

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires
Spécialité : Production et Transformation Laitier



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Impact des facteurs technologiques sur la
qualité sensorielle et le rendement des
fromages.**

Présenté par :

Benbouya Dalila & Bensai Kamilia

Soutenu le : **29 septembre 2021**

Devant le jury composé de :

| | | |
|-----------------------|------------|-----------|
| Mme. Boulekbache Lila | Professeur | Président |
| Mme. Medouni Sonia | MCA | Encadreur |
| Mme. Smail Leila | MAA | Examineur |

Année universitaire : 2020/ 2021

Remerciement

On tient à remercier tout d'abord dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

On tient à remercier notre encadreuse Mme Medouni Sonia pour son encadrement, ses conseils, sa disponibilité ainsi que pour ses remarques constructives qu'elle nous a donné lors de la rédaction de notre mémoire nous la remercions donc pour les efforts qu'elle a fournis malgré les circonstances qu'elle a traversée en raison de la pandémie.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jurys Boulekbache Lila et Smail Leila d'avoir accepté d'examiner notre travail.

On adresse nos plus sincères remerciements à nous enseignants du département Science Alimentaires qui par leur enseignement ont contribué à notre formation durant tout notre cursus universitaire sans oublier notre chef de département Monsieur Bouderies. H.

Enfin on tient à exprimer vivement nos remerciements avec une profonde gratitude à Mr Benbouya Fahem pour son aide et ces conseils et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Merci



Dédicaces

Je dédie mon travail à celle qui m'a donnée la vie, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite à ma chère maman le symbole de tendresse.

A mon cher père, mon exemple, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes mes années d'études et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager à me donner de l'aide et à me protéger.

Que dieu vous garde mes chers parents et vous protège.

A mes chers frères qui ont jamais hésiter de m'aider etsoutenir durant tous ma vie

A ma chère Siham et Sabrina pour leurs encouragement et compréhension.

A mes chères amies Zineb, Rosa, Chahinez et Mounira.

*A ma cher binôme Kamilia avec
qui J'ai partagé ce travail.*

Et enfin je dédie ce travail a toute la promotion PTL 2020/2021.

Dalila



Dédicaces

Je dédie mon travail à celle qui m'a donnée la vie, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite à ma chère maman le symbole de tendresse.

A mon cher père, mon exemple, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes mes années d'études et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager à me donner de l'aide et à me protéger.

Que dieu vous garde mes chers parents et vous protège.

A mes chers frères Saïd et M'Hani.

A mes chères sœurs Wissam et Kahina.

Mes dédicaces ne seront pas complétées sans cité ma cher binôme Dalila je te dédie ce travail avec tous les vœux de bonheur, de santé et de réussite.

Et enfin je dédie ce travail a toute la promotion PTL 2020/2021 et tous ce qui mont chère.

Kamilia

Table des matières

Table des matières

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

| | |
|--------------------|---|
| Introduction | 1 |
|--------------------|---|

Chapitre I : Généralités sur lait et fromage

| | |
|---|---|
| I.1. Lait | 2 |
| I.1.1. Définition | 2 |
| I.1.2. Composition | 2 |
| I.1.2.1. Eau | 2 |
| I.1.2.2. Lactose | 3 |
| I.1.2.3. Matière grasse | 3 |
| I.1.2.4. Protéines du lait | 3 |
| I.1.2.4. A. Caséine | 3 |
| I.1.2.4. B. Micelles de caséines | 4 |
| I.1.4. Caractéristiques physicochimiques du lai | 5 |
| I.2. Fromage | 6 |
| I.2.1. Définition | 6 |
| I.2.2. Etapes de transformations du lait en fromage | 6 |
| I.2.2.1. Coagulation | 6 |
| I.2.2.1. A. Coagulation acide | 6 |
| I.2.2.1. B. Coagulation enzymatiqu | 7 |
| I.2.2.1. C. Coagulation mixte | 8 |

| | |
|---|----|
| I.2.2.2. Egouttage | 8 |
| I.2.2.3. Salae | 9 |
| I.2.2.4. Affinage | 9 |
| I.2.3. Grandes familles de fromage | 10 |
| I.2.3.1. Fromage frais | 10 |
| I.2.3.2. Fromage à pâte molle à croûte lavée..... | 10 |
| I.2.3.3. Fromage à pâte prissé..... | 10 |
| I.2.3.4. Fromage à pâte dure | 11 |
| I.2.3.5. Fromage à pâte filées | 11 |
| I.2.3.6. Fromage fondus..... | 12 |

