

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la
Vie
Département : Microbiologie Appliquée
et Sciences Alimentaires



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : الميكروبيولوجيا التطبيقية
و علوم التغذية

Mémoire de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

Évolution des paramètres physico-chimiques des fromages au
cours d'affinage : Cas des fromages des laits de vache

Membres de Jury

Présidente : Dr. BENHAMADA W.

Examineur : Dr. BOUDJERDA J.

Encadreur : Dr. LAGGOUNE S.

Présenté par :

M^{me} ABDALLAH Amel

M^{elle} BELKHALFA Nadia

M^r BENZIADA Abdelaali

Année Universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah, le tout puissant de nous avoir donnés, la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ce travail.

En guise de reconnaissance, nous voulons remercier toutes les personnes qui, par leurs conseils, leurs collaborations ou leur soutien moral et leur amitié, ont contribué à la réalisation et à l'achèvement de ce travail.

*Nous tenons à remercier profondément notre encadreur Madame **LAGGOUNE**, qui nous a donné la chance de travailler sous sa direction, dont les encouragements et les conseils nous ont permis de réaliser ce travail; nous ne pouvons, madame, que sincèrement vous exprimer notre respect et notre gratitude.*

*Nous tenons à remercier les membres de jury : **Dr. BENCHAMADA**, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. **Dr. BOUDJERDA**, qui a accepté de juger ce travail.*

Nos remerciements vont plus particulièrement à nos familles qui ont su nous soutenir, nous encourager, nous aider et nous supporter. Comme nous tenons à remercier le personnel de la bibliothèque de l'université de Jijel et toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont également à nos enseignants qui nous ont accompagnés pendant notre cursus universitaire.

Merci 

Sommaire

	Page
Liste des abréviations	I
Liste des tableaux	II
Liste des figures	III

Introduction.....	01
--------------------------	-----------

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Lait de vache	03
I.1. Définitions du lait	03
I.2. Composition du lait de vache en matière grasse et protéines	03
I.2.1. Généralité	03
I.2.2. Matière grasse.....	05
I.2.3. Protéines	08
I.3. Quelques caractéristiques physico-chimiques du lait de vache.....	09
I.3.1. L'acidité titrable ou l'acidité dornic	10
I.3.2. Le pH	10
I.3.3. Densité et masse volumique	11
I.4. Le lait de vache : matière première pour l'industrie fromagère	11
Chapitre II : Technologie fromagère	12
II.1. Définition « fromage »	12
II.2. Les différents types de fromages	12
II.2.1. Les fromages frais	12
II.2.1.1. Les fromages blancs moulés en faisselles	13
II.2.1.2. Les fromages blancs battus	13
II.2.2. Les fromages affinés	13
II.2.2.1. Les fromages à égouttage spontané et à moisissures externes.....	13
II.2.2.2. Les fromages à égouttage accéléré.....	13
II.2.3. Les fromages fondus sont à base de fromages pressés ou à pâte cuite	14
II.3. La valeur nutritionnelle de fromage	14
II.4. La fabrication des fromages	15
II.4.1. Standardisation physico-chimique et biologique des laits	16
II.4.2. Coagulation	18
II.4.2.1. Coagulation acide.....	18
II.4.2.2. Coagulation par voie enzymatique.....	19
II.4.2.3. Coagulation mixte	19
II.4.3. Égouttage.....	20
II.4.4. L'affinage	21
II.5. Les agents d'affinage	22
II.5.1. Enzymes du lait	23
II.5.2. Enzymes coagulantes	24
II.5.3. Enzymes d'origine microbienne	24

II.5.3.1. Les bactéries lactiques.....	24
II.5.3.2. Les bactéries propioniques.....	24
II.5.3.3. Les bactéries de surface	24
II.5.3.4. Les levures	24
II.5.3.5. Les moisissures	24
II.6. Les défauts d'affinage.....	25
II.6.1. Défauts de texture et gonflements.....	25
II.6.2. Défauts d'aspect.....	25
II.6.3. Défauts de saveur et d'arôme.....	25
II.7. Contrôle de la fabrication fromagère	26
II.8. Les facteurs de variation de l'affinage	27
II.8.1. L'aération et la composition de l'atmosphère.....	27
II.8.2. L'activité de l'eau	27
II.8.3. La température	28
II.8.4. Le pH.....	28
Chapitre III : Résultats de l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours d'affinage	29
III.1. Quelques caractéristiques physico-chimiques du fromage au cours d'affinage.....	29
III.1.1. pH, acidité, matière grasse et protéines	29
III.1.2. Composition en acides gras libres du fromage au cours d'affinage	36
Conclusion	40
Références bibliographiques	42

Liste des abréviations et symboles

AG : Acide Gras
AGE : Acides Gras Essentiels
AGL : Acide Gras Libre
AGS : Acide Gras Saturé
ANP : Azotée Non Protéique
CMP : Caséino-Macro-Peptide
EST : Extrait Sec Total
ESD : Extrait Sec Dégraissé
FAO : Food and Agriculture Organization
FLL : Fromage fabriqué à partir du Lait cru collecté Localement
FLM : Fromage fabriqué à partir du Lait Mixte
FR : France
GG : Globule Gras
JORA : Journal Officiel République Algérienne
LB : Lait de Brebis
LB/LC : Lait de Brebis /Lait de Chèvre
LC : Lait de Chèvre
LV : Lait de Vache
MG : Matière Grasse
n : Nombre d'échantillons
n.d : Non détecté
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
pHi : pH isoélectrique
US : Etats-Unis
°D : Degré Dornic
a_w : Activité d'eau
C₂ : Acide acétique
C₄ : Acide butyrique
C₆ : Acide caproïque
C₈ : Acide caprylique
C₁₀ : Acide caprique
C₁₂ : Acide laurique
C₁₄ : Acide myristique
C₁₆ : Acide palmitique
C₁₈ : Acide stéarique
C_{18:1} : Acide oléique
C_{18:2} : Acide linoléique

Liste des tableaux

	Page
Tableau N°1 : Propriétés physico-chimiques du lait de vache	04
Tableau N°2 : Composition du lait de vache.....	04
Tableau N°3 : Composition moyenne du lait de différentes espèces animales.....	05
Tableau N°4 : Composition lipidique du lait.....	06
Tableau N°5 : Composition de la fraction lipidique du lait maternel et du lait de vache	06
Tableau N°6 : Matière grasse du lait, contenu du globule gras en émulsion dans la phase aqueuse	07
Tableau N°7 : Propriétés des principaux acides gras de la graisse du lait de vache	08
Tableau N°8 : Classification des protéines.....	09
Tableau N°9 : Acidité naturelle du lait, apport des différents constituants.....	09
Tableau N°10 : Valeurs nutritionnelles moyennes des fromages.....	15
Tableau N°11 : Concentration en acides gras libres selon le type de fromage	17
Tableau N°12 : Contrôle de la fabrication : Cas d'une pâte ferme	26
Tableau N°13 : Évolution des paramètres physico-chimiques au cours de l'affinage du Camembert issu du lait cru collecté localement (FLL).....	31
Tableau N°14 : Évolution des paramètres physico-chimiques au cours de l'affinage du Camembert issu du lait mixte (FLM)	32
Tableau N°15 : Variations de certaines propriétés physico-chimiques du fromage à la saumure iranien	33
Tableau N°16 : Composition physico-chimique du fromage Bouhezza de ferme	34
Tableau N°17 : Composition physico-chimique du fromage Bouhezza de fabrications Contrôlées	34
Tableau N°18 : Changements dans l'acide acétique (C ₂) et les acides gras libres individuels (mg kg ⁻¹) de fromages Teleme, fabriqués à partir de différents types de lait pendant la maturation et stockage.....	38

Liste des figures

	Page
Figure N°1 : Résumé des différents termes utilisés pour définir la composition du lait	05
Figure N°2 : L'acidité naturelle, l'acidité développée et l'acidité titrable du lait	10
Figure N°3 : Critères de fromageabilité du lait	11
Figure N°4 : Bases de la fromagerie.....	16
Figure N°5 : Standardisation des laits de fromagerie en matière grasse et protéines....	17
Figure N°6 : Type de coagulation et diversité fromagère.....	20
Figure N°7 : Principaux mécanismes biochimiques de l'affinage.....	22
Figure N°8 : Principales transformations des composants du lait lors de la préparation du fromage	23
Figure N°9 : Changements d'acidité et de pH de fromage « Terrincho » pendant 60 jours de maturation	30
Figure N°10 : Le pH et les teneurs en lactates et en chlorures du fromage Bouhezza..	31
Figure N°11 : Contenu des acides gras libres dans le fromage iranien pendant la maturation	36
Figure N°12 : Teneur totale en acides gras libres des fromages à base du lait de Chèvre cru, lait de chèvre pasteurisé ou traité sous pression.....	36
Figure N°13 : Profil d'acides gras libres des fromages à base du lait cru, pasteurisé ou de chèvre traité sous pression après 1, 30 et 60 jours de maturation.....	37
Figure N°14 : Pourcentage de l'acide acétique et des acides gras à chaîne courte (C2-C8), moyenne (C10-C14) et longue (C16-C18:2) du fromage Teleme après 1, 60, 180 jours de maturation	39

INTRODUCTION

Le lait est le premier aliment que nous consommons dès la naissance. Il joue un rôle important dans notre régime alimentaire. L'Algérie est le premier consommateur de lait au Maghreb, avec près de 3 milliards de litres par an (KIRAT, 2007). Cet aliment occupe une place prépondérante dans la ration alimentaire des algériens, il apporte la plus grande part de protéines d'origine animale. Acteur clé de l'industrie agroalimentaire, la filière lait connaît une croissance annuelle de 8%. Avec un taux de collecte inférieur à 15%, cette filière reste, cependant, fortement dépendante de l'importation de poudre de lait (SILAIT, 2008).

Depuis longtemps l'homme a cherché à mettre à son profit, l'aptitude laitière exceptionnelle des vaches et a mis en place toute une industrie de transformation laitière dont l'objectif est de satisfaire au mieux les besoins du consommateur en produits lactés (LUQUET, 1990). Non seulement, le lait se consomme à l'état naturel, il peut également subir différentes biotransformations qui contribuent à élargir considérablement ses qualités sensorielles et nutritionnelles. L'un des dérivés de ces transformations est le fromage (ST-GELAIS *et al.*, 2002). Au cours de ces transformations, le problème de la saisonnalité de la production laitière dont souffre l'industrie laitière en Algérie ne permet pas une rentabilité optimale de la production du fromage à l'échelle industrielle. En effet, durant les périodes de basse lactation la production du fromage est pratiquement insignifiante par rapport aux besoins du pays (FAYE et LOISEAU, 2002).

Les produits laitiers transformés représentent dans le monde, environ 70% de la production estimée du lait, et en Europe plus de 80% (dont 35% en fromage et seulement 27% en lait de consommation direct) (LORIENT, 2001). Le fromage est un des premiers moyens de conservation du lait (3000 ans avant notre ère), aliment rapidement périssable. Cependant, le fromage est un produit laitier « vivant » qui offre une stabilité relative et variable (RICHONNET, 2015).

Les fromages paraissent des produits alimentaires comme les autres. Leur fabrication exige la maîtrise de multiples stades, depuis la recherche de l'absence de bactéries pathogènes ou de substances toxiques jusqu'au contrôle de la saveur, de l'arôme, de la texture, de l'aspect, de la couleur et bien sûr, de la teneur en éléments nutritifs (GRAPPIN, 1998). Par conséquent, et pendant l'affinage, l'activité protéolytique des bactéries lactiques, le fractionnement des caséines modifie la texture de la pâte, et certains des peptides et des acides aminés libérés sont des précurseurs de substances aromatiques (BARRAL *et al.*, 2016). Cependant, leur présence dans les fromages à des concentrations élevées et pendant des périodes plus ou moins importantes, peut les amener à libérer des quantités non négligeables d'acide gras libres (DAS *et al.*, 2005).

En technologie lactique, l'affinage des fromages a pour objectif de différencier la gamme de fromages par une commercialisation à différents stades d'affinage. La conduite de ce dernier vise à obtenir le fromage souhaité en fonction du marché ciblé (par l'expression des microflores notamment : texture, couverture de surface, goût...). La maîtrise de cette étape d'affinage est souvent assez empirique en production fermière, et plus ou moins facile selon les locaux et les équipements disponibles (GAÜZERE *et al.*, 2016).

Afin de mieux cerner le rôle de la phase d'affinage dans la maturation des fromages, tout ce qui nous intéresse, c'est comment la durée d'affinage a une influence sur la qualité physico-chimique des fromages. Pour cela, cette étude confirme quelle est l'importance de la maîtrise des conditions d'affinage ou stades d'affinage, pour une meilleure qualité des fromages, c'est-à-dire leurs aspects sur l'amélioration de la qualité physico-chimique des fromages. Pour cela, dans le contexte de l'évolution des paramètres physico-chimiques des fromages au cours d'affinage qui inclut notre travail qui a été réalisé par une recherche bibliographique s'articule en trois chapitres. Le premier, est destiné au lait de vache. Le deuxième expose tout concernant les technologies fromagères. Le dernier chapitre présente les résultats de l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours d'affinage, les résultats sont présentés et discutés, regroupant les caractéristiques physico-chimiques du fromage affiné, et sa composition en acides gras libres au cours d'affinage. Ces résultats sont obtenus à partir des travaux déjà publiés par des chercheurs nationaux et internationaux.

SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I.

LAIT

DE VACHE

I.1. Définitions du lait

Le lait a été défini en 1908 au cours du congrès international de la répression des fraudes à Genève comme étant : « le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée » (POUGHEON et GOURSAUD, 2001 ; BOURGEOIS *et al.*, 1996). Il 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).

Le lait est un aliment de couleur blanchâtre produit par les cellules sécrétrices des glandes mammaires des mammifères femelles, comme la vache, la chèvre et la brebis, destiné à l'alimentation du jeune animal naissant. Du point de vue physico-chimique, le lait est un produit très complexe. Une connaissance approfondie de sa composition, de sa structure et de ses propriétés physiques et chimiques est indispensable à la compréhension des transformations du lait et des produits obtenus lors des différents traitements industriels (AMIOT *et al.*, 2002).

Le lait sécrété dans les premiers jours après la parturition s'appelle le colostrum (VILAIN, 2010).

La dénomination « lait » sans indication de l'espèce animale de provenance est réservée au lait de vache. Tout lait provenant d'une femelle laitière autre que la vache doit être désigné par la dénomination « lait » suivie de l'indication de l'espèce dont il provient (JORA, 1993). Le lait est également défini par le règlement européen 1234/2007 annexe XII, qui prévoit également les conditions d'utilisation de cette dénomination. La décision de la commission du 28 octobre 1988 (88/566/CEE) établit la liste des dénominations non compatibles avec le règlement : tous les liquides blancs ne peuvent donc pas être appelés « lait ». Mais certains, reconnus pour leurs usages traditionnels, sont acceptés. Ainsi, seules les dénominations « lait d'amande » et « lait de coco » figurent dans cette liste. Pour les liquides blancs ne pouvant être appelés lait, il est possible d'utiliser les termes « boisson » ou « jus ». Les boissons végétales ont une composition nutritionnelle différente des laits animaux (NOBLET, 2012).

I.2. Composition du lait de vache en matière grasse et protéines

I.2.1. Généralité

Le lait est un système complexe constitué d'une solution vraie, d'une solution colloïdale, d'une suspension colloïdale et d'une émulsion (AMIOT *et al.*, 2002).

Le tableau N°1 montre la dimension approximative et les propriétés physico-chimiques de chacun des constituants solides majeurs du lait.

Tableau N°1 : Propriétés physico-chimiques du lait de vache (AMIOT *et al.*, 2002).

Constituants	Dimension (m)	Émulsion	Solution colloïdale	Suspension colloïdale	Solution vraie
Matière grasse	10^{-5} à 10^{-6}	X			
Micelles de caséines	10^{-7} à 10^{-8}			X	
Protéines du sérum	10^{-8} à 10^{-9}		X		
Glucides	10^{-9} à 10^{-10}				X
Minéraux	10^{-9} à 10^{-10}				X

Le tableau N°2 décrit la composition générale du lait de vache. Cette composition et ses caractéristiques physico-chimiques varient sensiblement selon différents facteurs liés aux animaux, les principaux étant l'individualité, l'espèce animale, la race, la période de lactation, l'alimentation, la saison, l'âge (VILAIN, 2010).

Tableau N°2 : Composition du lait de vache (ALAIS *et al.*, 2008).

	Composition (g/l)	État physique des composants
Eau	905	Eau libre (solvant) plus eau liée (3,7%)
Glucides (lactose)	49	Solution
Lipides	35	Émulsion des globules gras (3 à 5µm)
Matière grasse proprement dite	34	
Lécithine (phospholipides)	0,5	
Insaponifiable (stérols, carotènes, tocophérols)	0,5	
Protides	34	
Caséine	27	Suspension micellaire phospho-caséinate de calcium (0,08 à 0,12µm)
Protéines « solubles » (globuline, albumines)	2,5	Solution (colloïdale)
Substances azotées non protéiques	1,5	Solution (vraie)
Sels	9	Solution ou état colloïdale
De l'acide citrique (en acide)	2	
De l'acide phosphorique (P ₂ O ₃)	2,6	
De l'acide chlorhydrique (NaCl)	1,7	
Constituants divers (vitamines, enzymes, gaz dissous)	Traces	
Extrait sec total	127	
Extrait sec non gras	92	

On peut voir au tableau N°3 la composition moyenne du lait selon différentes espèces animales.

Tableau N°3 : Composition moyenne du lait de différentes espèces animales (AMIOT *et al.*, 2002).

Animaux	Eau (%)	Matière grasse (%)	Protéines (%)	Glucides (%)	Minéraux (%)
Vache	87,5	3,7	3,2	4,6	0,8
Chèvre	87,0	3,8	2,9	4,4	0,9
Brebis	81,5	7,4	5,3	4,8	1,0
Chamelle	87,6	5,4	3,0	3,3	0,7
Jument	88,9	1,9	2,5	6,2	0,5

La figure N°1 résumé les définitions précédentes des constituants du lait.

