

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
جامعة امحمد بوقرة بومرداس
Université M'Hamed Bougara Boumerdès



Faculté de Technologie
Département Génie des procédés
Mémoire De Fin D'études

En vue d'obtention de diplôme de Master II en Génie des Procédés
Spécialité : Génie Alimentaire

Thème :

**La fabrication d'un fromage à pâte pressée non-cuite
type « Gouda » à base de lait de vache au niveau de la
laiterie-fromagerie de BOUDOUAOU**

Présentée par :

M^{lle} Kheddache Sara

Soutenu le 16 septembre 2020 devant le jury :

Président : Mr. Megdoud	MCA	UMBB
Examineur: Mr. Zidani	MCB	UMBB
Promoteur: Mr. Benakmoum	MCA	UMBB

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciement

Avant tout, je remercie le Dieu de m'avoir donné le courage, la patience et la volonté pour achever ce modeste travail.

Mon vif remerciement et profonde gratitude s'adressent à mon promoteur Mr. Benakmoum., qui a accepté de m'encadrer, je le remercie infiniment pour sa grande patience, ses encouragements, son aide et ses conseils judicieux, durant la réalisation du présent travail.

Je tiens à remercier les membres du jury Mr.Zidani pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail et Mr. Megdoud pour avoir accepté de présider le jury.

Dédicace

D'abord je remercie Allah le tout puissant

Je dédie ce travail

♥ A mon cher Papa ♥

A mon père **Sadek Kheddache**, qui m'a appris que la patience est le Secret du succès. Qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

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

Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation. Je t'aime papa et j'implore le tout-puissant pour qu'il t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

♥ A ma chère mère ♥

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que tu as consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu me portes depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puise Dieu, le Très Haut, vous accorder la santé, bonheur et longue vie.

♥ A mes chères sœurs et mon cher frère ♥

A notre héros, à mon cher et seul Frère Yassine merci pour tout ce que tu as fait pour nous, ton aide et ton encouragement pour nous.

A mes chères sœurs ; Imane, Radia, Meriem, Rahma. Merci pour votre soutien et pour votre encouragement à moi.

A mes neveux : Adam, Mehdi, Wassim.

A ma nièce : notre princesse Amira.

Je vous aime 

 **A ma famille** 

À tous les membres de ma famille maternelle Aoudache surtout ma chère tante Rabiaa. Et ma famille paternelle Kheddache.

 **A mes amies et amis** 

A mes plus chères amies : Nour el Houda, Imane, Lydia.

Et a toute la promotion master génie alimentaire 2018-2020.

Résumé

Ce travail est porté sur la fabrication du fromage à pâte pressée non cuite type « Gouda » ainsi que le suivi des caractéristiques physico-chimique au cours du processus de fabrication. Cette étude a permis de révéler la consistance des paramètres physico-chimiques étudiés (acidité, MG, EST, humidité) du gouda qui sont conformes aux normes exigées par le journal officiel n° 35, 1998.

Les fromages à pâte pressée non cuite obtenus, présente ressemblance sur le plan gout et odeur. Néanmoins certaines différences ont été constatées au niveau de la couleur, la texture, la salinité et le rendement.

A la fin, il s'est avéré que le fromage à pâte pressée non cuite type « Gouda » fabriqué à la Laiterie-Fromagerie Boudouaou, présente une bonne qualité organoleptique grâce à la bonne méthode de fabrication et les analyses caractéristiques physico-chimique au cours du processus de fabrication.

Mots clés : lait de vache, analyse physico-chimie, fromage gouda.

Abstract

This work is focused on the production of pressed uncooked cheese such as "Gouda" as well as the monitoring of the physico-chemical characteristics during the manufacturing process. This study has revealed the consistency of the studied physico-chemical parameters (acidity, fat content, TSE, humidity) of Gouda cheese which are in conformity with the standards required by the official journal n° 35, 1998.

The uncooked pressed cheeses obtained, present similarity in terms of taste and smell. Nevertheless, some differences have been found in color, texture, salinity and yield.

At the end, it was found that the pressed uncooked cheese type "Gouda" produced at the Boudouaou Dairy Cheese Factory, presents a good organoleptic quality thanks to the good manufacturing method and the physico-chemical characteristic analyses during the manufacturing process.

Key words: cow's milk, physico-chemical analysis, Gouda cheese.

LISTE DES ABREVIATIONS

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

HDF : Taux d'Humidité dans le fromage dégraissé.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

MGES : Matière grasse laitière dans l'Extrait Sec.

Kcals : Kilo Calories.

H₃O⁺ : Ion hydronium.

°D : Degré Dornic.

pH: Potentiel hydrogène.

T° : Température.

°C : Degré Celsius.

CO₂:Dioxyde de carbone.

Ca / P : Calcium / Phosphore.

Mg⁺⁺ : Magnésium.

Ca⁺⁺ : Calcium.

% : Pourcentage.

g : gramme

l : litre

Kg : kilogramme

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1 : Quantité des lipides du lait de vache.

Tableau n°2 : Composition du lait en minéraux.

Tableau n°3 : Teneur moyenne par litre en vitamines hydrosolubles et liposolubles dans le lait.

Tableau n°4 : Composition moyenne du lait de vache.

Tableau n°5 : Caractéristiques physico-chimique du lait de vache.

Tableau n°6 : Compositions moyenne des principaux fromages pour 100 gr de produit frais.

Tableau n°7 : Composition moyenne comparée du lait et de fromage.

Tableau n°8 : l'apport énergétique (Calories) de 100 grammes de gouda et les nutriments qui entrent dans sa composition.

LISTE DES FIGURES

Figure n°1 : Représentation schématique de la micelle de caséine.

Figure n°2 : Transformation du lait en fromage.

Figure n°3 : Classification didactique des fromages.

Figure n°4 : Les familles des fromages à partir d'un caillé lactique.

Figure n°5 : Les familles des fromages à partir d'un caillé mixte (HFD* : Taux d'humidité dans le fromage dégraissé).

Figure n°6 : La teneur en matières grasses du gouda48+.

Figure n°7 : Technologie de fabrication du gouda.

Figure n°8 : Procédé de fabrication du gouda.

Présentation de l'unité Laiterie Fromagerie de Boudouaou « L F B » :

L'unité de production du lait et les dérivés laitiers boudouaou appartient à l'office régional du lait et produit laitiers du centre (**OROLAC**).

La laiterie fromagerie de boudouaou est une société par action avec un capital social de deux –cent millions de dinars (200 000 000 DA), située à l'entrée de la ville de boudouaou dans la wilaya de Boumerdès (à environ 40 km d'Alger).sa superficie est de 80.000 m2. Elle a comme activité principale la production et commercialisation des laits de produits laitiers.

Elle a été créée dans les années 70 par un particulier, sous le nom société de fromage de la Mitidja « SOFROMI ». Elle a été spécialisée dans la fabrication des fromages, mais après sa nationalisation en 1975 et son intégration au patrimoine de L'ONALAIT, l'unité est devenue l'unité de production laitière UPL02.

1957 : construction de l'unité de boudouaou.

1978 : entrée de production

1987 : création des altères de poudre de laits instantanée et d fromage fondu stériliser

1998 : mis en service d'une station d'épuration de l'eau usée l'unité de production est constituée de cinq atelier :

- ✓ Atelier de production de lait pasteurise
- ✓ Atelier d production de fromage fondu pasteuriser (en barre, portion)
- ✓ Atelier d production de fromage stérilise.
- ✓ Atelier d production de fromage de type EDAM
- ✓ Atelier de production de fromage de type GOUDA

Elle dispose aussi :

- ✓ Des magasins pour le stockage de matière première (cheddar, poudre de lait).
- ✓ Une salle de préparation de l'emballage.
- ✓ Un laboratoire d'analyse et de contrôle de qualité.
- ✓ Chambre froide.

L'unité de « laiterie fromagerie » de boudouaou assure la production de :

- ✓ Lait pasteurisé conditionné de 01 litre ;
- ✓ Lait acidifiée fermenté « LBEN » de 01 litre ;
- ✓ Fromage fondu pasteurisé en portion (240g) ;
- ✓ Fromage non cuit à pâte pressée (EDAM) (boule d 01 kg) ;
- ✓ Fromage non cuit à pate pressée (GOUDA) (boule de 01kg)
- ✓ Fromage fondu stérilisé, en boîte métallique de 200g.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Présentation de l'unité Laiterie Fromagerie de Boudouaou « L F B » :

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur le lait	
I. Le lait	3
I.1 Définition du lait	3
I.2 Composition du lait	3
I.3 Variations dans la composition du lait	13
I.4 Quelques caractéristiques physico-chimiques du lait	15
I.5 Qualité organoleptique du lait	16
Chapitre II : Généralités sur le fromage	
II. Le fromage	18
II.1 Définition du fromage	18
II.2 Historique	18
II.3 Composition du fromage	19
II.4 Valeurs nutritionnelles des fromages	21
II.5 Les agents de transformation du lait	22
II.6 Classification des fromages	23
II.7 Les types de fromage	25
II.8 Principales étapes de la fabrication du fromage	30
III. Fromage Gouda	33
III.1 Histoire	33
III.2 Définition du fromage Gouda	34
III.3 Facteurs essentiels de qualité et de composition	34
III.4 Les différents types de fromage gouda	37
III.5 Valeur Nutritionnelle	39
III.6 Processus de fromage Gouda	41
III.7 Age	44

Chapitre III : Partie Expérimentale

IV.	Méthodes.....	45
IV.1	Technique de prélèvement du lait.....	45
IV.2	Analyses physico-chimiques du lait	45
IV.3	Préparation du fromage de type « GOUDA »	47
IV.4	Evaluation de la qualité du fromage fabriqué	49
Conclusion		52
Références Bibliographiques		53

Depuis des milliers d'années, le lait est présent dans de nombreuses civilisations de par le monde. Il représente un symbole de vie, de pureté et d'abondance. Au point de vue nutritionnelle il n'est pas considéré comme une boisson mais comme un aliment.

Les laits de consommation sont différenciés par leur composition nutritionnelle, dont la teneur en matière grasse, ainsi que par le type de traitement qu'ils subissent pour assurer leur conservation. Le lait qui sort du pis de la vache contient environ 3,9 % de matière grasse, soit 39g par litre. A la laiterie, cette teneur peut être modifiée par l'écémage. Le lait est un liquide constitué d'une émulsion de globules de matière grasse dans une phase aqueuse comprenant de l'eau, des protéines, des sels minéraux et des vitamines hydrosolubles.

Aujourd'hui, l'industrie agro-alimentaire occupe une place importante dans le monde. Le consommateur recherche des aliments sains, faciles à préparer pour satisfaire ses besoins.

Le lait par sa grande qualité nutritionnelle, a toujours été considéré comme un aliment à part entière, mais sa consommation a souvent été limitée en raison de sa grande instabilité. L'irrégularité de la production, par son caractère saisonnier et la grande fragilité du produit a incité les producteurs à développer des formes d'apport des éléments essentiels du lait ; c'est ainsi que sont apparues les premières préparations fromagères (**MAHAUT et al, 2000**).

Le fromage a toujours été une valeur sûre de l'alimentation humaine. C'est le résultat d'une transformation du lait très ancienne. Source précieuse de protéines, il a été l'un des premiers moyens de conservation du lait, matière première rapidement périssable. Cependant, la coagulation du lait et l'égouttage du caillé qui en résulte n'offrent qu'une stabilité relative et variable selon les fromages qui sont des produits laitiers « vivants » (**BOUTONNIER, 2000**).

Parmi les fromages les plus connus au monde, on retrouve les types gouda. Originaire de Hollande, c'est un fromage très ancien, car déjà fabriqué au VI^e siècle dans de petites fermes aux alentours du village de Gouda. On en trouve aujourd'hui dans le monde entier.

Le gouda (en néerlandais *Goudse kaas*, « fromage de Gouda ») est un fromage de Hollande qui doit son nom à un petit port (Gouda), où il était traditionnellement commercialisé. Il s'agit d'un fromage à pâte pressée non cuite réalisé avec du lait de vache entier issu de vache de race Holstein, lorsqu'il est « fermier ». Originaire du Pays-Bas, il peut, de nos jours, être fabriqué partout dans le

Introduction générale

monde. Depuis 2010, le "Gouda Holland" vendu en Union Européenne doit toutefois nécessairement être produit au Pays-Bas.

Le Gouda prend la forme d'une petite meule circulaire à flanc convexe de 26 à 30 cm de diamètre pour 7,5 cm de haut. Son poids varie de 3 à 5 kg.

Plusieurs variantes de Gouda existent : 81 % des fromages sont blancs, les autres sont de couleur jaune, rouge ou orange. Il existe nature mais également en version aromatisé au cumin, au carvi ou encore au clou de girofle.

Son goût prononcé se développe avec sa maturation : jeune, il a un léger goût fruité alors que le gouda vieux devient riche et moelleux en bouche.

A cet effet, nous nous sommes intéressés à travers ce travail, au fromage à pâte pressée non cuite type « Gouda », fabriqué au niveau de la Laiterie - Fromagerie de BOUDOUAOU (L.F.B) et conditionné sous forme de blocs. par l'analyse de certains paramètres physicochimiques et microbiologiques du produit fini, dans le but d'évaluer sa qualité et sa texture.

I. Le lait

I.1 Définition du lait

Le lait a été défini en 1908, au cours du Congrès International de la Répression des Fraudes à Genève comme étant :

« Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de colostrum » (Alais, 1975).

Le (*Codex Alimentarius, 1999*), le définit comme étant la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite obtenue à partir d'une ou plusieurs traites, sans rien y ajouter ou en soustraire, destiné à la consommation comme lait liquide ou à un traitement ultérieur.

Selon (*Deforges, et al., 1999*), le lait cru est un lait non chauffé au-delà de 40°C ni soumis à un traitement non thermique d'effet équivalent notamment du point de vue de la réduction de la concentration en micro-organismes.

I.2 Composition du lait

Le lait de vache est un lait caséineux. Sa composition générale est représentée au tableau n°4. Les données sont des approximations quantitatives, qui varient en fonction d'une multiplicité de facteurs : race animale, alimentation et état de santé de l'animal, période de lactation, ainsi qu'au cours de la traite. Il reste que la composition exacte d'un échantillon de lait ne peut s'obtenir que par analyse. (*Roudaut, et al., 2005*)

I.2.1 L'eau

L'eau est l'élément quantitativement le plus important : 900 à 910 g par litre. En elle, sont dispersés tous les autres constituants du lait, tous ceux de la matière sèche. (*Mathieu, 1998*)

I.2.2 Matière grasse

La matière grasse ou taux butyreux représente 25 à 45 g par litre. (*Luquet, 1985*) Elle est constituée par 98,5% de glycérides (esters d'acide gras et de glycérol), 1% de phospholipides polaires et 0,5% de substances liposolubles cholestérol, hydrocarbures et vitamines A, D, E, et K. (*Goursaud, 1985*)

La matière grasse est dispersée en émulsion, sous forme de microgouttelettes de triglycérides entourées d'une membrane complexe, dans la phase dispersante qu'est le lait écrémé (**Boutonnier, 2008**)

Cet état globulaire est fragile ; toute altération de la membrane par voie chimique, physique et microbienne conduit à la déstabilisation de l'émulsion. Cette évolution peut être accidentelle, elle se traduit alors le plus souvent par une séparation de la phase grasse sous forme d'huile ou d'agrégats et/ou par l'apparition de saveurs indésirables (rancidité-oxydation) ; lorsqu'elle est dirigée, elle permet la concentration de la phase grasse sous forme de beurre après barattage, ou sous forme d'huile de beurre et de matière grasse laitière anhydre après chauffage et centrifugation (**Madji, 2009**)

Les lipides (fraction saponifiable) constituent donc l'essentiel de la matière grasse (>98%).

La composition lipidique du lait comprend deux grands groupes : (**Cayot, et al., 1998**)

- Les lipides simples (les glycérides)
- Les lipides complexes (les phospholipides).