Chapitre II : Impact des facteurs technologiques sur qualité sensorielle des fromages

| | |
|--|----|
| II.1. Impact des facteurs de production sur la qualité des fromages | 13 |
| II.1. Préparation des laits de fromagerie | 13 |
| II.1.1. Effets de la race | 13 |
| II.1.2. Etat sanitaire | 14 |
| II.1.3. Stade physiologique (ou stade de lactation) | 15 |
| II.1.4. Effet des facteurs alimentaires..... | 16 |
| II.1.4.1. Effet de la nature de la ration et du mode de conservation de l’herbe..... | 16 |
| II.1.4.2. Effet de la composition de botanique de l’herbe | 17 |
| II.2. Homogénéisation du lait | 18 |
| II.3. Traitement thermique | 19 |
| II.4. Refroidissement | 20 |
| II.5. Type de coagulant..... | 20 |
| II.6. Pressage du caillé..... | 21 |

| | |
|---|----|
| II.7. Salage..... | 21 |
| II.8. Affinage | 22 |
| II.9. Cuisson | 23 |
| <i>Chapitre III : Impact des facteurs technologiques sur le rendement des fromages</i> | |
| III.1. Définition | 24 |
| III.2. Facteurs de variation du rendement lié à la matière première(lait) | 24 |
| III.2.1. Composition du lait | 24 |
| III.2.1.1. Teneur en caséines..... | 25 |
| III.2.1.2. Variantes génétiques des protéines du lait | 25 |
| III.2.1.3. Teneur en matière sèche | 25 |
| III.2.1.4. Teneur en matière grasse | 26 |
| III.2.1.5. Teneur en humidité conserver dans le fromage..... | 27 |
| III.2.1.6. pH..... | 27 |
| III.3. Impact des facteurs technologiques sur la composition du lait | 28 |
| III.3.1. Refroidissement | 28 |
| III.3.3. Traitement thermiques et action sur le taux protéique (TP)..... | 29 |
| III.3.4. Standardisation du lait | 29 |
| III.3.4.1. Impact des facteurs physiologique sur la composition du lait..... | 30 |
| III.3.4.1.1. Stade de lactation..... | 30 |
| III.3.4.1.2. Etat sanitaire de la mamelle..... | 30 |
| III.3.4.1.3. Effet de la saison | 31 |
| III.3.4.1.4. Effet de la race : cas des races Bovines..... | 32 |
| III.3.5 Type de la coagulation : enzymatique et acide..... | 33 |
| III.3.6. Lavage de caillé..... | 34 |
| III.4. Amélioration de rendement..... | 34 |

Conclusion..... 36

Références bibliographiques

Glossaire

Résumé

Liste des abréviations

AOC : Appellation D'origine Contrôlé

CCS : conséquence des cellules Somatiques

FAO : Food Agriculture Organisation

Glu : Glucine

HHP : Homogénéisation Haute Pression

Leu : Leucine

MG : Matière Grasse

MS : Matière sèche

Pro : Proline

PPC : Pâte Pressé Cuite

PPNC : Pâte Pressé Non Cuite

Rdt : Rendement

TB : Taux Butyreux

TP : Taux Protéique

UHHP : Ultra Haute Pression Homogénéisation

Liste des figures

| Figures | Titre | Page |
|----------------|---|-------------|
| N° 1 | Micelle et submicelles de caséine | 5 |
| N° 2 | Les phases de la coagulation enzymatique du lait et la formation du réseau | 8 |
| N° 3 | Différenciation des caractéristiques sensorielles (flaveur et texture) de différents fromages | 18 |
| N° 4 | Relation entre la teneur en matière sèche et le rendement fromager en MS | 26 |
| N° 5 | Effet de la teneur en matière grasse sur le rendement fromager | 27 |
| N° 6 | Evolution annuelle du taux protéique et liaison avec le rendement laitiers | 31 |
| N° 7 | Effet de quelque races Bovines sur l'aptitude à la coagulation des laits | 32 |
| N° 8 | L'effet des paramètres de caillage sur le rendement | 33 |
| N° 9 | Amélioration de rendement fromager | 35 |

Liste des tableaux

| Tableau | Titre | Page |
|----------------|--|-------------|
| N° I | Composition moyenne de lait de vache | 2 |
| N° II | Caractéristiques physicochimiques des caséines | 4 |
| N° III | Les caractéristiques physicochimique du lait | 5 |
| N° IV | Effet de la race de vache sur les caractéristiques sensorielles des fromages | 14 |
| N° V | Effet du stade physiologique sur les caractéristiques sensorielles du fromage (cas du Saint –nectaire) | 15 |
| N° VI | Effet de la conservation du fourrage sur les caractéristiques physico-chimique et sensorielle des fromages | 17 |
| N° VII | Diffèrent type d'homogénéisation a des hauts pression (UH) | 18 |

Introduction

INTRODUCTION

Non seulement le lait se consomme à l'état nature, il peut également subir différentes biotransformations qui contribuent à élargir considérablement ses qualités sensorielles et nutritionnelles. L'un des dérivés de ces transformations est le fromage, de l'ancien français « fromage » (du latin *formaticus*, c'est-à-dire fait dans une forme) (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002**).