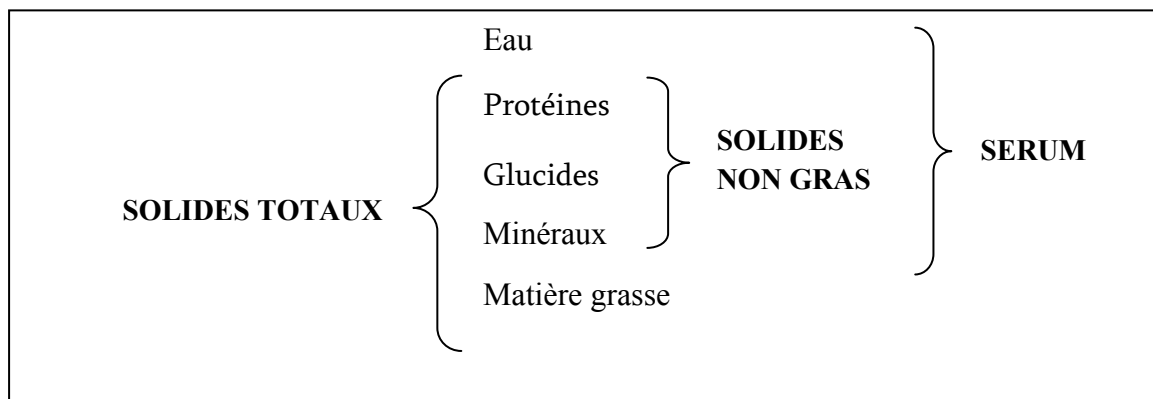


Figure N°1 : Résumé des différents termes utilisés pour définir la composition du lait (AMIOT *et al.*, 2002).

Matières grasses et protéines sont remarquables par leur quantité. Ce sont les constituants les plus abondants après l'eau et le lactose, par le rôle qu'elles jouent dans les transformations du lait, par la place qu'elles occupent dans ses produits dérivés (beurre, fromages, etc.) et par leur importance nutritionnelle et économique. On comprend que les techniciens de l'industrie laitière aient cherché à apprécier les valeurs beurrière et fromagère d'un lait en déterminant ses teneurs en matières grasses et en protéines. On conçoit que les industriels aient été conduits à payer le lait aux producteurs en fonction de sa composition et plus particulièrement de sa richesse en chacune de ces deux substances (MATHIEU, 1998).

I.2.2. Matière grasse

Le lait de vache contient naturellement entre 3,6 et 4,5% de matière grasse. C'est le second constituant de la matière sèche du lait après le lactose. La matière grasse confère au lait entier la moitié de sa valeur énergétique (GRÄDING *et al.*, 2001).

Les matières grasses du lait se composent principalement de triglycérides, de phospholipides et d'une fraction insaponifiable constituée en grande partie de cholestérol et de β -carotène (Tableau N°4).

Tableau N°4 : Composition lipidique du lait (AMIOT *et al.*, 2002).

Constituants	Proportions de lipides du lait (%)
Triglycérides	98
Phospholipides	1
Fraction insaponifiable	1

Les lipides du lait constituent un ensemble complexe de composés en émulsion sous forme de globules microscopiques. L'essentiel de ces lipides (97-98%) sont des triglycérides ou des esters d'acides gras. Le reste est constitué de phospholipides (0,22 à 1%), de stérols, d'acides gras libres, et de quantités variables de vitamines liposolubles (A, D, E, K) (SLIMANI *et al.*, 2001).

La matière grasse qui contribue au développement de l'arôme et de la saveur est constituée de triglycérides et d'acides gras et a une forme globulaire dont le diamètre peut varier de 1 à 10 μ m. Dans le fromage, les enzymes lipolytiques peuvent hydrolyser les triglycérides et libérer des acides gras en nombre plus ou moins grand selon les variétés de fromage et ainsi contribuer au développement de l'arôme et de la saveur en cours d'affinage (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

Elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés. Parmi ceux-ci, la proportion d'acides gras polyinsaturés est faible (3%). Elle présente :

- 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 (C_{18:1}) et palmitique (C_{16:0}) ;
- Une teneur moyenne en acide stéarique (C_{18:0}).

Le lait de vache est pauvre en acides gras essentiels (AGE ; acide linoléique C_{18:2} et acide linoléique C_{18:3}) par rapport au lait de femme (1,6% contre 8,5% en moyenne) (JEANTET *et al.*, 2008).

Le tableau N°5 représente la composition de la fraction lipidique du lait de femme et du lait de vache.

Tableau N°5 : Composition de la fraction lipidique du lait maternel et du lait de vache (JEANTET *et al.*, 2008).

	Lait maternel	Lait vache
Acides gras saturés (%)	50	60
Acides gras insaturés (%)	50	40
Acide linoléique (g. 100g ⁻¹)	0,300	0,038
Position acide palmitique	2	1 ou 3

La matière grasse du lait est donc un mélange très complexe composé pour l'essentiel de triglycérides et secondairement de diglycérides, lipides complexes et substances liposolubles insaponifiables (Tableau N°6).

Tableau N°6 : Matière grasse du lait, contenu du globule gras en émulsion dans la phase aqueuse (POUGHEON et GOURSAUD, 2001).

	% lipidique strict
Goutte lipidique non polaire (95% du GG)	
- Tri- ; 1-2 di- ; monoglycérides : 95,80 ; 2,25 ; 0,08	98,13
- Cholestérol (majoritairement dans la membrane)	
- Acides gras libres	0,28
- Cholestérides	0,02
- Esters de rétinol	Traces
- Composés liposolubles : vitamines A, D, E, K ; squalène, caroténoïdes	Traces
Membrane lipidoprotéique externe polaire (5% du GG)	
- Triglycérides	Comptabilisés dans les glycérides
- Phospholipides (lipides complexes)	1,11
- Cholestérol total	0,46
- Protéines (butyrophiline et xanthine oxydase : 0,3 à 0,4g/l)	Non lipidique
- Enzymes (traces)	Non lipidique
- Glycanes divers (traces)	Non lipidique

La matière grasse sert également de véhicule de transport à des composés aromatiques liposolubles. Dans la bouche, lorsqu'elle fonde, elle libère ces composés aromatiques, contribuant ainsi à la qualité sensorielle du fromage. Outre les composés aromatiques, la matière grasse transporte des vitamines liposolubles (A, D, E et K) (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

Dans le lait, la matière grasse (MG) se trouve sous forme de globules gras constitués de lipides entourés d'une membrane protectrice faite principalement de phospholipides et de protéines. Cette membrane constitue une barrière naturelle contre l'accès de la lipase naturelle du lait ou d'enzymes étrangères telles que les enzymes extracellulaires thermorésistantes produites par des bactéries psychotrophes qui croissent lors de la réfrigération du lait. En cas d'endommagement des membranes des globules gras, ces diverses enzymes réagissent avec les lipides en produisant des acides gras libres (AGL) et des glycérides partiels. Ce processus, connu sous le nom de lipolyse, peut se développer dans tous les produits laitiers et provoquer l'apparition du défaut de rancidité dû à une concentration trop élevée en AGL à courtes chaînes C4-C12. Il peut également modifier les propriétés moussantes du lait, provoquer une perte accrue de MG qui se retrouve dans le lait maigre et un léger retard de la croissance des bactéries lactiques dans les produits laitiers fermentés (COLLOMB et SPAHNI, 1995).

Un lipide est un composé qui peut, par hydrolyse, donner un ou des acides gras. On distingue les lipides simples (esters formés d'un ou plusieurs acides gras et d'un alcool), des lipides polaires ou complexes contenant outre les acides gras et le glycérol, des composés divers tels que l'acide phosphorique, acides aminés ou sphingosine (Tableau N°7).

Tableau N°7 : Propriétés des principaux acides gras de la graisse du lait de vache (POUGHEON et GOURSAUD, 2001).

Catégorie	Nombre d'atomes de C	Proportion (% du total)	État physique (température de fusion)
Acides saturés			
a) Volatils solubles			
Butyrique	4	3 à 4	Liquide (- 8 °C)
Caproïque	6	2 à 5	Liquide (- 3 °C)
b) Volatils insolubles			
Caprylique	8	1 à 1,5	Liquide-solide (+16 °C)
Caprique	10	2 à 3	Solide (+ 30 °C)
Laurique	12	3 à 4	Solide (+ 42 °C)
c) Fixes			
Myristique	14	11	Solide (+ 54 °C)
Pentadécanoïque	15	1,5	Solide
Palmitique	16	25 à 30	Solide (+ 62 °C)
Stéarique	18	12	Solide (+ 70 °C)
Arachidique	20	0,2	Solide (+ 75 °C)
Acides insaturés			
a) Monoènes			
Palmitoléique	16 : 1	2	Liquide (+ 0,5 °C)
Oléique	18 : 1	23	Liquide-solide (+16 °C)
Vaccénique (trans)	18 : 1	2 à 3	Solide (+ 43 °C)
b) Polyinsaturés non conjugués			
Linoléique	18 : 2	2	Liquide
Linoléinique	18 : 3	0,5	Liquide
Arachidonique	20 : 4	0,2	Liquide
c) Polyinsaturés conjugués			
Diène	18 : 2	0,8	Liquide
Triène et tétraène	18 : 3 et 20 : 4	Traces	Liquide

1.2.3. Protéines

Les protéines laitières fournissent 12% de l'apport énergétique total. L'apport conseillé est 70g/j. L'ingestion d'un litre de lait et de 100g de fromage couvre 80% des besoins protéiques (JEANTET *et al.*, 2008).

On distingue deux grands groupes de protéines dans le lait : les caséines et les protéines du lactosérum (Tableau N°8).

Tableau N°8 : Classification des protéines (POUGHEON et GOURSAUD, 2001).

Noms	% des protéines	Nombre d'acides aminés
Caséines	75-85	
Caséine α_{s1}	39-46	199
Caséine α_{s2}	8-11	207
Caséine β	25-35	209
Caséine k	8-15	169
Caséine y	3-7	
Protéines du lactosérum	15-22	
β -lactoglobuline	7-12	162
α -lactalbumine	2-5	123
Sérum albumine	0,7-1,3	582
Immunoglobulines (G1, G2, A, M)	1,9-3,3	
Protéoses-peptones	2-4	

Parmi les protéines, les caséines sont la pièce maîtresse de la fabrication fromagère. Ce sont elles qui créent la charpente (matrice) du fromage. Ce sont des protéines qui représentent près de 80% de tout l'azote du lait. Elles sont au nombre de quatre (caséine- α_{s1} , α_{s2} , β et k) et, en présence de phosphates de calcium, elles forment des micelles de caséines stables (phase colloïdale) qui sont en équilibre avec la phase soluble du lait (A, D, E et K) (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

I.3. Quelques caractéristiques physico-chimiques du lait de vache

Dès sa sortie du pis de la vache, le lait démontre une certaine acidité. Cette dernière est due principalement à la présence de protéines, surtout les caséines et la lactalbumine, de substances minérales telles que les phosphates et le CO_2 , et d'acides organiques, le plus souvent l'acide citrique. On l'appelle l'acidité apparente ou l'acidité naturelle du lait (Tableau N°9). Elle varie entre 0,13 et 0,17% d'équivalent d'acide lactique, le lait frais ne contient qu'environ 0,002% d'acide lactique. En se développant, les bactéries lactiques vont former de l'acide lactique $\text{CH}_3\text{CHOH-COOH}$ par fermentation du lactose. Cette nouvelle acidité se nomme acidité développée. C'est cette acidité qui conduit à la dénaturation des protéines.

Tableau N°9 : Acidité naturelle du lait, apport des différents constituants (AMIOT *et al.*, 2002).

Constituants	Acidité (% d'équivalent d'acide lactique)
Caséines	0,05 à 0,08
Phosphates	0,05 à 0,07
Lactalbumine	0,01
CO_2	0,01 à 0,02
Acide citrique	0,01

I.3.1. L'acidité titrable ou l'acidité Dornic

L'acidité titrable indique le taux d'acide lactique formé à partir du lactose. Un lait frais a une acidité titrable de 16 à 18°Dornic (°D). Conservé à la température ambiante, il s'acidifie spontanément et progressivement (MATHIEU, 1998).

L'analyse de l'acidité titrable mesure tous les ions H^+ disponibles dans le milieu, qu'ils soient dissociés, c'est-à-dire ionisés, ou non. Ainsi, on déplace les équilibres chimiques pour neutraliser tous les ions H^+ des acides faibles. L'acidité titrable est une mesure des deux acidités :

$$\text{Acidité titrable} = \text{acidité naturelle} + \text{acidité développée}$$

La mesure d'acidité titrable s'exprime couramment de deux façons : soit en pourcentage (%) d'équivalents d'acide lactique, soit en degrés Dornic.

La figure N°2 montre bien la relation entre ces trois acidités.

Acides organiques (acide lactique, acides gras libres)	} Acidité développée	} Acidité titrable totale
Acides organiques (acide citrique)		
Matières minérales (phosphates, CO_2)	} Acidité naturelle (apparente)	
Protéines (caséines, lactalbumine)		
« Over run »		

Figure N°2 : L'acidité naturelle, l'acidité développée et l'acidité titrable du lait (AMIOT *et al.*, 2002).

I.3.2. Le pH

Le pH du lait de vache fraîchement trait se situe un peu en dessous de la neutralité, vers 6,6-6,7 (ALAIS *et al.*, 2008).

Contrairement à l'acidité titrable, le pH ne mesure pas la concentration des composés acides mais plutôt la concentration des ions H^+ en solution. Les valeurs de pH représentent l'état de fraîcheur du lait, plus particulièrement en ce qui concerne sa stabilité, du fait que c'est le pH qui influence la solubilité des protéines, c'est-à-dire l'atteinte du point isoélectrique. Un lait ayant une acidité développée importante aura un pH plus bas que 6,6, car l'acide lactique est un acide suffisamment fort pour se dissocier et abaisser le pH d'une valeur mesurable. Deux laits peuvent donc avoir des pH identiques, c'est-à-dire être dans le même état de fraîcheur, mais avoir des acidités titrables différentes. Par contre, deux laits peuvent avoir des acidités titrables identiques, soit la même concentration de composés acides, mais avoir des pH différents (AMIOT *et al.*, 2002).

I.3.3. Densité et masse volumique

La densité du lait D 20/20, est le rapport des masses d'un même volume de lait et d'eau à 20°C (MATHIEU, 1998).

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 masse volumique est le quotient de la masse d'un certain volume de lait à 20°C par ce volume, elle s'exprime en g/ml (grammes par millilitre), elle est fonction de sa composition. On peut considérer, pour simplifier, qu'elle varie avec le taux butyreux et la teneur en matière sèche dégraissée. Elle est proche de celle, 1g/ml du constituant le plus abondant : l'eau, et augmente avec sa richesse en matière sèche dégraissée et diminue pour se rapprocher de 0,926g/ml lorsque s'accroît son taux butyreux (MATHIEU, 1998).

I.4. Le lait de vache : matière première pour l'industrie fromagère

Le lait cru est un produit hautement nutritif sur le plan nutritionnel. Son utilisation comme matière première dans la fabrication de nombreux produits dérivés du lait tel que le fromage est tributaire de sa qualité (physique, chimique et hygiénique), souvent instable et douteuse (BACHTARZI *et al.*, 2015).

La fromageabilité du lait c'est-à-dire l'aptitude à la transformation du lait en fromage est dépendante d'un certain nombre de paramètres (Figure N°3) dont :

- Sa composition chimique (richesse en caséines) ;
- Son comportement vis-à-vis de l'enzyme coagulante la présure ;
- Son aptitude au développement des bactéries lactiques (présence de résidus d'antibiotiques) ;
- Enfin, sa charge microbienne et la nature de sa microflore (REMEUF *et al.*, 1991).

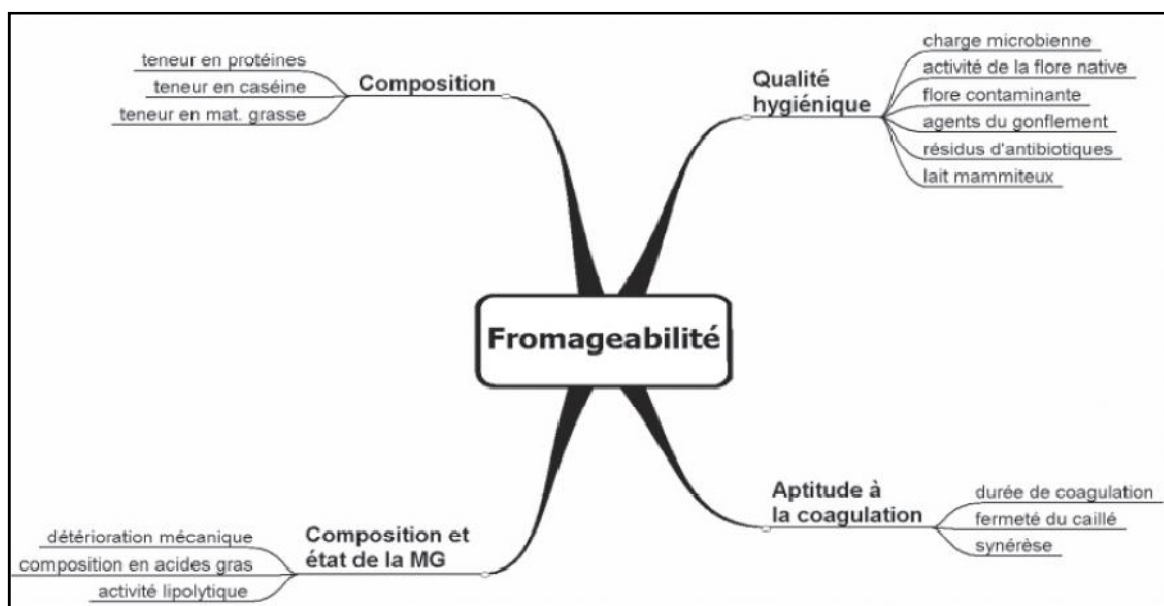


Figure N°3 : Critères de fromageabilité du lait (JAKOB et HÄNNI, 2004).