Tableau n°1 : Quantité des lipides du lait de vache (**Cayot, et al., 1998**)

Acides gras	Quantité (%)
Acide gras saturé	67 – 68
Acides gras mono- insaturés	24 – 25
Acides gras polyinsaturés	4 – 5
Rapport acide gras saturés/ acide gras insaturés	>2

1.2.3 Matière azotée

La matière azotée du lait englobe deux groupes, les protéines et les matières non protéiques qui représentent respectivement 95% et 5% de l'azote minéral du lait (**Goursaud, 1985**) Les protéines se répartissent en deux phases : une phase micellaire et une phase soluble. La phase micellaire représente la caséine totale (environ 80% des protéines du lait) du lait. Elle est formée par quatre protéines individuelles :

- Alpha-caséines ou caséines α_{s1} 36 % et α_{s2} 10 %
- Bêta-caséine ou caséine β 34 %

- Kappa-caséine ou caséine κ 13 %
- Gamma-caséines ou caséine γ 7 % (produits de la protéolyse de la β -caséine) (Goy, et al., 2005)

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers. (Lankveld, 1995)

Les protéines du lait représentent 95% des matières azotées totales. Les 5% restants sont constitués. (Eigel, et al., 1984)

- D'acides aminés libres et de petits peptides.
- D'azote non protéique, essentiellement de l'urée (0,3 à 0,4 g/L) mais aussi de la créatinine, de l'acide urique, ... Les protéines sont constituées soit d'acides aminés seulement (β -lactoglobuline, α -lactalbumine), soit d'acides aminés et d'acide phosphorique (caséines α et β) avec parfois encore une partie glucidique (caséine κ). Une vingtaine d'acides aminés interviennent dans la composition de ces protéines, leur séquence conférant à chaque protéine des propriétés propres. C'est sur la base de la précipitation à pH 4,6 (à 20°C) ou sous l'action de la présure qu'on sépare deux constituants : là ou plutôt les caséines (α , β , γ et κ) et les protéines solubles ou protéines du lactosérum. (Cayot, et al., 1998)

Les protéines du lait forment un ensemble assez complexe constitué de : (Whitney, et al., 1976)

- 80% de caséines.
- 20% de protéines solubles.

Ces protéines ont des origines différentes :

- 90% des protéines du lait sont synthétisées par la mamelle (et sont spécifiques du lait), les caséines sont entièrement synthétisées par la mamelle, les lactoglobulines sont des protéines sanguines modifiées par la mamelle.
- 10% des protéines du lait (sérum albumines, immunoglobulines) proviennent directement du sang.

I.2.3.1 Caséines

Les caséines sont des polypeptides phosphorés associés à des constituants minéraux, en particulier le calcium, mais aussi le phosphore, le magnésium et le citrate, de manière à former des micelles de phospho-caséinate de calcium. En présence de calcium, elles forment des unités qui agrègent plusieurs milliers de molécules, constituant les micelles de caséine dispersée dans la phase hydrique du lait (diamètre variant de 100 à 250 μm). Cette configuration spatiale permet aux enzymes hydrolytiques (carboxypeptidases) une digestion plus aisée. (Lenoir, 1985)

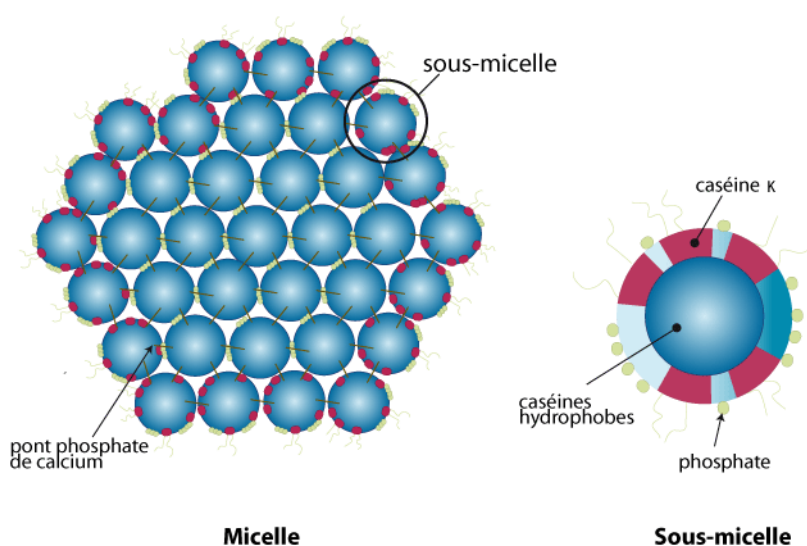


Figure n°1 : Représentation schématique de la micelle de caséine (Walstra, 1999)

I.2.3.2 Protéines solubles ou protéines du lactosérum

Le lactosérum, autrefois appelé « petit lait », est un co-produit de l'industrie fromagère et de la préparation des caséinates. Il est constitué de la phase aqueuse du lait contenant l'ensemble des éléments solubles du lait. Cette phase hydrique contient donc des petites molécules telles que le lactose, des vitamines hydrosolubles, des nucléotides, des acides aminés libres, des sels minéraux. Le lactosérum peut être obtenu par deux procédés permettant la séparation des caséines : la coagulation acide ou le processus enzymatique agissant grâce à la présure ou à la chymosine. (Lankveld, 1995)

I.2.3.3 Transformations chimiques des protéines

La structure complète des protéines qu'elles soient présente dans le sérum ou en suspension sous forme de micelles, peut être modifiée selon le traitement utilisé en transformation alimentaire. Ces traitements affectent les différentes liaisons chimiques qui maintiennent cette structure en place, ainsi, ils provoquent des changements plus ou moins importants et il en résulte des modifications de leur propriété de solution ou de suspension colloïdale. (Cheftel, et al., 1984)

I.2.3.4 Effet de l'acidification et de l'acidité

- a. L'acidification du lait touche particulièrement les caséines. Une légère acidification modifie suffisamment leur structure micellaire. (Lankveld, 1995)

Lorsque l'acidification atteint un pH de 4,65, les micelles perdent complètement leur structure par dissolution totale du calcium micellaire. Dès lors, les caséines sont dénaturées et perdent leur propriété de suspension colloïdale. Les protéines subissent alors un étirement, peuvent s'enchevêtrer et forme un gel. (Lankveld, 1995)

- b. Dès sa sortie du pis de la vache, le lait démontre une certaine acidité. Cette acidité est due principalement à la présence des protéines, surtout les caséines et la lactalbumine, de substances minérales tels que les phosphates et le CO₂, et d'acides organiques, le plus souvent l'acide citrique. On l'appelle l'acidité apparente ou acidité naturelle du lait. Elle varie entre 0,13 et 0,17% d'équivalent d'acide lactique. (VIGNOLA, 2002)

I.2.3.5 Effet de la présure

L'addition de la présure au lait provoque sa coagulation par hydrolyse de la K caséine située en périphérie de la micelle ; la présure est un mélange d'enzymes protéolytiques, principalement la chymosine et une quantité variable de pepsine. (Pien, 1975)

Cette coagulation commence par l'agrégation de petites micelles, puis se complète par l'agrégation des plus grosses micelles et formera le gel de para caséine. L'addition de sels de calcium permettra de former des ponts phosphate de calcium entre les para-caséines et un gel beaucoup plus ferme de type présure. (Lenoir, 1985)

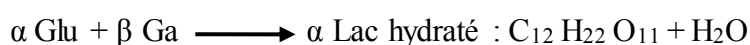
I.2.3.6 Effet de sels

L'équilibre ionique est très important dans la stabilité de la suspension colloïdale des caséines et dans la stabilité de la solution colloïdale des protéines du sérum. Puisque les micelles de caséines sont chargées négativement au pH du lait (6,6 – 6,8), l'ajout d'ions positifs bivalents comme Ca²⁺

ou Mg^{2+} peut provoquer la formation de ponts phosphate de calcium entre les micelles et favoriser leur agrégation. Par contre, l'adduction de sels contenant des phosphates PO_4^{3-} ou des citrates lors de traitements thermiques puisque ces ions négatifs ont la possibilité de séquestrer le Ca^{++} et Mg^{++} , ce qui limite l'association des différentes protéines. **(Cheftel, et al., 1984)**

I.2.4 Les glucides

Le sucre principal du lait est le lactose ; c'est aussi le composé prépondérant de la matière sèche totale. Sa teneur s'élève en moyenne à 50g par litre. C'est un disaccharide constitué par de l' α ou β glucose uni à du β galactose, ce qui est à l'origine de la présence de 2 lactoses : **(Luquet, 1985)**



Le lactose est fermentescible par de nombreux micro-organismes et il est à l'origine de plusieurs types de fermentations pouvant intervenir dans la fabrication de produits laitiers **(Morrissay, 1995)**.

- Fermentation lactique : due aux bactéries lactiques naturelles ou ajoutées (ferments lactiques) qui utilisent le lactose en le transformant en acide lactique. Cette fermentation lactique est souvent accompagnée d'une production plus au moins grande de substances secondaires (ex. diacétyle) responsables de l'arôme des produits laitiers **(Gordon, et al., 1991)**.
- Fermentation propionique : due aux bactéries propioniques qui transforment le lactose en acide propionique et en acide acétique responsables de la saveur des fromages à pâte cuite et en gaz carbonique induisant l'ouverture de ces fromages **(Luquet, 1985)**
- Fermentation butyrique : par des bactéries du genre *Clostridium* qui utilisent l'acide lactique déjà produit en le transformant en acide butyrique, responsable d'odeurs putrides et de goût piquant, et en gaz carbonique et hydrogène. Ces substances induisent le gonflement tardif des fromages, en particulier à pâte cuite.
- Fermentation alcoolique : due à des levures qui hydrolysent le lactose en glucose et galactose et qui transforment ensuite le glucose en alcool éthylique. Cette fermentation est utilisée en particulier dans la fabrication du kéfir, boisson issue de la fermentation du lait, contenant peu d'alcool et légèrement gazeuse.

A température élevée, le lactose participe avec les protéines à des réactions de brunissement non enzymatique pouvant altérer la couleur des laits stérilisés **(Alais, 1975)**

1.2.5 Matière minérale

La matière minérale du lait (7g à 7,5g/l) est fondamentale d'un point de vue nutritionnel et technologique. Il est possible de doser les matières minérales ou cendres du lait par une méthode de calcination à 550°C (Luquet, 1985)

Les minéraux sont présents, soit en solution dans la fraction soluble, soit sous forme liée dans la fraction insoluble (ou colloïdale). Certains minéraux se trouvent exclusivement à l'état dissous sous forme d'ions (sodium, potassium et chlore) et sont particulièrement biodisponibles. Les ions calcium, phosphore, magnésium et soufre existent dans les deux fractions (Mathieu, 1998)

Il existe un équilibre entre les formes solubles et colloïdales, d'une part, et entre les formes ionisées et non dissociées d'autre part. Cet état est précaire parce qu'il est sensible à divers facteurs, notamment au pH, à la température, et à la concentration ou à l'addition de calcium. Toute altération de ces équilibres modifie la stabilité du lait, notamment les propriétés de la caséine native.

En raison de la présence concomitante de lactose et de phosphopeptides (produits d'hydrolyse de la caséine), les minéraux sont, de tous les éléments du lait, ceux qui sont les mieux adsorbés et retenus. A cet égard, le rapport calcium/phosphore (Ca/P) du lait de vache (voisin de 1,2), bien qu'inférieur à celui du lait maternel (voisin de 2,2), est de loin supérieur à celui des autres denrées alimentaires, faisant du lait une excellente source de calcium et un bon correctif des rations pauvres en calcium (FAO, 1995).

Tableau n°2 : Composition du lait en minéraux (Juillard, et al., 1996).

Minéraux	Teneur (mg/kg)	Minéraux	Teneur (mg/kg)
Sodium (Na)	445	Calcium (Ca)	1180
Magnésium (Mg)	105	Fer (Fe)	0,50
Phosphore (P)	896	Cuivre (Cu)	0,10
Chlore (Cl)	958	Zinc (Zn)	3,80
Potassium (K)	1500	Iode (I)	0,28

I.2.6 Oligo-éléments

Leurs teneurs en oligo-éléments dans le lait varient fortement mais, au-delà de certaines limites, elles sont l'indice d'une contamination du lait et présentent un caractère toxique pour la santé et/ou nuisible en technologie laitière. Les teneurs en oligo-éléments du lait sont seulement indicatives, dans la mesure où elles subissent l'influence de divers facteurs (alimentation, stade de lactation, etc.) et dépendent aussi des méthodes utilisées. (**Adrian, 1987**)

I.2.7 Biocatalyseurs

I.2.7.1 Enzymes

Ce sont des substances organiques de nature protidique, produites par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Plus de 60 enzymes principales ont pu être isolées du lait ou dont l'activité a été déterminée. La moitié d'entre elles sont des hydrolases (**Blanc, 1982**) (**Pougheon, 2001**).

Ces enzymes peuvent jouer un rôle très important en fonction de leurs propriétés :

- Lyses des constituants originels du lait ayant des conséquences importantes sur le plan technologique et sur les qualités organoleptiques du lait (lipases, protéases). Ainsi, on distingue des protéases originelles du lait ; la plasmine est le composant majoritaire (elle provient du sang et migre via la glande mammaire), et des protéases d'origine microbienne. Le genre *Pseudomonas* et tout particulièrement l'espèce *Pseudomonas fluorescens*, synthétise des protéases exocellulaires thermostables. Il est également à souligner que dans les laits de mammites, le nombre de cellules somatiques peut être considérablement accru, le niveau de protéolyse est nettement plus élevé que dans les laits normaux (**Miranda, 1986**)
- Rôle antibactérien, elles apportent une protection au lait (lactoperoxydase et lysozyme).
- Indicateurs de qualité hygiénique (certaines enzymes sont produites par des bactéries et des leucocytes), de traitement thermique (phosphatase alcaline, peroxydase, acétylsterase, sont des enzymes thermosensibles) et d'espèces (test de la xanthine-oxydase pour détecter le lait de vache dans le lait de chèvre) (**Pougheon, 2001**)

I.2.7.2 Vitamines

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

On classe les vitamines en deux grandes catégories :

- Les vitamines hydrosolubles (vitamines du groupe B et vitamine C) de la phase aqueuse du lait et
- Les vitamines liposolubles (vitamines A, D, E, et K) associées à la matière grasse, certaines sont au centre du globule gras et d'autres à sa périphérie (Debry, 2001).

Tableau n°3 : Teneur moyenne par litre en vitamines hydrosolubles et liposolubles dans le lait (Luquet, 1985)

Groupes de vitamines	Types de vitamines	Teneur moyenne/l
Vitamines liposolubles	- Vitamine A	500 - 1000 UI
	- Vitamine D	15 - 20 UI
	- Vitamine E	1 - 2 mg
	- Vitamine K	0.02 - 0.2 mg
Vitamines hydrosolubles	- Vitamine B1	0,01 - 0.1 mg
	- Vitamine B2	0.8 - 3 mg
	- Vitamine PP	1 - 2 mg
	- Vitamine B6	2 - 1 mg
	- Acide pantothénique	2 - 5 mg
	- Vitamine B12	1- 8 µg
	- Vitamine C	10 - 20 µg

Tableau n°4 : Composition moyenne du lait de vache (Alais C, 2008)

	Composition (g/L)	Etat physique des composants
Eau	905	Eau libre (solvant) plus eau liée (3,7%)
Glucides (lactose)	49	Solution
Lipides	35	Emulsion des globules gras (3 à 5 µm)
Matière grasse proprement dite	34	
Lécithine (phospholipides)	0,5	
Insaponifiable (stérols, carotènes, tocophérol)	0,5	
Protides	34	Suspension micellaire phosphocaséinate
Caséine	27	de calcium (0,08 à 0,12 µm)
Protéines solubles (globulines, 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	
Du chlorure de sodium (NaCl)	1,7	
Constituants divers (Vitamines, enzymes, gaz dissous)	Traces	
Extrait sec total	127	
Extrait sec non gras	92	

I.3 Variations dans la composition du lait

Le lait qui arrive à l'usine, constitue une matière première dont la composition n'est pas fixe. Ce caractère rend donc l'utilisation de cette matière première assez difficile, diminue les rendements et modifie les caractères organoleptiques des produits finis.