Le lait représente la matière première de la fabrication du fromage, la composition chimique du lait à savoir : la teneur en matière grasse et en protéique est variable, selon plusieurs facteurs physiologiques tels : l'espèce Ainsi, le stade de lactation, la saison de production et le type de rationnement/alimentation, cette composition a un effet direct sur les propriétés fonctionnelles du fromage. (**Masson *et al.*, 1978 ; Hebert, 2010**).

La qualité du lait de fromagerie est en fonction de son aptitude à donner un bon fromage, dans des conditions de travail normales, avec un rendement satisfaisant. Elle dépend d'un certain nombre de caractéristiques du produit tels que sa composition chimique, sa richesse en caséines, sa charge microbienne et la nature de sa microflore, son aptitude au développement des bactéries lactiques. Elle dépend aussi de son comportement vis-à-vis de la présure (**Remeuf *et al.*, 1991**).

Les caractéristiques sensorielles des fromages sont une préoccupation importante des filières. La qualité sensorielle des fromages varie en fonction de la technologie de fabrication et des caractéristiques chimiques et microbiologiques de la matière première mise en œuvre. Ces dernières dépendent elles-mêmes de nombreux facteurs d'origine génétique, physiologique, alimentaire etc.

La qualité sensorielle et le rendement fromager ; sont devenus l'objet d'intérêt des technologues aujourd'hui, ainsi l'objectif de notre travail est donc l'étude de l'impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle et le rendement des fromages. Afin de réaliser cet objectif, le présent travail est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur le lait et le fromage ; Le deuxième chapitre traite l'étude de l'impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle ; Le troisième chapitre traite l'étude de l'impact des facteurs technologiques sur le rendement des fromages.

Chapitre I : Généralités sur le lait et le fromage

I.1. Lait

I.1.1. Définition

Le lait était 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 du colostrum » (**Pougheon et Goursaud, 2001**).

Jeantet *et al.* (2007), rapportent que le lait doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et présenter toutes les garanties sanitaires. Il peut être commercialisé en l'état mais le plus souvent après avoir subi des traitements de standardisation lipidique et d'épuration microbienne pour limiter les risques hygiéniques et assurer une plus longue conservation.

I.1.2. Composition

Le lait de vache est un lait crassineux. Sa composition en général varie en fonction d'une multiplicité de facteurs : race de l'animal, alimentation, état de santé de l'animal, période de lactation, ainsi de la traite (**Roudaut et Le Francq, 2005**).

Tableau I : Composition moyenne de lait de vache (**Christiane Joffin et Jean-Noël Joffin, 2003**)

| Composition | Pour un dm ³ |
|---------------|-------------------------|
| Eau | 900g |
| Lactose | 50g |
| lipides | 35g |
| Protéines | 30g |
| Ions minéraux | 9g |
| Vitamines | Traces |
| pH | 7 |

I.1.2.1. Eau

L'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion. La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire. Ce caractère polaire est ce qui lui permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum (**Vignola, 2002**).

I.1.2.2. Lactose

Le lactose est le glucide, ou l'hydrate de carbone, c'est le constituant majeur de la matière sèche du lait environ 40% (**Debry, 2001**). D'autres glucides peuvent être présents en faible quantité, comme le glucose et le galactose qui proviendraient de l'hydrolyse du lactose ; en outre, certains glucides peuvent se combiner aux protéines. Ainsi, le lait contient près de 4,8% de lactose, tandis que la poudre de lait écrémé en contient 52% et la poudre de lactosérum, près de 70% (**Mahaut et al., 2003**).

I.1.2.3. Matière grasse (MG)

Elle est présente dans le lait sous forme de globules gras de dimension de 0,1 à 10 μm . Essentiellement constituée de triglycérides (98%), phospholipides (1%) et d'une fraction insaponifiable (1%) constituée en grande partie de cholestérol et de β - carotène (**Vignola, 2002**).

I.1.2.4. Protéines du lait

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers. L'analyse du lait par minéralisation, appelée méthode Kjeldahl, permet d'évaluer que 95% de la quantité totale d'azote est présente dans les protéines dont la concentration moyenne est de 3,2%. Les composés azotés non protéiques sont principalement des protéases, des peptones et de l'urée (**Vignola, 2002**).

Les protéines du lait peuvent être divisées en deux classes selon leurs solubilités à pH ; Les protéines insolubles à pH 4,6 s'appellent les caséines et les protéines solubles à pH 4,6 sont les protéines de sérum ou les protéines de petit lait (**Huppertz et al., 2006**).

A. Caséines

Les caséines sont les principales protéines du lait qui représentent 80% des protéines totales du lait (**Brule et al., 1997 ; Jeant et al., 2008**). La caséine est un complexe protéique phosphorylé à caractère acide qui se précipite à pH 4,6 et se compose de quatre protéines majeures dont les caractéristiques sont détaillées dans le tableau II, les caséines α_1 , α_2 , β et κ dont les proportions relatives respectivement sont : 33, 11% (**Dalgleish et Corredig, 2012**). Il existe également une caséine γ qui est formée par l'hydrolyse de la caséine β par le plasmide (**Vignola, 2002**).