CHAPITRE II.
TECHNOLOGIE
FROMAGÈRE

II.1. Définition « fromage »

La définition « fromage » est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitières (lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, babeurre) utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la phase aqueuse (JEANTET *et al.*, 2008 ; GEM RCN, 2009). La teneur minimale en matière sèche du produit ainsi défini doit être de 23 grammes pour 100 grammes de fromage (bien que pour des produits maigres de type pâte fraîche, elle puisse être comprise entre 10 et 15% selon la teneur en matière grasse ; décret 2007-608 du 27 avril 2007, art. 1^{er}). Le fromage peut être assimilé à une concentration des éléments majeurs du lait (protéines, matière grasse), réalisée par égouttage d'un coagulum obtenu par acidification et/ou action d'un enzyme (le plus souvent la présure extraite de la caillette des jeunes bovins avant sevrage) (JEANTET *et al.*, 2008).

Le fromage, selon la norme Codex, est de consistance molle ou semi dure, dure ou extra-dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum : caséines ne dépasse pas celui du lait. On obtient le fromage par coagulation complète ou partielle du lait grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation ; on peut aussi faire appel à des techniques de fabrication entraînant la coagulation du lait de manière à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physiques, chimiques et sensorielles similaires à celles de la définition précédente (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

Le fromage affiné est un fromage qui n'est pas prêt à la consommation peu après sa fabrication, mais qu'on doit maintenir pendant un certain temps à la température et dans les conditions nécessaires pour que s'opèrent les changements biochimiques et physiques caractéristiques du fromage. Le fromage affiné aux moisissures est un fromage dont l'affinage est provoqué essentiellement par la prolifération de moisissures caractéristiques, dans la masse ou sur la surface du fromage. Le fromage non affiné, dont le frais, est un fromage qui est prêt à la consommation peu de temps après sa fabrication (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

II.2. Les différents types de fromages

Il existe trois grands groupes de fromages.

II.2.1. Les fromages frais

Sont des fromages blancs fermentés qui répondent à un critère supplémentaire, ils doivent renfermer une flore vivante au moment de la vente au consommateur (GEM RCN, 2009).

Qui correspondent au caillé brut, sans affinage important. Selon qu'ils sont faits à partir de lait entier ou écrémé, ils sont schématiquement l'équivalent de la phase colloïdale du lait plus ou moins bien débarrassée de la phase aqueuse, avec ou non une proportion élevée de la phase grasse du lait. Dans certaines fabrications, on enrichit le caillé avec de la crème, ce qui donne au fromage un taux de grasse très élevé (ADRIAN *et al.*, 2003).

En production fermière, il existe deux types de fromage frais.

II.2.1.1. Les fromages blancs moulés en faisselles (ou fromage type «campagne»)

Caractérisent par une texture hétérogène en morceaux. Ils sont généralement moulés à la louche (DUDEZ *et al.*, 2002).

II.2.1.2. Les fromages blancs battus

Présentent une texture lisse et onctueuse. Ils peuvent être additionnés de sucre, de sel, de fruits, d'épices ou d'herbes aromatiques. On peut varier le taux de matière grasse (de moins de 20% à plus de 45%) (DUDEZ *et al.*, 2002).

II.2.2. Les fromages affinés

Subissent des remaniements complexes dus à des flores microbiennes qui transforment le caillé en un produit partiellement lipolysé, protéolysé, enrichi en vitamines B proportionnellement à l'intensité des opérations enzymatiques relatives à la dégradation des acides gras et des acides aminés. Parmi les fromages affinés, on distingue les grands types suivants :

II.2.2.1. Les fromages à égouttage spontané et à moisissures externes

Il s'agit des fromages à pâte molle : Camembert, Coulommiers, Brie, Carré de l'EST, Pont l'Evêque, Livarot, Munster, Maroilles, etc. Ils sont nettement moins minéralisés que les autres catégories de fromages affinés (ADRIAN *et al.*, 2003).

II.2.2.2. Les fromages à égouttage accéléré

Par des techniques variées, se subdivisent en trois sous-groupes selon les technologies utilisées :

a) Fromages à moisissures internes

Dits à pâte persillée, comme le Roquefort, le Bleu d'Auvergne et tous les Bleus (ADRIAN *et al.*, 2003).

La dénomination « bleu » est réservée à un fromage affiné, à pâte légèrement salée, éventuellement malaxée et persillée en raison de la présence de moisissures internes de couleur bleu-vert à blanc-gris (GEM RCN, 2009).

b) Fromages à croûte lavée et pressée

Comme le Saint-Nectaire, Saint Paulin, Cantal, Cheddar, Hollande, etc (ADRIAN *et al.*, 2003).

L'expression à croûte lavée s'applique à un fromage dont la croûte subit, au cours de l'affinage, des lavages et brossages qui favorisent le développement d'un goût prononcé.

Fromages à pâte pressée il s'agit des fromages dont le caillé est pressé après soutirage, puis mis à l'affinage (GEM RCN, 2009).

c) Fromages subissant une cuisson et une pression

Dits à pâte cuite : Gruyère, Comté, Emmenthal, Beaufort, etc. Ce sont les produits les plus minéralisés, ils peuvent contenir près de 1g de calcium pour 100g de fromage (ADRIAN *et al.*, 2003).

Ce sont des fromages à pâte pressée dont le caillé a subi un chauffage supérieur ou égal à 50°C au moment de son tranchage (GEM RCN, 2009).

II.2.3. Les fromages fondus sont à base de fromages pressés ou à pâte cuite

La matière première est fondue à chaud en présence de 3% de sels de fonte qui doivent amener le pH à 5,65 avec précision. La cuisson dure 2 à 3min à 80°C. Elle a pour but une homogénéisation de la pâte et une destruction de germes. Les fromages à pâte filante, voisins des fromages fondus, peuvent contenir des additifs variés pour leur conférer leurs propriétés rhéologiques caractéristiques (acide citrique, E330 ; citrate de sodium, E331 ; orthophosphate de sodium, E339 ; diphosphate de sodium, E450 a, b, c) (ADRIAN *et al.*, 2003).

II.3. La valeur nutritionnelle de fromage

Vue sa richesse en protéines et en lipides ainsi que ses différentes caractéristiques sensorielles, le fromage est devenu un aliment nutritif très apprécié. Ces dernières décennies, plusieurs chercheurs en nutrition ont mis en évidence la contribution du fromage dans l'alimentation et la santé (WALTHER *et al.*, 2008).

Sur le plan nutritionnel, l'intérêt des fromages est très variable : il dépend d'abord des parts respectives d'eau, de graisses et de protéines ; leur apport vitaminique et minéral est également sous la dépendance directe des facteurs technologiques. D'une manière schématique, ce sont des produits à la fois énergétiques (sauf les produits maigres) et protidiques avec des teneurs minérales et vitaminiques souvent élevées. Mais ils sont caractérisés par le fait qu'ils sont « prédigérés » grâce aux actions hydrolytique des flores se développant pendant l'affinage (ADRIAN *et al.*, 2003).

Les fromages affinés peuvent contenir des amines biogènes comme l'histamine. Si la quasi-totalité des fromages est salée et constitue un apport important en sodium, les fromages fondus et à pâte filante sont probablement les matières alimentaires les plus riches en cet élément (ADRIAN *et al.*, 2003).

Le tableau N°10 montre la valeur nutritionnelle moyenne de certains types de fromage.

Tableau N°10 : Valeurs nutritionnelles moyennes des fromages (RICHONNET, 2015).

	Matière sèche (%)	Protéines (g/100g)	Lipides (g/100g)	Acides gras saturés (AGS) (g/100g)	Lactose (g/100g)	Sodium (mg/100g)	Calcium (mg/100g)	Phosphore (mg/100g)
Fromage frais	40	10	17	12	3	520	85	155
Fromage à pâte molle	50	22	20-26	13-17	0,4	560	460-590	378
Fromage à pâte pressée cuite	65	30	28	17,6	Traces	417	766	561
Fromage à pâte pressée non cuite	60	22-27	28	18	Traces	320-511	500-760	230-520
Fromage à pâte persillée	60	19	29	19	Traces	1260	543	367
Fromage fondu FR	50	10	22	14	6,5	737	576	703
Fromage fondu US	50	17	21	13	7,3	1600	562	875

II.4. La fabrication des fromages

La fabrication proprement dite comporte quatre phases : standardisation du lait, coagulation, égouttage et affinage (JEANTET *et al.*, 2008).

Elle repose sur une hydrolyse enzymatique limitée du constituant kappa (k) de la micelle de caséine par la chymosine (protéase contenue dans la présure, elle-même extraite de la caillotte de veau non sevré), suivie par une coagulation spontanée dépendant des conditions de température ; le caillé obtenu a un pH neutre, est fortement minéralisé ; après séparation du lactosérum par égouttage, il est soumis durant une période plus ou moins longue à un processus d'affinage où dominant des activités de lipases et de protéases d'origines microbiennes variables selon les espèces (bactéries, champignons, levures) (LORIENT, 2001).

La préparation des laits (standardisation) pour un fromage donné s'appuie sur des « standards » définis par les technologues aux plans physico-chimiques et microbiologiques. La transformation de l'état liquide à l'état de gel (coagulation) diffère selon que la coagulation est induite par acidification et/ou par action d'enzymes coagulantes. Après séparation de phases (égouttage), la caillebotte subit ou non un affinage spécifique pour chaque type de fromage (Figure N°4).

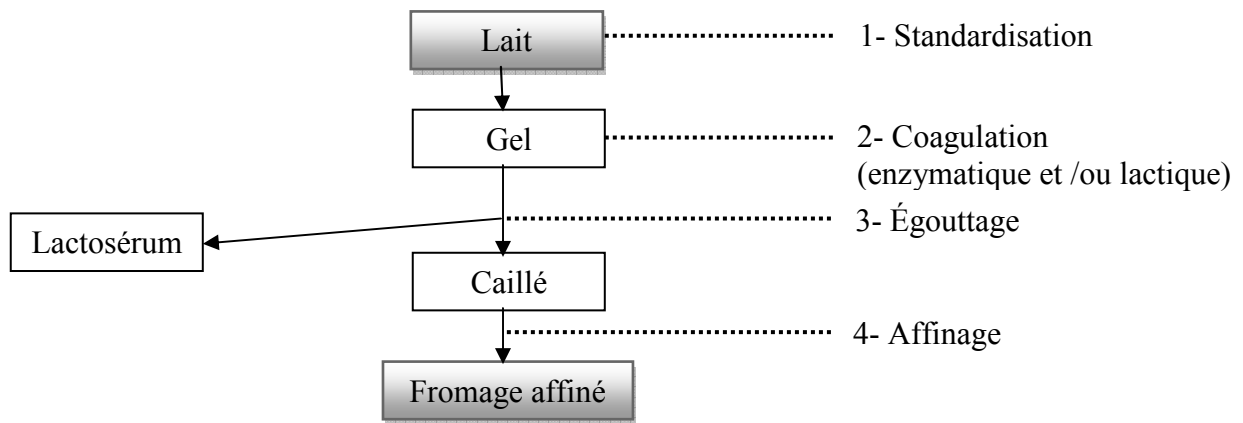


Figure N°4 : Bases de la fromagerie (JEANTET *et al.*, 2008).

II.4.1. Standardisation physico-chimique et biologique des laits

Il y a plusieurs types de standardisation. On effectue notamment l'ajustement du pH d'emprésurage pour faciliter la coagulation du lait, l'ajout de minéraux, dont le calcium, qui permet de corriger en partie les effets de la réfrigération et des traitements thermiques, la réduction de la teneur en lactose par dia-filtration ou par l'hydrolyse enzymatique et la pré-maturation biologique par l'ajout au lait de ferments lactiques, ce qui permettrait de limiter la croissance de la microflore indésirable et rendrait le lait plus propice à la croissance des bactéries désirées. En plus de ces méthodes, on a aussi recours à l'ajustement des teneurs en matière grasse et en protéines, qui devient de plus en plus indispensable surtout avec l'automatisation croissante des procédés de fabrication fromagère. Cependant, en technologie fromagère, il est préférable de travailler avec la teneur en caséines plutôt qu'avec la teneur en protéines totales. Par contre, comme il est difficile présentement de déterminer avec une grande précision et à faible coût la concentration en caséines des ingrédients laitiers, du lait de fromagerie et des fromages, la détermination des protéines totales ou des protéines vraies demeure un compromis très acceptable (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

Le lait n'a pas toujours la même teneur en lipides. Elle varie généralement entre 3,7 et 4,5g/100ml. La réglementation impose une teneur connue en MG, c'est pourquoi le lait est écrémé à l'aide d'une écrémeuse centrifugeuse avant l'utilisation. Le lait et la crème sont séparés, puis mélangés à nouveau dans les proportions souhaitées. Il n'est pas indiqué de teneur en lipides sur les emballages de lait cru, car il n'est pas standardisé (NOBLET, 2012).

La teneur en acide gras dans les fromages est variée selon le type de fromage (Tableau N°11).

Tableau N°11 : Concentration en acides gras libres selon le type de fromage (MCSWEENEY et JOSE SOUSA, 2000).

Type de fromage	AGL (mg.kg ⁻¹)	Type de fromage	AGL (mg.kg ⁻¹)
Sapsago	211	Gjetost	1658
Edam	356	Provolone	2118
Mozzarella	363	Brick	2150
Colby	550	Limburger	4187
Camembert	681	Goat's milk	4558
Port Salut	700	Parmesan	4993
Monterey Jack	736	Romano	6754
Cheddar	1028	Blue-mould (US)	32230
Gruyère	1481	Roquefort	32453

Afin de satisfaire le rapport « gras/matière sèche » défini selon le type de fromages, les industriels standardisent le lait mis en œuvre en matière grasse en tenant compte de la composition protéique du lait. La mise en œuvre d'une masse m_{LS} de lait standardisé en matière grasse (MG_{LS}) et protéines (P_{LS}) permet, connaissant le rendement fromager et les coefficients de récupération de ces constituants dans le fromage, d'obtenir une masse de fromage m_F aux caractéristiques attendues (teneur en matière grasse MG_F , teneur en protéines P_F ; Figure N°5).

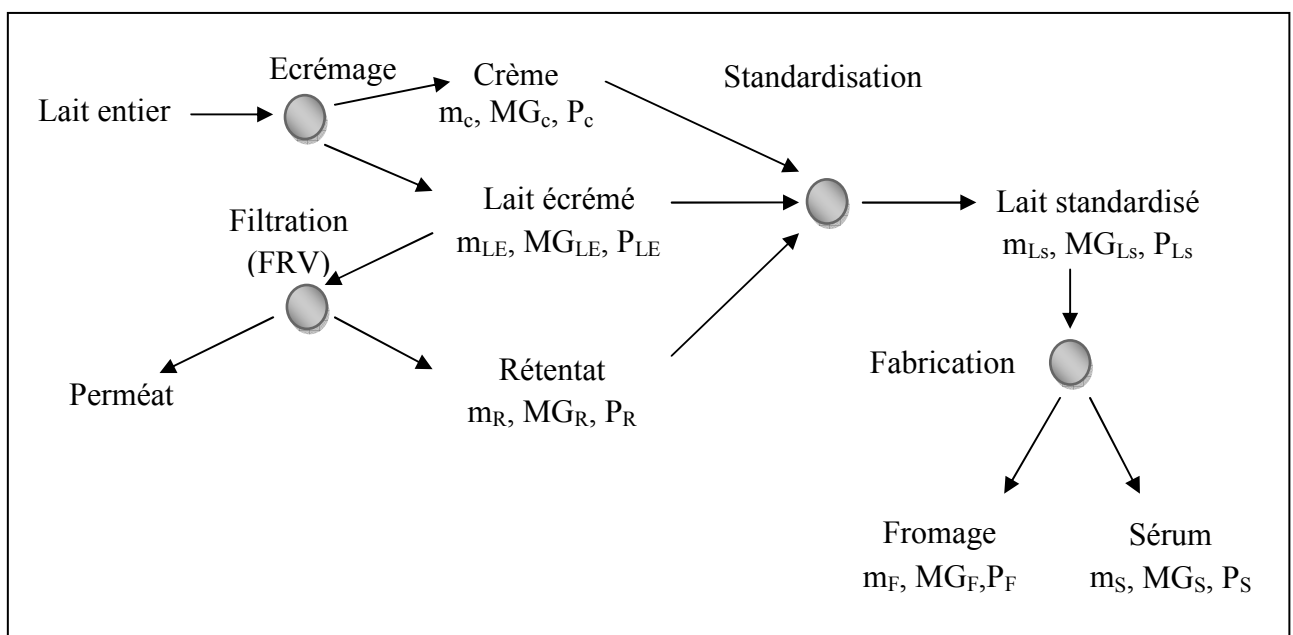


Figure N°5 : Standardisation des laits de fromagerie en matière grasse et protéines (JEANTET *et al.*, 2008).

II.4.2. Coagulation

Quel que soit le type d'égouttage choisi, la préparation du caillé repose sur un schéma classique d'ensemencement du lait par des bactéries lactiques mésophiles. Il s'agit essentiellement de lactocoques et de leuconostocs. Le choix des souches est particulièrement important car celles-ci doivent présenter certaines caractéristiques et remplir plusieurs fonctions :

- Acidifier le lait selon une cinétique reproductible ;
- Atteindre le pH final désiré ;
- Résister aux phages ;
- Produire des composés aromatiques (di-acétyle) ;
- Posséder une aptitude texturante dans certains cas (production d'exopolysaccharides par exemple) ;
- Être compatibles entre elles (GOUDEDRANCHE *et al.*, 2006).

En pratique, la coagulation du lait est marquée par trois paramètres : le temps de floculation, la vitesse de raffermissement et la fermeté maximale du gel (CARON *et al.*, 1997).

On distingue trois types de coagulation (Figure N°6).

II.4.2.1. Coagulation acide

Elle consiste à précipiter les caséines à leur point isoélectrique (pHi=4,6) par acidification biologique à l'aide de ferments lactiques qui transforment le lactose en acide lactique ou par acidification chimique (injection de CO₂, addition de glucono- δ -lactone ou ajout de protéines sériques à pH acide). La voie chimique (acide organique) est uniquement utilisée en France pour la standardisation du pH du lait avant emprésurage. L'addition d'acide minéral n'est quant à elle pas autorisée (JEANTET *et al.*, 2008).

La coagulation lactique qui se produit lorsque l'acidité s'est développée de façon intense (pH compris entre 5,5 et 4,6). La dose de présure est faible : 1 à 3ml pour 100 litres de lait, et la température relativement basse : 18 à 28°C. Le coagulum est friable, déminéralisé, poreux et les protéines fortement hydratées (GOUDEDRANCHE *et al.*, 2006).

