qu'en traite classique. Pour rester en dessous du seuil de pénalité il faut appliquer quelques règles.

- Tout d'abord, éviter de placer le tank trop loin du robot pour réduire la longueur de la tuyauterie et la présence de coudes.
- Lors de la conception d'un bâtiment neuf pensez au meilleur emplacement pour la laiterie.
- Il faut également adapter le démarrage du tank lors de la première traite (lorsque le lait touche l'agitateur) et s'assurer d'un refroidissement rapide du lait (objectif : 4°C en moins de 2 heures après la traite). Le bon fonctionnement du tank est indispensable, il faut un entretien et un contrôle régulier.
- L'installation d'un pré-refroidisseur permet également de diminuer le taux de lipolyse du fait d'un abaissement de la température du lait avant que celui-ci soit envoyé dans le tank. Ce dernier fonctionne moins longtemps donc on économise de l'énergie et l'eau tempérée est valorisée par l'abreuvement du troupeau [8].
- Diminuer le nombre de traites par vache peut être une solution mais il est souvent plus judicieux de tarir les vaches à faible production, surtout si le robot est surchargé.
- Le contrôle du bon fonctionnement de son robot est à réaliser régulièrement, l'idéal est de faire réaliser un contrôle Opti' Traite une fois par an. L'évolution du matériel fait que l'on a beaucoup moins de problèmes actuellement que lors de l'installation des premiers robots [8]

### **6.2.2. Facteur liée au stockage, à la collecte et la transformation**

Durant la collecte puis la transformation du lait plusieurs facteurs Peuvent accroître encore la susceptibilité du lait à la lipolyse ou la lipolyse elle-même : brassages, pompages et vitesses de transfert excessifs ; Élévations de température ; propreté insuffisante du matériel ; agitation dans les citernes insuffisamment pleines durant le transport ; turbulences Locales (rétrécissements, coudes, remontées) ; injections d'air au niveau de raccords de tuyauterie lorsque se produisent des dépressions



dans le circuit (variations de vitesse et/ou de diamètre) ; délai avant pasteurisation Ou thermisation. Il a aussi été montré que le choix des régulateurs de pression Peut limiter fortement la lipolyse du lait thermisé (LPL partiellement Détruite) soumis à une concentration par osmose inverse (**Chilliard et Lambert, 1984**).

Pour éviter la lipolyse, vous devez suivre ces conseils :

- Eviter un refroidissement du lait trop lent ou trop brutal (adapter le démarrage du tank lors de l'arrivée de la première traite).
- Eviter une température trop basse pouvant provoquer le gel du lait.
- Eviter une agitation excessive.
- Veiller à un écoulement régulier du lait en favorisant une arrivée tangentielle le long de la paroi du tank.
- Garantir un bon fonctionnement du tank (cycle d'agitation et de refroidissement, température...).
- Entretenir et nettoyer régulièrement le tank (fonctionnement de l'agitateur, propreté intérieure et extérieure de la cuve et du condenseur) [9].

# **Conclusion**

### Conclusion

La lipolyse est étudiée avec attention car elle influence les qualités organoleptiques et technologiques du lait et des produits laitiers. L'un des critères pour juger de la qualité du lait est l'indice de lipolyse qui renseigne sur le degré d'altération des globules gras. En effet, la matière grasse (MG) du lait se trouve sous forme de globules gras. Ces entités sont formées d'un noyau constitué de lipides insolubles dans l'eau et couvert d'une membrane faite principalement de phospholipides et de protéines. Cette membrane constitue une barrière naturelle contre l'accès de la lipoprotéine-lipase du lait (LPL), une enzyme qui décompose les lipides en acides gras libres et en glycérides partiels. Ce phénomène est connu sous le nom de lipolyse. Ces acides gras libres, en s'accumulant et en s'oxydant, provoquent l'apparition de défauts de goût des produits laitiers (goût de rance, amertume, goût de savon...) peu appréciés des consommateurs. Les produits les plus sensibles sont les beurres. Les laits de consommation peuvent aussi être affectés. Dans les fromages, si le lait mis en fabrication est déjà dégradé par la lipolyse, le goût de rance peut également apparaître.

Trois types de lipolyse sont impliqués de ce phénomène de dégradation des globules gras : spontané, microbienne et induite. La lipolyse spontanée est due à la lipoprotéine-lipase qui est une enzyme naturellement présente dans le lait. La lipolyse induite est provoquée par des chocs mécaniques et thermiques intervenant pendant la traite, le stockage et la transformation du lait. La lipolyse microbienne est un risque lié à la qualité bactériologique du lait. D'un point de vue mécanistique, plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer la sensibilité d'un lait à la lipolyse. Les trois facteurs biochimiques déterminants de la sensibilité d'un lait à la lipolyse seraient : l'activité lipasique à la surface des GG, l'intégrité et les caractéristiques de la membrane des GG (fragilité des membranes), l'équilibre entre facteurs activateurs et facteurs inhibiteurs.