Deux grands types de variation existent, au stade de l'animal et au stade du traitement du lait. La composition chimique du lait et ses caractéristiques technologiques varient sous l'effet d'un grand nombre de facteurs **(Stoll, 2003)**

Ces principaux facteurs de variation sont bien connus. Ils sont soit intrinsèques liés à l'animal (facteurs génétiques, stade de lactation, état sanitaire, etc.), soit extrinsèques liés au milieu et à la conduite d'élevage (saison, climat, alimentation). Cependant, si les effets propres de ces facteurs ont été largement étudiés, leurs répercussions pratiques sont parfois plus difficiles à interpréter compte tenu de leurs interrelations **(Wolter, 1988)**

I.3.1 Facteurs intrinsèques

I.3.1.1 Facteurs génétiques

On observe des variations importantes de la composition du lait entre les différentes races laitières et entre les individus d'une même race. D'une manière générale, on remarque que les fortes productrices donnent un lait plus pauvre en matières azotées et en matière grasse. Ces dernières sont les plus instables par rapport au lactose **(Veisseyre, 1975)**

Jakob et Hänni en 2004, notent l'existence de variants génétiques A et B issus des mutations ponctuelles. Ces derniers donnent des protéines différentes qui ne se distinguent que par l'échange d'un ou deux acides aminés. Les variants génétiques des protéines du lait, notamment ceux de la caséine κ (κ -Cn) et de la β -lactoglobuline (β -Lg), influencent la composition du lait et certains critères de productivité des vaches. **(Jakob, et al., 2004)**

I.3.1.2 Stade de lactation

Au cours de la lactation, les quantités de matière grasse, de matières azotées et de caséines évoluent de façon inversement proportionnelle à la quantité de lait produite. Les taux de matière grasse et de matières azotées, élevés au vêlage, diminuent au cours du premier mois et se maintiennent à un niveau minimal pendant le deuxième mois.

Ils amorcent ensuite une remontée jusqu'au tarissement. L'amplitude de variation est généralement plus importante pour le taux butyreux que pour le taux protéique.

Les laits de fin de lactation présentent les mêmes caractéristiques des laits sécrétés par les animaux âgés. En outre, les deux taux, protéique et butyreux, ont tendance à diminuer au cours des lactations successives. (Meyer, et al., 1999).

I.3.1.3 Age et nombre de vêlage

(Veisseyre, 1979), montre que la quantité de lait augmente généralement du 1er vêlage au 5eme, puis diminue sensiblement et assez vite à partir du 7eme.

Le vieillissement des vaches provoque un appauvrissement de leur lait, ainsi la richesse du lait en matière sèche tend à diminuer. Ces variations dans la composition sont attribuées à la dégradation de l'état sanitaire de la mamelle ; en fonction de l'âge, le nombre de mammites croît et la proportion de protéines solubles augmente en particulier celles provenant du sang. (Mathieu, 1985)

I.3.1.4 Etat sanitaire

Lors d'infection, il y a un appel leucocytaire important qui se caractérise par une augmentation de comptage cellulaire induisant des modifications considérables dans la composition du lait.

(Badinand, 1994)

Les mammites sont les infections les plus fréquentes dans les élevages laitiers. Elles sont à l'origine d'une modification des composants du lait avec pour conséquence, une altération de l'aptitude à la coagulation des laits et du rendement fromager. (Toureau, et al., 2004)

I.3.2 Facteurs extrinsèques

I.3.2.1 Alimentation

L'alimentation joue un rôle important ; elle permet d'agir à court terme et de manière différente sur les taux de matière grasse et de protéines. En effet, selon Coulon et Hoden en (1991), le taux protéique varie dans le même sens que les apports énergétiques, il peut aussi être amélioré par des apports spécifiques en acides aminés (lysine et méthionine). Quant au taux butyreux, il dépend à la fois de la part d'aliment concentré dans la ration, de son mode de présentation et de distribution (finesse de hachage, nombre de repas, mélange des aliments). (Coulon, et al., 1991)

I.3.2.2 Saison et climat

L'effet propre de la saison sur les performances des vaches laitières est difficile à mettre en évidence compte tenu de l'effet conjoint du stade physiologique et des facteurs alimentaires.

(Coulon, et al., 1991)

A partir des travaux réalisés par Spike et Freeman en (1967) cité par Coulon et al. En (1991), il a été montré que la production laitière est maximale au mois de juin et minimale en décembre. A l'inverse, les taux butyreux et protéique du lait sont les plus faibles en été et les plus élevés en hiver. Chez des vaches de type pie noire, ils atteignent 3g/Kg pour le taux butyreux et près de 2g/Kg pour le taux protéique. (Coulon, et al., 1991)

I.4 Quelques caractéristiques physico-chimiques du lait

I.4.1 La densité

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)

I.4.2 L'acidité de titration ou acidité Dornic

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

C'est la raison pour laquelle on distingue l'acidité naturelle, celle qui caractérise le lait frais, d'une acidité développée issue de la transformation du lactose en acide lactique par divers microorganismes. (CIPCLait, 2011)

On exprime couramment l'acidité d'un lait en degrés Dornic ; ce dernier étant le nombre du dixième de millilitre de soude utilisée pour titrer 10 millilitres de lait en présence de phénolphtaléine.

Deux laits peuvent avoir le même pH et des acidités titrables différentes et inversement. C'est dire qu'il n'y a pas de relation d'équivalence réelle entre le pH et l'acidité de titration. (Dieng, 2001)

I.4.3 Le point de congélation

Le point de congélation du lait est l'une de ses caractéristiques physiques les plus constantes. Sa valeur moyenne, si l'on considère des productions individuelles de vache, se situe entre -0,54 °C et -0,55°C. (Mathieu, 1998)

La mesure de ce paramètre permet l'appréciation de la quantité d'eau éventuellement ajoutée au lait. Un mouillage de 1% entraîne une augmentation du point de congélation d'environ 0,0055°C. (Goursaud, 1985)

I.4.4 Le pH

Le pH renseigne précisément sur l'état de fraîcheur du lait. Un lait de vache frais a un pH de l'ordre de 6,7. S'il y a une action des bactéries lactiques, une partie du lactose du lait sera dégradée en acide lactique, ce qui entraîne une augmentation de la concentration du lait en ions hydronium (H_3O^+) et donc une diminution du pH, car :

$$pH = \log 1 / [H_3O^+]$$

A la différence avec l'acidité titrable qui elle mesure tous les ions H^+ disponibles dans le milieu, dissociés ou non (acidité naturelle + acidité développée), reflétant ainsi les composés acides du lait. (CIPCLait, 2011) Un lait mammitique, contenant des composés à caractéristiques basiques, aura un $pH > 7$ et le colostrum un pH voisin de 6. (Luquet, 1985)

Tableau n°5 : Caractéristiques physico-chimique du lait de vache (Alais, 1984)

Constantes	Valeurs extrêmes
Densité du lait à 20°C	1,028 - 1,033
pH à 20°C	6,6 - 6,8
Acidité titrable	15 – 17
Point de congélation (°C)	-0,520 -0,550
Viscosité du lait entier à 25 °C	1,6 - 2,1
Point d'ébullition (°C)	100,17 - 100,1
Odeur et Saveur	Salé – Sucré
Couleur	Blanc -jaunâtre

I.5 Qualité organoleptique du lait

L' aspect, l' odeur, la saveur, la texture sont les paramètres organoleptiques qui caractérisent la qualité du lait, et se trouvent en relation intime avec les propriétés et la perception de la qualité par le consommateur. (Rheotest, 2010)

I.5.1 Couleur

Le lait est de couleur blanc mat, qui est due en grande partie à la matière grasse, aux pigments de carotène (la vache transforme le β -carotène en vitamine A qui passe directement dans le lait).

(Fredot, 2005)

Dans le lait les lipides se trouvent sous forme de globules de matière grasse et les protéines sous forme de micelles de caséines. Ces agrégats diffractent la lumière et dispersent les rayons lumineux sans les absorber. **(Reumont, 2009)**

I.5.2 Odeur

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

I.5.3 Saveur

La saveur du lait normal frais est agréable. Celle du lait acidifié est fraîche et un peu piquante.

Les laits chauffés (pasteurisés, bouillis ou stérilisés) ont un goût légèrement différent de celui du lait cru. Les laits de rétention et de mammites ont une saveur salée plus ou moins accentuée. Peut transmettre au lait des saveurs anormales en particulier un goût amer. La saveur amère peut aussi apparaître dans le lait par suite de la pullulation de certains germes d'origine extra-mammaire. **(Thieulin, et al., 1967)**

I.5.4 Viscosité

La viscosité du lait est une propriété complexe qui est particulièrement affectée par les particules colloïdes émulsifiées et dissoutes. La teneur en graisse et en caséine possède l'influence la plus importante sur la viscosité du lait. La viscosité est une caractéristique importante de la qualité du lait, étant donné qu'une relation intime existe entre les propriétés rhéologiques et la perception de la qualité par le consommateur. **(Rheotest, 2010)**

II. Le fromage

II.1 Définition du 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, 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., 2007)

Les fromages sont produits par la coagulation d'un produit laitier assortie d'un égouttage. De la matière grasse d'origine laitière peut être éventuellement ajoutée. La coagulation suivie d'égouttage correspond aux méthodes traditionnelles. (Leyral, 2003)

Le fromage, selon la norme du *codex Alimentarius* (STAN A-6 – 1978 Amendé en 2006) ; est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi dure, dure ou extra dure obtenu après coagulation du lait, lait écrémé, lait partiellement écrémé, crème, crème de lactosérum ou babeurre, seuls ou en combinaison, 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. (St-Gelais, et al., 2002)

II.2 Historique

Le lait se consomme à l'état nature, et 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, de l'ancien français « formage » (du latin *formaticus*, c'est à-dire fait dans une forme). (St-Gelais, et al., 2002)

La première utilisation d'un fromage comme aliment est inconnue. Les ethnologues tiennent la preuve que l'homme connaît depuis longtemps le phénomène de coagulation du lait. Cependant,

l'origine exacte de la transformation du lait en fromage est incertaine. On s'entend pour dire que le fromage serait originaire du Sud-Ouest Asiatique et daterait d'environ 8000 ans. (St-Gelais, et al., 2002)

II.3 Composition du fromage

Malgré des points communs avec le lait, il existe des différences dues aux divers procédés de fabrication. Le poids sec varie avec l'intensité de l'égouttage et teneur en matières sèches.

-du lait : 12 à 13% ; -du fromage frais : 25% ; -du fromage à pâte dure : 65%

Lors de l'égouttage, il y a élimination plus ou moins grande de substance soluble : Ca^{++} et autres (solubles), modifications subies par le fromage au cours de la maturation, disparition progressive des vitamines A, etc. Les vitamines comme les sels minéraux, sont plus concentrées à la périphérie des fromages surtout dans le fromage à moisissures internes. (Apfelbaum)

La synthèse de vitamine (B_2 , PP) par les micro-organismes responsables de la maturation de fromage au voisinage de la croûte, une partie d'une vitamine synthétisée va migrer vers l'intérieur du fromage. La caséine est en partie, partiellement transformée en peptone et en acides aminés.

(Apfelbaum)

Tableau n°6 : Compositions moyenne des principaux fromages pour 100 gr de produit frais.

(Michel, 2000)

Type de Fromage Composition	Fromage frais	Fromage à pâte molle à croûte fleurie	Fromage à pâte molle à croûte lavée	Fromage à pâte pressée non cuite
Eau (gr)	76	50	50	40
Energie (Kcal)	118	310	310	355
Glucides (gr)	4	4	4	3
Lipides (gr)	7.5	24	24	24
Protéines (gr)	8.5	20	20	28
Calcium (mg)	100	400	450	700
Phosphore (mg)	140	250	320	360
Vitamines A (u.I)	170	1010	IND	IND

Tableau n°7 : Composition moyenne comparée du lait et de fromage. (ALAIS, 1993)

Le composant	Lait	Fromage
Eau	Environ 87%	-Éliminée en partie par la fabrication. Teneur en eau : 50% pour la pâte molle.
Glucides	-lactose 5 % Les ferments lactique transforme le lactose en acide lactique, ce sucre peut être également transformé en alcool.	- Pratiquement éliminé avec l'eau par la fabrication.
Lipides	-Environ 4% Sous forme des globules gras très petit en émulsion dans le liquide	- Ce trouvent dans la majorité des fromages sauf dans les fromages maigres : 23% fromage à pâte molle. 30% fromage à pâte dure.
Protéines	-environ 3.5%. Les plus importante en qualité sont les caséines : 3% Les protéines de sérum sont aussi non négligeables.	- Les caséines coagulant avec la présure, c'est l'élément essentiel de tous les fromages : 18 % fromage à pâte molle.
Minéraux	-Très intéressante valeur minérale car très riche en calcium et en phosphore. Le calcium étant abondant que le phosphore. -contient aussi potassium et chlorure de sodium. - pas de fer.	- Grande richesse en calcium et en phosphore. - Plus au moins riche en chlorure de sodium selon leur fabrication.
Vitamines	- B1 en petite quantité. - B2 assez importante. - C en quantité variable dans le lait, mais pratiquement détruite au contact de l'air durant les	- Les fromage à pâte molle sont de bonne source de vitamine B, du fait des synthèses réalisées par les moisissures. - A ce trouve dans le fromage selon la teneur en matières grasses.

	manipulations, le transport, la pasteurisation Et l'ébullition. - A en quantité importante dans la matière grasse. - D en quantité variable selon la saison.	
--	---	--

II.4 Valeurs nutritionnelles des fromages

L'intérêt des fromages présente de nombreux points communs avec celui du lait. Toutefois, leur fabrication s'accompagne de modification de composition et de valeur nutritionnelle. En plus d'être une source de divers éléments nutritifs comme de vitamines et des protéines d'excellente qualité, les fromages, surtout ceux à pâte ferme et dure, contiennent une grande quantité de calcium. (Amiot, et al., 2002)

Le fromage est à la fois un aliment protecteur pour l'adulte et un aliment de croissance pour le jeune, du fait de la présence de protéides de valeur biologique élevée, et du complexe phosphore calcium vitamine. Il est généralement beaucoup mieux accepté que le lait et sa digestion est plus facile. (TREMOLIERE, et al., 1984)

II.4.1 Valeur énergétique

La teneur calorique des différents fromages varie de 100 kcal pour 100 g de fromage frais à 350 kcal environ pour 100 g de fromage à pâte pressée. Avec une teneur en lactose faible, l'essentiel des calories provient des lipides. (DILLON, et al., 1997)

II.4.2 Source de lipides

L'onctuosité de la pâte du fromage est de sa teneur en lipides. Lors de la maturation, sous l'influence des lipases microbiennes se forment des acides gras libres par lipolyse. Ces acides gras libres représentent 0,25 % de la matière grasse du camembert frais et passe à 6,4% après formation de l'arôme.

Les lipides du lait (triglycérides, phosphoglycérides, sphingosines) se trouvent dans le fromage sous forme émulsionnée, ce qui les rend digestibles. (ECK, 1997)

II.4.3 Source de calcium

Les fromages n'ont pas tous le même apport en calcium. Cet apport varie en fonction de la teneur en eau, et du mode de fabrication. Les plus riches sont les fromages à pâte pressée cuite dans lesquels le rapport $\text{Ca/P} = 1$, les fromages à pâte molle apportent moins de calcium : $\text{Ca/P} = 5$. Les fromages frais sont les moins minéralisés. (TREMOLIERE, et al., 1984)

II.4.4 La teneur en protéines

La teneur en acides aminés des protéines des fromages confère à ces produits une valeur biologique extrêmement élevée. De ce fait, ils conviennent tout particulièrement aux sujets en croissance dont les besoins en acides aminés sont élevés que ceux d'adulte. (DILLON, et al., 1997)

II.4.5 Source de vitamines

La valeur vitaminique des fromages est différente de celle du lait. Une partie des vitamines hydrosolubles se retrouve au cours de l'égouttage entraînée dans le lactosérum. Le taux de rétention du caillé est de 25 %, celui de la vitamine « C » est de 0 %, en compensation, la microflore bactérienne et fongique réalise la synthèse de plusieurs vitamines du groupe « B ». (TREMOLIERE, et al., 1984)

II.5 Les agents de transformation du lait

Transformation du lait en fromage comporte, pour la plus grande partie des fromages, trois étapes principales : la coagulation, l'égouttage et l'affinage. (André, 1997)

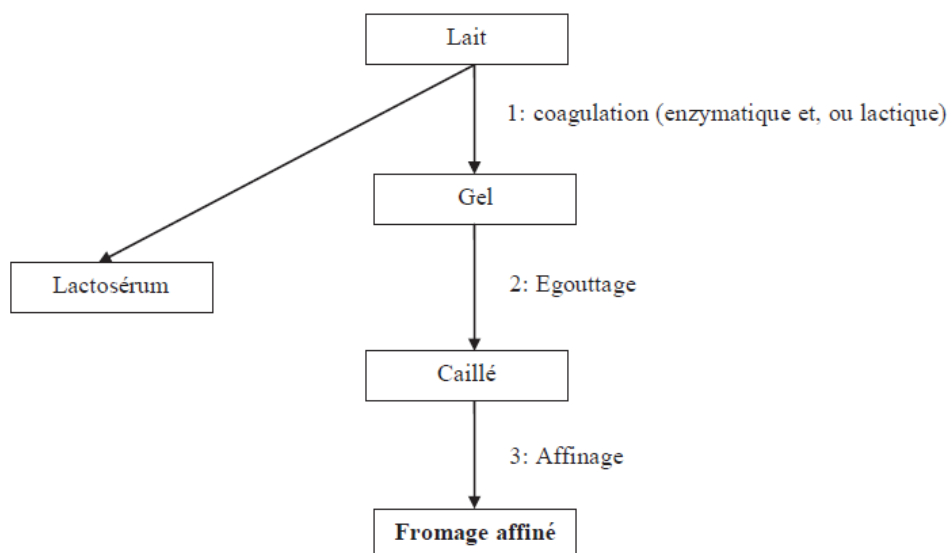


Figure n°2 : Transformation du lait en fromage.