Les caséines sont hydrophobes et ont une charge relativement élevée et contiennent beaucoup de proline et peu de résidus de cystéine (**Huppertz et al., 2006**). Ces protéines possèdent

un certain nombre de caractères communs : la présence de phosphore sous forme de groupements phosphorylés, leur richesse en certains acides aminés (glutamine, leucine, proline) et la forte proportion de résidus apolaires (**Mahaut *et al.*, 2003**). Ces caractéristiques sont représentées dans le tableau II.

Tableau II : Caractéristiques physicochimiques des caséines (**Croguennec *et al.*, 2008**).

| Propriétés | Caséines | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|---------|----------|
| | $\alpha s1$ | $\alpha s2$ | β | κ |
| Résidus d'acides aminés | 199 | 207 | 209 | 169 |
| Poids moléculaire (Da) | 23615 | 25226 | 24023 | 19037 |
| Résidus cystéine | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Résidus phosphosérine | 8-9 | 10-13 | 5 | 1-2 |
| Sensibilité au Ca^{2+} | ++ | +++ | + | - |
| Sensibilité à la chymosine | - | - | + | +++ |
| Charge à pH 6,6 | -21 | -15 | -12 | -3 |

B. Micelles de caséine

La micelle de caséine (figure 1) est une particule sphérique d'environ 180 nm, constituée de submicelles de 8 à 20 nm, elle est très hydratée (2 à 4 g d'eau par g de protéine) et 7% environ de son extrait sec est composé de sels (phosphate, calcium, magnésium, citrate) dans l'espace inter-submicelle (**Debry, 2001**).

Les submicelles pourraient être constituées d'environ 10 molécules de 4 caséines en proportion variables. Les submicelles les plus riches en caséines κ sont situées en surface de la micelle, ce qui la stabilise (**Debry, 2001**).

La stabilité des micelles peut s'expliquer par des répulsions électrostatiques qui s'opposent à leur agrégation, par la forte proportion (**Mahaut *et al.*, 2003**).



Figure 1 : Micelle et submicelles de caséine (Vignola, 2002).

I.1.3. Caractéristiques physicochimiques du lait

Un lait de bonne qualité organoleptique présente des caractéristiques physico-chimiques particulières (tableau III) qui concernent la couleur, l'odeur, la saveur, la viscosité etc. (Guirraud, 2003).

Tableau III : les caractéristiques physicochimiques du lait (Bourgeois *et al.*, 1990).

| Caractéristiques physiques | Valeurs |
|-------------------------------------|-------------|
| pH | 6,6-6,8 |
| Densité | 1,030-1,033 |
| Température de coagulation c° | -0,53 |
| Caractéristiques chimiques (g/100g) | Valeurs |
| Extrait sec total | 12,7 |
| Totaux de matière grasse | 3,9 |
| Teneur en azotée totale | 3,4 |
| Teneur en caséine | 2,8 |
| Teneur en albumines et globuline | 0,5 |
| Teneur en lactose | 4,9 |
| Teneur en cendres | 0,9 |
| Vitamines/enzymes et gaz dissous | Traces |

I.2. Fromage

I.2.1. Définition

Le fromage, selon la norme codex, est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi dure, dure ou extra-dure qui peut être enrobé, 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 les caractéristiques physiques, chimiques et sensorielles similaires à celles de la définition précédente (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002**)

I.2.2. Etapes de transformation du lait en fromage

La transformation du lait en fromage comporte, pour la plus grande partie des fromages quatre étapes principales : coagulation, égouttage salage et affinage.

I.2.2.1. Coagulation

La coagulation du lait correspond à des modifications physico-chimiques associées à une déstabilisation de l'état originel des micelles de caséine du lait, cette modification conduit à la formation d'un réseau tridimensionnel appelé « Gel » ou « Coagulum » (**Eck et Gillis, 2006**). La coagulation du lait est obtenue par plusieurs méthodes à savoir : la méthode acide, enzymatique et synthétique qui se base sur la combinaison des deux méthodes citées précédemment (**Vignola, 2002**).

L'aptitude à la coagulation du lait dépend de son pH initial, puis de sa teneur en calcium colloïdal et en caséines qui jouent un rôle primordial dans la mise en place du gel (**Hurtaud et al., 2001**). La coagulation du lait par voie acide ou par voie enzymatique est étroitement liée à l'organisation structurale de la micelle de caséines. Provoquer la coagulation du lait, revient à jouer sur les capacités physico-chimiques des micelles de caséines et à modifier l'équilibre entre la phase soluble et la phase colloïdale (**Cayot et Lorient, 1998 ; St-Gelais et al., 2000**).

a. Coagulation acide

Elle consiste à précipiter les caséines à leur point isoélectrique (pHi= 4,6) par acidification biologique à l'aide de ferments lactiques qui transforment le lactose en acide lactique ou par

acidification chimique (injection du CO₂ ou addition de Glucono-Delta Lactone (GDL) ou encore par ajout de protéines sériques à pH acide (**Mahaut *et al.*, 2000**).

