

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

1945 ماي 8 جامعة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de



Mémoire En Vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie.

Filière : Biologie

Spécialité/Option : Qualité des produits et sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème

**Taux de lipolyse et qualité du
lait cru de vache commercialisé localement**

Présenté par :

- BOULBAZINE Nour El houda
- DJENNA Manel

Devant le jury composé de :

Président : MEZROUA E.	M.C.B	Université de Guelma
Examineur : MERZOUG A.	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur : MOKHTARI A.	M.C.B	Université de Guelma

2022/2023

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier en premier lieu, Dieu tout puissant de

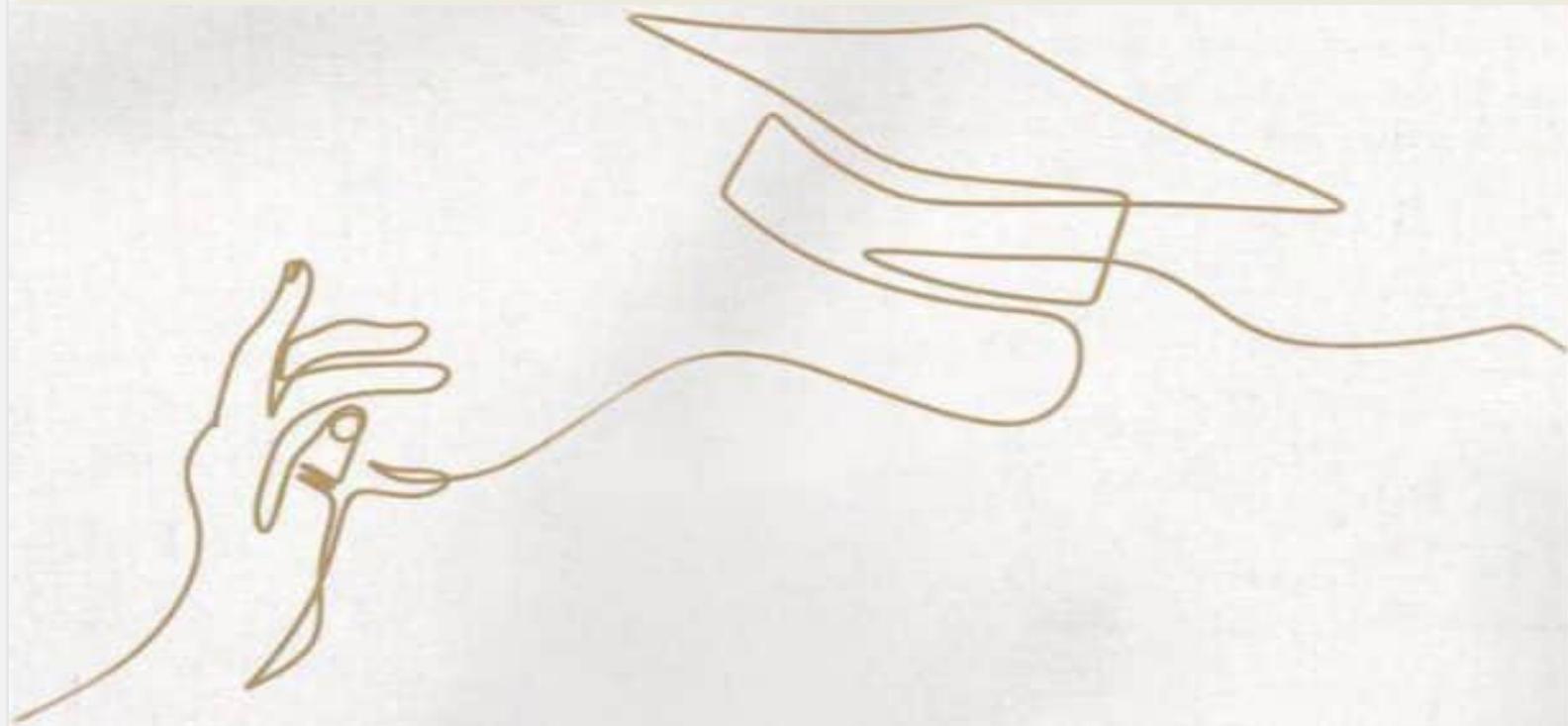
Nous avoir donné la force le courage la patience à fin de réaliser cette étude.

*Nos vifs remerciements vont en particulier à **dr Mokhetari A** de nous avoir proposé ce sujet, accepté de nous encadrer et de diriger notre travail par ses précieux conseils et ses encouragements.*

*Nous remercions vivement **Dr Mazroua L.** et **Dr Marzoug A.** d'avoir accepter d'examiner ce travail.*

Nous tenons tout particulièrement à remercier tous les enseignants de Département des Sciences Biologiques qui ont contribué à notre formation universitaire.

C'est avec un réel plaisir que nous adressons notre sincère reconnaissance et notre profonde gratitude a tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour réaliser cette étude.



Dédicace

Dédicace Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail. Je tiens à dédier cet humble travail à :

Mon très cher père Saleh Djenna

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es.

Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi.

Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation.

Je t'aime papa et je prie Dieu de te donner une bonne santé et une vie longue et heureuse.

Ma chère mère Halima Selmaji

Qui m'a entourée d'amour et d'affection et a tout fait pour ma réussite Que Dieu me la préserve et la garde en bonne santé

À Ma grande Sœur Fatima

Je sais enfin se que sais que le bonheur d'avoir une grande sœur sur laquelle on peut compter, moi qui n'en ai jamais eu. Je te dis merci et je te souhaite bonheur, réussite et prospérité pour vous et votre famille.

A mes frères Walid Mahdi et Khalil

Remercier Pour leur soutien moral et leurs précieux conseils tout au long de mes études.

À mon cher Saif

Mon partenaire de vie qui m'a aidé et soutenu dans les moments difficiles.

Manel Djenna



Dédicace

*La fin.. Les vendanges approchaient pour dix-huit ans de fatigue.. d'épuisement.. d'efforts.. de pleurs parfois.. Ce n'était ni une chose facile ni une chose impossible, et me voici aujourd'hui, la première femme diplômée de ma famille. Loué soit Dieu qui m'a choisi pour faire partie du peuple des chercheurs de
Connaissance.*

Au lien qui ne tend pas...à celui qui a un coeur...à mon père...il m'a donné la vie sous forme de cadeau, il a toujours été le motivateur quand j'échouais .Le père parfait. Dieu ne me voit pas comme mauvais en toi.. Que Dieu bénisse ta vie.. Que Dieu te bénisse pour ta sollicitude, pour ta tendresse, pour ton don.

À ma bien-aimée... à mon premier professeur... à mon âme sœur... à ma mère... Que Dieu vous bénisse du bonheur de l'au-delà pour votre éducation. Que Dieu vous bénisse avec le paradis le plus élevé pour votre amour et se soucier.

À mon compagnon de vie..à ma seconde moitié..à mon mari Ayman..que Dieu vous bénisse pour vos encouragements quand j'échoue..pour votre patience avec mes sautes d'humeur..merci d'avoir toujours été passionné par mes études. Que Dieu vous bénisse de Sa bonté.

A Whitney... ma première joie... mon beau cadeau... ma fille Sujud... elle ne m'a jamais fatiguée pendant sa grossesse, comme si elle sentait que c'était une année difficile, mais elle n'a pas augmenté ses difficultés. ..que Dieu te protège pour moi, prunelle de l'oeil.

A mes yeux... A mes compagnes sur mon chemin, mes sœurs Basma et Bushra... Que Dieu vous protège et vous rende heureux... Que Dieu vous facilite la route où que vous soyez.

A mon petit... jusqu'au bout du misk., mon frère Abdel Raouf... que Dieu te rende inébranlable sur le chemin de la vérité.

A mes beaux souvenirs... A mon deuxième père... A mon grand-père, que Dieu lui fasse miséricorde.. Il a été mon meilleur compagnon... J'ai toujours attendu ce jour avec impatience, que Dieu lui accorde le paradis .

A ma grand-mère..elle n'a jamais lésiné sur mes prières..que Dieu vous protège et prolonge votre vie.

A la deuxième famille..ma belle-mère et mon beau-père..à mes ancêtres..Fathi..Jalal..Fouad..Oqba.

Aux épouses de mes ancêtres... Nabila... Laila... et Maryam.

Nour el houda Boulbazine



Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1

Etude bibliographique

Chapitre 1. Le lait

1.1. Définition de lait	5
1.2. Valeur nutritive du lait cru	5
1.3. La composition de lait de vache	6
1.3.1. Matière grasse	6
1.3.2. Les protéines	7
1.3.3. Vitamines	8
1.3.4. L'eau	8
1.3.5. Les glucides	8
1.3.6. Les enzymes	9

Chapitre 2 : Maîtrise de la qualité du lait.

2.1. Propriétés organoleptiques du lait de vache cru	11
2.1.1. L'odeur	11
2.1.2. La saveur	11
2.1.3. L'aspect	11
2.1.4. La Viscosité	11
2.2. Propriété physico-chimique	12
2.2.1. Le pH	12
2.2.2. La Densité	13
2.2.3. L'Acidité titrable	13
2.2.4. Le Point de congélation	13
2.2.5. Le point d'ébullition	13
2.3. Propriétés microbiologiques	14

2.3.1. Origines des micro-organismes.....	14
2.3.2. La flore originelle ou indigène.....	14
2.3.3. Flore de contamination	15
2.3.4. Flore d'altération.....	15

Chapitre 3 : La lipolyse

3.1. La lipolyse.....	17
3.2. Les types de la lipolyse	17
3.2.1. La lipolyse spontanée.....	18
3.2.2. La lipolyse induit	19
3.2.3. La lipolyse microbienne.....	19
3.3. La lipolyse dans le lait	20
3.4. Effets de la lipolyse sur la qualité organoleptique et technologique du lait et des produits laitiers.....	21
3.4.1. Effet sur la qualité gustative des produits laitiers	21
3.4.2. Effet sur la qualité technologique des laits	22
3.5. Les mécanismes de la lipolyse du lait de vache.....	23
3.5.1. Le système Enzymatique	23
3.5.1.1. Fonctionnement du système enzymatique	24
3.5.2. Importance du refroidissement du lait	24
3.5.2.1. Évolution de la structure des globules gras.....	25
3.5.2.2. La migration de la lipoprotéine lipase à la surface des globules gras.....	25
3.5.2.3. Le rôle des cofacteurs de la lipoprotéine lipase	26

Etude expérimentale

Chapitre 4 : Matériel et méthodes

4.1. Objectif	29
4.2. Plan de travail	29
4.2.1. Les échantillons	29
4.2.1.1. Effet de la stérilisation	29
4.2.1.2. Effet de la pasteurisation.....	29

4.2.1.3. Effet de l'H ₂ O ₂	30
4.2.1.4. Echantillon témoin.....	30
4.2.1.5. Durée et température de réfrigération.....	30
4.3. Les analyses physico-chimiques par le Lactoscan.....	30
4.3.1. Présentation de l'appareil.....	30
4.3.2. Mode opératoire.....	31
4.4.L'analyse statistique.....	31

Chapitre 5 : Résultats et discussion

5.1. La variation de la concentration des M.G. pour les échantillons traités et stockés à 4C°	33
5.2. La variation de la concentration des M.G. pour les échantillons traités et stockés à 7 C°	34
5.3..La variation de la concentration des M.G. pour les échantillons traités et stockés à 12 C°	35
5.4. Impact de la température de stockage sur la concentration des M.G.....	36
5.5. Impact des variations de concentrations des paramètres (Protéines, Sels et pH) sur la concentration en M.G.....	37
5.5.1.Cas des échantillons de lait traités et stockés à 4 C°	38
5.5.2. Cas des échantillons de lait traité et stockés à 7C°	38
5.5.3. Cas des échantillons de lait traité et stockés à 12 C°	39
Conclusion :	42
Référence Bibliographique :	45
Annexe	49

Liste des abréviations

LS : Lipolyse spontanée

LI : Lipolyse induite

LM : Lipolyse microbienne

MG : Matière grasse

AGL : Acide gras libre

TG : Triglycéride

LPL : lipoprotéine lipase

SLi : Système lipolytique

GG : Globule gras

PP : Protéase peptone

AG : Acide gras

PH : Potentiel Hydrogène

PG : Point de Congélation

MLPL : Membrane de la lipoprotéine-lipase

Résumé

L'analyse des données des échantillons de lait traités et stockés à différentes températures a révélé que la concentration en matières grasses varie en fonction des méthodes de conservation et des températures de stockage. Les résultats montrent que la stérilisation à 110°C pendant 30 minutes et la pasteurisation à 70°C pendant 15 minutes conduisent généralement à des concentrations de M.G. plus faibles, tandis que la pasteurisation à 75°C pendant 30 secondes et le traitement au H₂O₂ entraînent des concentrations de M.G. plus élevées. De plus, en considérant les températures de stockage, il est observé que les échantillons conservés à 4°C présentent des concentrations de M.G. différentes de celles des échantillons conservés à 7°C et à 12°C. Ces variations peuvent être dues à des réactions chimiques et des processus de dégradation des M.G. qui sont influencés par les conditions de conservation et les températures de stockage. L'analyse des échantillons de lait traités et stockés à différentes températures a révélé que les variations des paramètres étudiés, tels que les protéines, les sels et le pH, peuvent avoir un impact significatif sur la concentration en M.G. dans des contextes spécifiques. Cependant, ces effets n'ont pas été statistiquement significatifs. Les coefficients associés à chaque variable indépendante n'ont pas montré de probabilité statistique inférieure à 0,05.

Mots clé : lipolyse, le lait de vache, globules gras, pasteurisation, lipases.