II.6 Classification des fromages

Il existe une grande variété des fromages qui diffèrent par le goût, l'odeur, la texture ou la forme. Cette variété dépend de plusieurs paramètres liés à l'origine du lait, la matière dont le lait est transformé, et de son traitement thermique.

On peut classer les fromages en 3 catégories différentes :

II.6.1 Fromages à pâte fraîche

Un fromage à pâte fraîche a une texture molle granuleuse ou lisse, crémeuse et veloutée. C'est un fromage peu égoutté caractérisé par une teneur très élevée de l'humidité et une teneur de 60 à 80% de la matière grasse. (Madji, 2009)

II.6.2 Fromage à pâte pressées

Ce sont des fromages dont le caillé est pressé après soutirage, puis mis à l'affinage. Dans cette catégorie, on peut distinguer les fromages à pâte pressée non cuite et les fromages à pâte pressée cuite (pâte-dur, le caillé chauffé à 65 C°). (Madji, 2009)

II.6.3 Fromage à pâte molle

Le fromage à pâte molle est un camembert affiné en surface par les moisissures. La texture de ce type de camembert est molle caractérisée par une couleur du blanc cassé allant au jaune pâle. Une croûte molle recouverte des moisissures blanches. (Mdahou, 2017)

Selon la norme internationale A-6 (1978-FAO /OMS) les fromages sont classés en fonction de leur teneur en eau dans le fromage dégraissé (HDF), leur teneur en matière grasse et les principales caractéristiques d'affinage (**Figure n°3**).

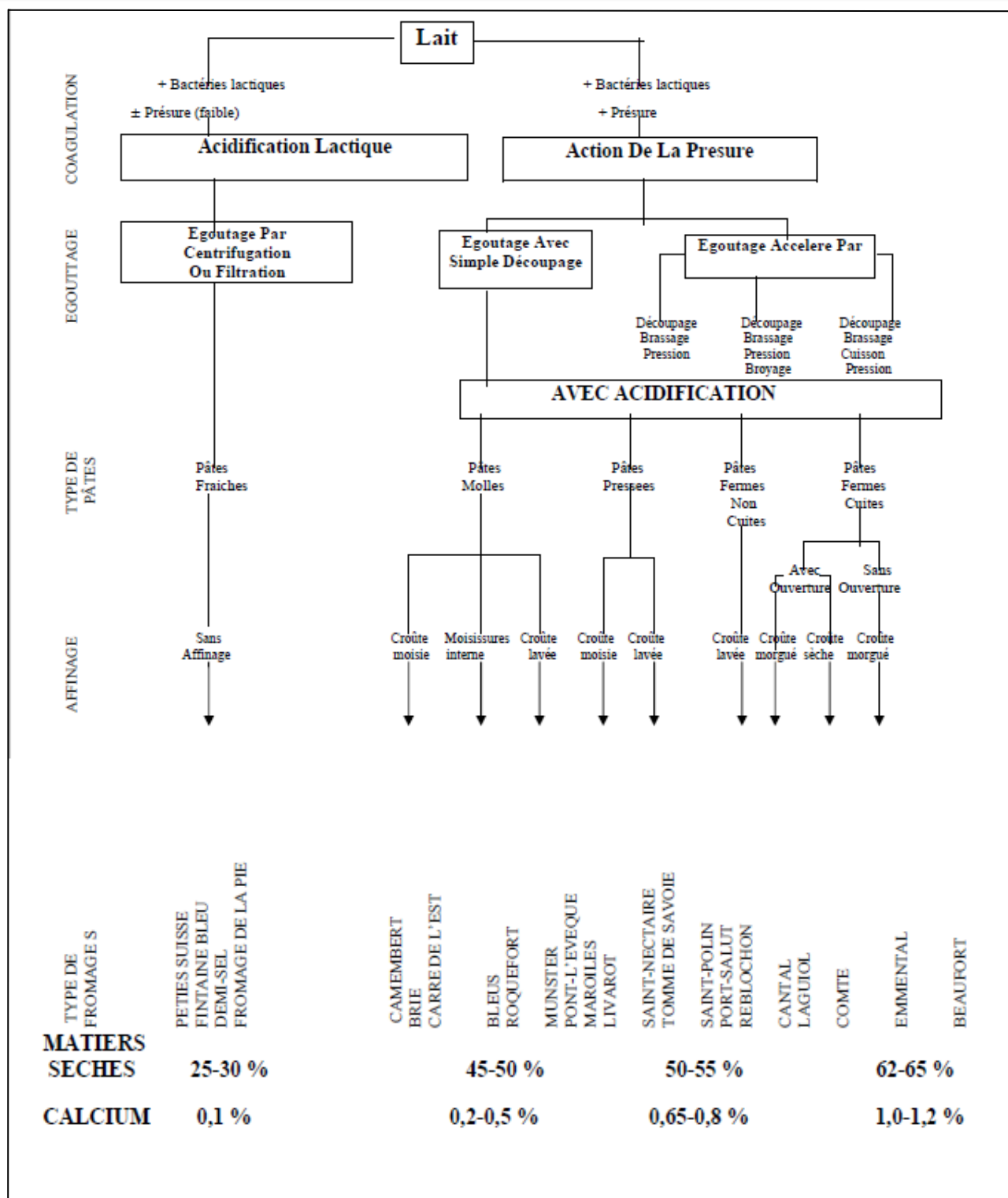


Figure n°3 : Classification didactique des fromages. (Jeantet, et al., 2007)

II.7 Les types de fromage

La classification des fromages sera détaillée selon le type de caillé (lactique ou présure et mixte) ainsi que selon le type d'affinage.

Il existe différents types de caillés : le caillé lactique et le caillé mixte. Le caillé lactique est obtenu grâce à une fermentation prolongée du lactose par des bactéries lactiques, ou par l'ajout d'agent acidogène dans le cas de procédés plus industriels (ex : glucono- δ -lactone). Ce type de fromage contient également une faible quantité de présure (1-2 ml/ 100L de lait) (Mietton, et al., 2018).

Le caillé mixte à tendance présure résulte d'un procédé au cours duquel les voies lactiques et enzymatiques sont utilisées en parallèle (Desmasures, 2014).

II.7.1 Les caillés lactiques

Les fromages lactiques présentent un taux d'humidité du fromage dégraissé (HFD) élevé (80 % - 90 %). Ceux-ci sont obtenus par acidification via des bactéries lactiques ajoutées à une température de 20 à 28 °C pendant 12 à 18h, pour obtenir un pH final de l'ordre de 4,60 (Mietton, et al., 2018).

La famille des fromages à pâte lactique est composée de cinq sous-familles (Figure n°4) : les pâtes lactiques fraîches (ex. : Petit-Suisse), les pâtes lactiques enrichies fraîches (ex. : Boursin), les pâtes lactiques à croûte fleurie (ex. : Neufchâtel), les pâtes lactiques enrichies à croûte fleurie (ex. : Saint-Félicien), et les pâtes lactiques à croûte lavée (ex. : Epoisses). (Profession Fromager, 2016)

Tous ces produits sont obtenus par un égouttage spontané du caillé.

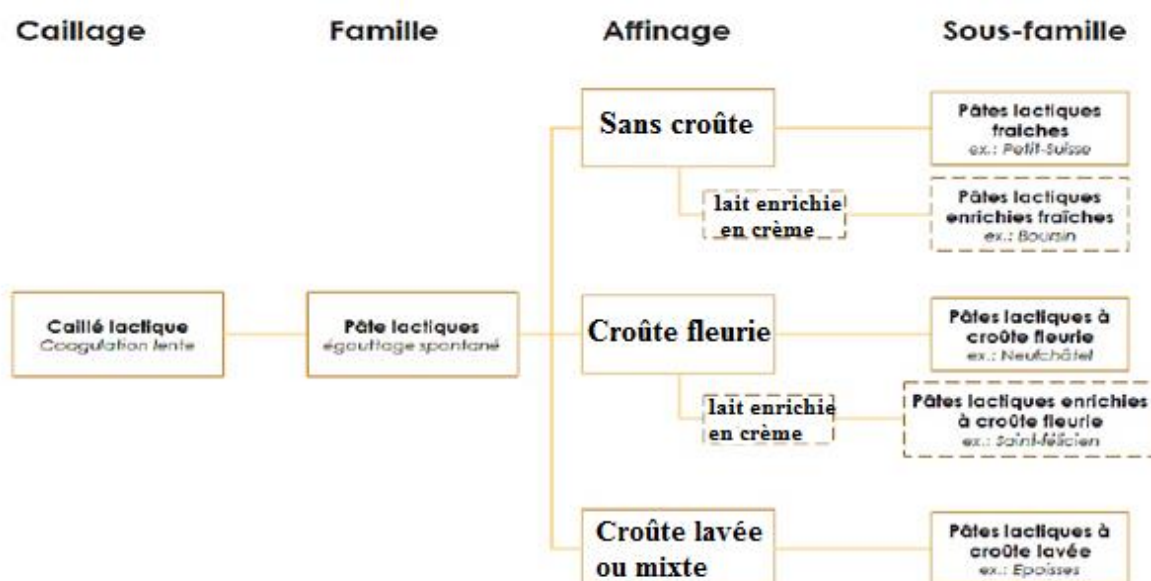


Figure n°4 : Les familles des fromages à partir d'un caillé lactique (Profession Fromager, 2016)

II.7.2 Les caillés mixtes

L'ajout de présure pour obtenir le caillé mixte se fait à une température de 28 à 34 °C sur du lait acidifié au préalable par des bactéries lactiques (Mietton, et al., 2018). Parmi les fromages à caillé mixte et présure (Figure n°5), 4 familles peuvent être distinguées : les pâtes molles, les pâtes pressées non cuites, les pâtes pressées mi-cuites et les pâtes pressées cuites (Profession Fromager, 2016). La température de cuisson est le paramètre qui distingue les pâtes pressées non cuites, mi-cuites, et cuites.

a) Les pâtes molles

Parmi les fromages à pâte molle, quatre types d'affinages sont différenciés : sans croûte (ex. : Feta), à croûte fleurie (ex. : Camembert), à croûte lavée (ex. : Maroilles), et les bleus (ex. : Roquefort ou Gorgonzola) (Profession Fromager, 2016). Dans le cas la Feta, l'ajout de présure se fait à 32 - 34 °C et le caillage dure 45 à 50 minutes. (Hayaloglu, 2017).

Après coagulation, le caillé est coupé et égoutté en moules, à 16 -18 °C durant 18 à 24h.

Ensuite, le fromage est démoulé, coupé en morceaux et salé à sec. Cette étape est suivie d'un salage en saumure durant 1 à 2 jours. Le taux final en sel doit être environ à 3 %. L'affinage se déroule à 16 - 18 °C durant 10 à 15 jours. À ce stade, le pH est de 4,60. Après cette première maturation, l'humidité est inférieure à 56% et le pH se situe entre 4,40 – 4,60. La deuxième maturation se fait à 4°C durant au moins 60 jours (Hayaloglu, 2017).

Pour le Camembert, un fromage à pâte molle à croûte fleurie, la coagulation se fait à 32 – 35 °C. L'égouttage se fait durant les premières heures à 26 °C – 28 °C et diminue progressivement jusqu'à 20 °C. À ce stade, le caillé a un pH de 4,60 – 4,70. Ensuite, le fromage est salé à sec et affiné à 8 – 15 °C, avec une humidité relative d'environ 80 - 85 %, durant minimum 21 jours (Ozturkoglu-Budak, et al., 2017) (Spinnler, 2017).

Les pâtes molles à croûte lavée, telles que le Maroilles, se caractérisent par une croûte lisse, souple, de couleur jaune – orange. Les étapes de production sont similaires au fromage à croûte fleurie, mais l'affinage implique des lavages fréquents des fromages. L'affinage dure plus longtemps que pour les croûtes fleuries, et à une humidité élevée (> 95 %). L'apport des ferments d'affinage peut se faire de différentes manières : pulvérisation, trempage ou lavage (Goudédranche, et al., 2017a)

Les fromages bleus sont caractérisés par la présence de moisissures en leur cœur, généralement de l'espèce *Penicillium roqueforti*. Ils présentent des gradients prononcés de pH, de sel et d'activité d'eau entre le cœur et la surface (**Desmaures, 2014**). Selon l'intensité d'arômes souhaitée, forte ou douce, la coagulation du lait se fait respectivement à 28 - 30 °C ou à 35 – 40 °C, et le caillé présente un pH voisin de 6,40 – 6,50 (**Ozturkoglu-Budak, et al., 2017**) (**Mietton, et al., 2018**).

L'affinage de ces fromages bleus se fait à faible température et haute humidité durant au moins trois mois (**Ozturkoglu-Budak, et al., 2017**).

b) Les pâtes pressées non cuites

Parmi les fromages à pâte pressée non cuite ($T^{\circ} < 40$ °C tout au long du procédé), trois sous familles se distinguent : les souples (ex. : Reblochon), les fermes (ex. : Gouda) et les caillés broyés (ex. : Cheddar).

Le Reblochon est un fromage français pressé durant 1h à 1h30 (pression $< 20 - 30 \text{ g/cm}^2$) (**Mietton, et al., 2018**). L'affinage se déroule à une humidité relative de 90 %, durant 35 à 42 jours à 15 °C (**Mounier, et al., 2017**).

Le Gouda est originaire des Pays-Bas. Après chauffage jusqu'à 36 - 38 °C et délactosage, les caillebottes sont pressées (pression de 100 à 200 g/cm^2 durant 2 à 6h) avant moulage et salage en saumure (**Mietton, et al., 2018**). L'affinage du Gouda se déroule à 12 °C -14 °C dans un local ayant une humidité relative de 90 %. La durée est de minimum 6 semaines (**Goudédranche, et al., 2017b**).

La différence entre les pâtes pressées non cuites souples et fermes réside donc dans les paramètres de pressage.

Pour le Cheddar, l'emprésurage se fait à 30 - 33 °C et débute à un pH de 6,60 pour finir à 5,30 (**Goudédranche, et al., 2017b**) (**Mietton, et al., 2018**) (**McSweeney, et al., 2017**). Après l'égouttage en cuve, le caillé est transféré dans un bac de cheddarrisation où il continue son acidification et égouttage (**Mietton, et al., 2018**). Les blocs de caillés sont retournés et empilés régulièrement (**Everett, et al., 2017**). Le caillé est alors broyé en cossettes, salé pour atteindre une teneur de 2,0 à 2,5 % de sel, et malaxé durant 20 minutes (**Mietton, et al., 2018**). Après la mise en moule, le caillé est fortement pressé (1,50 à 2 kg/cm^2 durant 6 à 12h) pour souder ces cossettes (**Goudédranche, et al., 2017b**) (**Mietton, et al., 2018**).