Ce type de gel, de par la solubilisation du phosphate de calcium colloïdal au cours de l'acidification, présente une bonne perméabilité mais une friabilité élevée ; le manque de structuration du réseau (liaisons de faibles énergies de type hydrophobe) a pour conséquences une élasticité et une plasticité pratiquement nulles et une faible résistance aux traitements mécaniques (JEANTET *et al.*, 2008).

II.4.2.2. Coagulation par voie enzymatique

Elle consiste à transformer le lait de l'état liquide à l'état de gel par action d'enzymes protéolytiques, le plus souvent d'origine animale.

On distingue trois phases :

- Phase primaire ou enzymatique : elle correspond à l'hydrolyse de la caséine k au niveau de la liaison phénylalanine (105) et méthionine (106) ;
- Phase secondaire ou d'agrégation des micelles déstabilisées : à pH 6,6, elle commence lorsque 80 à 90% de la caséine k est hydrolysée ;
- Phase tertiaire ou phase de réticulation : elle conduit à la formation du gel (JEANTET *et al.*, 2008).

La coagulation-présure qui s'applique lorsque l'acidité est restée pratiquement au niveau de celle du lait. La dose de présure est forte : 30 à 40ml (force 1/10 000) pour 100 litres de lait et la température voisine de 33°C ou même supérieure. Le coagulum obtenu est élastique, souple et fortement minéralisé. Des moyens mécaniques sont nécessaires pour éliminer le sérum (GOUDEDRANCHE *et al.*, 2006).

Il y a un grand nombre d'enzymes protéolytiques, d'origine animale, végétale ou microbienne, qui ont la propriété de coaguler le lait. Cependant, cette propriété ne suffit pas à les rendre tous aptes à produire des fromages de qualité. Il faut tenir compte de leur grande activité protéolytique non spécifique supplémentaire qui leur permet d'hydrolyser les caséines α et β avec libération de peptides. Cette hydrolyse non spécifique peut se produire pendant et après la fabrication fromagère. Si elle est trop élevée, il peut en résulter plusieurs inconvénients, dont une baisse du rendement fromager, une texture molle et l'apparition de goûts anormaux (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

La présure d'origine animale constituée principalement de chymosine et d'un peu de pepsine est le coagulant le plus utilisé. Elle appartient à la famille des endopeptidases, c'est-à-dire des protéases agissant à l'intérieur des chaînes polypeptidiques constituant les protéines. Elle possède une activité très spécifique, car elle n'hydrolyse que la caséine k pendant les fabrications fromagères. Selon le procédé de fabrication utilisé, une certaine quantité de présure demeure emprisonnée dans le caillé et c'est cette dernière qui amorcera l'affinage en s'attaquant de préférence à la caséine- α_1 (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

II.4.2.3. Coagulation mixte

Obtenue lorsque le lait présente au moment de la coagulation une acidité moyenne (pH 6,5 à 5,5) et qu'une dose de présure intermédiaire est utilisée (10 à 25ml pour 100 litres de lait en général). Cet éventail de solutions est un des origines de la diversité fromagère (GOUDEDRANCHE *et al.*, 2006).

Elle résulte de l'action conjuguée de la présure et de l'acidification. La multitude de combinaisons conduisant à différents états d'équilibres spécifiques est à l'origine de la grande diversité des fromages à pâte molle et à pâte pressée non cuite (JEANTET *et al.*, 2008).

Dans la transformation laitière ces trois types de coagulation sont mis en œuvre dans des conditions précises pour fabriquer des laits fermentés ou emprésurés et les fromages (GOUDEDRANCHE *et al.*, 2006).

La figure N°6 résumée les différents types de coagulations.

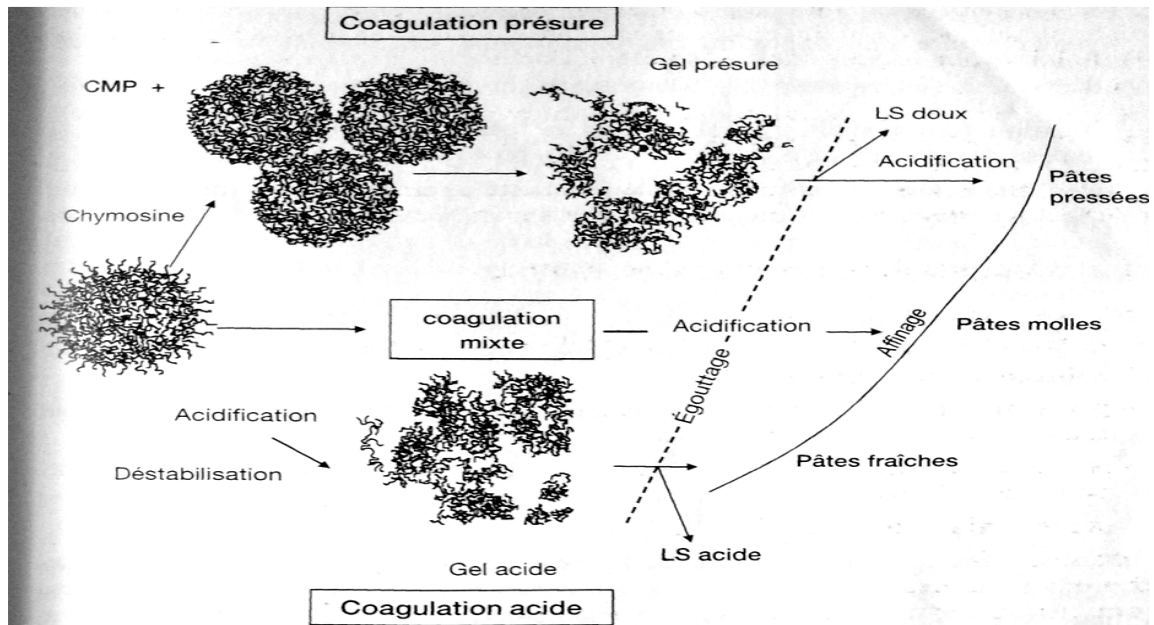


Figure N°6 : Type de coagulation et diversité fromagère (JEANTET *et al.*, 2008).

II.4.3. Égouttage

L'égouttage, qui a lieu sur une table d'égouttage en salle de fabrication à une température allant de 20 à 25°C, permet d'évacuer le sérum excédentaire libéré par la contraction des micelles de caséine et d'assurer la formation du coagulum ou « caillé » (PRADAL, 2012).

Cette phase consiste en l'élimination plus ou moins grande du lactosérum emprisonné dans les mailles du gel formé par voie acide et/ou enzymatique. Elle commence dans les cuves de coagulation, puis se poursuit dans les moules et enfin en hâloirs (JEANTET *et al.*, 2008).

La synérèse est un phénomène biochimique et physico-chimique suivant lequel un caillé formé soit par voie enzymatique, soit par voie lactique se contracte continuellement et expulse spontanément le lactosérum. L'égouttage est une étape commune dans beaucoup de procédés de fabrication fromagère qui permet, dans la majorité des cas, d'accélérer la synérèse puis de séparer le lactosérum du caillé. Lors de cette étape, la plus grande partie des éléments solubles sont éliminés dans le lactosérum. On peut considérer qu'il s'agit d'une déshydratation partielle du caillé. Le caillé a donc une composition variable selon la technique d'égouttage utilisée et la quantité de lactosérum enlevée. Il a par conséquent une grande incidence sur le type de fromage qu'on cherche à produire (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

II.4.4. L'affinage

L'affinage est un ensemble de réactions enzymatiques qui va progressivement transformer les constituants du fromage jeune obtenu en fin d'égouttage en une multitude de composés rendant la pâte plus ou moins onctueuse et fondante et lui conférant son arôme et son goût. Il débute avant même la fin de l'égouttage puisque le lactosérum de fin d'égouttage contient des produits de dégradation des caséines (CMP, fraction peptidique, ANP) pour se terminer sur la table du consommateur (GOUDEDRANCHE *et al.*, 2006).

Dans l'industrie fromagère, l'affinage est une succession d'opérations enzymatiques, pour la plupart produites par des flores microbiologiques qui se succèdent les unes aux autres. Elles se traduisent par une fermentation du lactose résiduel du caillé ; une lipolyse et une certaine dégradation des acides gras libres avec formation d'acides cétoniques, de méthyl-cétones ; une protéolyse aboutissant à des peptides, des acides aminés, des amines et allant jusqu'à l'ammoniac. Les agents de l'affinage sont des streptocoques, des lactobacilles, des entérocoques, des moisissures (*Geotrichum candidum*) dans certains fromages. À la surface se développent des levures et des moisissures. La sélection des flores se fait par les conditions physico-chimiques dans lesquelles est maintenu le caillé, notamment le salage, et par les facteurs externes du milieu dans lequel se déroule l'affinage. Au total, les facteurs contrôlant l'affinage sont essentiellement l'humidité, l'aération, la température, le pH et la teneur en sel (ADRIAN *et al.*, 2003).

L'affinage correspond à une phase de digestion enzymatique des constituants protéiques et lipidiques du caillé. C'est un processus biochimique complexe pour plusieurs raisons :

- D'une part, la matrice fromagère issue de la coagulation du lait et de l'égouttage du caillé présente une très grande hétérogénéité physico-chimique ;
- D'autre part, les enzymes intervenant dans l'affinage ont plusieurs origines : il peut s'agir d'enzymes endogènes du lait (plasmin, lipase, etc.), ajoutées au lait au cours de la fabrication (enzymes coagulantes, micro-organismes) ou produites au cours de l'affinage par synthèse microbienne (bactéries, levures, moisissures).

L'ensemble caillé et agents biologiques est un écosystème complexe et bioréacteur hétérogène dont les paramètres ne sont pas toujours bien définis. L'affinage est dominé par trois grands phénomènes biochimiques :

- La fermentation du lactose résiduel et consommation du lactate ;
- L'hydrolyse de la matière grasse et des protéines ;
- La production d'arôme à partir des acides gras et acides aminés (JEANTET *et al.*, 2008).

Au cours de l'affinage, la fermentation lactique entraîne une transformation du lactose en acide lactique ; une protéolyse a lieu, laissant parfois apparaître des néo-allergènes dans la croûte des fromages (VILAIN, 2010).

La figure N°7 représente les principaux mécanismes biochimiques au cours de l'affinage des fromages.

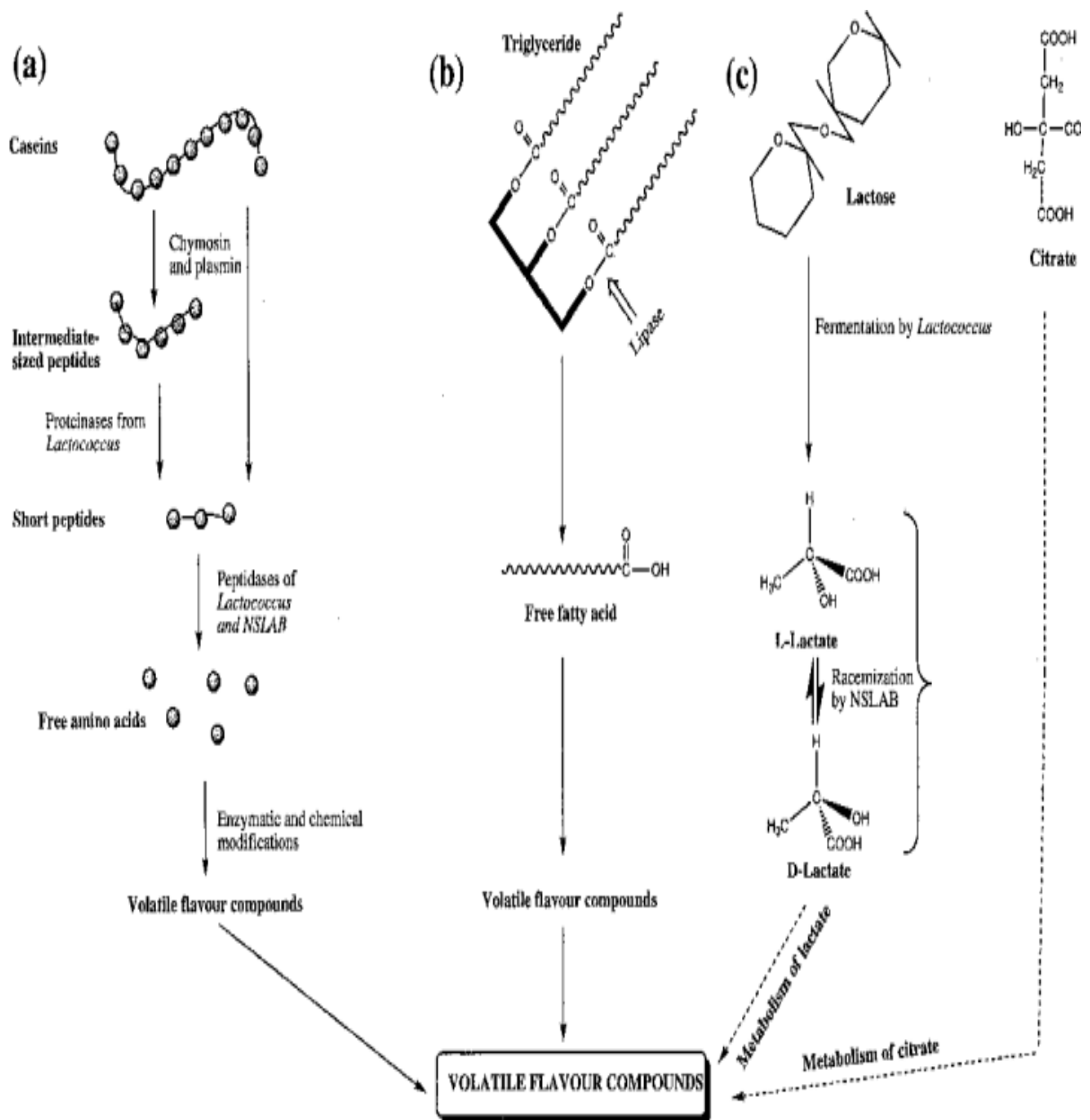


Figure N°7 : Principaux mécanismes biochimiques de l'affinage : (a) protéolyse, (b) lipolyse et (c) métabolisme du lactose, du lactate et du citrate (MCSWEENEY et JOSE SOUSA, 2000).

II.5. Les agents d'affinage

Les enzymes responsables de la transformation ont trois origines : celles présentes naturellement dans le lait, les agents coagulants ajoutés et celles des différents micro-organismes bactériens, levures et moisissures. En agissant sur les principaux constituants du lait, le lactose, les triglycérides et les protéines, qui modifient profondément la texture du fromage jeune et contribuent à former tout un ensemble de composés qui donnent au fromage affiné sa saveur et son arôme. La figure N°8 schématise l'ensemble des réactions intervenant lors de la transformation.

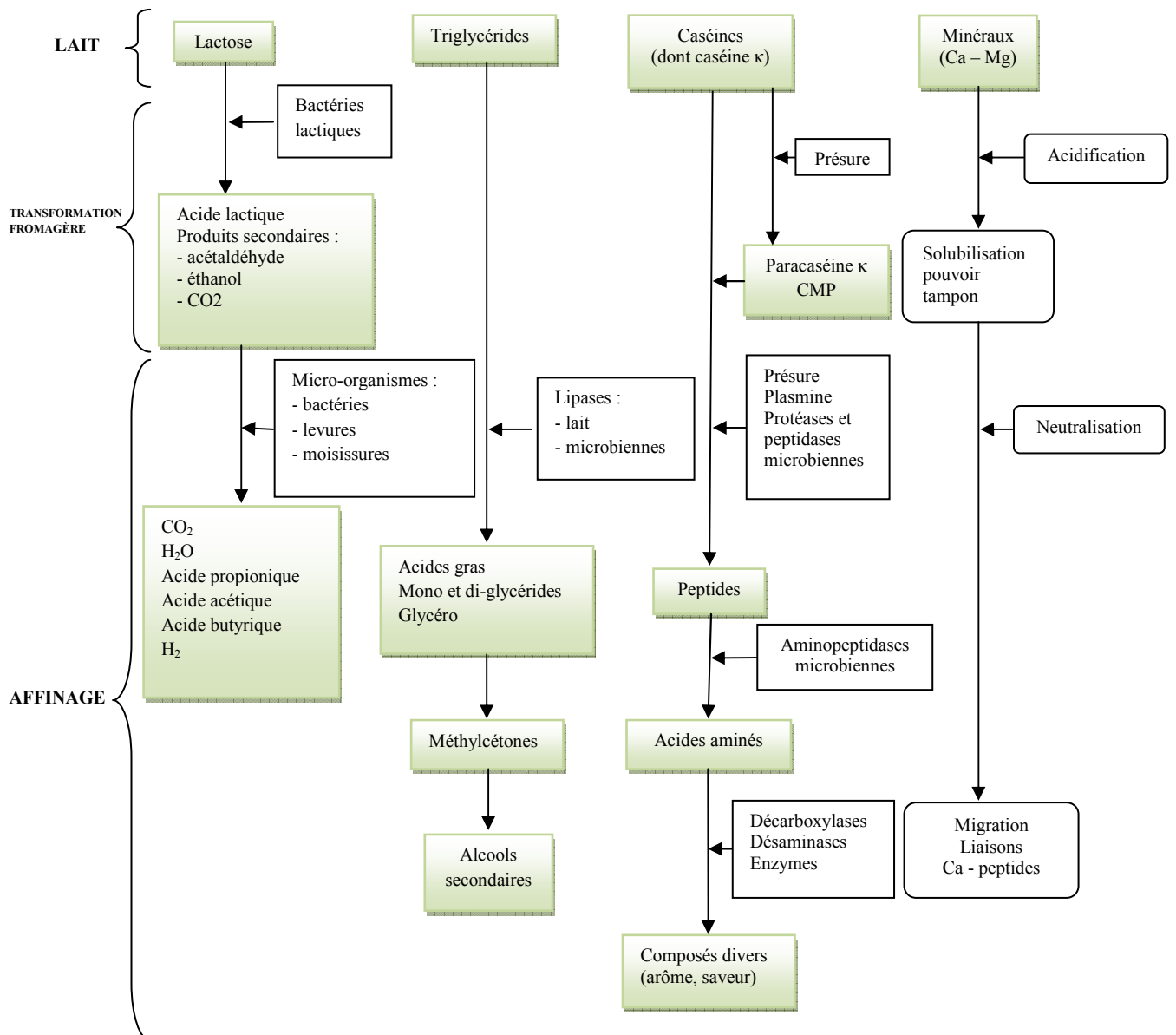


Figure N°8 : Principales transformations des composants du lait lors de la préparation du fromage (GOUDEDRANCHE *et al.*, 2006).