Abstract:

Data analysis of milk samples processed and stored at different temperatures revealed that fatty acid concentration varies with preservation methods and storage temperatures. The results show that sterilization at 110°C for 30 minutes and pasteurization at 70°C for 15 minutes generally lead to lower fatty acid concentrations, while pasteurization at 75°C for 30 seconds and treatment with H₂O₂ result in higher fatty acid concentrations. Moreover, considering the storage temperatures, it is observed that the samples stored at 4°C have different fatty acid concentrations from those of the samples stored at 7°C and 12°C. These variations may be due to chemical reactions and fatty acid degradation processes that are influenced by storage conditions and storage temperatures. Analysis of milk samples processed and stored at different temperatures revealed that variations in studied parameters, such as protein, salts and pH, can have a significant impact on fatty acid concentration in specific contexts. However, these effects were not statistically significant. The coefficients associated with each independent variable did not show a statistical probability lower than 0.05.

Keywords: lipolysis, cow's milk, fat globule, pasteurization, lipase.

ملخص

أظهر تحليل بيانات عينات الحليب المعالجة والمخزنة في درجات حرارة مختلفة أن تركيز المواد الدهنية يختلف باختلاف طرق الحفظ ودرجات حرارة التخزين. أظهرت النتائج أن التعقيم عند 110 درجة مئوية لمدة 30 دقيقة والبسترة عند 70 درجة مئوية لمدة 15 دقيقة يؤدي بشكل عام إلى انخفاض تركيزات المواد الدهنية ، في حين أن البسترة عند 75 درجة مئوية لمدة 30 ثانية والمعالجة باستخدام H₂O₂ تؤدي إلى تركيزات أعلى من المواد الدهنية. علاوة على ذلك ، بالنظر إلى درجات حرارة التخزين ، لوحظ أن العينات المخزنة عند 4 درجات مئوية لها تركيزات مختلفة من الأحماض الدهنية عن تلك الموجودة في العينات المخزنة عند 7 درجات مئوية و 12 درجة مئوية. قد تكون هذه الاختلافات ناتجة عن التفاعلات الكيميائية وعمليات تحلل المواد الدهنية التي تتأثر بظروف التخزين ودرجات حرارة التخزين. أظهر تحليل عينات الحليب المعالجة والمخزنة في درجات حرارة مختلفة أن الاختلافات في المعلمات المدروسة ، مثل البروتين والأملاح ودرجة الحموضة ، يمكن أن يكون لها تأثير كبير على تركيز المواد الدهنية في سياقات محددة. ومع ذلك ، لم تكن هذه الآثار ذات دلالة إحصائية. المعاملات المرتبطة بكل متغير مستقل لم تظهر احتمالية إحصائية أقل من 0.05.

الكلمات المفتاحية: تحلل الدهون حليب البقر البسترة حبة دهنية اللباز

Liste des figures

Figure 1: Composition de la matière grasse du lait	6
Figure 2: Représentation de la micelle de caséines avec sous-unités	7
Figure 3 : Réaction de lipolyse.	18
Figure 4: Schéma des trois types de lipolyse. <i>D'après Heuchel et Chilliard (1988)</i> .	18
Figure 5: La membrane des globules gras.	19
Figure 6 : Système enzymatique impliqué dans la réaction de lipolyse du lait.	23
Figure 7 : Profils des paramètres mesurés par le Lactoscan dans les échantillons de lait conservés par différentes méthodes et stocker à 4 C°	33
Figure 8 : Profils des paramètres mesurés par le Lactoscan dans les échantillons de lait conservés par différentes méthodes et stocker à 7 C°	34
Figure 9 : Profils des paramètres mesurés par le Lactoscan dans les échantillons de lait conservés par différentes méthodes et stocker à 12 C°	35
Figure 10 : Profils de variation de la concentration en M.G. en fonction des méthodes de conservation et des températures de stockage.	36

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition en lipides de lait de vache	7
Tableau 2 : Caractéristiques organoleptiques du lait de vache	12
Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques du lait de vache	14
Tableau 4 : Flore indigène du lait cru	15
Tableau 5 : Flaveurs associées aux acides gras libres à courte chaîne présents dans le lait des vaches laitières	22
Tableau 6 : Paramètres physicochimiques des échantillons de lait traité et stockés à 4 C°	33
Tableau 7 : Paramètres physicochimiques des échantillons de lait traité et stockés à 7 C°	34
Tableau 8 : Paramètres physicochimiques des échantillons de lait traité et stockés à 12C°	35
Tableau 9 : Concentration en acides gras en fonction des méthodes de conservation et des températures de stockage.....	36

Introduction générale

Introduction

L'Algérie est un pays de tradition laitière. Le lait et les produits laitiers occupent une place prépondérante dans la ration alimentaire des algériens, ils apportent la plus grosse part de protéines d'origine animale. En regard de son contenu en énergie métabolisable, le lait présente une forte concentration en nutriments, mais il n'a pas seulement un intérêt alimentaire, il occupe une place centrale dans l'imaginaire des algériens. Ce n'est d'ailleurs pas par hasard qu'il est offert comme signe de bienvenue, traduisant, ainsi par l'acte notre tradition d'hospitalité (**Ghaoues, 2011**). Les besoins algériens en lait et produits laitiers sont considérables. Avec une consommation moyenne de 110 litres de lait par habitant et par an, estimée à 115 litres en 2010, l'Algérie est le plus important consommateur de lait dans le Maghreb. La consommation nationale s'élève à environ 3 milliards de litres de lait par an, la production nationale étant limitée à 2,2 milliards de litres, dont 1,6 milliard de lait cru (**Kaci et Sassi, 2007**).

Le stockage du lait au froid, à la ferme puis à l'usine, est une des mesures qui a permis de simplifier l'organisation matérielle des opérations de collecte et de transformation, si bien que des quantités croissantes de lait ne sont pasteurisées ou traitées que 2, 3 et parfois plus de 4 jours après la traite. Ce stockage au froid n'est pas sans inconvénients, car la matière première subit alors une série de modifications qui peuvent affecter les rendements à la transformation ou la qualité des produits : modifications de la phase colloïdale (caséines, ...) et de la phase grasse, développements bactériens, dégradation des protéines (protéolyse) ou des matières-grasses (lipolyse) (**Chilliard et Lamberet, 1984**). Le phénomène de lipolyse est devenu un problème majeur de l'industrie laitière. La raison première est l'apparition fréquente dans un lait maintenu à température relativement basse d'un défaut d'arôme, la « rancidité », Ce défaut, sous des formes diverses (goût de rance, de piquant, goût de savon), peut également être observé dans les produits laitiers (crème, beurre, fromages, poudres diverses) (**Kuzdzal-Savoie et al, 1975**).

L'hydrolyse enzymatique des triglycérides par les lipases se traduit par l'augmentation de la teneur en acides gras libres (AGL) du lait (**Chilliard et Lamberet, 1984**). La dégradation des globules gras du lait se fait par des enzymes (lipases) présentes soit naturellement dans le lait ou d'origine microbienne. 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 lipase naturellement sécrétée dans le lait [1]. La

lipolyse microbienne est liée aux lipases sécrétées par certaines bactéries capables de se développer dans le lait à basse température (comme *Pseudomonas* par exemple). La lipolyse induite est due aux 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 [1].

Dans cette étude, nous avons examiné l'impact des méthodes de conservation par la chaleur et comme agent de préservation l'eau oxygénée, ainsi que l'influence des différentes températures de réfrigération sur le phénomène de lipolyse dans le lait de vache. Le document est divisé en trois parties : une revue bibliographique présentant le lait, sa composition physicochimique, la structure des globules gras et les différents types de lipolyse. La deuxième partie décrit le matériel et les méthodes utilisés dans cette étude, tandis que la troisième partie présente les résultats et les discussions sur les principaux aspects étudiés.

Etude bibliographique

Chapitre 1.

Le lait

1.1. Définition de lait

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 (**Dickinson, 1996**), de type émulsion huile dans eau (H-E). Selon **Aboutayeb (2009)**, le lait est de couleur blanche, opaque, de saveur légèrement sucrée, constituant un aliment complet et équilibré.

Le lait cru est un lait qui n'a subi aucun traitement de conservation sauf la réfrigération à la ferme. La date limite de vente correspond au lendemain du jour de la traite. Le lait cru doit être porté à l'ébullition avant consommation (car il contient des germes pathogène). Il doit être conservé par réfrigération et consommé dans les 24 h (**Fredot, 2006**). Le lait doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et présenter toutes les garanties sanitaires. Il peut être commercialisé en l'état mais le plus souvent après avoir subi des traitements de standardisation lipidique et d'épuration microbienne pour limiter les risques hygiéniques et assurer une plus longue conservation (**Jeantet et al., 2008**).

1.2. Valeur nutritive du lait cru

Le lait est un aliment complet à l'état naturel contenant plusieurs éléments nutritifs indispensables. Sa valeur énergétique est de 700 Kcal/L. Le lactose est le sucre prédominant dans le lait, il est connu pour jouer un rôle important dans la formation et la croissance du système nerveux des mammifères (synthèses de galactosides) (**Thapon, 2005**).

La haute qualité nutritionnelle des protéines du lait repose sur leur forte digestibilité et leurs compositions particulièrement bien équilibrée en acides aminés indispensables. Pour les nouveau-nés, les protéines du lait constituent une source protéique adaptée aux besoins de croissance durant les périodes néonatales (**Derby, 2001**).

Le lait est également une excellente source de minéraux intervenant dans divers métabolismes humains notamment comme cofacteurs et régulateurs d'enzymes. Il assure aussi un rapport non négligeable en vitamines connues, et il est considéré comme facteurs essentiels intervenant dans les réactions du métabolisme. Il est néanmoins pauvre en fer et en cuivre et il est dépourvu de fibres (**Cheftel et al., 1996**).

1.3. La composition de lait de vache

1.3.1. Matière grasse

Jeantet et al. (2008) rapportent que la matière grasse est présente dans le lait sous forme de globules gras de diamètre de 0.1 à 10 μ m et est essentiellement constituée de triglycérides (98%) (Tableau1). La membrane est constituée de phospholipides, de lipoprotéines, de cérebrosides, de protéines, d'acides nucléiques, d'enzymes et d'oligoéléments (métaux) et d'eau (Figure1 Bylund, 1995). La matière grasse du lait de vache représente à elle seule la moitié de l'apport énergétique du lait. Elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés. Elle renferme :

- Une très grande variété d'acides gras (150 différents).
- Une proportion élevée d'acides gras à chaînes courtes, assimilés plus rapidement que les acides gras à longues chaînes.
- Une teneur élevée en acide oléique (C18 :1) et palmitique (C16 :0).
- Une teneur moyenne en acide stéarique (C18 :0).

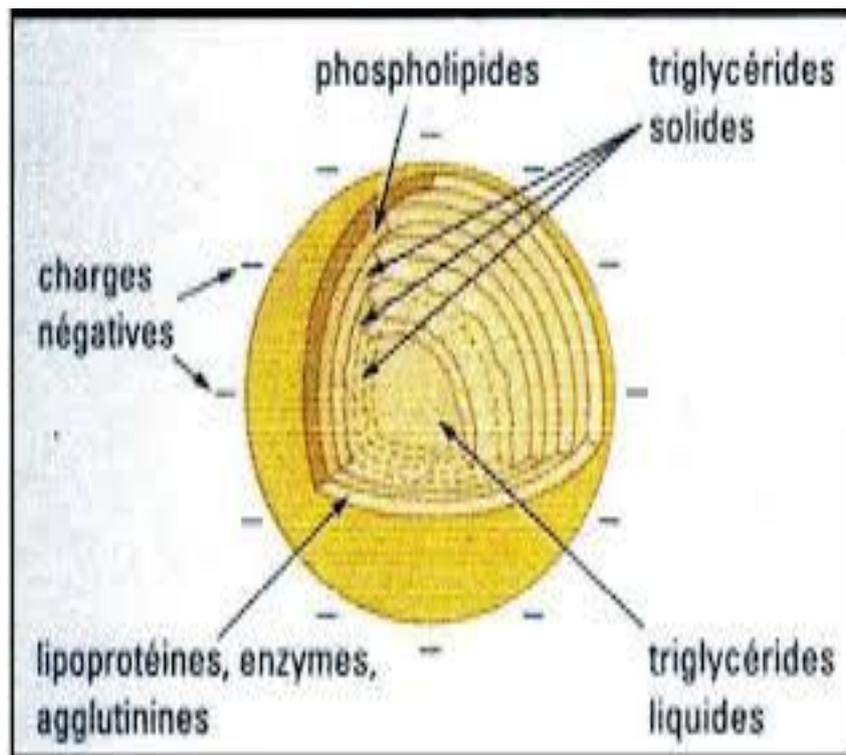


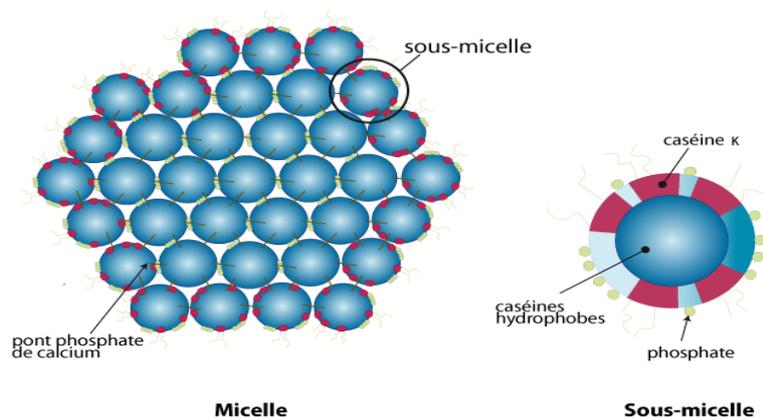
Figure 1: Composition de la matière grasse du lait (BYLUND, 1995)

Tableau 1: Composition en lipides de lait de vache (Chilliard, 1996)

composition (%)	Lait de vache
Triglycérides	98
Glycérides partielles	0,5
Cholestérol	0,3
Phospholipides	0,9
Acides gras libres	0,4

1.3.2. Les protéines

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers (Amiot et al., 2002). Les protéines du lait sont classées en deux catégories selon leur solubilité dans l'eau et leur stabilité. Ainsi, on distingue d'un côté les différentes caséines (Figure 2) qui sont en suspension colloïdale dans la phase aqueuse du lait et les protéines du lactosérum dites protéines solubles ou protéines du petit lait. Les caséines sont celles qui sont impliquées dans le processus de gélification du lait (Bonfatti et al., 2010 ; Ibouido et al., 2012).