La durée de l'affinage ainsi que sa température varient selon le degré de maturité souhaité. En général, le local est à 4 - 8 °C (parfois la température peut être de 14°C) et le Cheddar mature durant 3 mois à 2 ans (McSweeney, et al., 2017).

c) Les pâtes pressées mi-cuites

Deux sous-familles de pâtes pressées mi-cuites peuvent être différenciées : les mi-cuites aveugles (ex. : Abondance) et les mi-cuites à ouvertures (ex. : Appenzel). L'étape de chauffage du caillé est effectuée à 40 – 50 °C. Le pH d'emprésurage est environ à 6,60 – 6,70 et celui au démoulage est d'environ 5,20. L'affinage du fromage Abondance dure de 6 mois à 1 an, et minimum 3 mois pour l'Appenzel (Mietton, et al., 2018).

d) Les pâtes pressées cuites

Parmi les pâtes pressées cuites, il faut distinguer celles sans trous, également appelés « yeux », (ex. : Parmesan), ou avec « yeux » (ex. : Emmental). La formation des « yeux » résulte de l'activité de certaines bactéries d'affinage (ex. : *Propionibacterium freudenreichii* pour la production de l'Emmental) (Gagnaire, et al., 2018) Le caillé est chauffé à une température égale ou supérieure à 50 °C, le pH d'emprésurage est de 6,40 – 6,45 dans le cas du Parmesan et de 6,55 - 6,65 dans le cas de l'Emmental (Ardö, et al., 2017). La durée de l'affinage varie selon le fromage : dans le cas de l'Emmental, elle est de 1,5 à 3 mois ou plus pour permettre la formation d'yeux suite à l'activité enzymatique, tandis que pour le Parmesan, elle est de minimum 12 mois jusqu'à 18 mois et plus (Cotter, et al., 2017) (McSweeney, et al., 2017) (Mietton, et al., 2018)

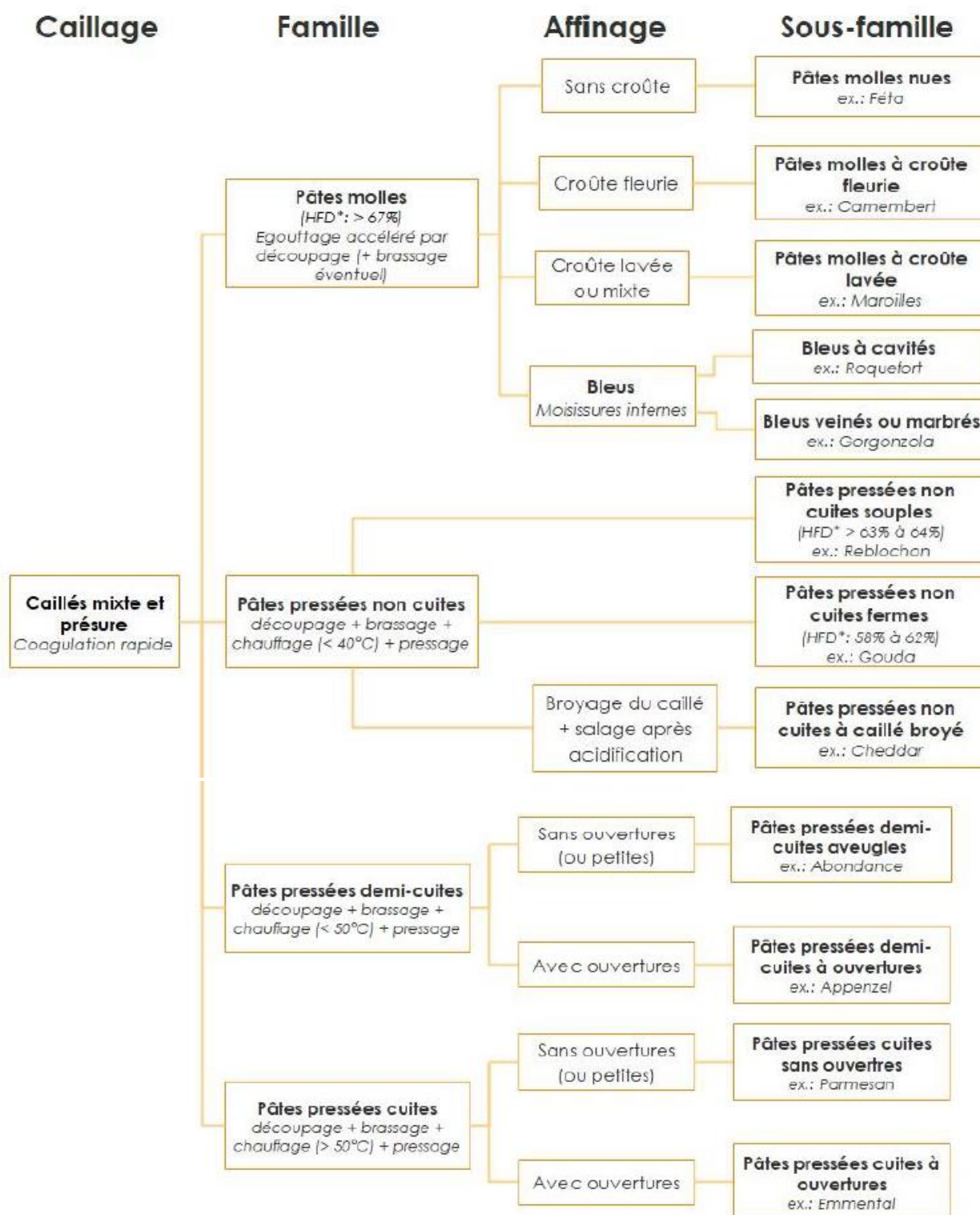


Figure n°5 : Les familles des fromages à partir d'un caillé mixte (HFD* : Taux d'humidité dans le fromage dégraissé) (Profession Fromager, 2016)

II.8 Principales étapes de la fabrication du fromage

Le fromage correspond à une véritable conserve alimentaire, obtenue grâce à l'action conjuguée de l'élimination de l'eau du lait et de la récupération des matières sèches. 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'une enzyme (le plus souvent la présure extraite de la caillette des jeunes bovins avant sevrage). (St-Gelais, et al., 2002) (Brulé, 1997)

II.8.1 Coagulation

La coagulation du lait correspond à des modifications physicochimiques et déstabilisation des micelles de caséines qui flocculent puis se soudent pour former un gel emprisonnant des éléments solubles du lait. (St-Gelais, et al., 2002) Sous l'action d'enzymes protéolytiques et (ou) de l'acide lactique, entraînant la formation d'un réseau protéique tridimensionnel appelé coagulum ou gel.

On distingue trois types de coagulation :

II.8.1.1 Coagulation acide

Les caséines précipitent à leur point isoélectrique ($pH_i = 4,6$) par acidification biologique progressive obtenue soit par fermentation lactique qui transforme le lactose en acide lactique soit par hydrolyse de la gluconolactone, conduit à la formation d'un gel lisse homogène. (Brulé, 1987) Ou par acidification chimique (injection de CO_2 , addition de glucono- δ -lactone ou ajout de protéines sériques à pH acide). (Jeantet Romain, 2008)

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 Romain, 2008)

II.8.1.2 Coagulation par voie enzymatique

Le lait est transformé de l'état liquide à l'état de gel par action d'enzymes protéolytiques. (Jeantet Romain, 2008) Il y a un grand nombre d'enzymes protéolytiques, d'origine animale, végétale ou microbienne, qui ont la propriété de coaguler le lait. (St-Gelais, et al., 2002)

II.8.1.3 Coagulation mixte

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 pressée non cuite. (Jeantet Romain, 2008)

II.8.2 Egouttage

L'égouttage du caillé assure une déshydratation partielle du gel, obtenu par séparation d'une partie du lactosérum. Il correspond à une séparation physique entre solide et liquide. Le gel obtenu par la floculation des caséines étant instable, il se transforme rapidement à la suite de la contraction des micelles, ce qui provoque l'expulsion de la phase liquide hors du caillé. Ce phénomène appelé synérèse permet de séparer le caillé, contenant la caséine et la matière grasse, du sérum qui contient le lactose, des minéraux et les protéines solubles du lait. **(St-Gelais, et al., 2002)**

L'égouttage peut être spontané ou amélioré par pressage, par découpage et par brassage. **(Guiraud, 2003)**

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. **(Brulé, 1997)**

La séparation entre les phases solide et liquide, qui devient visible pendant la coagulation du lait, résulte de phénomènes physiques actifs (synérèse du gel) et passifs (la porosité et la perméabilité du gel). Dans un caillé, la porosité correspond aux vides occupés par la phase liquide. C'est donc une différence de volume entre le volume total et le volume solide. La porosité varie selon que les éléments solides, sont de même grosseur ou associés à des éléments grossiers ou fins. La perméabilité, c'est la libre circulation du lactosérum à l'intérieur du caillé. **(St-Gelais, et al., 2002)**

II.8.3 Salage

Dans la plupart des fabrications, entre l'égouttage et l'affinage, se situe l'opération de salage qui représente à la fois un complément d'égouttage et un facteur important de la maîtrise de l'affinage par action sur l'activité de l'eau.

Le sel ajouté au fromage permet de rehausser la saveur finale mais il fait plus :

- Il complète l'égouttage sous l'effet de la pression osmotique ;
- Il arrête l'acidification du caillé et prévient une déminéralisation excessive de la pâte ;
- Il contrôle le développement des bactéries nuisibles ou pathogènes et sélectionne le développement des micro-organismes utiles à l'affinage.

Trois méthodes de salage sont couramment utilisées. La plus simple consiste, après le démoulage, à saupoudrer ou à frotter régulièrement chacune des surfaces du fromage avec du sel. Cette technique à sec évite de mouiller la surface et permet de l'assécher et de faire la croûte. Par contre, elle entraîne une baisse de rendement et des fluctuations dans la teneur finale en sel. On l'utilise pour

des fromages de type suisse, comme le comté ou le gruyère, et pour des fromages fermiers de chèvre. Une autre possibilité est la méthode en saumure. (St-Gelais, et al., 2002)

II.8.4 Affinage

L'affinage se caractérise par des transformations biochimiques des constituants du caillé, essentiellement sous l'action d'enzymes microbiennes.

L'affinage correspond à une phase de digestion enzymatique des constituants protéiques et lipidiques du caillé égoutté. (Jeantet Romain, 2008) qui lui confèrera à la fin une texture et une saveur caractéristique selon le type de fromage recherché. (St-Gelais, et al., 2002)

L'affinage 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 (plasmine, lipase, etc.), ajoutées au lait au cours de la fabrication (enzymes coagulantes, microorganismes) ou produites au cours de l'affinage par synthèse microbienne (bactéries, levures, moisissures). (Jeantet Romain, 2008)

L'ensemble caillé et agents biologiques est un écosystème complexe et un 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. (Jeantet Romain, 2008) ; la lipolyse est un phénomène limité qui collabore véritablement à l'élaboration des caractères gustatifs des fromages. Ce sont principalement les lipases des moisissures et des microcoques qui sont les plus actives (Alais, 1997).

La protéolyse est un phénomène important et le plus complexe pendant l'affinage des fromages. Cette dégradation est réalisée par les systèmes enzymatiques des micro-organismes, les enzymes coagulantes et les enzymes du lait. (Courroye, 1987)

_ La production d'arôme à partir des acides gras et acides aminés.

Ces transformations confèrent à la pâte fromagère des caractères nouveaux ; elles modifient son aspect, sa composition, sa consistance, simultanément, saveur, arôme et texture se développent. (Jeantet Romain, 2008)

La période d'affinage est longue, elle dure quelques semaines à deux ans ou plus. (Fox, 1994)

III. Fromage Gouda

III.1 Histoire

Depuis la nuit des temps, le fromage fait partie de l'alimentation humaine. Toutes sortes d'anciens écrits et de fouilles archéologique nous en apportent la preuve. En Mésopotamie (Irak actuelle), l'on fabriquait déjà du fromage il y a 5 à 6000 ans. En Egypte, on a retrouvé dans les tombes des pharaons des pots ayant contenu du fromage. Il y a 4000ans, le fromage occupait déjà une place importante sur la table des Grecs. Et les Romains ont repris cette tradition. L'on sait aussi que, lors des invasions des Vikings, ces derniers ont fait découvrir aux Francs et aux Anglais non seulement le goût de leurs glaives mais aussi celui de leurs fromages scandinaves.

Au Moyen-âge, les habitants des Pays-Bas sont également friands de fromages. Au 9^e siècle, les paysans de la Frise en fabriquent pour la cour de Charlemagne. En 1266, Haarlem abrite déjà une banque coopérative pour les exploitations laitières. La fabrication du fromage bat donc son plein.

Et l'essor des fromages de Gouda et d'Edam s'accélère encore aux 16^e et 17^e siècle quand la marine marchande néerlandaise sillonne les mers du monde entier. Ces fromages, qui se conservent particulièrement bien, servent à nourrir les équipages mais aussi au commerce. Nos voisins du Nord étaient dès le 18^e siècle connu comme étant une région fromagère.

Au fil du temps, de nouvelles méthodes de production sont mises au point afin d'améliorer encore la conservation du fromage. Pour la production de l'Edam, on a l'idée d'utiliser une étamine dans le moule. Ce qui permet d'obtenir une croûte ferme et hermétique. L'amélioration porte également sur divers traitements et sur les pressoirs. Il en résulte un produit qui résiste très bien au transport. Ces techniques sont ensuite appliquées à la production du fromage de Gouda. Jusqu'à la fin du 19^e siècle, tout le fromage est produit dans les fermes. Aux alentours de 1900, quelques paysans précurseurs se regroupent dans des coopératives de fabrication de beurre et de fromage. Ces coopératives améliorent encore les techniques de production, y intègrent les avancées scientifiques en finissent, au gré de regroupement, par devenir de Grandes sociétés. Une entreprise comme Campina est issue de ce processus de fusion.

Au fil des 19^e et 20^e siècles, les progrès technologiques et les nouvelles possibilités de transport accélèrent le développement de la production du fromage. Ainsi l'invention de la pasteurisation ainsi que la découverte et la production de la présure, de même que des meilleures possibilités de conservation, donnent un coup de fouet à la fabrication industrielle du fromage. Actuellement, le fromage est disponible dans pratiquement tous les pays du monde et est produit à grande échelle. En 2008, la production de fromage s'est élevée, rien que dans l'Union européenne, à près de 9 milliards de Kilos. Et, à l'horizon 2015, cette production devrait se hisser à près de 10 milliards. **(NOORD-HOLLANDSE GOUDA, 2013)**

III.2 Définition du fromage Gouda

Le Gouda est un fromage affiné à pâte ferme/semi-dure conformément à la Norme générale pour le fromage (CODEX STAN 283-1978).¹¹ La pâte a une couleur allant du blanc cassé ou de l'ivoire au jaune pâle ou jaune et une texture ferme (lorsqu'on appuie dessus avec le pouce), se prêtant à la coupe, avec peu à beaucoup de trous de gaz, plus ou moins arrondis, de la taille allant d'une tête d'épingle à un petit pois (ou principalement d'un diamètre allant jusqu'à 10 mm), dont la répartition est raisonnablement régulière dans tout l'intérieur du fromage, mais la présence de quelques ouvertures et fissures est acceptable. La forme est celle d'un cylindre aplati avec des côtés convexes, d'un bloc plat ou d'un pain. Le fromage est fabriqué et vendu avec une croûte sèche qui peut être enrobée. Le Gouda en bloc plat ou en forme de pain est également vendu sans croûte.

Pour le Gouda prêt à la consommation, la procédure d'affinage destinée à développer les caractéristiques de goût et de texture dure normalement 3 semaines minimum à une température comprise entre 10 et 17 °C, en fonction du degré de maturité requis. D'autres conditions d'affinage (y compris l'ajout d'enzymes d'amélioration de l'affinage) peuvent être utilisées, pour autant que le fromage présente des propriétés physiques, biochimiques et sensorielles similaires à celles obtenues par la procédure d'affinage précitée. Il n'est pas nécessaire que le Gouda destiné à un traitement ultérieur et que le Gouda de poids léger (< 2,5 kg) possède le même degré d'affinage lorsque cela est justifié par des besoins techniques et/ou commerciaux. **(CODEX STAN 266-1966).**

III.3 Facteurs essentiels de qualité et de composition

III.3.1 Matière première

Lait de vache ou de bufflonne, ou leurs mélanges, et produits obtenus à partir de ces laits.

Pour le fromage à pâte mi-dure comme le Gouda, il faut 10 litres de lait pour fabriquer 1Kg de fromage.