II.5.1. Enzymes du lait

On peut citer :

- La plasmine : protéase thermorésistante, elle intervient dans les fromages à pâte pressée cuite et non cuite à affinage lent ;
- La phosphatase alcaline : détruite par la pasteurisation, elle aurait un rôle uniquement dans les fromages issus de lait cru (JEANTET *et al.*, 2008) ;
- La lipase : enzyme thermolabile, elle n'intervient que dans les fromages au lait cru. Elle hydrolyse préférentiellement les acides gras à courte chaîne. Son action est plus marquée dans le lait de brebis et de chèvre que de vache car les globules gras sont plus petits ; elle conduit à des fromages plus typés (JEANTET *et al.*, 2008, MAHAUT *et al.*, 2000).

II.5.2. Enzymes coagulantes

La présure, notamment extraite de l'estomac (caillette) du veau, de l'agneau ou du chevreau, contient de la chymosine et de la pepsine. Il reste 35% de résidu de chymosine dans les fromages lactiques (LE MENS, 1985).

II.5.3. Enzymes d'origine microbienne

D'après JEANTET *et al.*, 2008, ces enzymes proviennent de cinq principaux groupes microbiens.

II.5.3.1. Les bactéries lactiques

Apportées par les levains, elles transforment le lactose en acide lactique. On distingue :

- Les lactocoques : flore dominante dans les pâtes molles et pâtes pressées non cuites, ils ont une action protéolytique ;
- Les lactobacilles et streptocoques thermophiles : flore des pâtes pressées cuites, ils exercent une action d'acidification et de protéolyse ;
- Les *Leuconostoc*: ils produisent, à côté de l'acide lactique, des composants d'arôme et participent à l'ouverture des fromages à pâte persillée.

II.5.3.2. Les bactéries propioniques

Elles produisent à partir du lactate de l'acide propionique et du CO₂ responsables de l'ouverture des pâtes pressées cuites et contribuent à la formation de la saveur et de l'arôme de ces dernières.

II.5.3.3. Les bactéries de surface

Les plus fréquentes sont les microcoques et les bactéries corynéformes (*Bacterium linens*) ; elles sont présentes dans les pâtes molles à croûte lavée ou emmorgée. Elles sont dotées d'activité protéolytique et lipolytique.

II.5.3.4. Les levures

La plus couramment rencontrée est *Geotrichum candidum* ; elle se développe en surface des fromages en consommant l'acide lactique, produisant de l'éthanol et exerçant des actions lipolytiques et protéolytiques.

II.5.3.5. Les moisissures

Les deux plus courantes sont *Penicillium camemberti*, qui est une moisissure de surface des pâtes à croûte fleurie, et *Penicillium roqueforti*, moisissure interne des pâtes persillées. Elles possèdent les enzymes les plus lipolytiques, à l'origine de la formation de méthylcétones, d'alcools secondaires et sont aussi dotées d'activité protéolytique.

II.6. Les défauts d'affinage

On peut classer les défauts rencontrés au cours de l'affinage en trois catégories.

II.6.1. Défauts de texture et gonflements

Ces défauts peuvent avoir des origines technologiques (pâte sèche, coulante, fromage laine, sans ouverture ou trop ouvert, etc.) ou microbiologiques (gonflements précoces ou tardifs) (JEANTET *et al.*, 2008).

II.6.2. Défauts d'aspect

Ces défauts (croûtage et moisissures indésirables) peuvent être d'origine fongique à la surface des fromages (accidents du « bleu », du « poil de chat », de la « peau de crapaud »), ou d'origine fongique et bactérienne à la surface et à l'intérieur de la pâte (chancre, tâches orangées, crème, rosée, brunâtre, blanchâtre, rouge des tablards, etc.) (JEANTET *et al.*, 2008).

II.6.3. Défauts de saveur et d'arôme

Cependant, une trop grande lipolyse peut aussi entraîner l'apparition de saveurs et d'arômes indésirables. Des traitements technologiques brutaux, par exemple un brassage mécanique excessif ou une mauvaise conservation du lait cru, peuvent provoquer le bris des globules gras et rendre facilement accessibles les triglycérides aux lipases du lait (goût de rance) avant ou pendant le procédé de fabrication (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

Parmi ceux-ci, on distingue :

- Les défauts d'amertume : ils sont fréquemment rencontrés dans les fromages de type pâte pressée, bleu et pâte molle. Les caséines (notamment la caséine β fortement hydrophobe) sont à l'origine de la formation de peptides amers sous l'action de la présure résiduelle, de la plasmine, des *Penicillii* des germes psychrotrophes et de certains levains qui acidifient rapidement ;
- Les autres défauts de flaveur : on peut citer l'odeur de crucifères, de champignon, de pomme de terre, de malt, de cellulose, etc. Leurs origines et les mécanismes de leur formation sont diverses et difficiles à établir ;
- Le goût de rance : il apparaît lorsqu'il y a lipolyse excessive qui donne naissance à une quantité élevée d'acides gras libres à chaîne courte et moyenne. Les agents responsables sont certains *Penicillii*, les bactéries psychrotrophes, les lipases naturelles ou d'origine microbienne (germes contaminants, thermorésistants, levains, etc.) (JEANTET *et al.*, 2008).

D'après MCSWEENEY et JOSE SOUSA, 2000 les différents composés aromatiques identifiés dans le fromage cheddar sont les suivants :

acaldéhyde	disulfuredediéthyle	3-méthylbutanol
acétation	trisulfuredediméthyle	3-méthyl-2-butanone
acétone	δ-dodicalactone	acidebutyrique3-méthyle
acétophénone	éthanol	2-nonanone
β-angelicalatone	acétated'éthyle	δ-octalactone
1,2-butanediol	2-éthylbutanol	aciden-octanoïque
n-butanol	butyrated'éthyle	2-octanol
2-butanol	hexanoated'éthyle	2,4-pentanediol
butanone	2-heptanone	aciden-pentanoïque
acétateden-butyle	n-hexanal	2-pentanol
acétatede2-butyle	aciden-hexanoïque	pentan-2-one
butyrateden-butyle	n-hexanol	n-propanol
aciden-butyrique	2-hexanone	propanal
dioxydedecarbone	hexanéthiol	propénal
p-cresol	2-hexénal	butyrateden-propyle
décalactone	isobutanol	tétrahydrofurane
δ-décalactone	isohexanal	thiophène-2-aldéhyde
aciden-décanoïque	thiolméthane	2-tridécanone
diacétyl	méthionique	2-undécanone
étherdiéthylique	acétatedeméthyle	
sulfuredediméthyle	2-méthylbutanol	

II.7. Contrôle de la fabrication fromagère

Le tableau N°12 résume les principaux tests à effectuer tout au long de la fabrication fromagère.

Tableau N°12 : Contrôle de la fabrication : Cas d'une pâte ferme (ST-GELAIS *et al.*, 2002).

ÉTAPES DU PROCÉDÉ	PRINCIPAUX TESTS
Réception du lait	pH, température, test de détection d'antibiotiques
Standardisation	Pourcentage de matière grasse et de protéines
Pasteurisation	Barème de pasteurisation, test de la phosphatase
Ensemencement	pH ou activité des ferments ajoutés, température du lait
Emprésurage	pH et température du lait
Décaillage	Fermeté du gel, taille de la découpe
Cuisson	Température et vitesse de cuisson, fermeté finale des grains
Soutirage	pH au soutirage
Mise en moule	Répartition dans les moules
Pressage	Pression exercée, température de la salle
Salage	Dose de sel ou densité et température de la saumure
Emballage	Étanchéité de l'emballage
Affinage	Température, humidité, test organoleptique

II.8. Les facteurs de variation de l'affinage

Les facteurs susceptibles d'agir sur le développement des micro-organismes, la production des enzymes et l'activité enzymatique peuvent influencer de façon déterminante sur le processus de maturation de la pâte fromagère. Parmi ces facteurs, il y'a lieu de citer notamment les effets de l'aération et de la composition de l'atmosphère, de l'activité de l'eau, de la température et enfin du pH (ECK, 1990).

II.8.1. L'aération et la composition de l'atmosphère

La composition chimique de l'air à l'échelle d'une pièce varie en fonction du renouvellement de l'air et des dégagements gazeux des fromages. Voire du fromager s'il séjourne longtemps dans la pièce (phénomène de respiration). L'aération permet de renouveler l'air par rapport d'air neuf. Le brassage de l'air (ventilation) vise à homogénéiser l'air au sein de la pièce et à renouveler l'air au contact des fromages. La maîtrise de la composition chimique de l'ambiance (NH_3 , O_2 , CO_2) permet d'orienter le développement de la flore de surface et les échanges entre le produit et l'air. Durant l'affinage, les microflore consomment l' O_2 et rejettent le CO_2 , du NH_3 et de l'eau. En anaérobiose (ambiance pauvre en oxygène), les levures produisent de l'éthanol et du CO_2 , ce qui se traduit par des odeurs d'alcool caractéristiques de cette phase. Pour la réglementation NH_3 et CO_2 , il existe des niveaux à respecter pour la sécurité des personnes travaillant dans des locaux d'affinage (peu probable en lactiques fermiers, la valeur moyenne relevée dans les enquêtes LACTAFF est de 3000 ppm) :

- CO_2 : 5000ppm sur 8h.
- NH_3 : 10ppm soit 7mg/m^3 sur 8h et 20ppm soit 14mg/m^3 sur le court terme (GAÜZERE *et al.*, 2016).

II.8.2. L'activité de l'eau

L'activité de l'eau (a_w) est un facteur important dans le développement microbien et dans l'expression de l'activité enzymatique, car un abaissement à un taux inférieur à 0,5 ralenti cette activité et ne permet pas la multiplication des micro-organismes (il y'a augmentation de la phase de latence et diminution sélective de la vitesse de croissance), (ACKER, 1996). Par contre, SCHLESSNER *et al.*, 1992 constatent que cet abaissement de l' a_w contribue à l'augmentation de la fermeté du fromage.

Les bactéries, levures et moisissures ont des tolérances différentes à l' a_w du produit. L' a_w du produit est compris entre 0 et 1. Plus l'activité de l'eau est élevée, plus la quantité d'eau libre est grande, 1 étant le maximum. On définit un a_w limite par espèce, en-dessous de laquelle elle ne se développe plus. Les valeurs d' a_w où la croissance est encore possible varient de 0,9 à 1 pour les bactéries, de 0,8 à 1 pour les levures et de 0,6 à 1 pour les moisissures. Si l'activité de l'eau diminue, l'activité des micro-organismes va également diminuer. C'est pour cette raison que les pâtes humides s'affinent plus rapidement (GAÜZERE *et al.*, 2016).

II.8.3. La température

C'est un facteur régulateur important de la croissance microbienne et de l'activité enzymatique. Néanmoins, chaque type de réaction particulière nécessite une gamme de température optimale. En effet, les moisissures se développent favorablement à 20-25°C, les bactéries lactiques mésophiles à 30-35°C. L'optimum d'activité pour les lipases se situe entre 30 et 35°C alors qu'il est plus élevé dans le cas des protéases (40-45°C) (MIETTON *et al.*, 1994).

Les lipases ont 50% d'activité à 10°C, et celle des protéases ont 10% d'activité à 10°C. Les températures d'affinage sont volontairement en deçà des optimums des flores afin de ralentir l'évolution du produit, ce qui permet de mieux maîtriser cette étape. C'est un compromis entre évolution microbienne et développement de la saveur (car si les températures sont trop élevées il y a apparition de goût et d'arômes désagréables (exemple : amertume, odeur de styrène...)) (GAÜZERE *et al.*, 2016).

II.8.4. Le pH

L'influence du pH sur le développement microbien et l'activité enzymatique est particulièrement déterminante. Parmi les micro-organismes, seules les bactéries lactiques, les levures et les moisissures peuvent se développer à pH inférieurs à 5. L'activité des enzymes est aussi très sensible aux variations de pH. Il a été observé que l'activité maximale de la plupart des protéases microbiennes, se situe dans l'intervalle de pH 5-7,5 et celle des lipases dans la zone 7,5-9,0. Au-dessous de pH 4,5, la stabilité de nombreuses enzymes est par contre fortement réduite (MIETTON, 1995).

Le pH ne doit pas être trop bas, car il empêche alors l'activité enzymatique qui permet au fromage de s'affiner. Le gradient de pH entre le cœur et la croûte est important en technologie lactique du fait, entre autre, du développement des levures en surface et de leur travail de désacidification (GAÜZERE *et al.*, 2016).

CHAPITRE III.
RÉSULTATS DE
L'ÉVOLUTION DES
PARAMÈTRES PHYSICO-
CHIMIQUES AU COURS
D'AFFINAGE

Le fromage est un produit laitier important, et est une source riche en nutriments essentiels, en particulier en protéines, en peptides bioactifs, en acides aminés, en lipides, en acides gras, en vitamines et en minéraux.

Le fromage affiné ne contient plus de lactose et convient donc aux personnes intolérantes à ce composant.

La maturation du fromage est un processus complexe, le fromage affiné nécessite la maturation pour développer les propriétés requises.

De ce fait, nous nous sommes intéressés au fromage affiné et nous avons réalisé une étude sur l'évolution des paramètres physico-chimiques des fromages au cours d'affinage : Cas des fromages des laits de vache.

Le but de ce travail est de réaliser, puis d'exploiter, une étude rétrospective relative aux qualités physico-chimiques du fromage au cours d'affinage basée sur des études déjà publiées par des chercheurs dans le domaine. L'objectif de cette étude est l'évaluation préliminaire de leur importance dans l'étude de la maturation du fromage.

Notre travail a été réalisé à base de résultats publiés, sous le titre en question en Algérie ou à l'échelle internationale.

Dans cette étude, nous avons :

- Recherché l'évolution des caractéristiques physico-chimiques (pH, acidité, matières grasses et protéines) au cours d'affinage, des résultats donnés à partir des études déjà publiés, avec différents types de fromage.

- Recherché dans la variation en composition des acides gras de fromage au cours d'affinage.

III.1. Quelques caractéristiques physico-chimiques du fromage au cours d'affinage

III.1.1. pH, acidité, matière grasse et protéines

D'après PINHO *et al.*, 2004, le pH a été déterminé en chambre température à l'aide d'un électrode pénétrométrique (Mettler Toledo).

La présente méthode a pour objet de mesurer l'activité des ions H^+ contenus dans une solution à l'aide d'un pH mètre.

Le dosage de l'acidité du fromage par titrimétrie. Déterminé par le dosage de l'acide lactique à l'aide de l'hydroxyde de sodium à 0,11 moles/l. La présence de phénolphtaléine, comme indicateur coloré, indique la limite de la neutralisation par changement de couleur (rose pâle). Cette acidité est exprimée en degré Dornic ($^{\circ}D$) où : 1 $^{\circ}D$ représente 0,1g d'acide lactique dans un litre de lait (MATHIEU, 1998).

Selon PINHO *et al.*, 2004, l'acidité augmente pendant la maturation et le pH diminue jusqu'à 30 jours et augmente légèrement entre 30 et 60 jours, confirmant ainsi l'activité métabolique importante de bactéries lactiques (Figure N°9).

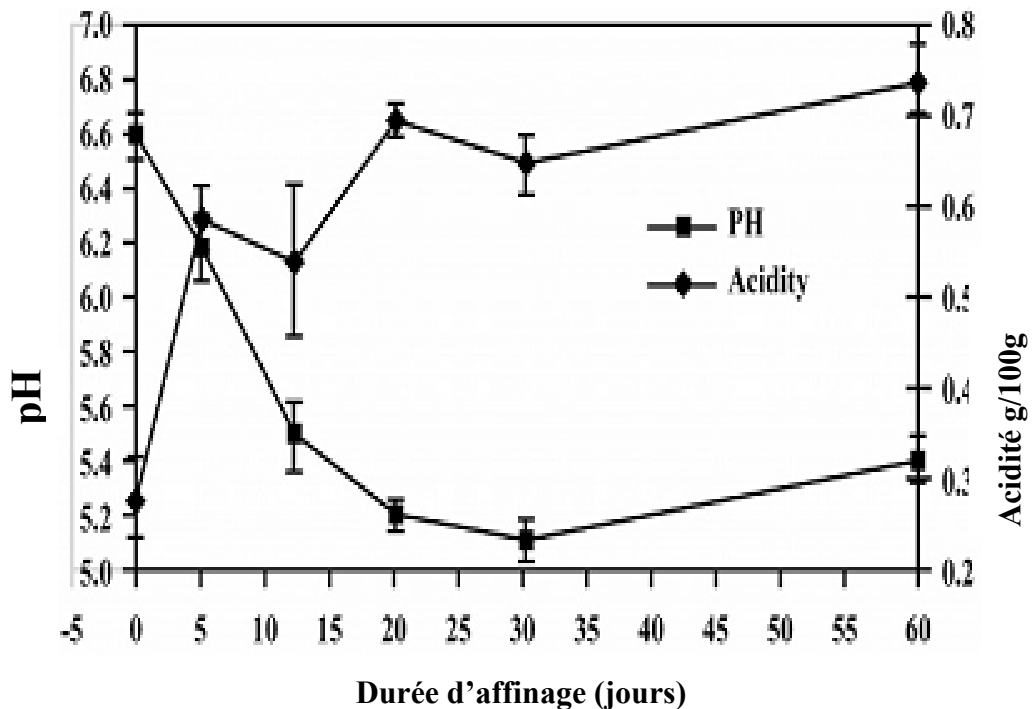


Figure N°9 : Changements d'acidité et de pH de fromage « Terrincho » pendant 60 jours de maturation.

La diminution des valeurs de pH est liée aux paramètres de texture car aucune fusion des particules de caillé se produit jusqu'à environ pH 5,8 (LAWRENCE *et al.*, 1987).

L'objectif de ce résultat était de surveiller le changement dans l'acidité, le pH du fromage « Terrincho » pendant 60 jours de maturation.