Concernant les facteurs de variation de la lipolyse, la lipolyse spontanée (LS) correspond à la part de la lipolyse qui dépend de l'animal et du système d'élevage. Les facteurs intrinsèques à l'animal, sont la race, le stade physiologique (lactation/gestation) et les facteurs de conduite de l'élevage et d'environnement, sont l'alimentation, la fréquence de traite, l'intervalle entre traite et la saison. Pour la lipolyse microbienne la réfrigération ne permet pas de bloquer la multiplication de tous les germes. Ainsi, les psychrotrophes (et notamment les *Pseudomonas*), qui sont des germes sécréteurs de lipase, se développent à la température habituelle de réfrigération du lait. Aussi, il est indispensable de respecter des règles d'hygiène classiquement préconisées qui sont : propreté des animaux, du bloc traite et hygiène des trayons

avant la traite. En dernier lieu, la lipolyse induite est favorisé par les chocs mécaniques et thermiques qui fragilisent la membrane des globules gras et favorisent l'action des lipases. Plusieurs précautions doivent donc être prises pour les éviter entre autres : par les conditions de traite et de stockage du lait.

**LES REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

### LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Alais, 1975** : science du lait. Principe des technique laitières Edition sepaie, parise
2. **Auclair et all, 1975** : Simonne KUZDZAL-SAVOIE, J. E. AUCLAIR, R. MOURGUES et D. LANGLOIS Station Centrale de Recherches Laitières et de Technologie des Produits Animaux, /.N.R.A.-C.N.R.Z. - 78350 Jouy-en-Josas (France)
3. **Adda et Dumont 1974** : les substances responsables de l'arôme des fromages à pâte molle (article).
4. **Beldjilali, 2015** : contribution à l'étude microbiologique et sanitaire du lait cru de brebis de la région ouest Algérie (thèse doctorat)
5. **Boucenna, 2019** : Etude physico chimique et microbiologique du lait et ses dérivés (diplôme de docteur vétérinaire).
6. **Bouaziz, 2022** : Microbiologie agroalimentaire, microbiologie des principaux produits alimentaire
7. **Boukalia et al ,2012** : contrôle de qualité du beurre produit par la laiterie <IGILAIT> (thèse de doctorat).
8. **Benhedane, 2012** : Benhedane née Bachtarzi, N., & Amourache, L. Qualité microbiologique du lait cru destine à la fabrication d'un type de camembert dans une unité de l'est Algérien (Doctoral dissertation, Constantine : Université Mentouri Constantine).
9. **Chloé, 2018** : la membrane des globules gras du lait : propriétés et applications en santé <Milk Fat Globule Membrane (MFGM) : Properties and health applications>.
10. **Cazet, 2007** : Bilan du taux de contamination et étude préparatoire au dosage de résidus de produits phytosanitaires dans le lait de grand mélange bovin. (Thèse pour l'obtention du doctorat en médecine vétérinaire).
11. **Chilliard, 1982** : variation physiologique des activités lipasiques et de la lipolyse spontanée dans les laits de vache, chèvre et de femme : revue bibliographique .Le lait, (1982),62,1-3
12. **Chilliard et Lamberet, 1984** : la lipolyse dans le lait : les diférent type, mécanismes, facteurs, de variation, signification pratique. Le lait INRA Edition, 1984, 64 (645\_646), pp.544-578 **Chilliard et Sauvart, 1984** : UTILISATION des matières grasse chez les ruminants. Expériences sur chèvre laitières. In CAAAA/ peut-on et comment utiliser les matières grasses dans les rations des vaches laitières, nov.8.ADEPRINA paris. France.