L'acidification entraîne une diminution des charges négatives des micelles et donc une diminution de la couche d'hydratation et des répulsions électrostatiques, ainsi qu'une solubilisation du calcium et du phosphore minéral, entraînant une déstructuration des micelles de caséines avec réorganisation protéique, pour former un réseau puis un gel à pH 4,6 (**Mahaut *et al.*, 2000 ; Lucey, 2008 ; Tsakalidou, 2010**). Le coagulum est un gel qui présente une perméabilité satisfaisante, mais une friabilité élevée avec une élasticité et plasticité pratiquement nulles dues au manque de structuration du réseau. Les liaisons sont de faible énergie de type hydrophobe et résistent peu aux traitements mécaniques (**Mahaut *et al.*, 2000**).

b. Coagulation enzymatique

Il ya un grand nombre d'enzymes protéolytiques, d'origine animale, végétale ou microbienne, qui ont la propriété de coaguler le lait. Cependant cette propriété ne suffit pas à les rendre aptes à produire des fromages de qualité. La présure d'origine animale constituée principalement de chymosine et d'un peu de pepsine (présure : 80% chymosine et 20% pepsine) est le coagulant le plus utilisé. Elle appartient à la famille des endo-peptidases et possède une activité spécifique, car elle n'hydrolyse que la caséine-k pendant la fabrication des fromages (**St-Gelais *et al.*, 2000**).

L'attaque enzymatique se fait sur la liaison peptidique 105 (phénylalanine) -106 (méthionine) qui libère une partie hydrophile de la caséine kappa (le segment 106-169 caséino-macropéptide (CMP) et une partie restante hydrophobe la para-caséine κ (le segment 1-105) rattachée à la micelle. Cette fraction hydrophobe forme un coagulum de micelles sous forme de gel de para-caséine par floculation et agrégation (**Amiot *et al.*, 2002**).

Lors de la libération du CMP, il se produit une diminution importante de la charge électrique des micelles et de leur degré d'hydratation (**St-Gelais *et al.*, 2000 ; Amiot *et al.*, 2002**).

Des liaisons hydrophobes et électrostatiques s'établissent entre les micelles modifiées, ainsi les micelles agrégées se réorganisent avec l'apparition de liaisons phosphocalciques et des ponts disulfures entre les para-caséines (figure 2) (**Vétier *et al.*, 2000**).