**Figure 2:** Représentation de la micelle de caséines avec sous-unités (Schmidt 1980)

1.3 .3. Vitamines

Selon Vignola (2002), 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 distingue d'une part les vitamines hydrosolubles (vitamine du groupe B et vitamine C) en quantité constantes, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K) (Jeantet et al., 2008).

1.3.4. L'eau

L'eau représente environ 81 à 87% du volume du lait selon la race. Elle se trouve sous deux formes : libre (96 % de la totalité) et liée à la matière sèche (4 % de la totalité) (Ramet, 1985). D'après Amiot et al. (2002), l'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion. La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire.

La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire. Ce caractère polaire lui permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum. Puisque les matières grasses possèdent un caractère non polaire (ou hydrophobe), elles ne pourront se dissoudre et formeront une émulsion du type huile dans l'eau. Il en est de même pour les micelles de caséines qui formeront une suspension colloïdale puisqu'elles sont solides (Amiot et Lapointe, 2002).

1.3.5. Les glucides

L'hydrate de carbone principal du lait est le lactose qu'est synthétisé dans le pis à partir du glucose et du galactose. C'est un disaccharide constitué par de D- galactopyranosyl, 1-4 D- glucopyranosyl (α ou β). On ne relève que 70 mg/l de glucose et 20 mg/l de galactose ainsi que des traces d'autres glucides. Bien que le lactose soit un sucre, il n'a pas une saveur douce (Brule, 1987 ; Fredote, 2005). C'est un disaccharide à saveur relativement peu sucrée (1/6 par rapport au saccharose), peu soluble (environ 10 fois moins à l'équilibre que le saccharose à température ambiante) qui possède un groupement réducteur (Luquet, 1985).

Sa molécule $C_{12}H_{22}O_{11}$, est celui-ci est en grande partie produit par le foie (Mathieu, 1999). Le lactose est quasiment le seul glucide du lait de vache et représente 99% des glucides du lait de monogastriques. Sa teneur est très stable entre 48 et 50 g/l (seulement 28 g/L dans le colostrum) dans le lait de vache. Le Lactose est un sucre spécifique du lait (Hoden et Coulon, 1991 ; Luquet, 1985). Son taux peut varier quelque peu, augmentant avec le cycle de lac. C'est un sucre spécifique du lait (Luquet, 1985).

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. Cette dernière est indispensable pour la fabrication de fromages et de laits fermentés (**Fredote, 2005**).

1.3.6. Les enzymes

Pougheon (2001) définit les enzymes comme des substances organiques de nature protidique, produites par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Environ 60 enzymes principales ont été répertoriées dans le lait pouvant jouer un rôle très important, soit par la lyse des constituants originaux du lait, soit assurant un rôle antibactérien (protection du lait), soit des indicateurs de qualité hygiénique, de traitement thermique et d'espèce. Les deux principaux facteurs qui influent sur l'activité enzymatiques ont le pH et la température (**Amiot et al., 2002**).

Chapitre 2 :
Maîtrise de la qualité du
lait.

2.1. Propriétés organoleptiques du lait de vache cru

Le lait se présente comme un liquide blanc opaque, parfois un peu jaunâtre selon sa concentration en -carotènes. Son odeur est discrète et son goût légèrement sucré. Il peut être plus jaunâtre s'il s'agit de colostrum, mais dans ce cas il n'est pas apte à la consommation humaine. En effet, le colostrum est le produit sécrété par la mamelle pendant la première semaine post-partum, il est de couleur jaune, possède un goût salé et amer ainsi qu'une odeur marquée, critères qui le distinguent nettement du lait (Alves, 2006).

2.1.1. L'odeur

L'odeur du lait est caractéristique du fait de la matière grasse qu'il contient fixe des odeurs animales. Elles sont liées à l'ambiance de la traite, à l'alimentation (les fourrages à base d'ensilage favorisent la flore butyrique, le lait prend alors une forte odeur), à la conservation (l'acidification du lait à l'aide de l'acide lactique lui donne une odeur aigrelette) (Vierling, 2003).

2.1.2. La saveur

La saveur du lait normal frais est agréable. Celle du lait acidifié est fraîche et un peu piquante. Les laits chauffés (pasteurisés, bouillis ou stérilisés) ont un goût légèrement différent de celui du lait cru. Les laits de rétention et de mammites ont une saveur salée plus ou moins accentuée. L'alimentation des vaches laitières à l'aide de certaines plantes de fourrages ensilés, peut transmettre au lait, des saveurs anormales en particulier un goût amer. La saveur amère peut aussi apparaître dans le lait par suite de la pullulation de certains germes d'origine extra-mammaire (Thieulin et Vuillaume, 1967).

2.1.3. L'aspect

Le lait est généralement opaque d'un blanc mat, cela est dû à la diffusion de la lumière par les micelles des colloïdes. Et une richesse particulière en graisse ce qui lui confère parfois une teinte jaunâtre (Jean et Roger, 1961). Selon Veisseyere, (1975) après la traite, l'invasion des germes producteurs de pigments amène des colorations secondaires qui ne développent qu'au bout de 3 à 4 jours de conservation. Parmi ces germes on a : *Sarcina aurantica* pour les laits roses. Et pour les laits jaunes on a *Micrococcus lutens*, divers *Xanthomonas* et *Pseudomonas*.

2.1.4. La Viscosité

Le lait est considérablement plus visqueux que l'eau, Rheotest (2010) a montré que la viscosité du lait est une propriété complexe qui est particulièrement affectée par les particules colloïdes émulsifiées et dissoutes. La teneur en graisse et en caséine possède l'influence la plus importante sur la viscosité du lait. La viscosité dépend également de paramètres technologiques. Il existe également des contaminations microbiennes qui sont responsable de

la viscosité, telle que : *Leuconostoc mesenteroide* (Jean et Roger, 1961). La viscosité est fonction de l'espèce, un lait moins visqueux chez les herbivores (lait de brebis plus visqueux que celui de la vache) (Vierling, 1998).

Tableau 2 : Caractéristiques organoleptiques du lait de vache (Veisseyre, 1975).

Couleur	Blanc-jaunâtre à blanc –mat (à cause de la réflexion de la lumière sur les micelles et les caséines). Bleutée ou franchement jaunâtre (lait riche en lactoflavine).
Odeur	Peu accentuée, fonction de l'espèce et l'alimentation.
Saveur	Légèrement sucrée (le lactose à un faible pouvoir sucrant).
Viscosité	Deux fois plus visqueux que l'eau : -plus visqueux chez les monogastriques que chez les polys gastriques. -plus visqueux au début de lactation (colostrum).
Propreté physique	Le lait doit être propre (ne doit pas contenir d'éléments figures).

2.2. Propriété physico-chimique

2.2.1. Le pH

Les différents laits ont une réaction ionique voisine de la neutralité. Le Ph est compris entre 6,4 et 6,8. C'est la conséquence de la présence de la caséine et des anions sphosphorique et citrique, principalement. Le Ph n'est pas une valeur constante. Il peut varier au cours du cycle de lactation et sous l'influence de l'alimentation. Cependant l'amplitude des variations est faible dans une même espèce. Le Ph du lait change d'une espèce à l'autre, étant donné les différences de la composition chimique, notamment en caséines et en phosphates (Gaucher, 2007).

La mesure du Ph nous renseigne sur l'état de fraîcheur du lait, s'il y a prolifération des bactéries, une partie de lactose du lait sera dégradée en acide lactique, ce qui entraîne une augmentation de la concentration du lait en ions hydronium, et donc une diminution de Ph. (Amariglio, 1986).

2.2.2. La Densité

La densité du lait d'une espèce donnée n'est pas une valeur constante, elle varie d'une part, proportionnellement avec la concentration des éléments dissous et en suspension et d'autre part, avec la proportion de la matière grasse (Alais, 1984). D'après Vignola, la densité du lait augmente avec l'écémage et diminue avec le mouillage (Vignola, 2002). Elle oscille entre 1,028 et 1,034. 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 (Vierling, 2008).

La densité représente le rapport des masses d'un volume de lait et d'un même volume d'eau à 20°C. Cette masse résulte des diverses densités des constituants du lait (eau, matière grasse, protéines, sucres, etc). La densité du lait est variable, car la quantité de ses différents constituants n'étant pas constante. Elle est liée en particulier à la matière grasse (MG) et à la matière sèche dégraissée (MSD) (Alais, 1984 ; Boudier et Luquet, 1981).

2.2.3. L'Acidité titrable

L'acidité titrable du lait correspond à la titration par l'hydroxyde de sodium en présence de phénol phtaléine comme indicateur colorée. La présence de ce dernier indiquera la limite de neutralisation par changement de couleur qui devient rose pâle (Fanni et Novak, 1987). L'acidité titrable est une mesure des deux acidités définies précédemment :

Acidité titrable = acidité naturelle + acidité développée

2.2.4. Le Point de congélation

Selon Aboutayeb (2011), Le point de congélation PG est la température de passage de l'état liquide à l'état solide. Le point de congélation du lait est l'une de ses caractéristiques physiques les plus constantes. Sa valeur moyenne, si l'on considère des productions individuelles de vache, se situe entre -0,54 °C et -0,55°C (Mathieu, 1998). La mesure de ce paramètre permet l'appréciation de la quantité d'eau éventuellement ajoutée au lait. Un mouillage de 1% entraîne une augmentation du point de congélation d'environ 0,0055°C (Goursaud, 1985).

2.2.5. Le point d'ébullition

Amoït et al (2002), ont défini le point d'ébullition comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur de la substance ou de la solution est égale à la pression appliquée. Ainsi comme pour le point de congélation, le point d'ébullition subit l'influence de la présence des solides solubilisés. Il est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100.5°C.

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques du lait de vache (Ait Amer, 2008).

Composition	Vache
Energie	705
Densité du lait entier à 20°C	1,028-1,033
Point de congélation(C°)	0,520-0,550
PH-20°C	6,60-6,80
Acidité titrable(°Dornic)	15-17
Tension superficielle du lait entier à 15°C (dynes cm)	50
Conductivité électrique à 25°C (siemens)	45 x 10 ⁻⁴
Indice de réfraction	1,45-1,46
Viscosité du lait entier à 20°C(centpoises)	2,0-2,2

2.3. Propriétés microbiologiques

Le lait est un aliment dont la durée de conservation est très limitée. En effet, son Ph est proche de la neutralité, le rendant facilement altérable par les micro-organismes (Gosta, 1995). De ce fait on trouve que le lait comporte une flore originelle ou indigène, et une flore de contamination (Bahri, 2016). Cette dernière est subdivisée en deux sous-groupes : la flore d'altération et la flore pathogène (Vignola, 2002).

2.3.1. Origines des micro-organismes

En domaine alimentaire, il existe trois sources possibles dû à la présence de microorganismes dans un aliment. Ils sont soit :

- Préexistants dans les matières premières ou dans la manipulation ou la transformation des aliments.
- Ajoutés accidentellement lors de la transformation ultérieure des aliments
- Ajouter volontairement (Naouale, 2001).

2.3.2. La flore originelle ou indigène

La flore originelle des produits laitiers se définit comme l'ensemble des micro-organismes retrouvés dans le lait à la sortie du pis. Lorsque le lait est sécrété à partir de la mamelle d'un

animal sein, il contient relativement peu de micro-organismes. Il doit contenir moins de 5000 UFC (unités formant colonies) par 100 ml. La flore naturelle du lait cru est un facteur important, notamment dans ces caractéristiques sensorielles (Fotou et al. 2011). Les genres dominants de la flore indigène sont principalement des micro-organismes mésophiles tel que le *Lactobacillus*, le *Streptococcus* (Sadelli et Oulmi, 2013). (Le Tableau 4) représente les principaux microorganismes originels du lait avec leurs proportions relatives :

Tableau 4: Flore indigène du lait cru (Medjoudj et Salhi, 2013)

Microorganismes	Pourcentage
<i>Micrococcus sp</i>	30-90%
<i>Lactobacillus</i>	10-30%
<i>Streptococcus ou Lactococcus</i>	(10%
<i>Gram négatif</i>	(10%/

2.3.3. Flore de contamination

Le lait peut se contaminer par des apports microbiens divers. Il en résulte que la nature de la flore microbienne du lait cru est à la fois complexe et variable d'un échantillon à l'autre et suivant l'âge du lait. Cette flore est composée d'une flore d'altération et d'une flore pathogène.

2.3.4. Flore d'altération

Cette flore est l'ensemble des microorganismes contaminant le lait, de la récolte jusqu'à la consommation. Elle causera des défauts sensoriels de goût, d'arôme, d'apparence ou de texture et réduira la vie du produit laitier. Parfois, certains microorganismes nuisibles peuvent aussi être pathogènes. Les principaux genres identifiés comme flore d'altération : les coliformes, et certains levures et moisissures (Essalhi, 2002).

Chapitre 3 :

La lipolyse

3.1. La lipolyse

La lipolyse est une réaction enzymatique de dégradation de la matière grasse qui se traduit dans le lait par une augmentation de la teneur en acides gras libres (**Kuzdzal- Savoie, 1982, Chilliard et Lamberet, 1984**). Au-delà de certains seuils, cette augmentation peut provoquer l'apparition de défauts de goûts (rance, savon...) dans les produits laitiers (**Deeth et Fitz-Gerald, 1983, Anderson, 1983**). Les caractéristiques et les mécanismes du système lipolytique endogène du lait de vache sont bien connus (**Chilliard, 1982, Cartier, 1987**). De nombreux travaux ont été réalisés, notamment en France, sur l'incidence des conditions de production du lait sur l'activation du système lipolytique, tant en ce qui concerne les effets des facteurs liés à la physiologie de l'animal (**Jellema, 1980, Chazal et Chilliard, 1986, Heuchel et Chilliard, 1988**), que ceux des facteurs d'induction thermiques ou mécaniques liés aux conditions de traite et de stockage du lait à la ferme (**Fleming, 1979, Heuchel, 1994**). Les résultats de ces travaux ont permis de définir les moyens à mettre en œuvre pour réduire ou maîtriser la lipolyse du lait avant sa collecte, et de développer des actions de conseil auprès des producteurs.