Le tableau ci-dessous indique la valeur nutritive moyenne du lait. (NOORD-HOLLANDSE GOUDA, 2013)

Composant du lait	10 litres de lait entier	1kg de Gouda jeune
Protéine	330 grammes	250 grammes
Graisse	350 grammes	290 grammes
Sucre	460 grammes	Absent
Eau	8850 grammes	400 grammes
Kj / kcal		1480 / 350

III.3.2 Les ingrédients autorisés

- Cultures de départ de bactéries lactiques inoffensives et/ou bactéries productrices d'arômes, et cultures d'autres micro-organismes inoffensifs ;
- Présure ou autres enzymes coagulantes inoffensives appropriées ;
- Chlorure de sodium et chlorure de potassium en tant que succédanés du sel ;
- Eau potable ;
- Enzymes inoffensives et appropriées pour l'amélioration du processus d'affinage ;
- Adjuvants de fabrication inoffensifs et appropriés ;
- Farines et amidons de riz, maïs et pomme de terre: nonobstant les dispositions de la *Norme générale pour le fromage (CODEX STAN 283-1978)*, ces substances peuvent être utilisées pour la même fonction que les agents antiagglomérants pour le traitement de la surface des produits coupés, en tranches et râpés uniquement, pour autant qu'elles ne soient ajoutées que dans les quantités fonctionnellement nécessaires comme prévu par les bonnes pratiques de fabrication, compte tenu de toute utilisation des agents antiagglomérants énumérés à la Section 4.

III.3.3 Composition

Constituant laitier	Teneur minimale (m/m)	Teneur maximale (m/m)	Niveau de référence (m/m)
Matière grasse Laitière dans l' extrait sec :	30 %	Sans restriction	48 % à 55 %
Matière sèche :	En fonction de la teneur en matière grasse dans l'extrait sec, conformément au tableau ci-dessous.		

	Teneur en matière grasse dans l' extrait sec %(m/m) :	Teneur en matière sèche minimum correspondante (m/m):
	Égale ou supérieure à 30 % mais inférieure à 40 %	48%
	Égale ou supérieure à 40 % mais inférieure à 48 %	52%
	Égale ou supérieure à 48 % mais inférieure à 60 %	55%
	Égale ou supérieure à 60 %	62%

Le Gouda dont la teneur en MGES se situe entre 40 et 48 % et le poids est inférieur à 2,5 kg peut être vendu avec une teneur minimale en MS de 50 % sous réserve de l'ajout de la qualification « Baby ». Les modifications en matière de composition dépassant les minima et les maxima spécifiés ci-dessus pour la matière grasse laitière et la matière sèche ne sont pas considérées comme étant conformes à la Section 4.3.3 de la Norme générale pour l'utilisation des termes de laiterie (CODEX STAN 206-1999)

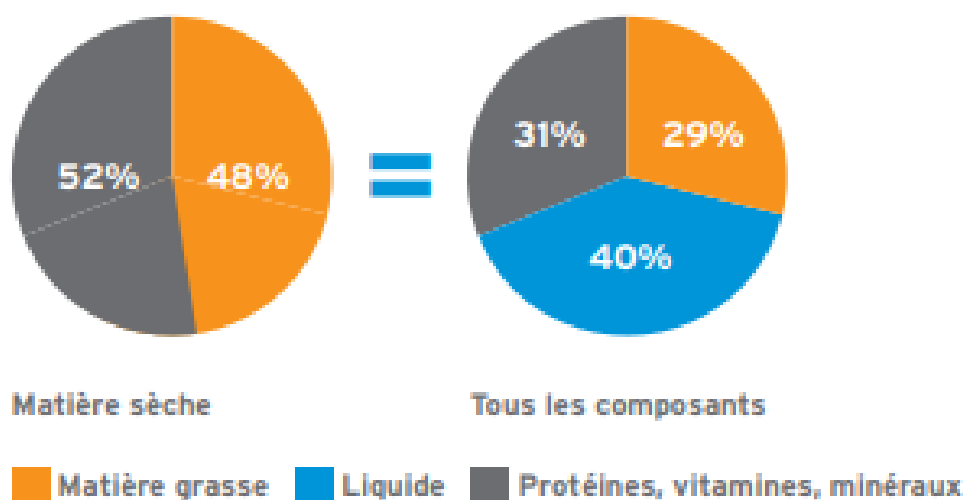


Figure n°6 : La teneur en matières grasses du gouda48+ (FrieslandCampina, 2008)

III.4 Les différents types de fromage gouda

Il existe 4 types de fromage gouda selon (NOORD-HOLLANDSE GOUDA, 2013).

- Gouda fermier.
- Gouda.
- Gouda avec ajouts.
- Gouda allégé.

III.4.1 Gouda fermier

Le fromage Gouda fermier est protégé par l'appellation Spécialité Traditionnelle Garantie (STG) de l'union européenne. Un peu plus de 350 fermes sont autorisées à fabriquer ce fromage spécifique à pâte mi-dure au lait cru selon un mode de préparation traditionnel.

Le fromage fermier a obtenu la mention de Spécialité Traditionnelle Garantie parce qu'il se distingue clairement des autres fromages et qu'il est fabriqué de génération en génération, selon une méthode de préparation traditionnelle et contrôlée.

La production de Gouda fermier se différencie des fromages produits de manière industrielle au niveau des aspects suivants :

- Le lait n'est pas standardisé. La teneur en gras n'est pas corrigée. Le fermier doit donc utiliser le lait entier que les vaches donnent à ce moment-là. En hiver, le lait est plus gras qu'en été. La teneur en gras varie au fil de la saison. La teneur en gras influence le goût.
- Le lait utilisé pour le fromage fermier n'est pas pasteurisé. Le fermier traite directement le lait frais sans le chauffer.
- Le Gouda fermier est fabriqué selon une recette ancestrale. Les familles de fermiers se la transmettent de génération en génération. Elle n'a pratiquement pas changé au fil des siècles. Mais il va de soi que le lait utilisé satisfait aux exigences actuelles en matière de sécurité alimentaire.

III.4.2 Gouda

Le plus célèbre fromage de la Hollande, qui tire son nom de la ville de Gouda, est tout de même produit partout aux Pays-Bas. Le Gouda se reconnaît surtout à ses coins arrondis.

La saveur et la qualité finale du fromage dépendent surtout, outre de la durée de l'affinage (appelée aussi maturation), du savoir-faire du fabricant ou du grossiste pendant ce processus. La maturation

naturelle du fromage s'obtient en le laissant reposer sur des planches en bois dans des conditions naturelles (température, conditions météorologiques et saisons). Des processus d'automatisation modernes permettent de peaufiner encore la maturation naturelle. Le Gouda s'apprécie à tous les moments de la journée. Il convient également très bien pour des en-cas ou des plats.

Il existe 3 types spécifiques de fromage Gouda :

- 1) Le Noord-Hollandse Gouda à A.O.P (Appellation d'Origine Protégée). Ce fromage est produit dans la province de la Hollande du Nord. Les vaches doivent y paître et le fromage doit y être produit une fabrique de la région. Ce fromage est affiné dans sa propre croûte et est proposé en plusieurs âges différents : crémeux et jeune, jeune reposé, mi-vieux, plus affiné, vieux, extra-vieux et âgé de plus d'un an, classique.
- 2) Le Gouda. Ce fromage peut être préparé dans tous les Pays-Bas.
- 3) Le Gouda de 4 – 5 kilos.

Ces versions de fromage de Gouda plus petites sont agrémentées de différents condiments : épices, ail, olives et tomates séchées, parfois selon des mélanges très particuliers.

III.4.3 Gouda avec ajouts

La gamme des fromages s'enrichit chaque jour de variantes agrémentées de nouveaux ajouts. La plupart du temps, le fromage de base utilisé est un fromage de type Gouda. Le nom donné à ces nouvelles variétés s'inspire souvent du principal ajout.

Les ajouts traditionnels sont le cumin et le clou de girofle. Mais on trouve également des fromages avec des noix, de la ciboulette, du fenugrec, des oignons, des épluchures de pommes de terre, du l'ail, du poivre, de la moutarde, des orties, des truffes, des épices italiennes, des poivrons et des piments.

Le Gouda au cumin présente une croûte fermée sèche et lisse et est plastifiée. Le laitage est souple et les grains de cumin se voient clairement. Le Gouda à teneur élevée en matière grasse (dit « volvet ») est une délicieuse alternative aux tranches de gouda habituelles. Sa saveur est généreuse, en fonction de l'âge. La plupart du temps, ce fromage se mange jeune ou mi-vieux.

III.4.4 Gouda allégé

Les producteurs de fromage suivent l'évolution des goûts des consommateurs. Et les produits allégés en matières grasses constituent l'une de ces tendances. Un Gouda moins gras a donc été conçu. La part de marché des fromages allégés s'accroît chaque année.

III.5 Valeur Nutritionnelle

Ce tableau présente l'apport énergétique (Calories) de 100 grammes de gouda et les nutriments (protéines, glucides, sucres, matières grasses / lipides, acides gras saturés, fibres alimentaires, sodium, sels minéraux et vitamines) qui entrent dans sa composition.

Les quantités de nutriments indiquées sont des valeurs moyennes, ces valeurs peuvent varier pour différents types de gouda.

Les Apports Journaliers Recommandés (AJR) / Valeurs nutritives de référence (VNR) sont indiqués pour une portion de 100g.

La dernière colonne montre la différence avec la moyenne de tous les aliments de la catégorie Fromages affinés à pâte ferme.

Tableau n°8 : l'apport énergétique (Calories) de 100 grammes de gouda et les nutriments qui entrent dans sa composition (Ciquel, 2013)

Composition	Quantité	AJR %	Différence moyenne cat.
Energie			
Energie - Calories	363 kcal	18%	+4%
Energie - kilojoules	1510 kJ		+4%
Protéines	24 g	48%	-5%
Lipides	29.9 g	43%	+8%
Glucides	0g	0%	-100%
Sodium	747 mg	31%	+6%
Alcool	0g		
Eau	38.6 g		-9%
Fibres	0g	0%	
Minéraux			
Magnésium	28,9 mg	8%	-1%
Phosphore	500 mg	71%	+7%
Potassium	94,7 mg	5%	+4%

Chapitre II

Généralités sur le fromage

Calcium	736 mg	92%	+5%
Manganèse	0 mg	0%	-100%
Fer	0,26 mg	2%	-2%
Cuivre	0,085 mg	8%	+23%
Zinc	3,86 mg	39%	+8%
Sélénium	10 µg	18%	+19%
Iode	31,4 µg	21%	+4%
Vitamines			
Vitamine A - Beta-Carotène	54.7 µg	30%	-40%
Vitamine A – Rétinol	183 µg	30%	-9%
Vitamine D / cholécalciférol	0.24 µg	5%	-24%
Vitamine E / tocophérol	0.53 µg	4%	+6%
Vitamine K	Non connu		
- Vitamine K1	2.3 µg		+31%
- Vitamine K2	Non connu		
Vitamine C / acide ascorbique	0 mg	0%	-100%
Vitamine B1 / thiamine	0.03 mg	3%	-19%
Vitamine B2 / riboflavine	0.3 mg	21%	-17%
Vitamine B3 / PP niacine	0.05 mg	0%	-71%
Vitamine B5 / acide pantothénique	0.32 mg	5%	+8%
Vitamine B6 / pyridoxine	0.08 mg	6%	-9%
Vitamine B9 / acide folique	43 µg	22%	+11%
Vitamine B12 / cobalamine	1.7 µg	68%	+43%

III.6 Processus de fromage Gouda

III.6.1 La pasteurisation du lait

Le lait est chauffé à 72 °C, puis refroidi rapidement. La pasteurisation est une obligation légale pour les fromages et contribue à garantir un produit sûr.

III.6.2 Formation du caillé

- Une culture bactérienne est ajoutée au lait dans la cuve à 29 °C pour acidifier le lait. La culture bactérienne introduit de "bonnes" bactéries, qui jouent un rôle important tout au long de la fabrication processus. La température crée des conditions idéales pour que les bactéries se développent, et l'environnement acide aide à empêcher les bactéries étrangères contamination.
- La présure est ajoutée au lait lorsqu'il atteint un certain pH. Cela entraîne la présence de protéines de caséine dans le lait pour coaguler et se séparer du lactosérum liquide.

III.6.3 Coupe du caillé

Lorsque le coagulum est ferme - il présente une rupture nette lors du test - les lames de coupe remuez le coagulum pour le couper en petits morceaux. En coupant le caillé, on laisse échapper plus de lactosérum et réduit la teneur en humidité du fromage final. Le Gouda est un fromage à pâte mi-dure, de sorte que le caillé couper relativement petit par rapport aux fromages à pâte molle pour libérer plus d'humidité.

III.6.4 Libérer le lactosérum

Lorsque le caillé est suffisamment petit, ce qui est testé en sentant la taille du caillé dans vos mains, les attaches de coupe sont changées pour les attaches de brassage. Une grande partie du lactosérum est libérée de la cuve, puis on ajoute de l'eau chaude et on augmente la température tout en remuant en continu. Diluer le lactosérum et augmenter la température permet de libérer plus de lactosérum du caillé.

III.6.5 Moulage

Lorsque le caillé est suffisamment ferme, il est comprimé pour extraire plus de lactosérum et les aider s'unissent. Le caillé comprimé est marqué, découpés en blocs, placés dans des moules et pressés.

III.6.6 Saumurage

Lorsque le fromage moulu a atteint le pH requis, qui est indiqué par le fromage devenant plus jaune, il est immergé dans une saumure solution. Le sel est absorbé dans le fromage. Ce ralentit la croissance bactérienne, contribue à la saveur du fromage, aide à former une croûte naturelle et empêche la contamination par des bactéries étrangères.

III.6.7 Enrobage

Après avoir retiré les fromages de la saumure et les avoir laissés sécher pendant la nuit, on les enrobe avec "cheese-coat" - une substance de qualité alimentaire. La fonction de l'enrobage est de protéger le fromage contre tout en laissant l'humidité s'évaporer. Il améliore également l'apparence du fromage.

III.6.8 Affinage

Les fromages enrobés sont placés sur des étagères dans une salle d'affinage. La salle est maintenue à une température constante de 16 °C et un taux d'humidité de 80 %. Cela permet aux fromages de s'affiner - de développer leur saveur et texture caractéristiques. Pendant cette période, les fromages perdent leur humidité et sont retournés quotidiennement pour aider à développer une texture uniforme.

III.6.9 Emballage

Quand le fromage a atteint le niveau requis maturité, il est emballé sous vide et placé dans un endroit frais à 4 °C. Cela ralentit le processus de maturation afin que le fromage conserve sa saveur caractéristique et aussi empêche la contamination. (Eskom, 2018)

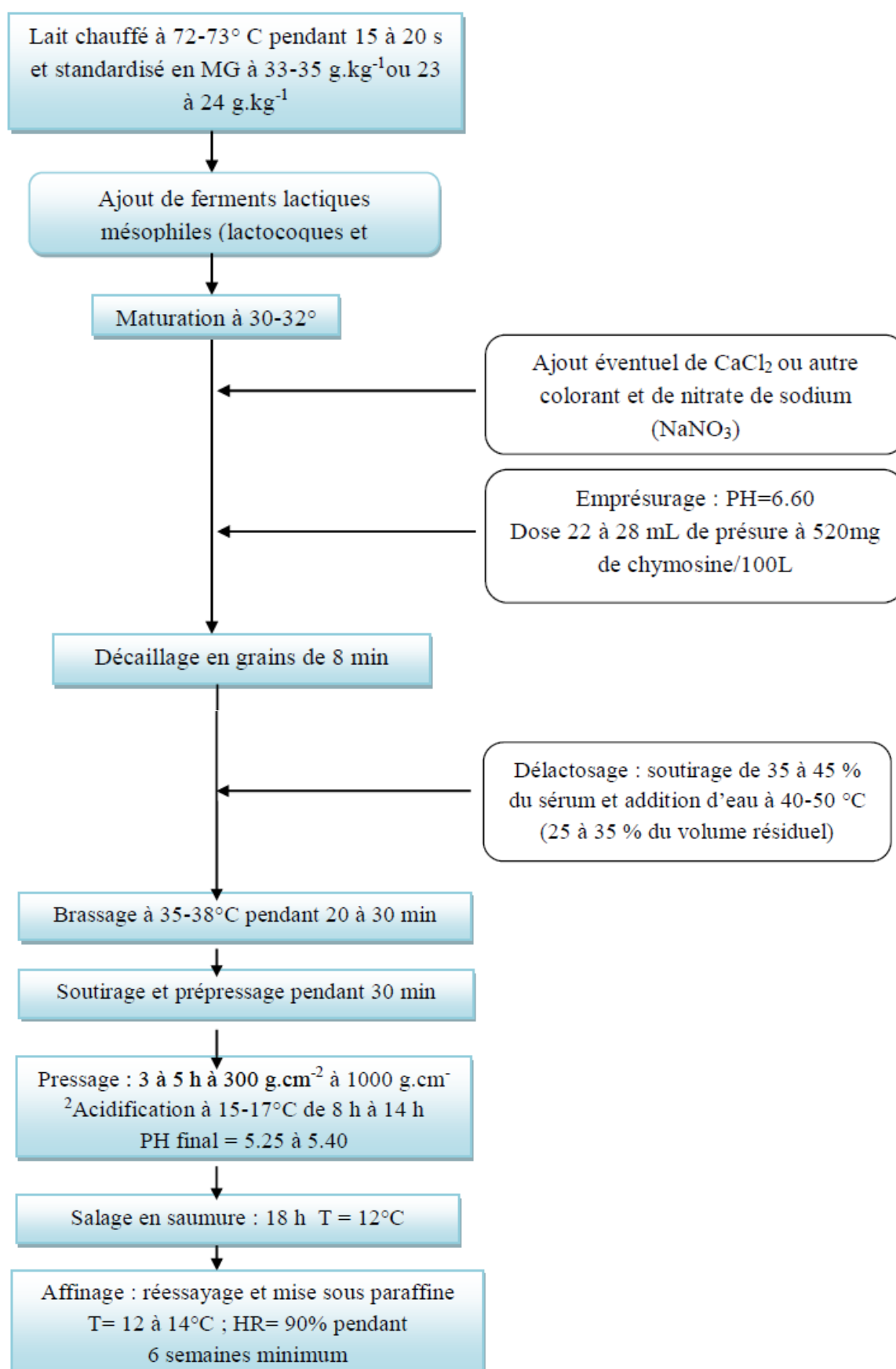


Figure n°7 : Technologie de fabrication du gouda (Goudédranche et al, 2008)