13. **Dickow et al, 2011** : le poète en personnes : mises en scène de soi et transformations de l'écriture chez Blaise Cendrars, Guillaume Apollinaire et Max Jacob. Rutgers The State University of New Jersey-New Brunswick.
14. **DRA 2018** : caractérisation physico chimique, microbiologique et immunochimique des laits camelin et bovin d'Algérie. Activités antioxydase et antitoxique de la fermentation (thèse de doctorat)
15. **El Alaoui, 2015** : Développement de tests enzymatiques applicables au criblage des activités et/ou inhibiteurs de (phospho) lipases (thèse doctorat).
16. **El Hachemi 2019** : Etude de la v Beldjilali, 2015 : contribution à l'étude microbiologique et sanitaire du lait cru de brebis de la région ouest Algérie (thèse doctorat) variation saisonnière des paramètres biochimiques et microbiologiques du lait cru de vache à la traite dans l'Oest algérien (thèse doctorat)
17. **Fickers et all ,2007** : les lipases sont des hydrolases atypiques : principales caractéristiques et applications.
18. **Filion, 2006** : Amélioration de la stabilité thermique du lait par modulation du potentiel d'oxdoréduction (mémoire présenté des études supérieures)
19. **Frétin, 2016** : construction de la qualité sensorielle des fromages de type cantal: rôle des interactions entre les communautés microbiennes et la composition de la matière grasse laitière des fromages.
20. **Gelebart, 2019** : modulation de la texture de gels acides laitiers par addition d'agrégats de protéine laitières (thèse de doctorat)
21. **Guillou et al, 1996** : Methode de dosage des protiens du lait de vache.
22. **Goy et al, 2011** : origine du gout de rance dans le fromage, station de recherche agroscope liebefelde-posieux ALP CH-3003 berne.
23. **Hanzen 2010** : Lait et production laitière.
24. **Hremarugugia, 2019** : etude du pouvoire coagulant et antioxydant de l'artichaut sauvage et de l'artichaut cultivé au maroc.
25. **Kabir, 2015** : contraintes de la production laitière en Algérie et évaluation de la qualité du lait dans l'industrie laitière (constats et perspectives) (thèse de doctorat).
26. **Lefebvre, 2017** : qu'est-ce que le lactose ? Tout savoir sur ce glucide.
27. **L'égide, 1997** : la lipolyse spontanée du lait de chèvre (article)
28. **Luc, 2017** : effet de la température et de la teneur en eau sur les mécanisme d'endommagement dant un composite a matrice acrylique et fibre de verre.

29. **(Michel et al, 2001** : Extracellulaire matrix remodeling in the vascular wall. Pathologie biologie, 49(4), 326-323.
30. **Mathieu, 1998** : initiation à la physicochimie du lait. (École nationale des industries du lait est des viandes des Roche-sur-foron paris).
31. **Moiroud et Lasnier 2017** : Le lait, controversé en santé (site). Meribai, 2010 : influence de quelques paramètres de production (alimentaire et race) sur la composition du lait aptitude à la coagulation du lait aptitude à la coagulation par des succédanés de la présure (école nationale supérieure d'agronomie-El-Harrach-Alger).
32. **Pougheon, 2001** : contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière (thèse docteur vétérinaire).
33. **Pacheco, 2016** : relation entre la composition du lait et les facteurs alimentaires dans les troupeaux laitiers québécois (thèse doctorat).
34. **Riel, 1985** : Dairy science and technology (QUEBEC <Que> canada).
35. **Roost, 2020** : quels sont les apports nutritionnels du lait ? (article).
36. **Ruminants et al, 2018** : des plantes contenant des tannins condensés : un modèle d'aliment pour gérer les vers parasites en élevages des petits ruminants. Innovations agronomiques, 66, 19-29.
37. **Renner, 1983** : le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine.
38. **Sanchez 2019** : Analyse génétique de la composition protéique & des aptitudes fromagères du lait de vache prédites à partir des spectres moyen infrarouge (thèse doctorat).
39. **Serieys, 1982** : Conséquence de traitement d'ennoyage sur le comportement de différents génotypes de tournesol (*Helianthus annuus* L). In 10 conférence internationale sur le tournesol. **vanbergue et al, 2020** : le point sur la lipolyse du lait de vache : facteurs de variation et mécanismes biochimiques. INRA production animales, INRA, 220,33,(1),pp.41-52.
40. **Vignola, 2002** : science et technologie du lait-transformation du lait, canada.
41. **Van Reusel, 1993** : la lipolyse (article).
42. **Ziar et al, 2012** : contrôle de qualité du beurre produit par la laitière <IGILAIT> (diplôme d'ingénieur d'état en biologie).



### Webographie

- [1] <http://www.fao.org>
- [2] <http://www.journees3r.fr>
- [3] <https://www.fao.org>.
- [4] [www.agroscope.admin.ch](http://www.agroscope.admin.ch).
- [5] [www.gnb.ca](http://www.gnb.ca)
- [6] <http://www.alyse-elevage.fr>.
- [7] <http://pays-de-la-loire.chambres-agruclture.fr>

[8] [www.fidocl.fr](http://www.fidocl.fr).

[9] [www.cniel-infos.com](http://www.cniel-infos.com).

[10] [www.takween.com](http://www.takween.com)