Pour autant, les relations entre la lipolyse mesurée sur le lait et la qualité organoleptique des différents produits qui en sont issus et les seuils à partir desquels on observe effectivement une altération de cette qualité, ne sont pas précisément connus (**Anon, 1997**). Les références sur l'incidence des procédés de transformation sur l'évolution de la lipolyse dans les produits au cours de leur fabrication ne sont que très partielles : les effets des principaux traitements thermiques (thermisation, pasteurisation, traitement UHT, réfrigération, congélation) ou physiques (homogénéisation, écrémage) du lait ont été étudiés par de nombreux auteurs, mais généralement indépendamment les uns des autres et le plus souvent à partir d'essais en laboratoire (**Anon, 1997**).

3.2. Les types de la lipolyse

On appelle lipolyse, la mise en œuvre du SLi qui conduit à la formation d'AGL dans le lait (**Figure1**). Le SLi est constitué par 1) une enzyme native du lait, la LPL, 2) son substrat, les triglycérides (**TG**) constituant les globules gras (**GG**) et 3) ses cofacteurs, activateurs et inhibiteurs (**Vanbergue, 2017**).

On distingue trois types de lipolyse : la LS, la lipolyse induite et la lipolyse microbienne (**Figure3**). La LS se produit consécutivement au refroidissement du lait, en l'absence de chocs mécaniques. Elle dépend de l'animal et des facteurs d'élevage. La lipolyse induite se produit consécutivement aux chocs mécaniques et thermiques qui ont lieu pendant la traite et le stockage du lait. En pratique, dans les élevages, il n'est pas possible de dissocier la LS de la

lipolyse induite dans les laits de tank. La lipolyse microbienne est le produit de l'action des enzymes microbiennes sur les TG du lait. La lipolyse microbienne devient significative après 3 à 4 jours de stockage du lait lorsqu'il est de qualité sanitaire satisfaisante (inrae prod. Anim., 2020).

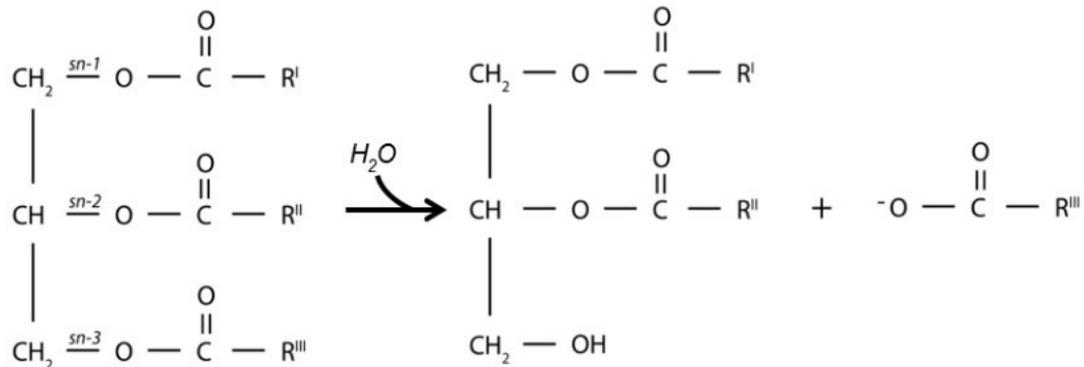


Figure 3 : Réaction de lipolyse.

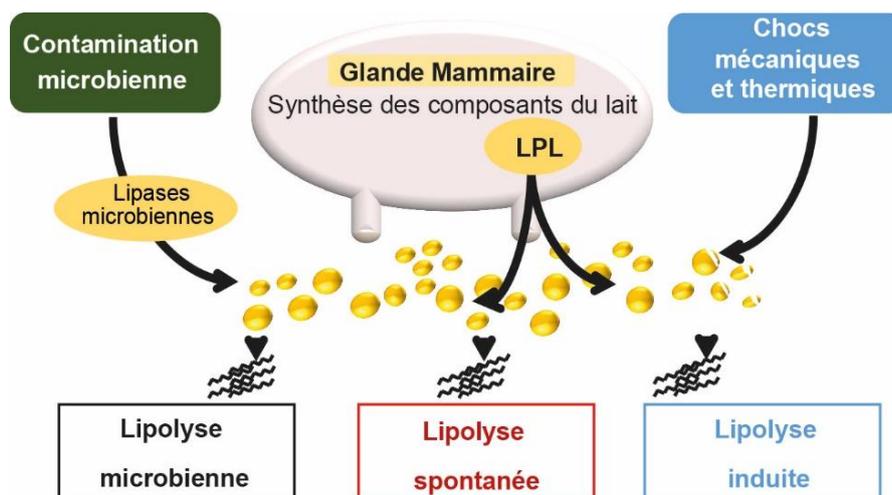


Figure 4: Schéma des trois types de lipolyse. D'après Heuchel et Chilliard (1988)

TG : Triglycérides ; LPL : Lipoprotéine lipase.

3.2.1. La lipolyse spontanée

La LS résulte des variations de la composition et des propriétés du lait natif en relation avec l'état physiologique, nutritionnel, sanitaire, ... des animaux. En fait, le terme « lipolyse spontanée » est abusif dans la mesure où, en dehors de cas particuliers, il n'existe généralement pas de lipolyse dans le lait pendant son séjour dans la mamelle ou lorsqu'il est maintenu à 37 °C après avoir été prélevé manuellement (Bengtsson et Olivecrona, 1982), du fait que la lipase ne peut que très difficilement agir sur les globules gras natifs. Nous

parlerons donc plutôt du facteur animal, c'est-à-dire de l'interaction entre les propriétés du lait natif de chaque individu (quantité de lipase, propriétés des globules gras, etc.) et les facteurs pratiques induisant inévitablement de la lipolyse (**Figure 5**).

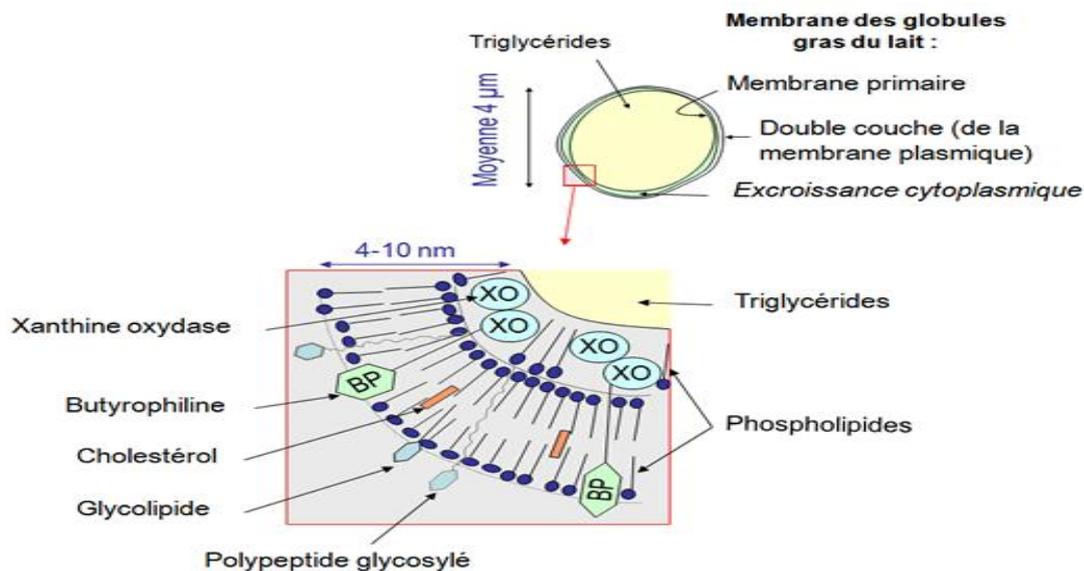


Figure 5: La membrane des globules gras.

On peut y voir de petites vésicules provenant de remaniements de la membrane primaire après sécrétion. La flèche simple montre la membrane « primaire ». Ici d'épaisseur uniforme, et la double flèche, la membrane « secondaire ». On peut noter la différence de structure. La membrane « primaire » peut présenter, localement, une épaisseur plus grande ou maintenir occluses des structures cellulaires comme par exemple, des fragments de réticulum endoplasmique (non visibles sur la photographie). Les chaînes d'hydrates de carbone sont représentées par de petits cercles sur des extensions de polypeptides 15 et 16. Le polypeptide N est la 5'-nucléotides ; 3 = xanthine oxydase. (**Chilliaro et Lamberet, 1984**).

3.2.2. La lipolyse induit

La LI qui résulte de l'action de la lipase naturelle (sécrétée par la mamelle) sur les globules gras du lait, après que ceux-ci aient été endommagés par des chocs thermiques (refroidissement, réchauffement, ...) et mécaniques (turbulences, moussage, ...). Ces facteurs permettent aux lipases d'avoir un plus large accès aux triglycérides. (**Chilliaro et Lamberet, 1984**).

3.2.3. La lipolyse microbienne

La LM qui résulte de l'action des lipases sécrétées par les microorganismes, essentiellement par les germes psychrotrophes qui constituent l'essentiel de la flore des laits

refroidis. Ce type de lipolyse est donc étroitement lié au problème de la qualité bactériologique du lait (**Chilliaro et Lamberet, 1984**)

3.3. La lipolyse dans le lait

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. Cette membrane constitue une barrière naturelle contre l'accès de la lipoprotéine-lipase du lait (Mlpl), une enzyme qui décompose les lipides en acides gras libres et en glycérides partiels. Ce phénomène est connu sous le nom de lipolyse.

Dans le lait natif, la Mlpl 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 Mlpl 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. 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. De même, des variations répétées de la température du lait font progresser la lipolyse. La collecte du lait à la ferme peut y contribuer également ; le matériel adhoc et son utilisation pourraient être optimisés. 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 Mlpl peuvent également faire progresser sensiblement le taux de lipolyse (**Van reusel, 1993**).

A la sortie de la mamelle, le lait renferme une certaine acidité due à des AGL présents naturellement dans le lait. Cette acidité peut augmenter au cours du temps du fait de l'activité lipolytique de deux groupes d'enzymes. Une lipase naturelle du lait, dont l'action lipolytique s'exerce préférentiellement au niveau des acides gras situés sur les chaînes externes de la molécule de glycérol. Cette enzyme naturelle est thermolabile (détruite au cours de la pasteurisation). Et des lipases d'origine bactérienne ou fongique. Cette lipolyse peut intervenir dans le cas des laits réfrigérés, après plusieurs jours de stockage à basse température. Ce type de lipolyse est généralement lié au développement d'une flore psychrotrophe. Des lipases d'origine bactérienne ou fongique peuvent être différentes de celle décrite précédemment. Contrairement à la lipase naturelle, certaines lipases bactériennes sont thermorésistantes. Dans le lait, l'action des lipases est limitée par la «membrane» des globules gras. Tous les traitements qui altèrent la surface des globules mécaniques (pompage, agitation,

homogénéisation, etc.) et les traitements thermiques (changement brusques et répétés de température). L.

Le terme «AGL» englobe tous les acides gras qui proviennent de la matière grasse laitière par hydrolyse enzymatique, ou qui résultent d'une synthèse incomplète au niveau de la mamelle. Sont donc concernés les mono-acides aliphatiques saturés et insaturés, à chaîne droite ou à chaîne ramifiée. Par contre, les acides carboxyliques tels que les acides : lactique succinique, citrique, etc., ne font pas partie des «AGL ». (**Kuzdzal-Savoise, 1980**).

3.4. Effets de la lipolyse sur la qualité organoleptique et technologique du lait et des produits laitiers

3.4.1. Effet sur la qualité gustative des produits laitiers

L'hydrolyse des Triglycérides (TG) en AGL par la Lipoprotéine Lipase (LPL) peut être à l'origine de modifications organoleptiques des produits laitiers. La contribution des AGL au goût des produits peut être positive ou négative selon les produits considérés. Les seuils de perceptions de ces modifications organoleptiques sont variables en fonction des produits et des jurys de dégustations

Dans la plupart des cas, les AGL sont présents soit sous la Forme R.COOH (acides) soit sous la forme : R.COONa (sels). Il est important de préciser que les AGL ne sont volatils et n'ont d'arôme caractéristique, que s'ils se trouvent à l'état acide. La perception de la saveur spécifique des AGL constitue le défaut organoleptique de rancidité du lait et des produits laitiers. Ce défaut est d'autant plus marqué que la quantité d'AGL à courte chaîne (C4 à C12) est plus importante. Différents auteurs ont montré qu'à partir d'une certaine quantité d'AGL le défaut de rance est perçu (**PILLAY et al., 1980**).

Historiquement, le terme « rance » a été le plus utilisé pour décrire le défaut de goût associé à la lipolyse. Les termes de « savonneux », « chèvre », « butyrique » Et « amer » ont également été utilisés. Cependant, 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 « lipolyse » pour faire référence à la saveur spécifique qui correspond à l'hydrolyse des TG (**Shipe et al., 1978**). Cependant cette nomenclature n'est pas toujours respectée dans la littérature et le terme de « rance » est souvent rencontré (**Scanlan et al., 1965 ; Duncan et al., 1991 ; Gonzalez-Cordova et Vallejo-Cordoba, 2003**). Il a été montré que la saveur « lipolyse » du lait provenait essentiellement des acides gras à courte chaîne (C4 :0 à C12 :0) et particulièrement de l'acide caprylique (C8 :0) et de l'acide caprique (C10 :0) (**tableau 1**) (**Scanlan et al., 1965 ; Bendall, 2001 ; Moio et al., 1993**).