D'après AISSAOUI ZITOUN, 2014, le pH des différents échantillons de Bouhezza quel que soit l'origine ou l'âge d'affinage se situe entre 3 et 4. Aussi, la teneur en acide lactique est entre $4,15 \pm 1,58$ g/100g et $6,29 \pm 1,51$ g/100g de l'EST des fromages de ferme et entre $4,74 \pm 0,23$ g/100g et $6,93 \pm 3,26$ g/100g de l'EST des fromages d'expérimentation (Figure N°10).

Ces caractéristiques de la pâte du fromage « Bouhezza » reflètent le caractère acide du fromage, favorisant une sélection des micro-organismes à l'intérieur de la pâte. Selon PEREZ PACHECO et BUCIO GALINDO, 2010, le bas pH des fromages acides empêche le développement des bactéries pathogènes. Les principaux pathogènes concernés sont *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* et quelques espèces pathogènes d'*E. coli*.

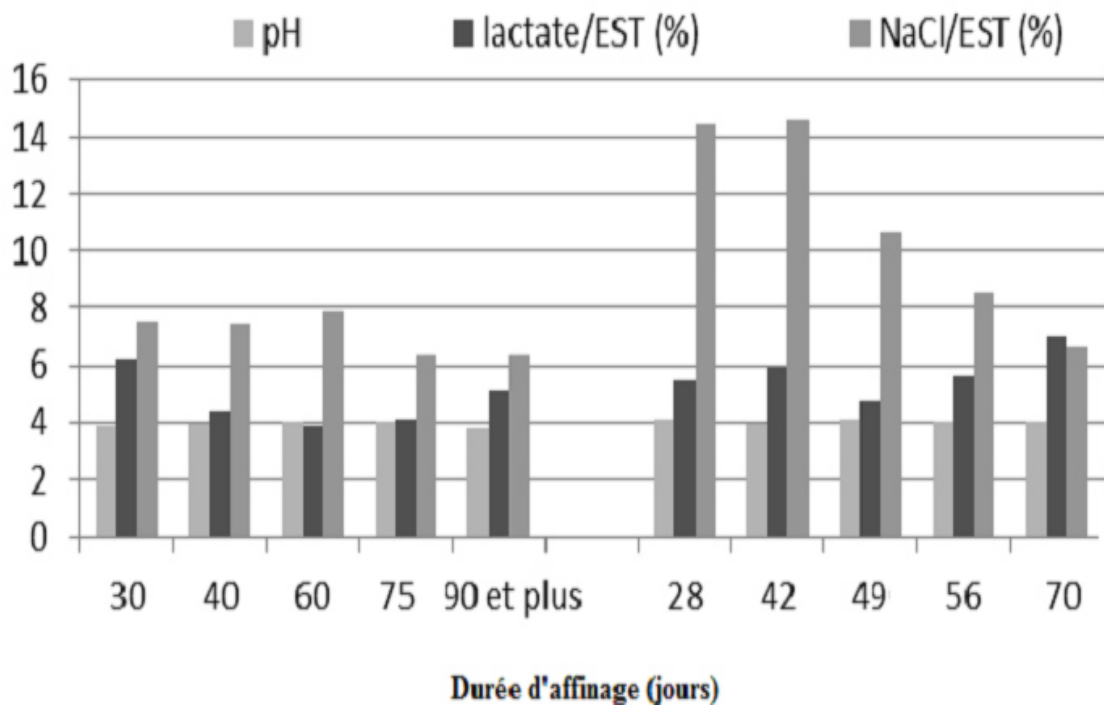


Figure N°10 : Le pH et les teneurs en lactates et en chlorures du fromage Bouhezza.

D'après OUALI, 2003, il y a une légère diminution du pH en début d'affinage jusqu'au stade (J+6) et ce dans les deux parties (superficielle et interne) des deux types de fromage (FLL, FLM) (Tableaux N°13 et 14).

- Fromage fabriqué à partir du lait cru collecté localement (FLL) ;
- Fromage fabriqué à partir du lait mixte ou mélange à part égales entre le lait cru et le lait recombinaison (FLM).

Tableau N°13 : Évolution des paramètres physico-chimiques au cours de l'affinage du Camembert issu du lait cru collecté localement (FLL).

Paramètres	Stades d'affinage en jours									
	Partie superficielle (croûte)					Partie interne (masse)				
	J=0	J+6	J+12	J+15	J+20	J=0	J+6	J+12	J+15	J+20
pH	4,86	4,74	5,87	6,77	6,64	4,86	4,62	4,98	5,12	4,93
Humidité (%)	57,28	51,72	54,98	51,10	50,47	57,28	54,28	52,46	55,70	53,00
E.S.T (g/100g)	42,72	48,28	45,02	48,90	49,53	42,72	45,77	47,46	44,30	47,00
E.S.D (g/100g)	22,20	26,78	28,52	27,40	28,53	22,20	25,77	25,54	21,30	25,75
M.G (g/100g)	20,50	21,50	16,50	21,50	21,00	20,50	20,00	22,00	23,00	21,25
Gras/sec (%)	47,98	44,00	36,65	43,96	42,39	47,98	43,00	46,27	51,91	45,21
Proteins (g/100g)	15,50	14,00	19,25	16,00	19,25	15,50	16,50	17,75	19,50	16,40
Chlorures (g/100g)	1,95	2,51	2,34	1,55	1,78	1,95	2,60	2,04	1,90	2,39

Tableau N°14 : Évolution des paramètres physico-chimiques au cours de l'affinage du Camembert issu du lait mixte (FLM).

Paramètres	Stades d'affinage en jours									
	Partie superficielle (croûte)					Partie interne (masse)				
	J=0	J+6	J+12	J+15	J+20	J=0	J+6	J+12	J+15	J+20
pH	4,95	4,86	6,01	6,56	7,10	4,95	4,74	5,16	4,94	4,90
Humidité (%)	58,91	53,90	52,54	49,30	47,14	58,91	53,92	57,36	54,90	54,20
E.S.T (g/100g)	41,09	46,10	47,46	50,70	52,86	41,09	46,08	42,64	45,10	45,80
E.S.D (g/100g)	23,59	26,10	29,46	34,70	34,61	23,59	27,58	23,14	27,10	27,05
M.G (g/100g)	17,50	20,00	18,00	16,00	18,25	17,50	18,50	19,50	18,00	18,75
Gras/sec (%)	42,58	43,00	37,92	31,55	34,52	42,58	40,14	47,73	39,91	40,93
Protéines (g/100g)	18,00	18,00	19,25	16,20	19,60	18,00	18,75	19,50	19,75	19,25
Chlorures (g/100g)	2,17	2,34	2,34	1,97	1,40	2,17	1,60	2,04	1,75	2,45

Ceci est en accord avec les travaux de BOUTROU *et al.*, 1999. Ce phénomène s'explique par la poursuite de la fermentation du lactose résiduel du caillé par les bactéries lactiques. Après le sixième jour d'affinage, il y a une désacidification progressive de la croûte qui permet d'atteindre après 20 jours des valeurs de pH équivalentes à 6,64 et 7,10, respectivement pour FLL et FLM.

Cette neutralisation de la pâte, due au développement des levures et notamment des moisissures, contribue à une modification de la texture qui perd son aspect granuleux. Elle induit également une activité maximale de la plupart des enzymes protéolytiques et lipolytiques. À l'opposé, le pH reste acide au niveau interne (pour les deux types de fromage), confirmant l'action enzymatique accrue de la flore superficielle sur l'élévation du pH.

D'après LEGRAET et BRULE, 1988 travaillant sur un fromage affiné jusqu'à 20 jours ont obtenu des valeurs de pH de 7,0 ; 6,5 et 4,8 respectivement pour la croûte, la sous croûte et la partie centrale du fromage.

Selon PINHO *et al.*, 2004, il y a une augmentation significative de l'acidité avec une diminution importante du pH. À cause de l'action des bactéries lactiques qui se traduit par la transformation de lactose en acide lactique, jusqu'à 30 jours de maturation. D'après AISSAOUI ZITOUN, 2014, le pH est situé entre 3 et 4, cette valeur permet d'empêcher le développement des bactéries pathogènes. Et selon OUALI, 2003, le pH à 20 jours d'affinage est de 6,64 à la croûte du fromage à base du lait cru, et de 4,93 à la partie interne du fromage (masse). Et d'après LEGRAET et BRULE, 1988 la valeur de pH à la partie centrale du fromage à 20 jours d'affinage est de 4,8.

Chapitre III Résultats de l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours d'affinage

Ces deux dernières valeurs de pH de fromage affiné sont proches (4,8 et 4,93), selon les travaux d'OUALI, 2003 et LEGRAET et BRULE, 1988. On peut conclure que le pH des fromages affinés est légèrement acide.

D'après AZARNIA *et al.*, 1997, la diminution du pH au cours des deux premiers mois (Tableau N°15) de la conservation des cailloux dans la saumure est due principalement à l'achèvement de la fermentation du lactose et de la libération des acides aminés et des acides gras libres après protéolyse et lipolyse.

Tableau N°15 : Variations de certaines propriétés physico-chimiques du fromage à la saumure iranien.

Temps (jours)	0	15	30	45	60	75	90
Humidité (%)	62,8	59,4	57,5	56,2	55,9	55,1	54,8
Azote total (%)	2,85	3,10	3,32	3,42	3,45	3,53	3,57
Protéine (%)	18,18	19,78	21,18	21,82	22,00	22,52	22,78
Graisse (%)	16,20	17,10	17,90	19,14	19,30	19,65	20,00
Sel dans l'humidité	4,39	6,82	7,30	7,63	7,73	8,10	8,41
pH	6,14	5,80	5,52	5,13	4,93	5,06	5,12

Le pH du fromage est un facteur qui conditionne la pousse des micro-organismes et l'activité des enzymes. Étant donné la diversité des espèces, le pH toléré va de 3 à 10. Les moisissures se développent à des pH de 4 à 5. Ces valeurs témoignent d'une certaine acidotolérance. Les bactéries d'affinage se développent plutôt au-dessus de 5. Les levures ont une large de tolérance (3 à 10), avec un optimum de 5 à 6 (HERMIER *et al.*, 1992). Les enzymes ont également des pH optimaux d'activité (5,5 à 7,5 pour les protéases et 7,5 à 8,5 pour les lipases) (GAÜZERE *et al.*, 2016).

Ces enzymes (lipases et protéases) peuvent agir sur la teneur des lipides et des protéines, La variation de la teneur en matière grasse et celle de la teneur protéique sont relativement faibles tout au long du processus d'affinage. Pour la détermination de la teneur en matière grasse dans les fromages (fraction massique). La présente méthode dite (Van Gulik) consiste à la dissolution des protéines du fromage au moyen d'acide sulfurique, il est procédé à la séparation de la matière grasse par centrifugation dans un butyromètre de Van Gulik, la séparation étant favorisée par l'addition d'une petite quantité d'alcool iso-amylque. Obtention de la teneur en matière grasse par la lecture directe sur l'échelle du butyromètre (JORA, 2014).

Chapitre III Résultats de l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours d'affinage

D'après AISSAOUI ZITOUN, 2014, que selon les déclarations des familles enquêtées, le fromage « Bouhezza » ne peut être consommé qu'après un mois de fabrication. L'augmentation progressive de la teneur en matière sèche avec l'âge d'affinage a été notée dans les fromages de fermes (Tableau N°16) et d'expérimentation. Dans ces derniers échantillons la teneur maximale est atteinte à 70J, elle est de $35,15 \pm 2,14$ g/100g. En effet, les perforations de la Chekoua de « Bouhezza » permettent l'égouttage continu du lactosérum qui entraîne avec lui une partie des constituants solubles (sel, acide lactique et autres). L'extrait sec maximal enregistré entre les « Bouhezza » de ferme et de fabrications contrôlées est proche, il est de $31,26 \pm 6,05$ et de $35,15 \pm 2,14$ g/100g, respectivement.

Tableau N°16 : Composition physico-chimique du fromage Bouhezza de ferme.

	Durée d'affinage				
	30J (n=3)	40J (n=5)	60J (n=6)	75J (n=4)	90 et plus (n=4)
EST	23,38±2,12	26,32±5,06	29,18±8,32	31,31±7,53	31,26±6,05
MG/EST	31,34±6,34	27,65±7,90	30,86±5,50	34,13±8,01	39,06±8,07
Prot/EST	53,02±9,89	46,44±12,40	54,45±6,98	43,51±14,30	47,07±7,50
TEFD	82,70±1,87	79,42±4,78	77,59±8,23	76,66±7,88	78,53±2,39

n : nombre d'échantillons de « Bouhezza » de ferme.

EST : Extrait Sec Total, **MG** : Matière Grasse, **PRO/EST** : Taux de Protéines rapporté à l'Extrait Sec, **TEFD** : Taux d'Eau dans le Fromage Dégraissé.

D'après AISSAOUI ZITOUN, 2014, concernant la teneur en matière grasse dans le fromage « Bouhezza » de ferme, elle augmente en fonction de la durée d'affinage passant de $27,65 \pm 7,90$ à $39,06 \pm 8,07$ g/100g dans la matière sèche. En parallèle, cette augmentation est confirmée dans les fabrications contrôlées. Du jour 28 au jour 70, le taux du Gras/Sec est passé de $16,24 \pm 6,38\%$ à $35,23 \pm 6,29/100$ g. La période entre 0J et 42 jours a été caractérisée par l'ajout successif d'un L'ben partiellement écrémé. Cependant, et après avoir lancé les ajouts en lait entier, à 42J, le niveau de Gras/Sec a haussé de manière significative. En effet, la Chekoua de Bouhezza, qui est perméable à la phase aqueuse, est complètement imperméable à la matière grasse (Tableau N°17).

Tableau N°17 : Composition physico-chimique du fromage Bouhezza de fabrications contrôlées.

	Durée d'affinage				
	28J	42J	49J	56J	70J
EST	24,97±6,81	25,51±4,58	29,51±0,49	30,04±1,55	35,15±2,14
MG/EST	16,24±6,38	17,84±6,98	21,17±1,11	30,04±3,42	35,23±6,29
Prot/EST	51,2±7,82	56,77±6,69	58,23±8,71	49,24±7,61	52,97±6,02
TEFD	78,32±5,39	78,16±3,27	75,19±0,2	76,89±1,89	74±3,11

EST : Extrait Sec Total, **MG** : Matière Grasse, **PRO/EST** : Taux de Protéines rapporté à l'Extrait Sec, **TEFD** : Taux d'Eau dans le Fromage Dégraissé.

Chapitre III Résultats de l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours d'affinage

Concernant les protéines, la méthode de KJELDAL pour la détermination du taux protéique, C'est une méthode de référence indique le protocole pour la détermination de l'azote, L'échantillon est minéralisé par un mélange d'acide sulfurique et d'un catalyseur. Le minéralisât est distillé à la vapeur après un ajout en excès de soude, afin de libérer l'ammoniac. Le dosage de l'azote est réalisé par réaction acide fort-base faible (HARDING et MARSCHALL, 1998).

Selon AISSAOUI ZITOUN, 2014, la teneur en protéines de fromage « Bouhezza » de ferme par rapport à la matière sèche varie entre $43,51 \pm 14,30$ et $54,45 \pm 6,98$ g/100g. Concernant le fromage « Bouhezza » des fabrications contrôlées, cette teneur est entre $49,24 \pm 7,61$ g/100g et $58,23 \pm 8,71$ g/100g. Ces valeurs montrent que les teneurs en matière grasse et protéines sont variables selon le type et la qualité du fromage.

III.1.2. Composition en acides gras libres du fromage au cours d'affinage

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse (CPG) des acides gras caractérisant les glycérides nécessite leur isolement par saponification et leur conversion en dérivés dont les températures d'ébullition sont abaissées. Les acides gras sont rendus volatils par estérification des groupements carboxyles pour former des esters méthanoliques selon la réaction : $R-COOH + CH_3OH \rightarrow R-COO-CH_3 + H_2O$ (ADRIAN *et al.*, 1998).

D'après AZARNIA *et al.*, 1997, l'acide palmitique était le principal acide gras libre, suivi de l'acide oléique (Figure N°11). Toutefois, le taux d'augmentation des acides gras libres totaux avec le temps en général a diminué avec le temps, en particulier pendant les derniers jours de mûrissement. L'effet inhibiteur des acides gras libres et du NaCl sur l'activité de la lipase était probablement la principale raison pour laquelle restriction à la lipolyse, qui augmente toutes les deux pendant le processus.

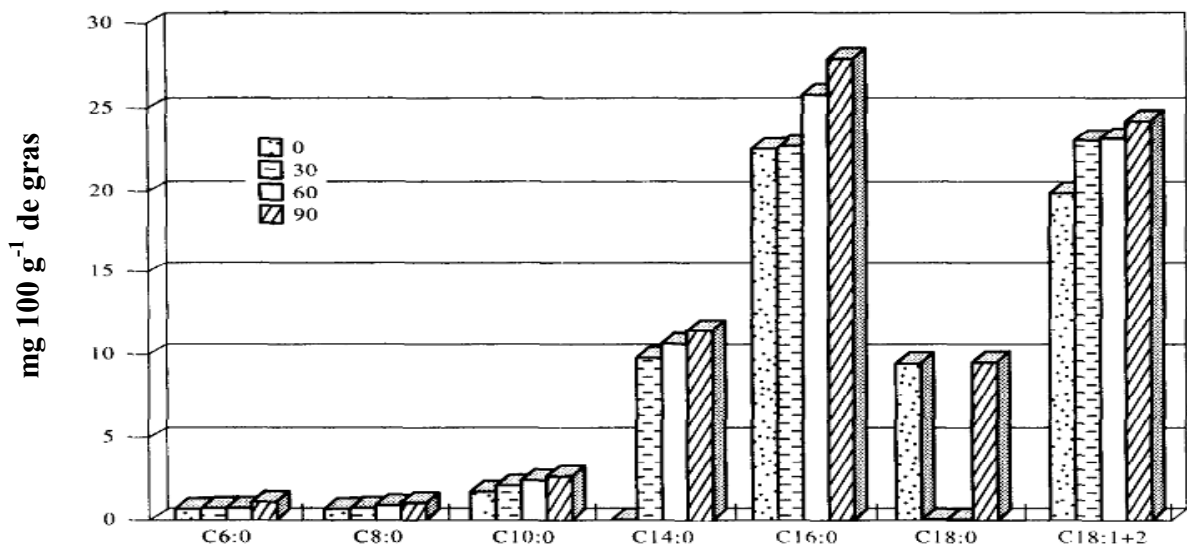


Figure N°11 : Contenu des acides gras libres dans le fromage iranien pendant la maturation (mg 100 g⁻¹ de gras).