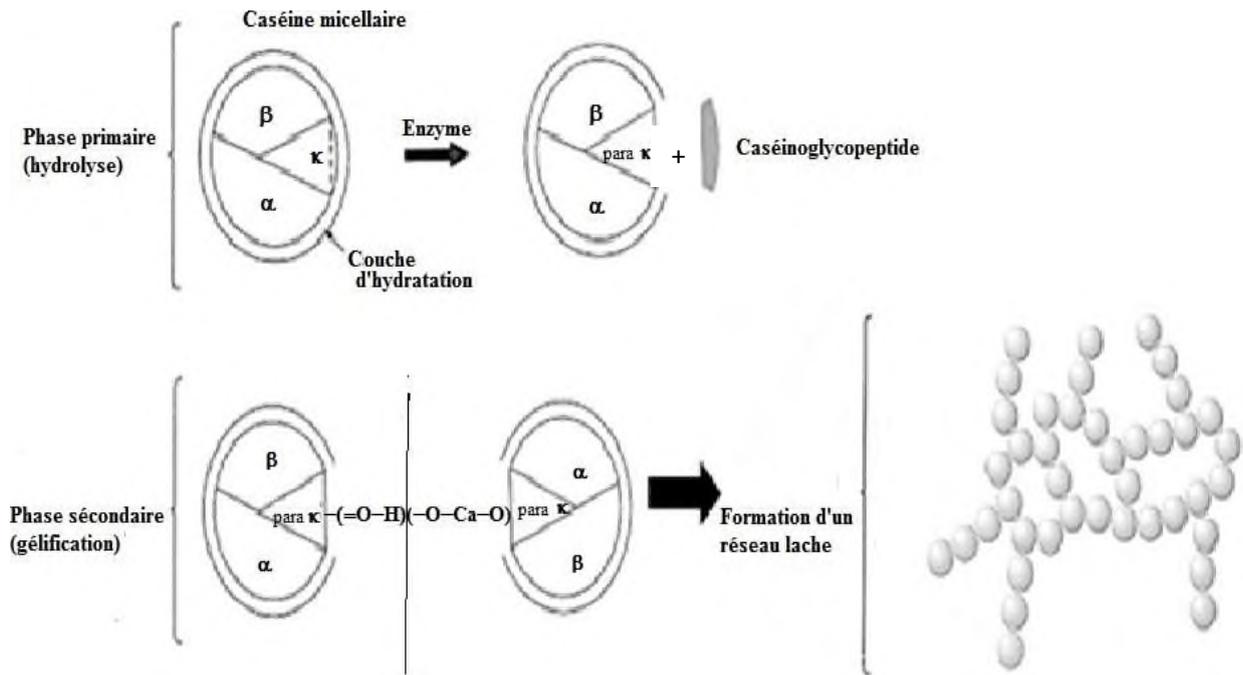


Figure 2 : Les phases de la coagulation enzymatique du lait et la formation du réseau (Payens, 1979 ; Alias, 1984 ; Mietton, 1995).

c. 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 molle et à pâte pressée non cuite (Mahaut *et al.*, 2003).

I. 2.2.2. Egouttage

Cette phase consiste en l'élimination plus ou moins grande du lactosérum emprisonné dans les mailles du gel formé (Mahaut *et al.*, 2000).

Pour le praticien, l'apparition du lactosérum marque le début de l'égouttage. En réalité, elle n'est que la manifestation visible d'une séparation commencée au cours de la coagulation et dont le déroulement se fait par étapes. Les mécanismes fondamentaux de l'égouttage sont différents selon que le coagulum est obtenu par voie enzymatique ou par voie fermentaire (Kirchmeier, 1961 ; St-Gelais *et al.*, 2000).

Sous l'effet conjugué de la présure, de l'acidité et de la température, les liaisons moléculaires qui se créent entre les caséines et les minéraux provoquent une contraction du réseau qui expulse l'eau et les solutés (protéines sériques, minéraux solubles, lactose, composés azotés non protéiques) (Scott *et al.*, 1998).

I.2.2.3. Salage

L'ajout de sel fin ou de gros sel par saupoudrage, immersion en saumure ou le salage direct du caillé, quand il a atteint la teneur en humidité et le pH désiré, a un rôle sensoriel en donnant une saveur marquée au produit et un rôle technologique en complétant l'égouttage et en limitant l'acidification et la déminéralisation (**Hardy, 1997 ; Khaled, 2012**).

Le salage est une étape essentielle dans la fabrication du fromage, car le fromage non salé est pratiquement insipide (**Olson, 1995**).

Le sel joue également un rôle majeur dans la texture, la saveur et la qualité microbienne des fromages (**Kindstedt *et al.*, 1992 ; Paulsonet *et al.*, 1998 ; Fox *et al.*, 2000**) ; Il inhibe la croissance de certaines bactéries, qui sont nocifs pour le fromage et cause sa détérioration, en particulier sur la surface. D'autre part, il permet la sélection de la flore d'affinage (**Hardy, 1997**).

Il aide à la dissolution de la caséine et dans la formation de la croûte, ainsi qu'en ralentissant l'activité enzymatique. La teneur en sel peut également varier considérablement à l'intérieur d'un bloc de fromage en raison de la lente diffusion du sel. Par conséquent, il y a plus d'eau et moins de sel au centre d'un bloc de fromage comparé pour à la surface (**Prentice, 1993**). Cette inégalité de la distribution de sel (et de l'eau) conduit également à des variations dans les propriétés rhéologiques du fromage à l'intérieur du bloc (**Visser, 1991**).

I.2.2.4. Affinage

L'affinage est une étape clé pour le développement des qualités spécifiques de chaque fromage. Tous les types de fromages à l'exception des fromages frais subissent une maturation biologique plus ou moins prononcée. L'affinage est une phase de digestion enzymatique des composés protéiques et lipidiques du caillé égoutté (**Romain *et al.*, 2008**).

Cette étape dépend de la composition et de la structure du caillé, de la durée d'affinage, de la composition de la flore interne et de surface ainsi que du contexte environnemental de la cave (**Herbert, 1999**).

Plusieurs types de dégradations s'effectuent simultanément ou successivement dans un caillé en voie de maturation. Il y a notamment la fermentation du lactose, l'hydrolyse des protéines et la dégradation de la matière grasse. Ces transformations ne s'arrêtent pas au stade primaire, car le ou les produits formés peuvent être, à leurs tours, transformés et donner naissance à de nouveaux composés, eux même susceptibles d'être repris par d'autres systèmes enzymatiques. Les transformations que subit le caillé font évoluer sa texture et sa flaveur, qui atteindront un degré

optimal après une certaine période d'affinage plus ou moins longue selon le type de fromage (St-Gelais *et al.*, 2000).