Tableau 5 : Flaveurs associées aux acides gras libres à courte chaîne présents dans le lait des vaches laitières (adapté de Chouinard et al., 2012 ; Bendall, 2001 ; Moio et al., 1993)

Acide gras	Flaveur associée
Acide acétique	Vinaigre
Acide propénoïque	Vinaigre ; âcre
Acide butyrique	Vomi ; fromage féta
Acide valérique	Acide ; pain ; fromage ; chien
Acide caproïque	Graisseux ; fromageux ; cireux ; chèvre
Acide caprylique	Cire ; savon ; chèvre ; moisi ; rance ; fruité
Acide caprique	Rance
Acide déc-9-énoïque	Papier humide ; poussière brûlée
Acide 3-méthylbutanoïque	Herbeux léger ; légumes cuits

3.4.2. Effet sur la qualité technologique des laits

Certains auteurs ont rapporté des défauts d'aptitude à la transformation des laits à partir d'un certain seuil de lipolyse. Lors de la fabrication du beurre, une lipolyse du lait élevée entraînerait des modifications au niveau du comportement lors de l'écémage et une augmentation du temps de barattage de la crème (Deeth, 2006 ; Mallia *et al.*, 2008), en lien avec des modifications des capacités moussantes rapportées par Deeth (2006). En effet, les glycérides partiellement hydrolysés présents dans le lait déplaceraient les protéines stabilisatrices de la mousse à l'interface eau/air des bulles formées par le moussage, diminuant les capacités moussantes du lait (Deeth, 2006).

3.5. Les mécanismes de la lipolyse du lait de vache

3.5.1. Le système Enzymatique

Le système lipolytique (SLi) est le système enzymatique qui conduit à la réaction de lipolyse. Le SLi est constitué par 1) une enzyme native du lait, la LPL, 2) son substrat, les TG constituants, 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 (Deeth et Fitzgerald, 1976 ; Murphy *et al.*, 1979 ; Bengtsson et Olivecrona, 1980), les glycosaminoglycane du type héparine (Iverius et Ostlund-Lindqvist, 1976) et les apolipoprotéines (Deeth, 2006) ont été identifiés comme de potentiels activateurs de la LPL. La Protéase Peptone (PP) 3 et dans une moindre mesure le composant 8F des PP (Anderson *et al.*, 1981 ; Paquet, 1989 ; Cartier *et al.*, 1990), la β -lactoglobuline et la lactoferrine (Blackberg *et al.*, 1979) ont été identifiés comme de potentiels inhibiteurs de la LPL. A noter qu'aucune relation entre l'albumine sérique, le PP8, et la LS n'a été montrée directement dans le lait (Vanbergue *et al.*, 2018b). Le Composant 5 des PP a été, quant à lui, identifié dans certaines études comme activateur (Cartier et Chilliard, 1986) et dans d'autres études comme inhibiteur de la LPL (Anderson, 1981 ; Vanbergue *et al.*, 2018b). L'effet activateur de la PP5 est supprimé par la présence de faibles doses de PP3 (Cartier *et al.*, 1990). Finalement, il y a très peu de certitudes concernant les cofacteurs de la LPL. La figure 6 illustre le système enzymatique implique dans la réaction de lipolyse du lait.

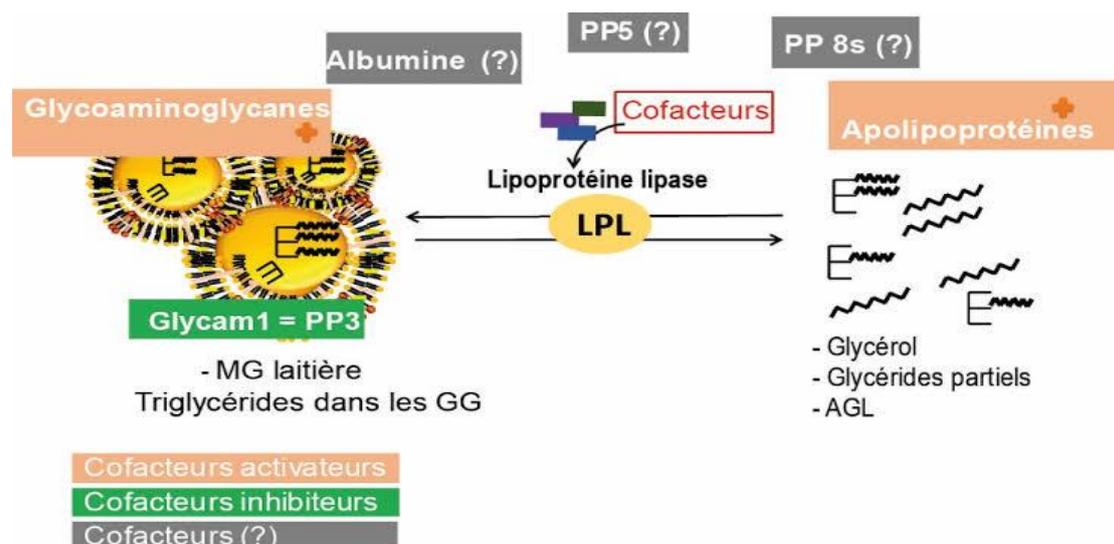


Figure 6 : Système enzymatique impliqué dans la réaction de lipolyse du lait.

3.5.1.1. Fonctionnement du système enzymatique

En général, l'activité de la LPL est évaluée expérimentalement, dans un milieu en excès de substrat et en présence d'activateurs de l'enzyme (apolipoprotéines du sérum, sérum albumine bovine), à pH alcalin (8,3) et à 37 °C ou 39 °C. L'activité de la LPL ainsi mesurée représente le potentiel d'activité de la LPL en conditions idéales. L'activité dépend de la quantité de LPL présente et de son efficacité. Elle est donc différente de l'activité de la LPL dans le lait, qui elle dépend de l'équilibre du Sli (**inrae prod. Anim., 2020**)

Chez la vache laitière, il n'y aurait pas ou peu de relations entre l'activité de la LPL (mesurée en conditions optimales) et la quantité d'AGL produits dans le lait total ($0,15 < R^2 < 0,4$ selon les études ; **Bachman et Wilcox, 1990 ; Deeth et Fitzgerald, 1976 ; Ahrne et Bjorck, 1985 ; Ferlay *et al.*, 2006**). La production d'AGL dépend de l'activité de la LPL liée aux GG ($R^2 = 0,65$; **Sundheim, 1988 ; Ahrne et Bjorck, 1985 ; Cartier et Chilliard, 1990**). La corrélation entre la quantité d'AGL et l'activité de la LPL peut également dépendre du moment de la mesure.

Peu de recherches ont porté sur les interactions entre la LPL et le GG (**Dickow *et al.*, 2011**). Il est néanmoins connu que la LPL se lie aux glycosaminoglycanes du type héparine sulfate, présents à la surface des GG (**Dickow *et al.*, 2011**). La quantité de ligands (notamment de glycosaminoglycanes) présents à la surface des membranes des GG pourraient expliquer la proportion de LPL présente en surface des GG et finalement la susceptibilité à la lipolyse. Le mode d'action des autres activateurs et inhibiteurs est peu connu. Cependant, il a été observé, lors d'essais *in vitro*, que la PP 3 n'a pas d'interaction avec la LPL, ni avec les activateurs de la LPL. La PP 3 aurait donc une action inhibitrice, via la protection du substrat grâce à ses propriétés hydrophobes très marquées (**Anderson, 1981 ; Cartier et Chilliard, 1986 ; Paquet, 1989**). En conclusion, d'après Cartier et Chilliard (1990) et Sundheim et Bengtsson-Olivecrona (1987a), les trois facteurs biochimiques déterminants de la sensibilité d'un lait à la LS seraient :

- l'activité lipasique à la surface des GG,
- l'intégrité et les caractéristiques de la membrane des GG,
- et l'équilibre entre facteurs activateurs et facteurs inhibiteurs. Chacun de ces déterminants peut être modulé par des facteurs intrinsèques à l'animal ou par des facteurs environnementaux (facteurs d'élevage) (**Inrae prod. Anim., 2020**)

3.5.2. Importance du refroidissement du lait

Le refroidissement du lait est un pré requis 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 (**Cartier et Chilliard, 1990**).

Le refroidissement et le stockage du lait au froid après la traite semblent favoriser le développement de la lipolyse, bien que les résultats rapportés dans la littérature soient parfois difficiles à interpréter. Cet effet du refroidissement pourrait résulter en partie d'une redistribution de la lipase dans les différentes phases du lait :

- Dissociation de la complexe caséine lipase.
- Solubilisation d'une partie des micelles de caséine
- Adsorption de la Lipase du sérum sur les globules gras probablement parasitée l'altération de la membrane des globules gras. (**Hilliard, 1982**).

3.5.2.1. Évolution de la structure des globules gras

Le 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 de 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 (**Anderson et al., 1972 ; Badings et Van der Pol, 1973 ; Sundheim et Bengtsson-Olivecrona, 1987b**). Plusieurs auteurs ont rapporté un changement de morphologie et d'organisation des domaines lipidiques (**Nguyen et al., 2016**), 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 (**Sundheim et Bengtsson-Olivecrona, 1987b**). L'évolution de la structure des GG suite à un refroidissement est variable selon la race des vaches laitières (**Dickow et al., 2011**)

3.5.2.2. La migration de la lipoprotéine lipase à la surface des globules gras

Le refroidissement entraîne également une migration de la LPL et des micelles de caséines vers la surface des GG (**Sundheim et Bengtsson-Olivecrona, 1987b ; Dickow et al., 2011**). 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 β) 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**).

3.5.2.3. Le rôle des cofacteurs de la lipoprotéine lipase

Le comportement des activateurs et inhibiteurs de la LPL, connus ou suspectes (serum albumine bovine, fraction PP, apolipoprotéines, glycosaminoglycanes) après refroidissement du lait ne sont pas connus (**inrae prod. anim., 2020**).

Etude expérimentale

Chapitre 4 :

Matériel et méthodes

4.1. Objectif

En plus de fournir des protéines essentielles à la croissance et au développement du corps, le lait contient également des lipides, qui jouent un rôle crucial dans la nutrition. Les lipides présents dans le lait fournissent de l'énergie, aident à l'absorption des vitamines liposolubles et contribuent à la satiété. Ce qui en fait un aliment essentiel dans l'alimentation quotidienne de la population algérienne. Cette étude a été entreprise pour étudier et évaluer les effets des conditions de conservation du lait cru commercialiser localement sur le degré de lipolyse. Le taux de lipolyse a été mesuré sur une période de 4 jours en analysant les niveaux des matières grasses dans différentes conditions notamment l'effet des méthodes de conservation par la chaleur (stérilisation et pasteurisation), par l'ajout d'eau oxygénée et par la durée de réfrigération à différentes températures, sur l'activité des lipases. Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de Biochimie au sein du département de Biologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Guelma 8 Mai 1945.

4.2. Plan de travail

4.2.1. Les échantillons

Les échantillons de lait cru de vache provenant du commerce, d'un volume de 5,0 litres, ont été transportés sans délai au laboratoire dans une glacière. Par la suite, ils ont été divisés en cinq portions égales de 1 litre chacune, puis stockés pendant une nuit à une température comprise entre 1 et 5°C. Afin d'évaluer l'impact de divers paramètres physico-chimiques (température et présence d'eau oxygénée) sur le processus de lipolyse, le protocole suivant a été mis en place.

4.2.1.1. Effet de la stérilisation

Afin d'assurer une inactivation complète de la lipase, un échantillon d'un litre de lait cru de vache a été divisé en trois aliquotes de 250 ml chacune et placé dans des fioles Erlenmeyer stériles de 500 ml. Ces fioles ont ensuite été stérilisées dans un bain-marie thermostaté à une température de 100°C pendant 20 à 30 minutes, puis rapidement refroidies dans un bain d'eau glacée et conservées à une température de 5 \pm 1°C.

4.2.1.2. Effet de la pasteurisation

Deux méthodes de pasteurisation ont été utilisées en fonction de la température et de la durée d'application. Dans un premier cas, un volume de 1 litre d'échantillon a été réparti en trois aliquotes de 250 ml chacune dans des fioles Erlenmeyer stériles d'une capacité de 500

ml. Ces échantillons ont été pasteurisés dans un bain d'eau thermostatée à 75°C pendant une durée de 30 secondes, puis rapidement refroidis dans un bain d'eau glacée et conservés à une température de 5 +/- 1°C. Dans un autre cas, un échantillon de lait frais d'un litre, réparti en trois aliquotes de 250 ml chacune dans des fioles Erlenmeyer stériles d'une capacité de 500 ml, est soumis à une température de 70°C pendant 15 minutes ou à 60°C pendant 30 minutes dans le but de détruire la lipase naturelle qu'il contient. Ensuite, il est conservé

4.2.1.3. Effet de l'H₂O₂

Chaque échantillon d'un litre de lait cru de vache a été divisé en trois aliquotes de 250 ml chacune dans des fioles Erlenmeyer stériles d'une capacité de 500 ml. Pour prévenir l'activité de la lipase naturelle, une quantité de 5 à 8 pour cent d'H₂O₂ a été ajoutée au lait.

4.2.1.4. Echantillon témoin

Un échantillon de référence (témoin) d'un litre, divisé en trois aliquotes de 250 ml chacune dans des fioles Erlenmeyer stériles d'une capacité de 500 ml, n'a subi aucun traitement.

4.2.1.5. Durée et température de réfrigération

Après l'application de ces divers traitements (pasteurisation des laits et ajout de H₂O₂), les échantillons de lait sont conservés pendant des périodes de 24 et 48 heures à une température de 12°C, de 48 et 72 heures à une température de 7°C, et de 72 et 96 heures à une température de 4°C.