Dans l'autre étude, et d'après BUFFA *et al.*, 2001, il n'y avait pas d'augmentation de la concentration en acide gras libre pendant la maturation du fromage de lait pasteurisé (Figure N°12).

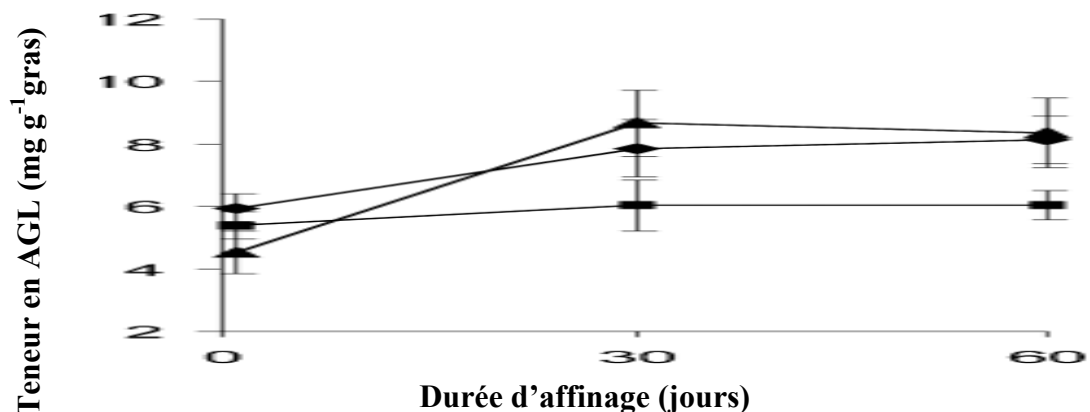


Figure N°12 : Teneur totale en acides gras libres des fromages à base du lait de chèvre cru (◆), lait de chèvre pasteurisé (■) ou traité sous pression (▲).

Tous les fromages montraient un taux réduit de lipolyse à partir du 30^{ème} jour, qui peut être causé par une diminution d'activité enzymatique due à des changements micro-environnementaux (exemple : humidité, pH) dans le fromage (ATTAIE et RICHTER, 1996).

D'après BUFFA *et al.*, 2001, les principales acides gras libres observées dans les trois types de fromages pendant la maturation étaient palmitiques, oléiques, myristiques, capricieux et acides stéariques, représentant ensemble environ 80% du total (Figure N°13).

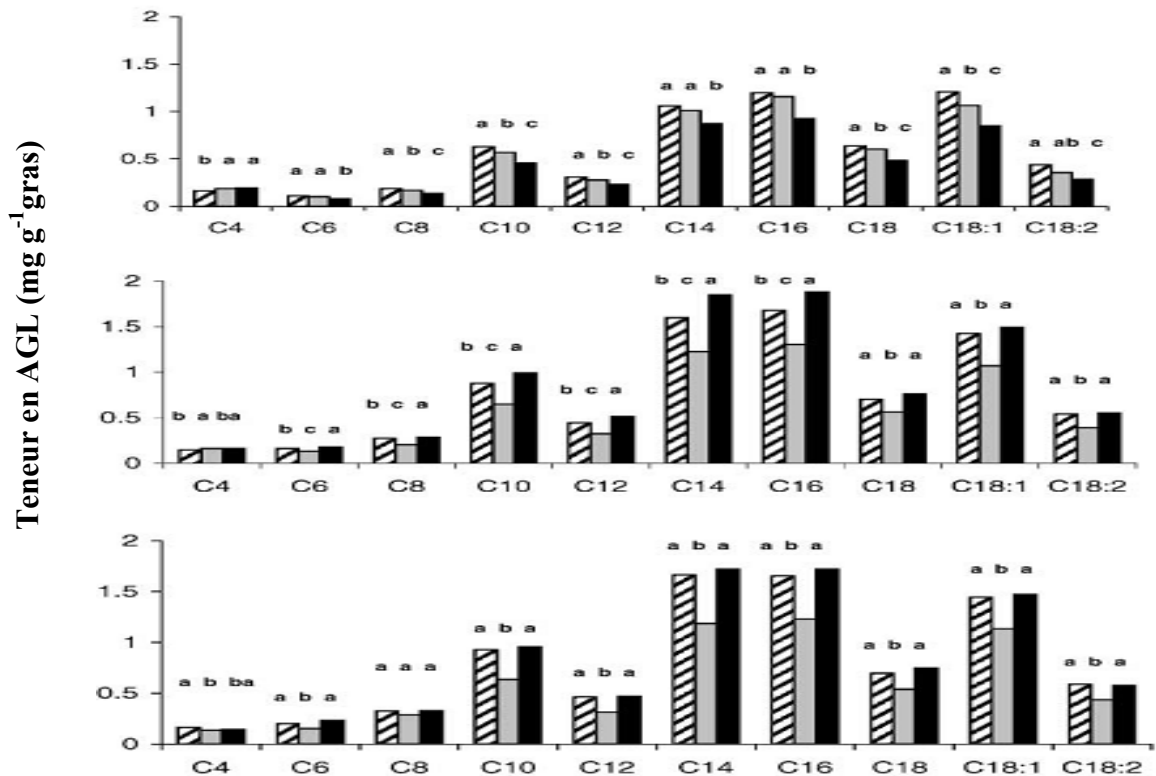


Figure N°13 : Profil d'acides gras libres des fromages à base du lait cru (▨), pasteurisé (▣) ou de chèvre traité sous pression (■) après 1, 30 et 60 jours de maturation.
abc : Les valeurs moyennes de chaque acide gras libre sans exposant commun étaient significativement différentes (P < 0,05).

Selon BUFFA *et al.*, 2001, l'augmentation relative de la concentration en acides gras libres à chaîne courte (C4-C8) durant la maturation était plus élevée, sauf que pour l'acide butyrique, que celle des acides gras libres à chaîne moyenne (C10-C14), qui à son tour était plus élevée que celui des acides gras libres à chaîne longue (C16-C18:2). Cela peut s'expliquer par spécificité de la lipoprotéine lipase du lait et de l'entrée lipases vers acides gras libres situées aux positions sn-1,3 de la triglycéride et, en général, les acides gras à chaîne courte sont principalement estérifiés à la position sn-3. Acide Caproïque dans les fromages au lait de chèvre cru est traité sous pression et l'acide caprylique dans le fromage fabriqué à partir de lait de chèvre pasteurisé était des acides gras libres, qui avaient la plus forte augmentation relative de 60 jours de la maturation, tandis que l'acide butyrique a montré la plus faible relative augmentée dans tous les fromages. La très petite augmentation de l'acide butyrique est probablement due à sa métabolisation en composés aromatiques.

Chapitre III Résultats de l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours d'affinage

D'après MALLATOU *et al.*, 2003, les acides gras libres et l'acide acétique étudiés ont augmenté pendant la maturation, quelque soit le niveau total de lipolyse atteint (Tableau N°18). Ceci dit, on a également signalé une tendance pour la grande majorité des fromages. L'acide acétique n'est pas un produit de la lipolyse, mais elle est principalement le produit d'autres bioproduits des voies, probablement la fermentation du lactate ou métabolisme des acides aminés par les bactéries. Dans le fromage Feta, l'acide acétique est produit au début de la maturation et du lactose est présent même dans les fromages matures, il est donc supposé que l'acide acétique est produit principalement par fermentation de lactate. L'acide acétique était inclus dans cette étude parce qu'il s'agit de l'acide volatil majeur extrait avec acides gras libres et il contribue grandement à la finale saveur de fromage Teleme. L'acide acétique caractérise généralement les fromages marinés (exemple : Feta) avec une pâte dure mais pas rancunière saveur et un arôme typique qui lui est associé.

Tableau N°18 : Changements dans l'acide acétique (C₂) et les acides gras libres individuels (mg kg⁻¹) de fromages Teleme, fabriqués à partir de différents types du lait pendant la maturation et stockage.

AGL	1J				60J				180J			
	LB	LC	LB/LC	LV	LB	LC	LB/LC	LV	LB	LC	LB/LC	LV
C ₂	88±7	91±9	76±3	85±0	308±47	276±41	353±6	371±27	340±20	323±30	358±29	371±42
C ₄	n.d.	n.d.	n.d.	35±0	35±0	35±0	36±2	38±2	43±3	43±4	41±2	45±3
C ₆	n.d.	n.d.	n.d.	30±0	35±0	35±0	35±0	35±0	35±0	38±2	35±0	36±2
C ₈	55±0	60±0	58±2	60±0	55±0	55±0	55±0	55±0	50±0	56±2	55±0	55±0
C ₁₀	26±2	35±0	30±0	32±2	36±2	50±3	46±3	43±2	43±2	70±8	55±5	46±4
C ₁₂	46±3	50±0	46±2	40±0	56±2	55±3	55±3	56±3	65±3	61±3	60±5	70±8
C ₁₄	23±6	25±3	23±2	50±0	58±4	45±5	58±7	101±6	81±8	68±2	73±12	138±19
C ₁₆	73±16	98±7	78±9	205±0	183±14	175±18	196±19	375±25	240±38	213±13	246±42	500±72
C ₁₈	56±9	75±5	61±4	80±5	93±10	93±12	96±8	120±3	105±20	101±4	110±10	143±16
C _{18.1}	61±14	66±7	60±3	117±2	140±18	100±15	121±9	198±16	191±35	123±9	160±27	283±30
C _{18.2}	Trace	Trace	Trace	Trace	73±3	72±2	72±2	Trace	76±3	70±0	77±2	70±0

LB : Lait de Brebis, **LC :** Lait de Chèvre, **LB/LC :** Lait de Brebis à 50% ; Lait de Chèvre à 50%, **LV :** Lait de Vache.

n.d : non détecté.

Les fromages ont varié considérablement au cours des 180 jours de maturation (Figure N°14). Le pourcentage des acides gras libres à chaîne courte y compris l'acide acétique (C2-C8), qui a un impact significatif sur le développement de la caractéristique aromatique du fromage a été augmenté au cours de la première 60 jours de maturation à tous les types de fromages. Le pourcentage des acides gras libres à chaîne moyenne (C10-C14) a diminué à la même vitesse. Contrairement à cela, le pourcentage des acides gras libres à longue chaîne (C16-C18:2) est demeuré assez constant pendant la maturation.

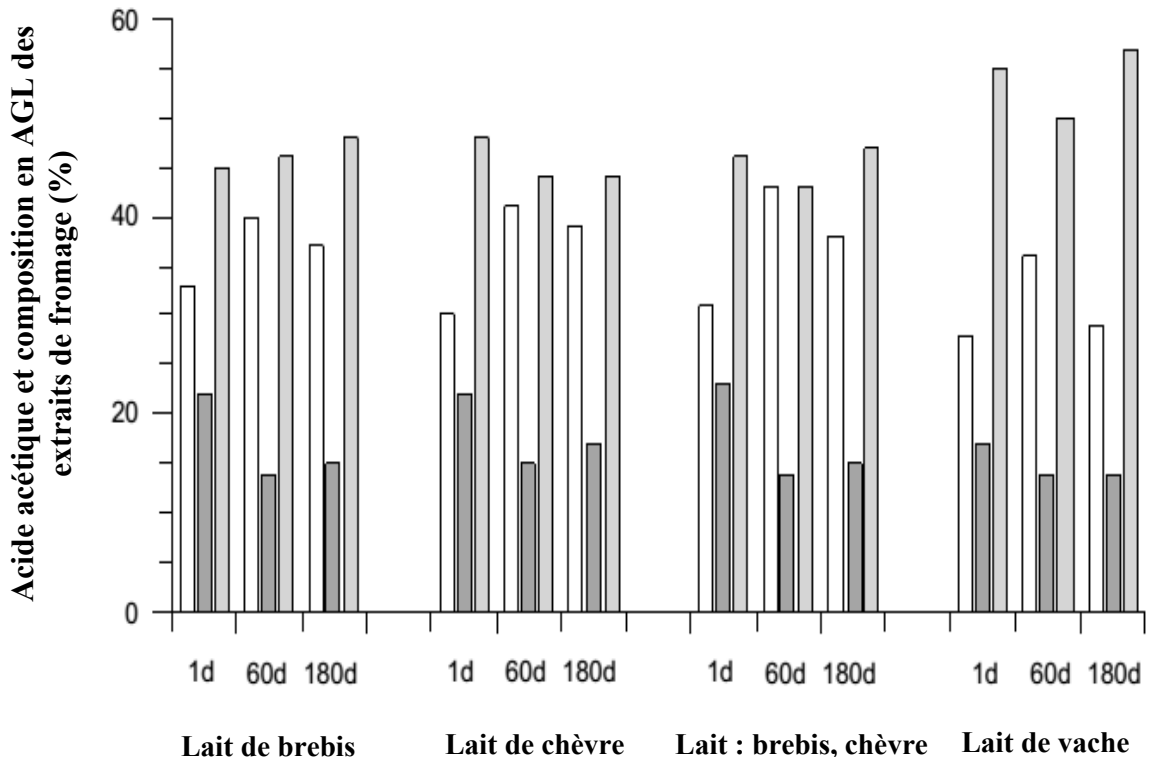


Figure N°14 : Pourcentage de l'acide acétique et des acides gras à chaîne courte (C2-C8), moyenne (C10-C14) et longue (C16-C18:2) du fromage Teleme après 1, 60, 180 jours de maturation. Les valeurs correspondent à la moyenne de trois fromages. (□) C2-C8, (■) C10-C14, (▨) C16-C18:2 (MALLATOU *et al.*, 2003).

Selon AZARNIA *et al.*, 1997, la libération des acides gras est due à l'action de la lipase (lipolyse), parmi les acides gras libres les plus dominants dans le fromage à base du lait de vache sont : l'acide palmitique et l'acide oléique, et aussi d'après BUFFA *et al.*, 2001, les principales acides gras libres observés dans le fromage à base du lait de chèvre sont : acides palmitiques, oléiques, myristiques, capricieux et acides stéariques. Il y a une diminution du taux de la lipolyse à partir du 30^{ème} jour peut être causée par une diminution d'activité enzymatique (activité de la lipase).

D'après MALLATOU *et al.*, 2003, l'acide acétique n'est pas un produit de la lipolyse, mais c'est un produit de la fermentation du lactose ou métabolisme des acides aminés par les bactéries, il joue un rôle d'aromatization du fromage.

CONCLUSION

Dans le présent travail et à travers cette étude rétrospective, portant sur des travaux déjà publiés par des chercheurs nationaux et internationaux sur les caractéristiques physico-chimiques de certains fromages au cours d'affinage, néanmoins les conclusions nées de cette étude :

- Le pH est plus élevé en fin d'affinage ;
- L'acidité lactique élevée dans le fromage a un effet inhibiteur de l'hydrolyse de la matière grasse. Il faut ajouter aussi que la température joue un rôle important dans la lipolyse ;
- La maturation des fromages implique clairement une série très complexe d'événements interdépendants, ce qui entraîne l'évolution de la saveur et de la texture caractéristiques de la variété de fromage ;
- L'évolution de la texture des fromages est généralement attribuée à la protéolyse ;
- À noter que les bactéries lactiques peuvent aussi avoir un effet négatif sur la qualité des fromages : l'hydrolyse de la caséine peut libérer des peptides amers ;
- En général, la teneur totale en acides gras libres a augmenté pendant la maturation dans tous les fromages analysés et l'augmentation relative est plus marquée en chaîne courte qu'à longue chaîne ;
- Les résultats des travaux publiés montrent que la lipolyse s'est produite pendant la maturation du fromage, aboutissant à la production de la plupart des acides gras à chaîne courte et longue ;
- L'activité lipolytique forte et intense durant la maturation était évidente d'après les résultats publiés ;
- Les acides gras libres ont fourni des informations plus utiles sur l'âge du fromage ;
- Cette étude comparative indique un taux plus élevé de protéolytiques et d'activité lipolytique dans les fromages affinés ;
- Le mûrissement du fromage est un processus complexe qui comprend la décomposition du caillé par protéolyse, lipolyse et autres réactions catalysées par les enzymes qui provoquent des changements de goût et de texture typiques des différentes variétés. Les processus enzymatiques sont responsables de la production d'un nombre considérable de composés qui, en raison de leur présence, de leur concentration et de leurs proportions sont souvent caractéristiques de certains types de fromage. En ce qui concerne l'évaluation de la lipolyse, la plupart des études ont porté sur la détermination des acides gras libres, qui sont le dernier produit des réactions hydrolytiques ;

- Affiner des fromages lactiques a pour objectif de différencier la gamme de fromages par une commercialisation à différents stades d'affinage.

Ce travail représente une approche de l'étude de maturation du fromage à base du lait de vache.

Cette étude donne des résultats encourageants pour de futurs travaux élargis à l'étude de la lipolyse et de la protéolyse fromagère.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- ACKER, L. W. Les phénomènes microbiologiques et enzymatiques de la biologie de l'affinage. **In** : Le fromage. 3^{ème} édition, Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 1996, p.19-27.

- ADRIAN, J. POTUS, J et FRANGNE, R. La science alimentaire de A à Z. 3^{ème} édition. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 2003, 579 p.

- ADRIAN, J. POTUS, J. POIFFAIT, A et DAUVILLIER, P. Introduction à l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaires. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 1998, 254 p.

- AISSAOUI ZITOUN, O. Fabrication et caractérisation d'un fromage traditionnel algérien « Bouhezza ». Thèse doctorat en sciences alimentaires, Spécialité : Sciences Alimentaires. Constantine : Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (INATAA). 2014. 160 p.

- ALAIS, C. LINDEN, G et MICLO, L. Biochimie alimentaire. 6^{ème} édition de l'abrégé. Masson, Paris : DUNOD. 2008, 260 p.

- AMIOT, J. FOURNIER, S. LEBEUF, Y. PAQUIN, P. SIMPSON, R et TURGEON, H. Composition, propriétés physico-chimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait. **In** : VIGNOLA, C. L. Science et technologie du lait, transformation du lait. Editrice scientifique. Canada : école polytechnique de Montréal (Québec), 2002, p.1-30.