I.2.3. Grandes familles de fromage

Les différents types de fromages présentent des caractères spécifiques liés à la fois au mode de coagulation et d'égouttage et à la flore microbienne, qui libère des enzymes responsables de la saveur, de la texture et de l'aspect de la pâte. On peut définir les différents types de fromage qui sont :

I.2.3.1. Fromages frais

Le fromage frais résulte de la coagulation lente du lait par action de l'acidification combinées ou non à celle d'une faible quantité de présure. Le fromage frais présente une grande diversité selon le degré d'égouttage et la teneur en matière grasse du lait mis en œuvre. Ces caillés restent très humides (75-80%) et sont peu minéralisés. La pâte a un pH bas (4,34 ; 5), n'a pas de cohésion et se prête à la fabrication de fromage sans forme ou de format réduit et de courte conservation (Mahaut *et al.*, 2000).

I.2.3.2. Fromages à pâte molle, à croûte lavée ou fleurie

Les fromages à pâte molle sont définis dans la norme internationale *Codex Alimentarius* (2001) comme étant tous les fromages dont la teneur en eau après élimination des matières grasses est supérieure à 67 %, ils sont des fromages affinés et dont la pâte n'est ni cuite ni pressée, fabriqués à partir de lait pasteurisé ou de lait cru de chèvre, de vache ou de brebis. Ces fromages ont une texture généralement crémeuse et onctueuse avec une légère élasticité dans la pâte. Selon la conduite de l'affinage, deux types de croûte peuvent se développer sur les fromages à pâte molle permettant de diviser cette famille en deux sous familles : les pâtes molles à croûte fleurie et les pâtes molles à croûte lavée.

I.2.3.3. Fromages à pâte pressée

Il s'agit des fromages dont le caillé est pressé après soutirage, puis mis à l'affinage. Ils sont constitués d'une pâte compacte, renfermant un peu moins d'eau que les fromages frais, mais contenant plus de sels minéraux dont les sels de calcium notamment. Dans cette catégorie, on distingue les fromages à pâte pressée non cuite et les fromages à pâte pressée cuite (Yildiz, 2010 ; Parente et Cogan, 2004).

➤ Pâte pressée non cuite (PPNC)

Elle présente une teneur en matières sèche comprise entre 44 et 55%. Certaines PPNC subissent un délactosage afin de limiter l'acidification et la baisse d'activité en eau (AW) qui a un rôle important sur la sélection microbienne et sur l'action d'enzyme. On distingue trois différentes pâtes

- Pâte pressée non cuite à croûte sèche (edam, gouda, cantal, raclette...).
- Pâte pressée non cuite à croûte fongique (tommes ...).
- Pâte pressée non cuite à croûte morguée (saint-paulin...).

➤ Pâte pressée cuite (PPC)

Les pâtes pressées cuites subissent une cuisson (53-55 °C) pendant 30 - 50 min) lors de travail en cuves afin d'effectuer un égouttage plus poussé pour atteindre un extrait sec final de 60% à 63%. Ce sont des fromages de garde, on distingue :

- *Le groupe emmental.
- *Le groupe du gruyère (**Lenoir *et al.*, 1985**).

I.2.3.4. Pâtes dures

Leur teneur en extrait sec varie entre 64%-72% et leur durée de conservation peut atteindre 2 à 3 ans ; Ce type de fromage font de véritables fromages de garde. Leur technologie se rapproche de celle des fromages à pâte pressée cuite : le tranchage est poussé et le brassage est effectué à chaud pendant 1 à 2 heures avec une montée en température entre 55 et 58 °C, ce qui permet d'atteindre l'extrait sec recherché. La croûte est séchée et brossée régulièrement, parfois huilée (**Lenoir *et al.*, 1985 ; Ramet, 2006**).

I.2.3.5. Pâtes filées

Ce sont des fromages d'origine italienne comme la mozzarella ou le provolone. Ces fromages présentent une grande analogie avec la fabrication des pâtes pressées jusqu'à la fin du brassage en cuve. Après soutirage du lactosérum, les grains sont alors pressés, laissés au repos pendant 3 à 8 h jusqu'à un extrait sec de 50-53% nécessaire pour avoir un bon filage. Le caillé est ensuite découpé en lamelles. Celles-ci sont alors immergées dans l'eau ou le lactosérum à 70-85°C, pendant 10 à 20 min afin de favoriser l'élasticité et le filage. Le conditionnement est varié ; il peut être sous forme de balle, de cylindre ou de disque (**Lenoir *et al.*, 1985 ; Ramet, 2006**).

2.3.6. Fromages fondus

Le fromage fondu est un fromage traité thermiquement avec une masse homogène et stable, onctueux, qui est préparé en discontinu en chauffant un mélange de fromages naturels avec des sels émulsionnants sous pression réduite et sous agitation constante jusqu'à obtention d'une masse aux propriétés souhaitées (**Guinee, 2009 ; Bubelová et al., 2015**).