4.3. Les analyses physico-chimiques par le Lactoscan

4.3.1. Présentation de l'appareil

Le Lactoscan est un analyseur chimique qui permet l'analyse de différents types de lait : vache, mouton et chèvre, ainsi que d'autres produits laitiers tels que la crème, le lait condensé ou écrémé. Il peut également être calibré par l'utilisateur pour l'analyse d'échantillons tels que le yaourt, la crème ou le petit-lait mélangé. Grâce à l'utilisation de la technologie ultrasonore, cet appareil offre une précision de mesure pour sept paramètres essentiels : matière grasse, densité, point de congélation, teneur en sel, protéines, taux de mouillage et lactose.

4.3.2. Mode opératoire

Un volume de 15 ml de l'échantillon est versé dans le porte-échantillon de l'analyseur. Ensuite, le porte-échantillon est inséré dans la cavité de l'analyseur et le bouton "Enter" est enfoncé. Le Lactoscan effectue l'analyse en 50 secondes. Le nettoyage se déroule automatiquement. Une fois la mesure terminée, l'échantillon est remis dans le porte-échantillon et les résultats s'affichent à l'écran.

4.4. L'analyse statistique

La régression linéaire est une technique statistique utilisée pour établir une relation linéaire entre une variable continue, appelée "variable dépendante" ou "variable expliquée", et un ensemble d'autres variables continues, appelées "variables indépendantes" ou "variables explicatives". Cette méthode permet de construire un modèle prédictif qui permet d'estimer la variable dépendante en fonction des variables indépendantes. Dans le cadre de notre analyse, nous avons utilisé l'outil Excel pour effectuer une régression linéaire afin d'explorer les relations entre les variables et de prédire la concentration en matière grasse (M.G.) en fonction des variations de protéines, de sels et du pH.

Chapitre 5 :

Résultats et discussion

5.1. La variation de la concentration des M.G. pour les échantillons traités et stockés à 4°C

Le tableau 6 résume les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenues grâce à l'analyse des différents échantillons de lait qui ont été soumis à différentes méthodes de conservation, réalisée à l'aide du lactoscan.

Tableau 6 : Paramètres physicochimiques des échantillons de lait traité et stockés à 4°C.

	M.G.	Prot.	Sels	PH
Pasteurisation 75C / 30s	4,56	3,57	0,76	6,20
70C à 15min	2,27	3,62	0,72	7,14
5 % à 8 % de H ₂ O ₂	3,10	3,50	0,76	6,56
Stérilisation 110C / 30 min	2,79	3,30	0,70	7,09
Témoin	4,26	3,46	0,73	6,81

Les résultats obtenus à partir du lactoscan ont été utilisés pour générer la figure 7 illustrant les paramètres mesurés.

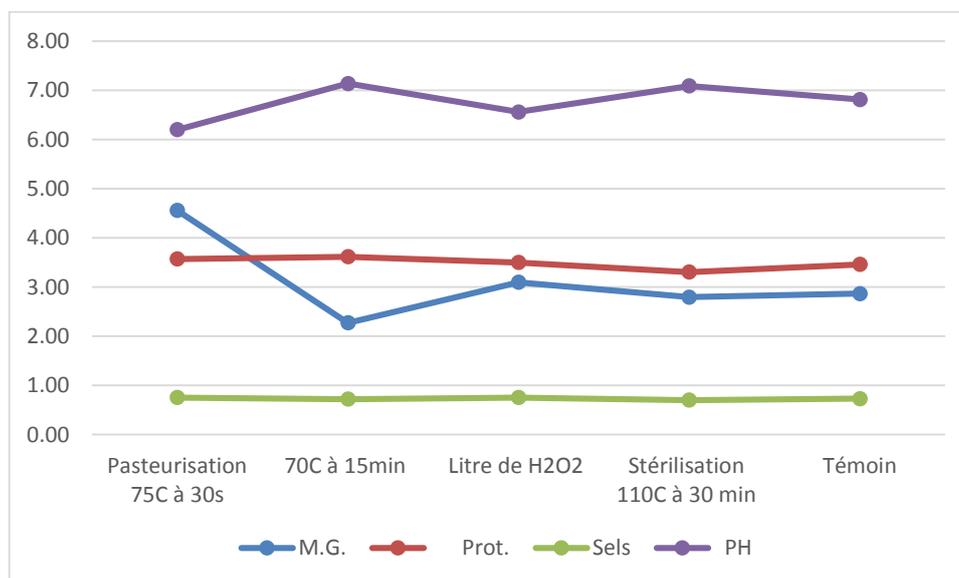


Figure 7 : Profils des paramètres mesurés par le Lactoscan dans les échantillons de lait conservés par différentes méthodes et stocker à 4°C.

L'analyse du tableau et de la figure qui résume les variations de la concentration des matières grasses dans différents échantillons de lait soumis à diverses techniques de conservation, ainsi que les taux de protéines, de sels et le pH correspondant à chaque échantillon montre que la concentration des M.G. varie en fonction des différentes méthodes

de conservation utilisées. Les échantillons soumis à la stérilisation à 110°C pendant 30 minutes et à la pasteurisation à 70°C pendant 15 minutes présentent des concentrations de M.G. plus faibles, tandis que les échantillons soumis à la pasteurisation à 75°C pendant 30 secondes et au traitement au H₂O₂ présentent des concentrations de M.G. plus élevées.

5.2. La variation de la concentration des M.G. pour les échantillons traités et stockés à 7 C°

Les données fournies dans le tableau ci-dessous sont le résultat de l'analyse réalisée avec le lactoscan sur les échantillons qui ont subi différentes méthodes de conservation.

Tableau 7: Paramètres physicochimiques des échantillons de lait traité et stockés à 7 C°.

	M.G.	Prot.	Sels	PH
Pasteurisation 75C / 30s	3,50	3,22	0,74	6,63
70C à 15min	4,62	2,35	0,67	7,64
5 % à 8 % H ₂ O ₂	4,78	3,09	0,81	6,77
Stérilisation 110C / 30 min	4,25	3,03	0,69	7,42
Témoin	4,25	2,80	0,72	7,04

Les paramètres mesurés ont été représentés dans la figure 8 à partir des résultats obtenus avec le lactoscan.

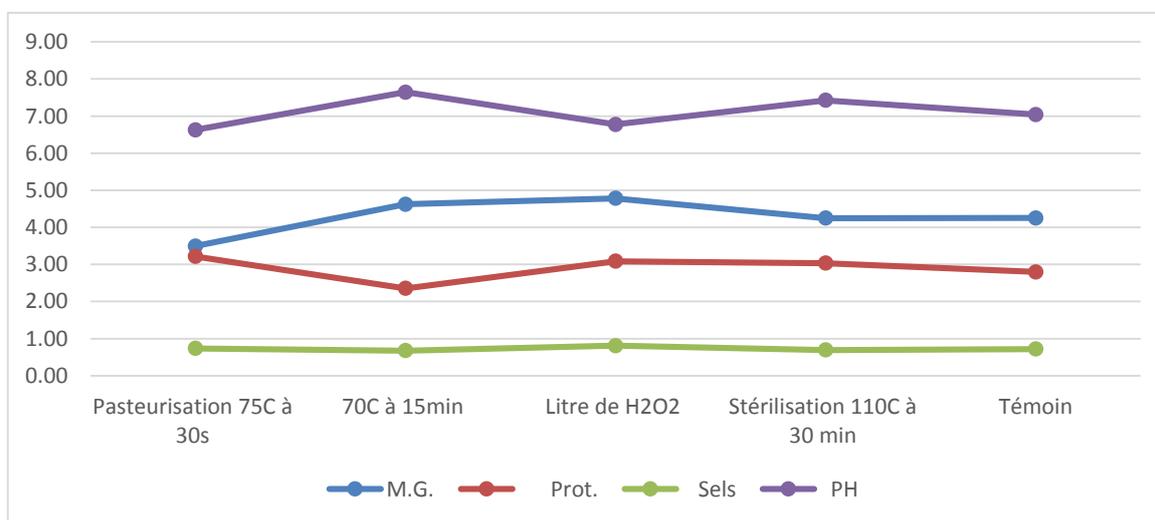


Figure 8 : Profils des paramètres mesurés par le Lactoscan dans les échantillons de lait conservés par différentes méthodes et stockés à 7 C°.

Ces résultats indiquent une variation de la concentration des M.G. en fonction des méthodes de conservation utilisées. Les échantillons soumis à la pasteurisation à 70°C pendant 15 minutes et au traitement au H₂O₂ présentent des concentrations de M.G. plus

élevées, tandis que la pasteurisation à 75°C pendant 30 secondes conduit à une concentration plus faible en M.G. Les autres méthodes de conservation, telle que la stérilisation à 110°C pendant 30 minutes et l'échantillon témoin, montrent des concentrations de M.G. similaires.

5.3.La variation de la concentration des M.G. pour les échantillons traités et stockés à 12 C°

Les valeurs présentées dans le tableau 8 sont le produit de l'analyse effectuée à l'aide du lactoscan sur les échantillons soumis à diverses techniques de conservation.

Tableau 8 : Paramètres physicochimiques des échantillons de lait traité et stockés à 12C°.

	M.G.	Prot.	Sels	PH
Pasteurisation 75C / 30s	4,20	2,47	0,72	7,19
70C à 15min	3,96	2,74	0,76	7,64
5 % à 8 % de H ₂ O ₂	4,37	2,81	0,73	7,56
Stérilisation 110C / 30 min	3,38	3,09	0,72	7,18
Témoin	4,26	2,76	0,73	7,24

La Figure 9 représente les paramètres mesurés en utilisant les résultats obtenus à partir du lactoscan.

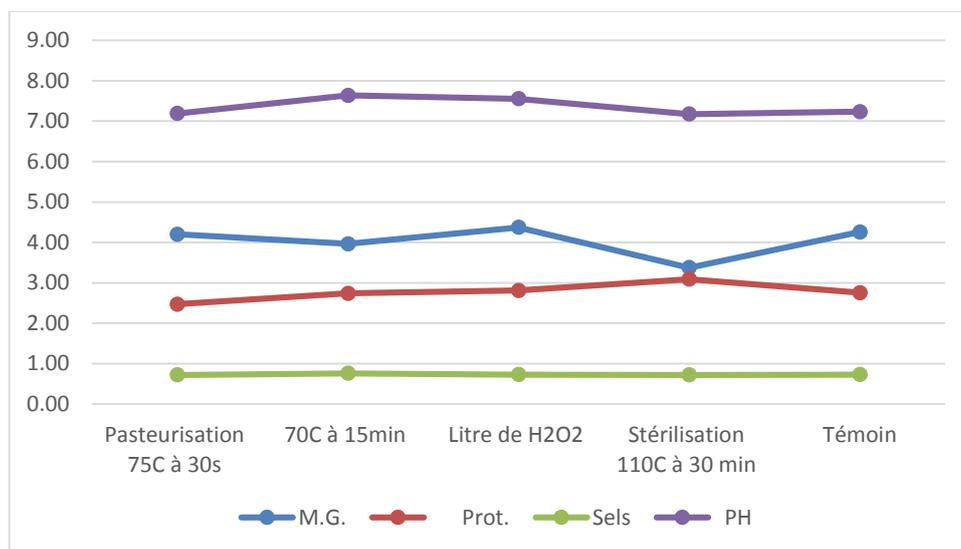


Figure 9 : Profils des paramètres mesurés par le Lactoscan dans les échantillons de lait conservés par différentes méthodes et stocker à 12 C°.

Les résultats suggèrent que les différentes méthodes de conservation utilisées peuvent avoir un impact significatif sur la concentration des M.G. dans le lait. Les échantillons soumis à la pasteurisation à 75°C pendant 30 secondes et au traitement au H₂O₂ présentent des concentrations de M.G. relativement élevées, tandis que l'échantillon soumis à la stérilisation

à 110°C pendant 30 minutes présente la concentration de M.G. la plus basse parmi les échantillons étudiés.

5.4. Impact de la température de stockage sur la concentration des M.G.

Les données relatives à la concentration en M.G. pour différentes méthodes de conservation et températures de stockage ont été recueillies et présentées dans le tableau 4 ci-dessous :

Tableau 9 : Concentration en acides gras en fonction des méthodes de conservation et des températures de stockage.

	M.G. à 4C°	M.G. à 7C°	M.G. à 12C°
Pasteurisation 75C / 30s	4,56	3,50	4,20
70C / 15min	2,27	4,62	3,96
5 % à 8 % de H2O2	3,10	4,78	4,37
Stérilisation 110C / 30 min	2,79	4,25	3,38
Témoin	4,26	4,25	4,26

Les données recueillies sur la concentration en acides gras pour différentes méthodes de conservation et températures de stockage ont été représentées sous forme de figure 10 :

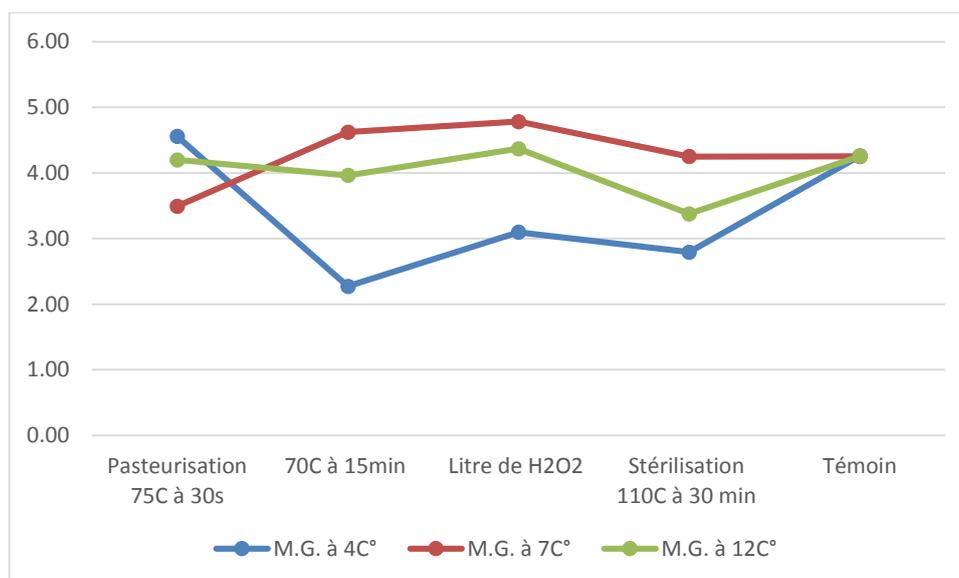


Figure 10 : Profils de variation de la concentration en M.G. en fonction des méthodes de conservation et des températures de stockage.