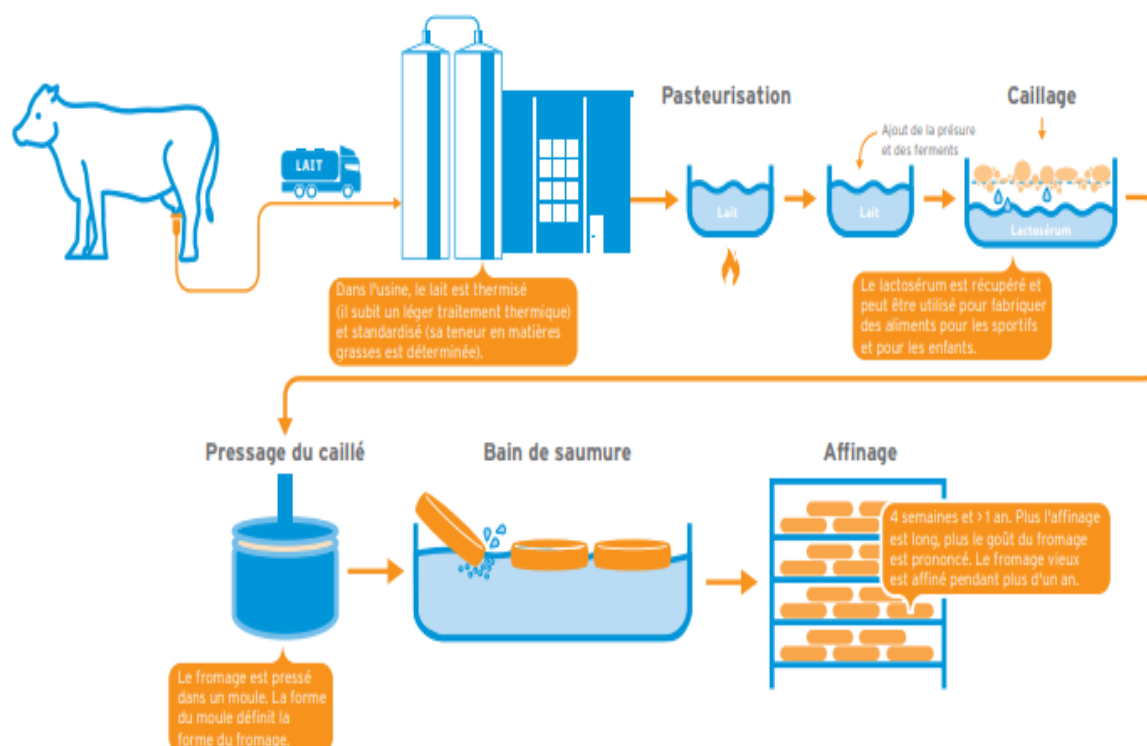


Figure n°8 : Procédé de fabrication du gouda (FrieslandCampina, 2008)

III.7 Age

A l'exception de la variante jeune, aucun âge ne fait l'objet d'obligation légales pour le fromage Gouda. Chaque grossiste ou fabricant peut choisir la période d'affinage qu'il souhaite pour les différents âges.

La liste ci-dessous indique les âges utilisés le plus fréquemment

- Jeune 4 semaines
- Jeune reposé 10 semaines
- Mi-vieux 4 mois
- Plus affiné 7 mois
- Vieux 10 mois
- Extra-vieux 12 mois
- Vieux découppable 18 mois

Le fromage jeune doit être affiné pendant 28 jours avant qu'il ne puisse quitter l'entrepôt. La loi exige. (NOORD-HOLLANDSE GOUDA, 2013).

IV. Méthodes**IV.1 Technique de prélèvement du lait**

Le lait de vache utilisé a été récolté à 8h du matin dans la région de Boumerdes au mois de Mars.

Le prélèvement a été effectué aseptiquement à partir du robinet disposé à la partie inférieure de la citerne de la collecte iso thermique, dans un flacon stérile bouché.

IV.2 Analyses physico-chimiques du lait**IV.2.1 Détermination de l'extrait sec totale (NF V04-367)**

- Placer la coupelle dans le dessiccateur.
- Peser $1\text{g} \pm 0.1$ du produit dans une coupelle jusqu'à l'obtention d'un poids constant pour faire la lecture.
- La lecture des résultats se fait directement à partir de l'affichage sur le cadran du dessiccateur.

Expression des résultats :

$$\text{EST} = V' \times 10 \text{ (g/l)}$$

Où :

V' : valeur donnée par le dessiccateur.

IV.2.2 Détermination de la matière grasse (NF, 1980)

La teneur en matière grasse du lait est déterminée par la méthode acido-butyrométrie. Après dissolution des protéines du lait par l'acide sulfurique, la matière grasse est séparée par centrifugation (en présence de l'alcool amylique). La lecture se fait directement sur l'échelle du butyromètre.

- Introduire 10ml d'acide sulfurique ;
- Ajouter 10ml de lait à l'aide d'une pipette sans mouiller le col et en évitant un mélange prématuré entre le lait et l'acide ;
- Verser à la surface du lait 1ml d'alcool iso amylique, boucher ensuite avec soin le butyromètre, agiter avec précaution ;
- Centrifuger 5min, au sortir de la centrifugeuse, modifier s'il y a lieu le réglage du
- Bouchon pour que la phase lipidique se situe dans l'échelle graduée.

IV.2.3 Détermination de l'acidité titrable (NF V04-206 (01/1969))

La méthode de dosage de l'acidité titrable permet de quantifier la teneur totale d'acide lactique présent dans le lait. Le titrage est réalisé par une solution de NaOH N/9 (soude Dornic) en présence d'un indicateur coloré (phénolphthaléine) ;

- Remplir la burette de la solution de NaOH (N/9), régler le niveau du liquide à Zéro ;
- A l'aide de la pipette de 10ml, prélever 10ml de lait et transférer dans un bécher de 100ml ;
- Ajouter 3 à 4 gouttes de solution de phénolphthaléine et titrer jusqu'à l'apparition d'une couleur rose persiste 30 Seconde ;
- Noter le volume de solution titrant utilisé en dixièmes de millilitres.

IV.2.4 Détermination du pH (NF V 04-316)

Le pH représente l'acidité du lait à un moment donné. On le mesure habituellement à l'aide d'un pH-mètre (Vignola et al, 2002).

- Etalonner le pH mètre à l'aide des solutions tampon à $\text{pH} = 7 \pm 0,1$.
- Régler la température de l'appareil à 20°C.
- Introduire l'électrode dans le récipient contenant l'échantillon à 20°C.
- Attendre la stabilisation du pH pour effectuer la lecture.

La lecture des résultats se fait directement à partir de l'affichage sur le cadran du pH mètre.

IV.2.5 Détermination de la densité du lait

Plonger le thermo lactodensimètre dans une éprouvette remplie du lait à analyser de manière que le lait déborde légèrement

La lecture de la densité et de la température se fait directement.

IV.3 Préparation du fromage de type « GOUDA »

IV.3.1 Technologie de fabrication du gouda

- Pasteurisation du lait au bain Marie (15mn /75°C)



- Refroidissement du lait
- Le lait est maintenu à 30°C et mis dans 3 différents récipients pour êtreensemencés par les 3 types de levain.
- Ensemencement du lait : addition du levain (ferments lactiques).



- Emprésurage : addition de :
 - 3% d'une solution de présure (à 520 mg / l) pour 10 l de lait.
 - 0,33 gr/l de CaCl_2
 - 0,16 gr de KNO_3 ;



- Maturation du lait pendant 1h à 37°C

- Décaillage en grains de 8mm ;



- Séparation du lait caillé et du petit lait :
La matière humide est évacuée du lait caillé en coupant ce dernier en petits blocs avec l'ajout de l'eau chaude à chaque fois qu'on débarrasse du lactosérum ;



- Brassage pendant 20-30 m ;

- Soutirage et pré pressage pendant 30 min ;



- Moulage : le caillé est mis dans des moules, en fonction de la forme souhaitée, mais surtout pour poursuivre le séchage.



- Egouttage et la mise sous pression : pour éliminer ce qui reste d'humidité ;

- Salage : s'effectue en le mettant dans de la saumure, c'est-à-dire un bain de sel, la durée prend entre 24 et 48h, suivie d'un égouttage (24 h à 18°C).



- Affinage : pendant 7 semaines minimum à 14 – 16°C ;

IV.4 Evaluation de la qualité du fromage fabriqué

On effectue différents prélèvements à partir de différents types de fromage selon le ferment et à différentes périodes de maturation ;

- Au début de maturation,
- Après 4 semaines,
- Après 7 semaines.

IV.4.1 Détermination de la qualité nutritionnelle

IV.4.1.1 Détermination de l'extrait sec du fromage (Norme AFNOR NF V 04-82)

La teneur en extrait sec a été déterminée en quatre exemplaires à l'aide d'une étuve isotherme

Les résultats sont exprimés en gramme d'extrait sec pour 100 g de fromage (% extrait sec).

IV.4.1.2 Dosage de la matière grasse (norme AFNOR, 1980)

Le taux de la matière grasse est déterminé par la méthode butyrométrique de Van-Gulik.

Les protéines du fromage sont dissoutes par l'acide sulfurique ($d : 1,52$). On procède à un chauffage dans un bain d'eau ($65^{\circ}\text{C} / 5\text{mn}$) puis on agite durant 10s. L'opération est répétée jusqu'à dissolution totale des protéines.

La matière grasse, résistante à l'action de l'acide sulfurique, est séparée par centrifugation à chaud, la séparation étant favorisée par l'addition d'alcool amylique. La matière grasse, moins dense, se rassemble en une couche claire et transparente.

La lecture se fait directement sur l'échelle du butyromètre. La teneur en matière grasse est exprimée en g pour 100 g du fromage.

IV.4.1.3 pH et acidité titrable

L'industrie laitière exprime l'acidité globale provoquée par fermentation du lactose en degrés Dornic. Ceux-ci correspondent à la quantité de soude Dornic utilisée pour neutraliser 0,1 g d'acide lactique par kg de produit laitier.

L'acidité titrable est une méthode officielle de l'Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 947.05), qui mesure la quantité totale d'acide lactique présente dans un échantillon.

Un échantillon de 1g de fromage solubilisé dans 10 ml d'eau distillée bouillante et refroidie a été introduit dans un bécher puis mélangé.

- Le pH a été déterminé en utilisant un pH-mètre.
- Pour l'acidité l'échantillon est titré avec une solution d'hydroxyde de sodium (0,1 N) au point de virage de la phénolphthaléine.

La lecture se fait directement sur la burette (le volume nécessaire pour le virage de la couleur) et le pH mètre.

IV.4.1.4 Dosage de chlorure

La détermination de la teneur en chlorures est réalisée par titrage par une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) dans une solution d'acide nitrique en présence de solution de chromate de potassium (0,5M) comme un indicateur de couleur

Le titrage est réalisé par ajout progressif (goutte à goutte) de la solution de nitrate d'argent contenue dans la burette graduée à la solution maintenue en agitation dans le bécher. Le précipité blanc formé est un indicateur de la formation du chlorure d'argent (AgCl). La fin du dosage est indiquée par la couleur rouge brique du précipité de chromate d'argent (Ag_2CrO_4). Notez le volume de nitrate d'argent ajouté.

Calcul : La teneur en chlorure est donnée par la formule :

$$\text{Teneur en chlorure} = 0,585 \times V / E$$

Où :

V : représente le nombre de ml de solution de chromate potassium utilisée pour le titrage

E : le volume de la prise d'essai en ml

Les résultats sont exprimés en mg de chlorure de sodium par litre de solution

IV.4.1.5 Détermination des cendres

- **Traitement des échantillons**

Un broyage est nécessaire pour obtenir une homogénéité compatible avec les manipulations ultérieures.

- **Minéralisation (destruction de la matière organique)**

Après avoir déterminé le poids sec (4gr) de l'échantillon, celui-ci est placé dans un creuset de platine taré et introduit dans un four à moufle froid que l'on porte à environ 250°C pendant quelques heures. L'atmosphère du four est confinée avec un apport d'air extérieur restreint pour éviter une combustion vive au sein de la masse de l'échantillon. La température est montée à 450°C puis à 550°C pendant 3 à 4 heures jusqu'à obtention d'un résidu blanc et non fondu.

La teneur cendre est obtenue à partir de la formule suivante :

La teneur en cendre = le poids du fromage au début – le poids du fromage après la sortie du four.

IV.4.1.6 Etablissement d'une fiche de dégustation

La fiche de dégustation est élaborée selon les propriétés sensorielles du fromage. Elle permet aux dégustateurs de donner des valeurs aux différentes grandeurs sensorielles étudiées.

Le lait de vache est un produit de consommation courante présentant de nombreuses qualités nutritionnelles particulièrement intéressantes chez les jeunes en croissance. Par la diversité des formes commercialisées et l'importance quantitative que revêt cette vente, le lait de vache reste l'un des produits alimentaires d'origine animale les plus intéressants au plan économique et d'imposantes filières industrielles reposent sur ce produit. Le lait reste dans la mémoire collective un excellent produit doué de qualités nutritionnelles importantes et est, généralement, considéré comme un allié important de la santé.

La transformation du lait en fromage dépend de plusieurs facteurs : ferments lactiques, paramètres technologiques (conditions de la coagulation, la nature et l'intensité du travail mécanique, la vitesse d'égouttage, les conditions d'affinage...) et spécialement le lait utilisé (composition chimique et microbiologique).

Le fromage un des dérivés du lait a toujours été une valeur sûre de l'alimentation humaine. C'est le résultat d'une transformation de lait très ancienne puisque des écrits témoignent de sa fabrication quelques trois mille ans avant notre ère en basse Mésopotamie. Source précieuse de protéines, le fromage a été l'un des premiers moyens de conservation du lait, matière première rapidement périssable.

Sur le territoire national, on trouve différentes formes du lait (lait crue, lait reconstitué ...) qui doivent répondre à des critères de qualité. Dans ce travail, nous avons essayé de contribuer à une meilleure connaissance sur la technologie de fabrication de fromage à pâte ferme/semi-dure « Gouda » à partir du lait de vache.

Ce fromage est défini comme le produit obtenu à partir de lait coagulé dont le lactosérum a été retiré. Le coagulum ou caillé a subi une maturation plus ou moins importante - entre 4 semaines et 12 mois, selon le niveau de maturité requis.

Le fromage Gouda est classé dans la catégorie des produits laitiers de culture et est un fromage à croûte lavée à texture serrée, doux et dans lequel le caillé peut être légèrement échaudé pour conserver un pourcentage plus élevé de lactose et d'humidité. Le gouda est classé comme un fromage à pâte semi-dure et peut également être appelé fromage au lait sucré.

Le fromage est séché pendant quelques jours avant d'être enrobé d'un enrobage jaune pour l'empêcher de se dessécher, puis il est vieilli, au cours duquel le fromage passe de mi-dur à dur.