- ATTAIE, R et RICHTER, R. L. Formation of volatile free fatty acids during ripening of Cheddar-like hard goat cheese (en ligne). Journal of science, 1996, vol 79, N°5, p.717-724. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (13/08/2020).

- AZARNIA, S. EHSANIB, M.R et MIRHADI, S.A. Evaluation of the Physico-Chemical Characteristics of the Curd During the Ripening of Iranian Brine Cheese (en ligne). Free Islamic University, Varamin, Iran Food Science and Technology Department, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran "Animal Husbandry Research Institute, Karaj, Iran, 1997, N°7, p.273-278. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (01/05/2020).

- BACHTARZI, N. AMOURACHE, L et DEHKAL, G. Qualité du lait cru destiné à la fabrication d'un fromage à pâte molle type camembert dans une laiterie de Constantine (Est Algérien) (en ligne). International Journal of Innovation and Scientific Research, 2015, Vol 17, N°1, p.34-42. Disponible sur : www.ijias.issr-journals.org/ consulté le (19/06/2020).

- BARRAL, J. BÄRTSCHI, C. GAÜZERE, Y. ANGLADE, P. ALLUT, G et ROBERT, C. Les micro-organismes intervenant dans l'affinage des fromages à pâte lactique (en ligne). Isebell GUIGUE, institut de l'élevage, 2016, 28 p. Disponible sur : www.bergers-fromagers.org/ consulté le (30/08/2020).

- BOURGEOIS, C. M. MESCLE, J. F et ZUCCA, J. Microbiologie alimentaire, Tome I : « Aspects microbiologiques de la sécurité et de la qualité des aliments ». Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 1996, 672 p.
- BOUTROU, R. GAUCHERON, F. PIOT, M. MICHEL, F. MAUBOIS, J. L et LEONIL, J. Changes in the composition of juce expressed from Camembert cheese during repining (en ligne). Lait. Elsevier, Paris : INRA, 1999, vol 79, N°5, p.503-513. Disponible sur : www.dairy-journal.org/ consulté le (13/08/2020).
- BUFFA, M. GUAMIS, B. PAVIA, M et TRUJILLO, A. J. Lipolysis in cheese made from raw, pasteurized or high-pressure treated goats' milk (en ligne). Spain : Elsevier, 2001, vol 11, p.175-179. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (17/05/2020).
- CARON, A. ST-GELAIS, D et POULIOT, Y. Coagulation of milk enriched with ultrafiltered or diafiltered, microfiltered milk retentate powders (en ligne). Quebec, Canada : Elsevier. Science, International Dairy journal, 1997, vol 7, p.445-451. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (12/06/2020).
- COLLOMB, C et SPAHNI, M. Revue des méthodes de dosage des acides gras libres dans le lait et les produits laitiers (en ligne). Suisse : Lebensm.-Wiss. u.-Technol, 1995, vol 28, p.255-379. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (30/02/2020).
- DAS, S. HOLLAND, R. CROW, V. L. BENNETT, R. J et MANERSON, G. J. Effect of yeast and bacterial adjuncts on the CLA content and flavor of a washed-curd, dry-salted cheese (en ligne). International Dairy journal, 2005, vol 15, p.807-815. Disponible sur : www.researchgate.net/ consulté le (03/09/2020).
- DUDEZ, P. SIMON, D et FRANÇOIS, M. Transformer les produits laitiers frais à la ferme. Editions EDUCARGRI, 2002, 237 p.
- ECK, A. Le Fromage. 3^{ème} édition. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 1990, 890 p.
- FAYE, B et LOISEAU, G. Sources de contamination dans les filières laitières et exemples de démarches qualité. Gestion de la sécurité des aliments dans les pays en développement. Actes de l'atelier international, Montpellier, France, 2002, p.11-13.
- GAÜZERE, Y. ANGLANDE, P. ALLUT, G. ROBERT, C. BARRAL, J et BÄRTSCHI, C. L'affinage généralités. Collection : L'essentiel, 2016. 26 p.
- GEM RCN. Spécification technique de l'achat public laits et produits laitiers (en ligne). Groupe d'Etude des Marchés de Restauration Collective et de Nutrition (GEM RCN), 2009, 47 p. Disponible sur : www.economie.gouv.fr/ consulté le (16/08/2020).
- GOUDEDRANCHE, H. CAMIER-CAUDRON, B. GASSI, J. Y et SCHUCK, P. Procédés de transformation fromagère (partie 1). **In** : Techniques de l'ingénieur : filière de production. Paris : Techniques de l'ingénieur, 2006, vol F 6 305, p.1-15.

- GRÄDING, S. CHARDIGNY, J. M et SEBEDIO, J. L. Le lait et ses constituants : biodisponibilité et valeur nutritionnelle : lipides. **In** : DEBRY, G. Lait, nutrition et santé. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 2001, p.105-114.

- GRAPPIN, R. Les fromages : science, tradition et innovation (en ligne). 1998, vol 177, p.16-19. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (16/08/2020).

- HARDING, F et MARSCHALL, K. R. Terminology for milk protein fractions. Bulletin, International Dairy Federation, 1998, N°329, p.30-31.

- HERMIER, J. LENOIR, J et Weber, F. Les groupes microbiens d'intérêt laitier. CEPIL, Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 1992, 568 p.

- JAKOB et HÄNNI. Fromageabilité du lait. Edition, Agroscope Liebefeld Posieux, 2004, Groupe de discussions N° 17F.

- JEANTET, R. CROGUENNEC, T. MAHAUT, M. SCHUCK, P et BRULE, G. Les produits laitiers. 2^{ème} édition. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 2008, 185 p.

- KIRAT, S. Les conditions d'émergence d'un système d'élevage spécialisé en engraissement et ses conséquences sur la redynamisation de l'exploitation agricole et la filière des viandes rouges bovines : Cas de la Wilaya de Jijel en Algérie. Montpellier, France : CIHEAM-IAMM, 2007, 139 p.

- LAWRENCE, R. C. CREAMER, L. K et GILLES, J. Texture development during cheese ripening, Symposium : cheese ripening technology (en ligne). Journal of Dairy Science. New Zealand, 1987, Vol 70, N°8, p.1748-1760. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (13/08/2020).

- LEGRAET, Y et BRULE, G. Migration des macro et oligo-éléments dans un fromage à pâte molle type Camembert (en ligne). Lait, Paris : INRA, 1988, vol 68, N°2, p.219-234. Disponible sur : www.dairy-journal.org/ consulté le (13/08/2020).

- LE MENS, P. Guide pratique pour la conception et aménagement des fromageries fermières. Paris : ITOVIC, 1985, 135 p.

- LORIENT, D. Influence des traitements technologiques sur les propriétés nutritionnelles du lait. **In** : DEBRY, G. Lait, nutrition et santé. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 2001, p.191-194.

- LUQUET, F. M. Lait et produits laitiers : vache, brebis et chèvre : les produits laitiers, transformation et technologie. Tome 2, 2^{ème} édition. Paris : Tec et Doc, 1990, 658 p.

- MAHAUT, M. JEANTET, R et BRÛLÉ, G. Initiation à la technologie fromagère. Edition : Tec et Doc, 2000, 194 p.

- MALLATOU, H. PAPPA, E et MASSOURAS, T. Changes in free fatty acids during ripening of Teleme cheese made with ewes, goats, cows or a mixture of ewes and goats milk (en ligne). Greece : Elsevier, 2003, vol 13, p.211-219. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (13/07/2020).
- MATHIEU, J. Initiation à la physico-chimie du lait. Paris : Tec et Doc, 1998, 220 p.
- MIETTON, B. Incidence de la composition des fromages au démoulage et des paramètres d'environnement sur l'activité des agents de l'affinage. Revue des ENIL, 1995, 189 p.
- MIETTON, B. DESMAZEAUD, M. DE ROISSART, H et WEBER, F. Transformation du lait en fromage. **In** : Les Bactéries Lactiques II. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 1994, p.19-27.
- MCSWEENEY, P. L. H et JOSE SOUSA, M. Biochemical pathways for the production of flavor compounds in cheeses during ripening: A review (en ligne). Department of Food Science and Technology, University College, Cork, Ireland, 2000, vol 80, p.293-324. Disponible sur : www.dairy-journal.org/ consulté le (13/07/2020).
- MINISTRE DE L'ÉCONOMIE, LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE ET LE MINISTRE DE LA SANTE ET DE LA POPULATION. Section I : le lait. Arrêté interministériel du 29 Safar 1414 correspondant au 18 août 1993 relatif aux spécifications et à la présentation de certains laits de consommation. Journal officiel N°69 du 27 Octobre 1993, p.16.
- MINISTÈRE DU COMMERCE, DIRECTION GÉNÉRALE DU CONTRÔLE ÉCONOMIQUE ET DE LA RÉPRESSION DES FRAUDES, DIRECTION DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET D'ANALYSES DE LA QUALITE, SOUS-DIRECTION DES PROCÉDURES ET DES MÉTHODES OFFICIELLES D'ANALYSES. Méthodes officielles d'analyses physico-chimiques et microbiologiques. Arrêté du 17 décembre 2013 rendant obligatoire la méthode de détermination de la teneur en matière grasse dans le fromage. Journal officiel N°67 du 12 novembre 2014, p.67-70.
- NOBLET, B. Le lait : produits, composition et consommation en France. Cahiers de nutrition et de diététique (en ligne). France : Elsevier. Masson, 2012, N°47, p.242-249. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (27/02/2020).
- OUALI, S. Qualité du fromage a pâte molle type Camembert fabriqué à la laiterie de Draa Ben Khedda : nature de la matière première et évaluation de l'activité protéolytique au cours de l'affinage et de l'entreposage réfrigéré du fromage. Mémoire de magister en sciences alimentaires, Option : Nutrition Appliquée. Constantine : Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (INATAA). 2003. 88 p.
- PEREZ PACHECO, F et BUCIO GALINDO, A. Microbial safety of raw milk cheeses traditionally made at a pH below 4.7 and with other hurdles limiting pathogens growth. **In** : MENDEZ-VILAS, A. current resarch, Technology and Education Topics in Applied

- Microbiology and Microbial Biotechnology. México, 2010, p.1205-1216. Disponible sur : www.semanticscholar.org/ consulté le (12/08/2020).
- PINHO, O. MENDES, E. ALVES, M. M et FERREIRA, I. M. P. L. V. O. Chemical, Physical, and Sensorial Characteristics of « Terrincho » Ewe Cheese : Changes During Ripening and Intravarietal Comparison (en ligne). American : Dairy Science Association, 2004, vol 87, N°2, p.249-257. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (01/05/2020).
- POUGHEON, S et GOURSAUD, J. Le lait : caractéristiques physico-chimiques. **In** : DEBRY, G. Lait, nutrition et santé. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 2001, p.6-30.
- PRADAL, M. La transformation fromagère caprine fermière, bien fabriqué pour mieux valoriser ses fromages de chèvre. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 2012, 295 p.
- REMEUF, F. COSSI, N. DERVI, N. et TOMASSON, R. Relation entre les paramètres physico-chimiques du lait et son aptitude fromagère. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 1991, 549 p.
- RICHONNET, C. Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus. Cahiers de nutrition et de diététique (en ligne). France : Elsevier. Masson, 2015, p. 2-5. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (27/02/2020).
- SCHLESSNER, J. E. SCHMIDT, S. J et SEKMAN, R. Characterization of chemical and physical changes in Camembert cheese during ripening (en ligne). Journal of Dairy Science, vol 75, N°7, 1992, p.1753-1760. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (08/08/2020).
- SILAIT (Salon international du lait). Acte du 1^{er} salon international du lait et de ses dérivés du 27 au 29 mai 2008 Alger. Disponible sur : www.agroligne.com/ou-se-rencontrent-ils/algerie/22292-silait-2008-1er-salon-international-du-lait.html/ consulté le (04/09/2020).
- SLIMANI, N. NORAT, T. HIETANEN, E. VAINIO, H et RIBOLI, E. Lait et santé : lait et cancer. **In** : DEBRY, G. Lait, nutrition et santé. Lavoisier, Paris : Tec et Doc, 2001, p.291.
- ST-GELAIS, D. TIRARD-COLLET, P. BELANGER, G. COUTURE, R et DRAPEAU, R. Fromage. **In** : VIGNOLA, Carole L. Science et technologie du lait, transformation du lait. Editrice scientifique. Canada : école polytechnique de Montréal (Québec), 2002, p.349-402.
- VIERLING, E. Aliments et boissons, filières et produits. 3^{ème} édition Biosciences et techniques. Paris : DOIN, 2008, 277 p.

- VILAIN, A. C. Qu'est-ce que le lait ? What's milk? (en ligne). France : Elsevier. Masson, 2010, p.124-127. Disponible sur : www.sciencedirect.com/ consulté le (27/02/2020).

- WALTHER, B. SCHMID, A. SIEBER, R et WEHRMULLER, K. Cheese in nutrition and health (en ligne). Switzerland : INRA, EDP Sciences, Review.Dairy Sci Technol, 2008, vol 88, p.389-405. Disponible sur : www.dairy-journal.org/ consulté le (12/06/2020).

Thème : Évolution des paramètres physico-chimiques des fromages au cours d'affinage : Cas des fromages des laits de vache

Membre de jury

Présidente : Dr. BENHAMADA W.

Examineur : Dr. BOUJERDA J.

Encadreur : Dr. LAGGOUNE S.

présenté par :

M^{me} ABDALLA Amel

M^{elle} BELKHALFA Nadia

M^r BENZIADA Abdelaali

Résumé

Les fromages à base de lait cru sont produits par différentes entreprises dans divers pays du monde. Ils subissent, sous l'action des enzymes naturelles et microbiennes, des transformations physico-chimiques.

Les résultats physico-chimiques collectés à partir des études déjà publiées sur le fromage affiné, montrent que le pH des fromages affinés est entre 3 et 4. La plupart des fromages affinés sont généralement riches en matière sèche (42,72-47 g/100g) et, par conséquent, riches en matières grasses (20,50-23g/100g) et en protéines (15,50-19,50g/100g) et faibles en lactose/lactate (4,74±0,23g/100g et 6,93±3,26g/100g de l'EST des fromages d'expérimentation).

Parmi les acides gras à chaîne allongée, le palmitique était présent en quantités plus élevées, allant de 205mg/kg à 500±72mg/kg, suivi d'un acide oléique allant de 117±2mg/kg à 283±30mg/kg. Cette augmentation est en fonction de la durée d'affinage et aussi le type de lait. L'acide acétique représentait de 85mg/kg à 371±42mg/kg, c'est un produit de la fermentation du lactose ou métabolisme des acides aminés par les bactéries, il joue un rôle d'aromatization du fromage. L'augmentation relative de la concentration d'acides gras libres à courte chaîne (C2-C8) était plus élevée, que celle des acides gras libres à chaîne moyenne (C10-C14), qui à son tour était plus élevé que celui des acides gras libres à chaîne longue (C16-C18:2).

Mots clés : Lait de vache, Fromage, Analyses physico-chimiques, Fromage affiné.

Abstract

Raw milk cheeses are produced by different businesses in various countries around the world. They undergo physico-chemical transformations under the action of natural and microbial enzymes.

Physico-chemical results collected from previously published studies on refined cheese show that the pH of refined cheeses is between 3 and 4. Most refined cheeses are generally rich in dry matter (42,72-47g/100g) and therefore fat-rich (20,50-23g/100g) and protein (15,50-19,50g/100g) and lactose-weak lactose/lactate (4,74±0,23g/100g and 6,93±3,26g/100g from the total dry extract of experimental cheeses).

Palmitic was present in the highest amounts of elongated chain fatty acids, ranging from 205mg/kg to 500±72mg/kg, followed by oleic acid from 117±2mg/kg to 283±30mg/kg. This increase is based on the length of maturing and also the type of milk. Acetic acid was 85mg/kg to 371±42mg/kg, a product of the fermentation of lactose or metabolism of amino acids by bacteria, it plays a role in cheese aromatization. The relative increase in the concentration of short-chain free fatty acids (C2-C8) was higher than that of medium-chain free fatty acids (C10-C14), which in turn was higher than that of long-chain free fatty acids (C16-C18:2).

Keywords : Cow's milk, Cheese, Physico-chemical analyzes, Refined cheese.

ملخص

إن مختلف أنواع الجبن التي تعتمد على الحليب الخام، فهي تنتج من قبل عدة شركات في بلدان مختلفة من العالم، و تخضع تحت تأثير الإنزيمات الطبيعية والميكروبيولوجية لتحويلات فيزيائية كيميائية مختلفة.

تبين النتائج الفيزيائية الكيميائية التي جمعناها من الدراسات التي تم نشرها على الجبن الطازج، أن درجة حموضة الجبن الطازج تتراوح ما بين 3 إلى 4. وإن معظم أنواع الجبن الطازج تكون غنية بالمادة الجافة (42-47, 72) غرام/100 غرام وأيضاً غنية بالدهون (20, 50) غرام/100 غرام والبروتينات (15, 50-19, 50) غرام/100 غرام وكمية منخفضة من اللاكتوز/لاكتات (4, 74) ± 0, 23 غرام/100 غرام و6, 93 ± 3, 26 غرام/100 غرام من المادة الجافة للجبن).

من بين الأحماض الدهنية طويلة السلسلة، والموجود بنسبة عالية حمض البالميتيك بكميات تتراوح ما بين 205مغ/كغ إلى 500±72مغ/كغ، يليه حمض أوليك بنسبة تتراوح ما بين 117مغ/كغ و 283مغ/كغ. وهذه الزيادة لها علاقة بفترة النضج و نوع الحليب. حمض الاسيتيك يمثل 85مغ/كغ إلى 371 ± 42 مغ/كغ، وهو مادة تنتج عن تخمر اللاكتوز أو أيض الأحماض الأمينية من طرف البكتيريا. و يلعب دوراً في تطير الجبن. الزيادة في تركيز الأحماض الدهنية قصيرة السلسلة (C2-C8) أعلى من الأحماض الدهنية متوسطة السلسلة (C10-C14) التي كانت هي الأخرى بدورها أعلى من الأحماض الدهنية طويلة السلسلة (C16-C18:2).

كلمات البحث : حليب البقرة، الجبن، التحاليل الفيزيائية الكيميائية، الجبن الطازج.