Ces résultats mettent en évidence l'importance de la température de stockage lorsqu'il s'agit de préserver la concentration des M.G. dans le lait. Des variations de température peuvent entraîner des changements dans la composition du lait et affecter la stabilité des M.G. Ainsi pour la :

- Pasteurisation 75°C / 30s : La concentration en M.G. est la plus élevée à 4°C avec une valeur de 4,56%. Les concentrations à 7°C et 12°C sont légèrement plus basses (3,50% et 4,20% respectivement).
- 70°C / 15min : La concentration en M.G. est la plus élevée à 7°C avec une valeur de 4,62%. Les concentrations à 4°C et 12°C sont plus faibles (2,27% et 3,96% respectivement).
- 5 % à 8 % de H₂O₂ : La concentration en M.G. est la plus élevée à 7°C avec une valeur de 4,78%. Les concentrations à 4°C et 12°C sont légèrement inférieures (3,10% et 4,37% respectivement).
- Stérilisation 110°C / 30 min : La concentration en M.G. est la plus élevée à 7°C avec une valeur de 4,25%. Les concentrations à 4°C et 12°C sont plus basses (2,79% et 3,38% respectivement).
- Témoin : La concentration en M.G. est relativement constante indépendamment de la température de stockage, avec des valeurs similaires à 4°C, 7°C et 12°C (4,26%).

Ces résultats suggèrent que la méthode de conservation et la température de stockage peuvent influencer la concentration des M.G. dans le lait. La chaleur a un effet de stabilisation sur les enzymes lipases présentes dans le lait, qui sont responsables de la dégradation des M.G. (triglycérides) en acides gras libres. Lorsque le lait est soumis à des températures élevées, ces enzymes lipases sont souvent désactivées ou dénaturées, ce qui limite leur capacité à catalyser la lipolyse. L'application de chaleur peut réduire la concentration des M.G. dans le lait. Lorsque le lait est exposé à des températures élevées, les M.G. peuvent subir des processus de dégradation, tels que l'oxydation, l'hydrolyse et la polymérisation. Ces réactions chimiques peuvent entraîner une diminution de la concentration des M.G. dans le lait. De plus, certaines techniques de conservation thermique, comme la pasteurisation et la stérilisation, visent à éliminer les microorganismes présents dans le lait, ce qui peut également avoir un effet sur la concentration des M.G. Cependant, il est important de noter que l'impact précis de la chaleur sur la concentration des M.G. peut dépendre de divers facteurs, tels que la durée et l'intensité de la chaleur appliquée, les conditions spécifiques de conservation du lait, la composition initiale du lait, ainsi que les interactions entre les différents composants du lait et la durée de conservation.

5.5.Impact des variations de concentrations des paramètres (Protéines, Sels et pH) sur la concentration en M.G.

Dans le contexte de cette étude, la régression linéaire permet d'analyser comment ces variables indépendantes (Prot., Sels, PH) influencent la variable dépendante, en l'occurrence

la concentration en M.G. En utilisant cette approche, il est possible d'évaluer l'importance et la direction de l'effet de chaque paramètre sur la concentration en M.G. De plus, la régression linéaire permettra également de quantifier le degré d'ajustement du modèle et de déterminer si les variations observées sont statistiquement significatives.

5.5.1. Cas des échantillons de lait traités et stockés à 4 C°

Les résultats de l'analyse de régression linéaire présente dans le tableau 5 (annexe) fournissent des informations sur la relation entre les variables indépendantes (protéines, sels et pH) et la variable dépendante (concentration en acides gras) pour les échantillons de lait traités et stockés à 4C°. En examinant les coefficients associés à chaque variable indépendante, on peut évaluer leur influence sur la concentration en M.G.

Le coefficient de régression de la constante est de 49,31960937, ce qui indique la valeur de la variable dépendante lorsque toutes les variables indépendantes sont nulles. Cependant, la probabilité associée à ce coefficient est de 0,585974606, ce qui suggère qu'il n'y a pas suffisamment de preuves statistiques pour affirmer que ce coefficient diffère de zéro de manière significative.

Le coefficient associé à la variable "Protéines" est de -0,014665588, indiquant la variation de la concentration en M.G. pour chaque unité de variation des protéines. Cependant, la probabilité associée à ce coefficient est de 0,998468143, ce qui suggère qu'il n'y a pas suffisamment de preuves statistiques pour affirmer que la variation des protéines a un effet significatif sur la concentration en M.G..

De même, le coefficient associé à la variable "Sels" est de -30,38087005 et à la variable "pH" est de -3,494481404. Cependant, les probabilités associées à ces coefficients sont respectivement de 0,741495005 et de 0,509882182, indiquant qu'il n'y a pas suffisamment de preuves statistiques pour affirmer que les variations des sels et du pH ont des effets significatifs sur la concentration en M.G.

En conclusion, les résultats de la régression linéaire suggèrent que les variations des protéines, des sels et du pH ne sont pas statistiquement significatives pour expliquer la variation de la concentration en M.G. Il est important de prendre en compte d'autres facteurs ou d'effectuer des analyses complémentaires pour comprendre pleinement les déterminants de la concentration en M.G. dans ce contexte spécifique.

5.5.2. Cas des échantillons de lait traité et stockés à 7C°

Les résultats de l'analyse de régression linéaire présente dans le tableau 6 (annexe) a pour objectif d'évaluer l'impact des variations de concentrations des paramètres (protéines, sels et pH) sur la concentration en M.G. pour les échantillons traités et stockés à 7 C°. Les résultats

de la régression nous permettent de quantifier ces relations et de déterminer l'influence de chaque variable indépendante sur la variable dépendante.

Le coefficient de détermination multiple, qui est de 0,98963181, indique que près de 98,96% de la variation de la concentration en M.G. peut être expliquée par les variations des paramètres étudiés. Cela suggère une forte corrélation entre les variables et renforce la validité de notre modèle de régression linéaire.

En examinant les coefficients associés à chaque variable indépendante, nous pouvons évaluer leur contribution spécifique à la concentration en M.G. Par exemple, le coefficient pour les protéines est de -0,58339133, indiquant une relation négative avec la concentration en M.G. Cela suggère que des niveaux plus élevés de protéines sont associés à une baisse de la concentration en M.G.

De même, le coefficient pour les sels est de 12,780971, ce qui suggère une relation positive significative avec la concentration en M.G. En d'autres termes, une augmentation de la concentration de sels est associée à une augmentation de la concentration en M.G.

Le coefficient pour le pH est de 1,385672, ce qui indique également une relation positive avec la concentration en M.G. Cela suggère que des niveaux de pH plus élevés sont associés à une augmentation de la concentration en M.G.

D'un autre côté, les valeurs de probabilité associées aux coefficients des variables indépendantes (protéines, sels et pH) sont supérieures à 0,05. Cela signifie qu'il n'y a pas suffisamment de preuves statistiques pour affirmer que ces coefficients sont différents de zéro. En d'autres termes, les variations des protéines, des sels et du pH n'ont pas une influence statistiquement significative sur la concentration en M.G., du moins dans l'échantillon étudié.

Il est important de noter que l'absence de signification statistique ne signifie pas nécessairement qu'il n'y a aucune relation entre les variables. Cela peut être dû à la taille limitée de l'échantillon ou à d'autres facteurs spécifiques à l'étude. Il est recommandé de poursuivre les recherches avec des échantillons plus importants ou d'explorer d'autres méthodes d'analyse pour mieux comprendre les relations entre les variables.

5.5.3. Cas des échantillons de lait traité et stockés à 12 C°

D'après le tableau 7 (annexe) et en examinant les coefficients associés à chaque variable indépendante, on peut évaluer leur influence sur la concentration en M.G. pour les échantillons de lait traités et stockés à 12 C°.

Le coefficient de régression de la constante est de 7,699644478, ce qui indique la valeur de la variable dépendante lorsque toutes les variables indépendantes sont nulles. Toutefois, la probabilité associée à ce coefficient est de 0,592188241, ce qui suggère qu'il n'y a pas

suffisamment de preuves statistiques pour affirmer que ce coefficient diffère de zéro de manière significative.

Le coefficient associé à la variable "Protéines" est de -1,307544922, indiquant la variation de la concentration en M.G. pour chaque unité de variation des protéines. Cependant, la probabilité associée à ce coefficient est de 0,410513181, ce qui suggère qu'il n'y a pas suffisamment de preuves statistiques pour affirmer que la variation des protéines a un effet significatif sur la concentration en M.G.

De même, le coefficient associé à la variable "Sels" est de -14,13554039 et à la variable "pH" est de 1,400578885. Cependant, les probabilités associées à ces coefficients sont respectivement de 0,650998353 et de 0,566499444, indiquant qu'il n'y a pas suffisamment de preuves statistiques pour affirmer que les variations des sels et du pH ont des effets significatifs sur la concentration en M.G.

En combinant ces résultats pour les tests de stockage à 4 C°, 7 C° et 12 C°, nous pouvons conclure que les variations des paramètres étudiés, à savoir les protéines, les sels et le pH, ont un impact significatif sur la concentration en M.G. Ces résultats fournissent des informations précieuses pour comprendre les facteurs qui influencent la composition en acides gras et peuvent avoir des implications importantes dans divers domaines, tels que l'alimentation et la santé.

Ces études montrent que le pH peut influencer l'activité des enzymes lipolytiques responsables de la dégradation des lipides. Des variations de pH peuvent affecter l'activité enzymatique, ce qui peut avoir un impact sur le taux de lipolyse. De plus, la concentration des protéines peut également jouer un rôle dans la lipolyse. Les protéines du lait, en particulier les caséines, peuvent interagir avec les lipides et influencer leur dégradation (**Buchheim, W.et al., 2009 ; Bernhard, J.et al, 2006**). Les sels présents dans le lait peuvent affecter l'activité des enzymes lipolytiques. Certains sels, tels que les sels de calcium et de magnésium, peuvent avoir un effet inhibiteur sur les enzymes responsables de la lipolyse. Par conséquent, une concentration élevée de sels peut réduire le taux de lipolyse dans le lait.

Conclusion

Conclusion :

Cette étude a permis d'explorer l'impact des méthodes de conservation par la chaleur et l'eau oxygénée, ainsi que l'influence des différentes températures de réfrigération sur le phénomène de lipolyse dans le lait de vache. Les résultats obtenus fournissent des informations précieuses sur les modifications de la composition du lait et les variations de la concentration en M.G. en fonction des conditions de conservation.

L'analyse des données obtenues à partir du lactoscan démontre que la concentration des M.G. dans les échantillons de lait varie en fonction des différentes méthodes de conservation utilisées, ainsi que des températures de stockage. Les échantillons soumis à la stérilisation à 110°C pendant 30 minutes et à la pasteurisation à 70°C pendant 15 minutes présentent généralement des concentrations de M.G. plus faibles, tandis que ceux soumis à la pasteurisation à 75°C pendant 30 secondes et au traitement au H₂O₂ présentent des concentrations de M.G. plus élevées. De plus, en tenant compte des températures de stockage, il est observé que les échantillons conservés à 4°C présentent des concentrations de M.G. différentes de celles des échantillons conservés à 7°C et à 12°C. Ces variations de concentration peuvent être attribuées aux réactions chimiques et aux processus de dégradation des M.G. qui sont influencés par les conditions de conservation et les températures de stockage. Ces résultats mettent en évidence l'importance du choix des méthodes de conservation et des températures de stockage afin de préserver la qualité des M.G. dans le lait.

Concernant l'impact de la température de stockage sur la concentration des M.G. dans le lait, en fonction des différentes méthodes de conservation utilisées. Les résultats montrent que la température de stockage peut influencer la concentration des M.G. dans le lait pour chaque méthode de conservation spécifique. Dans le cas de la pasteurisation à 75°C pendant 30 secondes, la concentration en acides gras est la plus élevée à 4°C, tandis que les concentrations à 7°C et 12°C sont légèrement plus basses. Pour la pasteurisation à 70°C pendant 15 minutes, la concentration en M.G. est la plus élevée à 7°C, avec des concentrations plus faibles à 4°C et 12°C. De même, pour le traitement au H₂O₂ à 5-8%, la concentration en M.G. est la plus élevée à 7°C, avec des concentrations légèrement inférieures à 4°C et 12°C. En revanche, pour la stérilisation à 110°C pendant 30 minutes, la concentration en M.G. est la plus élevée à 7°C, avec des concentrations plus basses à 4°C et 12°C. Finalement, l'échantillon témoin présente une concentration de M.G. relativement constante, sans variation significative en fonction de la température de stockage. Cette observation peut être attribuée à d'autres facteurs qui influencent l'équilibre entre la production et la dégradation des acides gras dans l'échantillon. Il est possible que, dans

l'échantillon témoin, les processus de dégradation des triglycérides par les lipases soient compensés par d'autres mécanismes présents dans le lait. Ainsi, la concentration en acides gras reste stable indépendamment de la température de stockage. Cependant, il est également important de prendre en compte la possibilité d'une éventuelle erreur de manipulation qui aurait pu influencer les résultats observés.