Références bibliographiques

Adrian. 1987. *valeurs alimentaires du lait. La maison rustique.* Paris : s.n., 1987. pp. 85-95.

Alais C, Linden G, Miclo L. 2008. *Biochimie alimentaire.* Paris : Dunod 6emeédition, 2008. pp. 86-88.

Alais, C & Linden,C. 1997. *Abrégé de biochimie alimentaire.* Paris : 4ème édition Masson, 1997. p. 248.

Alais, C. 1984. *Science du lait : principes des techniques laitières.* 4ème edition . Paris : SEPAIP, 1984. 814.

Alais,C . 1975. *Sciences du lait. Principes des techniques laitières.* Paris : Edition Sepaic, 1975.

ALAIS, C. et LINDEN,G. 1993. *Biochimie alimentaire.* 2ème edition . Paris : Edition Masson, 1993.

Amiot et coll, et. 2002. *Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait In VIGNOLA C.L, science et technologie du lait – transformation du lait, école polytechnique de Montréal.* 2002. ISBN : 3-25-29 (600 pages).

André, EcK et Jean-Claude,Gillis. 1997. *Le fromage.* 3ème édition. Paris : technique et documentation. Lavoisier, 1997.

Apfelbaum, M., Romon,M. et Dubus,M. *Diététique et nutrition.* 6ème édition Masson. p. 534.

Ardö, Y, et al. 2017. *Biochemistry of Cheese Ripening: Proteolysis. In: Cheese.* Elsevier, 2017. pp. 445-482.

Badinand, F. 1994. *Maîtrise du taux cellulaire du lait.* Rec. Méd. Vét, 1994. n°170.

Blanc, B. 1982. *Les protéines du lait à activité enzymatique et hormonale.* s.l. : International dairy journal, 1982. pp. 350-395. Vol. 62.

Boutonnier, J.L. 2008. *Matière grasse laitière Composition, organisation et propriétés.* Paris : Dans Techniques de l'ingénieur, Traité Agroalimentaire (F 6320), 2008.

Brulé, G. et Lenoir,J. 1987. *La coagulation du lait Dans le fromage d'ECK,A.* Paris : Ed. Tec et doc. Lavoisier, 1987. pp. (1-20). 539p.

Brulé, G., Lenoir,J. et Ramet,J.P. 1997. *Les mécanismes généraux de la transformation du lait en fromage Chapitre 1 : La micelle de caséine et la coagulation du lait. Dans Le fromage. Ed. Eck A. et Gillis J.C.* 3ème édition . s.l. : Tec et Doc. Lavoisier, 1997. pp. 7-39. 875p.

Cayot, P et et Lorient, D. 1998. *Structures et Technofonctions des Protéines du Lait.* Paris : Edition Tec et Doc Lavoisier, 1998.

Références Bibliographiques

- Cayot, P et Lorient,D. 1998.** *Structures et Technofonctions des Protéines du Lait*. Paris : Edition Tec et Doc Lavoisier, 1998.
- Cheftel, J.C et al, et. 1984.** *introduction à la biochimie et à la technologie des aliments à la biochimie*. Lavoisier, 1984. Vol. II.
- CIPCLait, Commission Interprofessionnelle des Pratiques Contractuelles. 2011.** *Avis relatif à la définition et aux méthodes d'analyse de l'acidité du lait*. 2011. °2011-02.
- CiquaI. 2013.** Table de composition nutritionnelle des aliments . [En ligne] 2013.
<https://ciquaI.anses.fr/>.
- Codex Alimentarius. 1999.** *Norme générale pour l'utilisation de termes de laiterie CODEX STAN 206-1999*. 1999. pp. 1-4.
- CODEX STAN 266-1966. NORME CODEX POUR LE GOUDA.**
- Cotter, P.D et & Beresford, T.P. 2017.** *Microbiome Changes During Ripening*. In: *Cheese*. s.l : Elsevier , 2017. pp. 389-409.
- Coulon, J-B et et Hoden, A. 1991.** *Maitrise de la composition du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéiques*. INRA Prod. Anim, 1991. pp. 361-367. Vol. 4 (5) .
- Courroye, M. 1987.** *L'indice d'affinage. Un nouveau moyen de suivre la protéolyse des fromages à pâte cuite par cryoscopie*. Les IAA, mars, 1987. pp. 169-173 .
- Debry, G. 2001.** *Lait, nutrition et santé*. Paris : Edition Tec et Doc Lavoisier, 2001.
- Deforges, J, et al. 1999.** *Maîtrise de la chaîne du froid des produits laitiers réfrigérés*. Paris : Edition Cemagref Tec et Doc, 1999.
- Desmaures, N. 2014.** *Mold-Ripened Varieties, Encyclopedia of Food Microbiology*. s.l : Elsevier, 2014. pp. 409–415.
- Dieng, M. 2001.** *Contribution à l'étude de la qualité microbiologique des laits caillés industriels commercialisés sur le marché Dakarois*. s.l : Thèse Docteur vétérinaire, Université de Dakar Sénégal, 2001.
- DILLON, J.C et ET BERTHIER, A.M. 1997.** *Le fromage dans l'alimentation*. In : « *fromage* ». Paris : Ed : Eck et Gillis. Lavoisier, 1997.
- ECK, A. 1997.** *Le fromage*. 4ème édition . Paris : Lavoisier, 1997. p. 875.
- Eigel, WN, Buther, JF et Ernstrom, CA et al. 1984.** *Nomenclature of Proteins of Cow's Milk: Fifth Revision I*. s.l : Journal of Dairy Science, 1984. pp. 1599-1631. Vol. 67. ISBN,0022-0302.
- Eskom. 2018.** *Gouda Cheese : Agricultural Processing Brochure* . [En ligne] Octobre 2018.
<file:///C:/Users/Neo/Downloads/20190319CheeseGoudabrochurefinal.pdf>.

Références Bibliographiques

- Everett, D.W et & Auty, M.A.E., 2017.** *Cheese Microstructure 1. In: Cheese.* Elsevier, 2017. pp. 547-569.
- FAO. 1995.** *Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine.* Collection FAO Alimentation et nutrition n°28, 1995.
- Fox, P.F., Singh,T.R., and McSweeney,P.L.H. 1994.** *Proteolysis in cheese during ripening. In biochemistry of milk products.*The royal society of chemistry,(ed. FOX.P.F.) , 1994. pp. 1-31.
- Fredot, E. 2005.** *Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique.* Paris : Tec et Doc, Lavoisier, 2005. pp. 14-379.
- FrieslandCampina. 2008.** Les bienfaits des produits laitiers . *Le rôle des produits laitiers dans une alimentation saine.* [En ligne] 2008.
<https://www.frieslandcampinainstitute.com/uploads/2017/12/Les-bienfaits-des-produits-laitiers.pdf>
- Gagnaire, V et Spinnler, E. & Thierry A., 2018.** *Biochimie de l'affinage: les phénomènes enzymatiques et microbiens. In: Le fromage.* 2018. pp. 429-466.
- Gordon, B et et Loisel, W. 1991.** *Dosage des protéines. Dans : Multon J.L., Techniques d'analyses et de contrôle dans les industries agronomiques.* Paris : 2ème édition, Tec& Doc, Lavoisier, 1991. Vol. 4.
- Goudédranche, H, Camier-Coudron, B et Gassi, J.-Y. & Schuck,P. 2017a.** *Partie 2: Procédés de transformation fromagère 33 (partie2).* 2017a.
- Goudédranche, H, et al. 2017b.** *Partie 3: Procédés de transformation fromagère 33(partie 3) .* 2017b.
- Goursaud, J. 1985.** *Composition et propriétés physico-chimiques. Dans Laits et produits laitiers vache, brebis, chèvre. Tome 1 : Les laits de la mamelle à la laitière.* Luquet F.M.. Paris : Edition Tec et Doc Lavoisier, 1985.
- Goy, D, Häni, JP et Wechsler, D et Jakob,E. 2005.** *Valeur de la teneur en caséine du lait de fromagerie.* s.l : Edition Agroscope Liebfeld-Posieux., 2005. Groupe de discussions Gruyère N°27f.
- Guiraud, J.P. 2003.** *Microbiologie alimentaire.* Paris : édition DUNOD, Tec et Doc Lavoisier, 2003. pp. 136-137 652p.
- Hayaloglu, A.A. 2017.** *Cheese Varieties Ripened Under Brine. In: Cheese.* Elsevier, 2017. pp. 997-1040.
- Jakob, E et et Hänni, J-P. 2004.** *Fromageabilité du lait.* Edition, Agroscope Liebefeld Posieux, 2004. Groupe de discussions N° 17F.
- Jeanet Romain, Thomas Croguennec, Michel Mahaut, Pierre Schuck, Gérard Brulé. 2008.** *Les Produits laitiers.* 2ème édition. Paris : Tec & Doc, Lavoisier, 2008. p. 185 .

Références Bibliographiques

- Jeantet, Romain, et al. 2007.** *Science des Aliments, Biochimie. Microbiologie. Procédés. Produits.* 2. Edition Tec & Doc, Technologie des produits alimentaires, 2007. p. 456.
- Juillard, V et et Richard, J. 1996.** *Le lait.* 1996. pp. 24 – 26.
- Lankveld, JMG. 1995.** *Protein standaridized milk produits, composition and properties.* IDF Brussels, 1995. pp. 70-85.
- Lenoir, J. 1985.** *les caseines du lait.* s.l : Rev lait franç, 1985. pp. 440 : 17-23.
- Leyral, G. 2003.** *Aliments et Boissons. filières et produits.* Paris : éd, CRDP d'Aquitaine, 2003. pp. 37-50.
- Luquet, M.F. 1985.** *Laits et produits laitiers - Vache, brebis, chèvre. Tome 1 : Les laits De la mamelle à la laiterie.* Paris : Tech. & Doc., Coll. STAA, Lavoisier, 1985.
- Madji, A. 2009.** *Séminaire sur les fromages AOP ET IGP.* Tunisie : INAT, 2009.
- Marchin, S. 2007.** *Dynamique de la micelle de caséines : caractérisation structurale.* Thèse INRA/Agrocampus Rennes. 2007. thèse de doctorat .
- Mathieu, H. 1985.** *Modification du lait après récolte. Dans : Lait et produits laitiers. Vaches, brebis, chèvres. Luquet, F.M tome 1.* Paris : Tech. & Doc., Coll. STAA, Lavoisier, 1985.
- Mathieu, J. 1998.** *Initiation à la physicochimie du lait. Guides Technologiques des IAA.* Paris : Edition Lavoisier Tec et Doc, 1998.
- McSweeney, P.L.H et Ottogalli, G. & Fox, P.F. 2017.** *Diversity and Classification of Cheese Varieties: An Overview. In: Cheese.* Elsevier, 2017. pp. 781-808 .
- Mdahou, A. 2017.** *Etude de l'évolution de la flore microbienne indigène d'un fromage industrielle à pate molle type camembert au cours de son affinage et évaluation de ces aptitudes technologiques.* Université d'Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. 2017. p. 132, Thèse de doctorat en production et biotechnologie animales.
- Meyer, C et et Denis, J.P. 1999.** *Elevage de la vache laitière en zone tropicale.* Edition Quae, CTA, presses agronomiques de Gembloux, 1999.
- Michel, Mahaut. 2000.** *Les produits industriels laitiers.* Paris : Tec & Doc, Lavoisier , 2000.
- Mietton, B et & Chablain, I. 2018.** *Du lait au fromage: les fondamentaux technologiques. In : Le fromage.* 2018. pp. 321-359.
- Miranda, G. et Gripon, J.C. 1986.** *Origine, nature et incidences technologiques de la protéolyse dans le lait.* International dairy journal, 1986. pp. 1 - 18. Vol. 66.
- Morrissay, P.A. 1995.** *Lactose : chemical and physicochemical properties. dans : Developments in dairy chemistry 3.* London : (FOX PF). Elsevier, 1995.

Références Bibliographiques

- Mounier, J, et al. 2017.** *Smear-Ripened Cheeses*. In: *Cheese*. Elsevier, 2017. pp. 955-996.
- NOORD-HOLLANDSE GOUDA. 2013.** TOUT SUR LE FROMAGE GOUDA. [En ligne] 2013. <https://www.rodezegeclub.be/src/Frontend/Files/userfiles/files/module-1-fr.pdf>.
- Ozturkoglu-Budak, S et & De Vries, R.P. 2017.** *Mold-ripened and raw milk cheeses: Production, risks, and benefits to human health, Dairy in Human Health and Disease across the Lifespan*. s.l. : Elsevier Inc, 2017. pp. 353-361.
- Patrick, A., Lean,L., Philippe,C. 2010.** *fabrication des produits laitiers frais*.in : Daniel S., Martin F., Philipe D. *Transformer les produits laitiers frais à la ferme*. Paris : Martine, 2010. pp. 39-143.
- Pien, J. 1975.** *physicochimie du lait*. Tech lait, 1975. pp. 841 : 13 – 149 , 844 : 21-23.
- Pougheon, Sandra. 2001.** *Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière*. université Paul Sabatier de Toulouse. France. 2001. Thèse doctorat d'état en médecine vétérinaire.
- Profession Fromager. 2016.** La famille de fromages. [En ligne] Edition ADS, 2016. <https://www.professionfromager.com/boutique/>.
- Ramet, J.P. 1985.** *La fromagerie et les variétés de fromages du bassin méditerranéen*. Rome : Collection FAO Alimentation et nutrition n°48, 1985.
- Renane, F et Saadi,C. 2010.** *Influence de la concentration des sels de fonte sur la qualité physicochimique et organoleptique du fromage fondu*. Boumerdès, 2010. p. 96, Mémoire de fin d'études d'ingénieur d'état en technologie alimentaire. Université M'Hamed Bougarra.
- Reumont, P. 2009.** *Licencié Kinésithérapie*. 2009.
- Rheotest, M. 2010.** *Rhéomètre RHEOTEST® RN et viscosimètre à capillaire RHEOTEST®LK-produits alimentaires et aromatisants*. 2010.
- Roudaut, H et et Lefrancq, E. 2005.** *Alimentation théorique*.Edition Sciences des Aliments, 2005.
- Spinnler, H. 2017.** *Surface Mold–Ripened Cheeses*. In: *Cheese*. Elsevier, 2017. pp. 911-928 .
- St-Gelais, Daniel et et Patrick, Tirard-Collet. 2002.** *Chapitre 6 : Fromage dans Sciences et Technologies du lait, transformation du lait par Carole L,Vignola*. Edition Presses Internationales Polytechnique, 2002. pp. 348-415.603.
- Stoll, W. 2003.** *Vaches laitières: l'alimentation influence la composition du lait*. Suisse : RAP Agri, 2003. Vol. 9. N° 15/2003.
- Thieulin, G et vuillaume, R. 1967.** *Eléments pratiques d'analyse et d'inspection du lait de produits laitiers et des oeufs-revue générale des questions laitières* 48 avenue. president Wilson, 1967. pp. 71-73,388.

Références Bibliographiques

Toureau, V et Bagieu, V. et Le Bastard, A-M. 2004. *Une priorité pour la recherche : la qualité de nos aliments. Les recherches sur la qualité du fromage.* INRA mission communication., 2004.

TREMOLIERE, J, SERVILE, Y et JACQUOT, R ET DUPIN, H. 1984. *Manuel d'alimentation humaine. Tome 1.* 1984.

Veisseyre, R. 1975. *Technologie du lait constitution, récolte, traitement et transformation du lait.* 3ème édition. Paris : Edition la maison rustique, 1975.

Vierling, E. 2003. *Aliment et boisson- Filière et produit.* [éd.] Doin. 2ème édition. centre régionale de la documentation pédagogique d'aquitaine , 2003. pp. 11- 270.

Vierling, E. 2008. *Aliments et boissons filières et produits.* 3ème édition. Paris : Biosciences et techniques, 2008. pp. 15-16.

VIGNOLA, C. 2002. *Science et technologie du lait. Transformation du lait.* Edition presses internationales polytechniques, Fondation de technologie laitière du Québec., 2002.

Walstra, P. 1999. *Casein sub-micelles: do they exist?* International Dairy Journal, 1999. pp. 9-189-192.

Whitney, R, Brunner, J et Ebner, K et al. 1976. *Nomenclature of the proteins of cow's milk: Fourth revision.* Journal of Dairy Science, 1976.

Wolter, R. 1988. *Alimentation de la vache laitière.* 3ème édition. Paris : Editions France Agricole., 1988.