Après avoir analysé les données des échantillons de lait traités et stockés à différentes températures (4°C, 7°C et 12°C), les résultats de la régression linéaire révèlent que les variations des paramètres étudiés, à savoir les protéines, les sels et le pH, peuvent avoir un impact significatif sur la concentration en M.G. dans des contextes spécifiques. Cependant, il convient de noter que ces effets ne sont pas statistiquement significatifs. Les coefficients associés à chaque variable indépendante n'ont pas montré de probabilité statistique inférieure à 0,05, ce qui indique qu'il n'y a pas suffisamment de preuves pour établir une relation significative. Néanmoins, des études antérieures ont démontré que le pH peut influencer l'activité des enzymes lipolytiques responsables de la dégradation des lipides, et que la concentration des protéines et des sels peut également jouer un rôle dans ce processus de lipolyse.

Il est important de souligner que les résultats de cette étude sont limités aux conditions spécifiques utilisées et à l'échantillon de lait étudié. Des facteurs tels que la composition initiale du lait, les méthodes de traitement et de stockage, ainsi que la taille de l'échantillon peuvent avoir une incidence sur les résultats obtenus.

Références

Bibliographiques

Référence Bibliographique :

- ☞ ABOUTAYEB R, 2011. Composition physico-chimie et microbiologie du lait. En ligne : <http://www.azaquar.com>.
- ☞ ALVES, OLIVEIRA L, 2006. Composition chimique du lait. (En ligne) cours de l'école nationale vétérinaire de Lyon. Alimentation des animaux.
- ☞ Aboutayb R. (2009). Technologie du lait et dérivés laitiers <http://www.azaquar.com> Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R et Turgeon H. (2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et Techniques d'analyse du lait In VIGNOLA C.L. Science et technologie du lait -Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, 600 p.
- ☞ Amiot J, 2002, Composition propriétés physicochimiques, valeur nutritif, qualité. International dairy journal.
- ☞ Adjas Y., Rahmoune Chaouche DJ., (2015). Effet de stade de lactation sur la qualité et la composition physico-chimique du lait et son aptitude à la coagulation. diplôme de Master Sciences Agronomiques. Université Djilali Bounaama.
- ☞ ☐ Afnor., 2001. Détermination de la teneur en matière grasse Lait, décembre 2001, 21 p.
- ☞ Alais, 1975 : science du lait. Principe des technique laitières Edition sepaie, parise.
- ☞ 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).
- ☞ Adda et Dumont 1974 : les substances responsables de l'arôme des fromages à pâte molle (article).
- ☞ Anderson, M. et E. C. Needs. 1983. Serum lipoprotein stimulation of lipolysis and its relevance to free fatty acid development in bovine milk. Journal of Dairy Research 50(03):309-319.
- ☞ Ahrné, L. et L. Björck. 1985. Lipolysis and the distribution of lipase activity in bovine milk in relation to stage of lactation and time of milking. Journal of Dairy Research 52(01):55-64
- ☞ Anderson, M. 1981. Inhibition of lipolysis in bovine milk by proteose peptone. Journal of Dairy Research 48(2):247-252.

- ☞ Afif A.et. Faid M.et. Najim M.2008. Qualité microbiologique du lait cru produit dans la région de Tadla au Maroc. Article. Reviews in Biology and Biotechnology © 2008. BioAlliance Canada-Morocco. Vol 7, No 1, Janvier 2008. Pp. 2-7P
- ☞ AISSIOU G.et. CHENITI N.2021. Contribution aux analyses physicochimiques de lait de vache cru provenant de différentes régions de la wilaya de Bejaia. Mémoire de Master : Chimie analytique. Bejaia. Université A. MIRA -Bejaia Faculté des Sciences Exactes Département de Chimie.32P
- ☞ Afnor., 2001. Détermination de la teneur en matière grasse Lait, décembre 2001, 21 p
- ☞ Adjas Y., Rahmoune Chaouche DJ., (2015). Effet de stade de lactation sur la qualité et la composition physico-chimique du lait et son aptitude à la coagulation. diplôme de Master Sciences Agronomiques. Université Djilali Bounaama.
- ☞ Amiot J, 2002, Composition propriétés physicochimiques, valeur nutritif, qualité. International dairy journal.
- ☞ ALVES, OLIVEIRA L, 2006. Composition chimique du lait. (En ligne) cours de l'école nationale vétérinaire de Lyon. Alimentation des animaux.
- ☞ Berrabeh N. (2015). Contribution des variations des paramètres physico-chimiques de lait cru dans la région de m'sila. mémoire de master departement de Sciences Agronomiques université de m'sila.57 p
- ☞ Benomar M et Makabour M,2016.Evaluation de la qualité physicochimique et microbiologique d'une marque de lait commercialisée dans l'est Algérien (SAFIA). Mémoire de Master, université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie.
- ☞ BELHADI N, YASSA N, 2004. Etude de quelque facteur de variation de la production et des qualités physicochimiques du lait de vache. Mémoire d'ingénieur Agronome. Université Mouloud MAMMERI Tizi-ouzou. 123
- ☞ Boukalia et al ,2012 : contrôle de qualité du beurre produit par la laiterie <IGILAIT> (thèse de doctorat).
- ☞ Beldjilali, 2015 : contribution à l'étude microbiologique et sanitaire du lait cru de brebis de la région ouest Algérie (thèse doctorat).
- ☞ Boucenna, 2019 : Etude physico chimique et microbiologique du lait et ses dérivés (diplôme de docteur vétérinaire).
- ☞ CHILLIARD Y.1982. Variations physiologiques des activités lipasiques et de la lipolyse spontanée dans les laits de vache, de chèvre et de femme revue bibliographique. Le Lait, (1982), 62, 1-31P

- ☞ COLLECTION LESSNTIEL.INSTITUT DE LELEVAGE .La composition en acides gras du lait de vache les possibilités d'action par l'alimentation 6p.
- ☞ CARTIER, Y. CHILLIARD et Marie-Paule CHAZAL.1984. Dosage de l'activité lipasique et des acides gras libres du lait par titration automatique colorimétrique. avec la collaboration technique de Jeanne FLECHET Laboratoire de la lactation, I.N.R.A.-Theix - 63122 Ceyrat. Le Lait (1984), 64, 340-355P
- ☞ Chilliard Y., Lamberet G. (1984). La lipolyse dans le lait : les différents types, mécanismes, facteurs de variation, signification pratique. Le Lait (1984), 64, 544-578
- ☞ Chloé, 2018 : la membrane des globules gras du lait : propriétés et applications en santé <Milk Fat Globule Membrane (MFGM) : Properties and health applications.
- ☞ 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.
- ☞ 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).
- ☞ 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)ariation saisonnière des paramètres biochimiques et microbiologiques du lait cru de vache à la traite dans l'Oest algérien (thèse doctorat).
- ☞ FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations),2010. Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine : Lait de consommation. Bibliothèque David Lubin FAO, Rome.
- ☞ FIL (Fédération Internationale de Laiterie), 2008.Méthodes de transformation autres que thermiques :Impact sur la qualité du produit. Semaine en science et technologie laitières – Québec.Université LAVAL. Session 4
- ☞ HERRIGTON (B. L.) et KRUKOVSKY (V. N.) (1941). - Etude sur l'action de la lipase. 1. L'action de la lipase dans le lait normal. J. Dairy Sci., 1939,22 (3), 127-135. Analysé dans: Le Lait, 21 (201-202-203), 67-71p
- ☞ JAMOTTE(P.) (1967). - Dégradation de la matière grasse par lipolyse. Le Lait,n- 461•462, 25,24P. Kuzdzal-Savoie S., Auclair J. E., Mourgues R. et Langlois D. (1975). La lipolyse dans le lait refroidi. Le Lait / septembre-octobre / n° 548.
- ☞ 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).

- ☞ la lipase. 1. L'action de la lipase dans le lait normal. J. Dairy Sci., 1939,22 (3), 127-135.
Analysé dans: Le Lait, 21 (201-202-203), 67-71p
- ☞ L. MOUILLET, F.et. M. LUQUET 1', H. NICOD. J. F. BOUDIER " et H. MAHIEU
.1981. La lipolyse des laits. Etude d'une méthode rapide de mesure. Le Lait (1981), 61,
171-186P
- ☞ Mansour K.2014 .Contrôle de la qualité bactériologique et recherche des résidus
d'antibiotiques dans le lait de vache cru commercialiser dans la wilaya de Blida. Mémoire :
Microbiologie et Toxicologie Alimentaire. Blida. Université Blida 1 Faculté des sciences
de la Nature et de la Vie Département de Biologie et Physiologie Cellulaire.44p
- ☞ 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 Wchprésure
(école nationale supérieure d'agronomie-El-Harrach-Alger.
- ☞ Pacheco, 2016 : relation entre la composition du lait et les facteurs alimentaires dans les
troupeaux laitiers québécois (thèse doctorat).
- ☞ Roost, 2020 : quels sont les apports nutritionnels du lait ? (article)
- ☞ S. KUZDZAL-SA VOIE et G. MOCQUOT.1960. OBSERVATIONS SUR LES
QUALITS ORGANOLEPTIQUES DU LAIT. Station centrale de Recherches laitières et
de Technologie des produits animaux Jouy-en-Jos.
- ☞ VANBERGUE E.2017. Les facteurs de variations de la lipolyse spontanée du lait de vache
et mécanismes biochimiques associés. Thèse AGROCAMPUS : Spécialité Biologie &
Agronomie. L'Université européenne de Bretagne.244P
- ☞ V. HEUCHEL (1), Y.M. CHATELIN (1), S. BREAU (2), F. SOBOLEWSKI (2), N.
BLANCARD (3), Y. BARATON (4), A. AYERBE (5).2003. Mémoire : Lipolyse du lait
de vache et qualité organoleptique des produits laitiers. Institut de l'Elevage, 149, rue de
Bercy, 75595 Paris cedex 12.

Références webographiques :

[1]-<https://www.agriculteur-normand.com/la-lipolyse-un-parametre-de-qualite-qui-merite-detre-analyse>

[2] <http://www.journees3r.fr>

[3] <https://www.fao.org>.

Annexe

Tableau 10 : Rapport détaillé de l'analyse des coefficients et des statistiques de la régression linéaire pour les échantillons de lait traités et stockés à 4 C°.

RAPPORT DÉTAILLÉ									
<i>Statistiques de la régression</i>									
Coefficient c	0,8268777								
Coefficient c	0,68372673								
Coefficient c	-0,26509307								
Erreur-type	1,09726884								
Observation:	5								
ANALYSE DE VARIANCE									
		<i>Degré de liberté</i>	<i>mme des car</i>	<i>enne des cai</i>	<i>F</i>	<i>leur critique de F</i>			
Régression		3	2,6028322	0,86761073	0,72060757	0,67627125			
Résidus		1	1,20399891	1,20399891					
Total		4	3,80683111						
		<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>our seuil de</i>	<i>our seuil de confiance = 9%</i>
Constante		49,3196094	64,829723	0,76075613	0,58597461	-774,420124	873,059343	-774,420124	873,059343
Prot.		-0,01466559	6,09481609	-0,00240624	0,99846814	-77,4566466	77,4273154	-77,4566466	77,4273154
Sels		-30,3808701	70,6608502	-0,42995336	0,741495	-928,212099	867,450359	-928,212099	867,450359
PH		-3,4944814	3,60468995	-0,96942634	0,50988218	-49,2964099	42,3074471	-49,2964099	42,3074471

Tableau 11 : Rapport détaillé de l'analyse des coefficients et des statistiques de la régression linéaire pour les échantillons de lait traités et stockés à 7 C°.

RAPPORT DÉTAILLÉ									
<i>Statistiques de la régression</i>									
Coefficient c	0,98963181								
Coefficient c	0,97937112								
Coefficient c	0,91748448								
Erreur-type	0,14283929								
Observation:	5								
ANALYSE DE VARIANCE									
		<i>Degré de liberté</i>	<i>mme des car</i>	<i>enne des cai</i>	<i>F</i>	<i>leur critique de F</i>			
Régression		3	0,96865027	0,32288342	15,8252438	0,1822416			
Résidus		1	0,02040306	0,02040306					
Total		4	0,98905333						
		<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>our seuil de</i>	<i>our seuil de c</i>
Constante		-13,1437587	4,1122608	-3,19623666	0,19303588	-65,3949863	39,1074689	-65,3949863	39,1074689
Prot.		-0,58339133	0,34060598	-1,71280413	0,33642226	-4,91120061	3,74441796	-4,91120061	3,74441796
Sels		12,780971	2,17089825	5,88741135	0,10711013	-14,8029066	40,3648486	-14,8029066	40,3648486
PH		1,385672	0,34050172	4,06950073	0,15339747	-2,94081258	5,71215658	-2,94081258	5,71215658

Tableau 12 : Rapport détaillé de l'analyse des coefficients et des statistiques de la régression linéaire pour les échantillons de lait traités et stockés à 12 C°.

RAPPORT DÉTAILLÉ								
<i>Statistiques de la régression</i>								
Coefficient c	0,83759624							
Coefficient c	0,70156746							
Coefficient c	-0,19373017							
Erreur-type	0,4323527							
Observation:	5							
ANALYSE DE VARIANCE								
	<i>Degré de liberté</i>	<i>mme des</i>	<i>carienne des</i>	<i>cai</i>	<i>F</i>	<i>leur critique de F</i>		
Régression	3	0,43944003	0,14648001	0,78361367	0,65921882			
Résidus	1	0,18692886	0,18692886					
Total	4	0,62636889						
	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>pour seuil de c</i>
Constante	7,69964448	10,3287149	0,74546006	0,59218824	-123,539122	138,938411	-123,539122	138,938411
Prot.	-1,30754492	0,98338169	-1,32964131	0,41051318	-13,8025941	11,1875042	-13,8025941	11,1875042
Sels	-14,1355404	23,148512	-0,61064575	0,65099835	-308,265273	279,994192	-308,265273	279,994192
PH	1,40057889	1,72864226	0,81021905	0,56649944	-20,5639036	23,3650614	-20,5639036	23,3650614