Le fromage fondu est obtenu par la fonte d'un fromage ou d'un mélange de fromages frais ou affinés additionnées éventuellement de lait, beurre, crème, caséines, lactosérum, et d'autres ingrédients (épices, aromates, jambon, champignons...). Les fromages utilisés pour la fonte sont soit difficiles à commercialiser soit préparés à partir de restes d'ultrafiltration (**Solowiej et al., 2014**). Ce sont généralement des fromages à pâte dure aux microorganismes plus contrôlés et aux arômes plus stables que les fromages à pâte molle (**Fredot, 2006**).

La cuisson et le brassage sont généralement effectués dans des pétrins à double paroi pour atteindre des températures de 90- 95°C, voire 120- 125 °C pour la stérilisation. La durée de conservation exceptionnelle permet son exportation dans les pays chauds (**Mahaut et al., 2000**).

**Chapitre II : Impact des facteurs
technologiques sur la qualité
sensorielle des fromages**

Chapitre II _____ Impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages

Les caractéristiques organoleptiques des fromages comportent : l'apparence, la texture, et l'ensemble des sensations olfacto-gustatives. L'aspect d'un fromage, sa couleur, son odeur, sa consistance, sa saveur, son arôme stimulant les sens, de la vue, de l'ouï, du toucher, de l'odorat et du goût, et provoquant des réactions plus ou moins vives d'acceptation ou de rejet. Ce sont ces différentes propriétés des fromages qui déterminent une meilleure approche de la classification des fromages (**Chambers *et al.*, 2005**).

La qualité sensorielle des fromages dépend d'un grand nombre de facteurs liés à la fois à la technologie de fabrication et à la composition de la matière première mis en œuvre (**Gaborit, 2001**).

II.1. Préparation des laits de fromagerie

La matière première principale, le lait a une composition qui influence la qualité sensorielle des fromages. En effet, la quantité de caséine qui forme le gel augmente la fermeté du gel et l'élasticité de la pâte fromagère. En conséquence, un lait pauvre en caséine sera plus long à coagulé. Il donnera un fromage avec moins de corps.

La matière grasse emprisonnée dans le réseau caséique nuit à la formation et à la contraction du gel. En excès, la matière grasse donne un fromage avec une texture trop élastique. Par ailleurs, un lait ayant développé des saveurs rances ou oxydées à la suite de la dégradation des matières grasse durant l'entreposage les transmet en fromage (**St-Gelais et Tirad-Collet, 2002**).

La standardisation et/ou l'enrichissement des laits destinés à la fabrication du fromage est primordiale. En effet, la composition du lait est influencée par plusieurs facteurs physiologiques tels : la race, l'état sanitaire stade de lactation etc.

II.1.1. Effet de la race

Les quelques travaux entrepris sur l'effet de la race sur les caractéristiques sensorielles des fromages résultent généralement d'interrogations des filières de fromages d'AOC concernant l'opportunité de restreindre, dans leur cahier des charges, la production de lait à certaines races et en particulier à celles traditionnellement exploitées dans la zone de production (**Garel et Coulon, 1990**). Plus récemment, les laits de vaches Tarentaises, Holstein et Montbéliardes ont été transformé en fromage de Saint-Nectaire, en conditions technologiques contrôlées et identiques d'une fabrication à l'autre, au cours de trois séries d'essais (tableau IV) dans lesquels on faisait également varier l'alimentation des vaches.

Chapitre II _____ Impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages

Tableau IV : Effet de la race de vache sur les caractéristiques sensorielles des fromages (**Verdier et al., 1995**).

| | Essai 1 | | Essai 2 | | Essai 3 | |
|-----------------------|---------|------|---------|------|---------|------|
| | HO | MO | HO | MO | HO | MO |
| Lait | | | | | | |
| Taux butyreux (g/kg) | 37,0** | 34,0 | 35,7 | 35,9 | 35,8 | 35,9 |
| Taux protéiques(g/kg) | 29,4** | 31,7 | 34,0 | 33,9 | 33,4 | 33,7 |
| Fromage | | | | | | |
| Extrait sec (%) | 52,6* | 51,8 | 55,3 | 55,0 | 54,6 | 54,7 |
| Gras/sec | 53,8** | 50,9 | 51,7 | 51,6 | 52,7 | 52,9 |
| Indice de jaune | 28,9** | 27,3 | 21,7 | 21,4 | 31,4* | 30,4 |
| Texture ferme | 3,0** | 3,6 | 5,1 | 4,9 | 5,2** | 4,0 |
| Texture fondante | 5,2** | 4,5 | 3,2* | 3,7 | 3,0** | 4,3 |
| Intensité du gout | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,1** | 5,6 |
| Intensité de l'odeur | 4,5 | 4,8 | 4,2 | 4,1 | 5,2 | 5,3 |

HO : Holstien ; **MO** : Montbéliarde.

* : $P < 0,05$; ** : $0,01$.

Dans le premier essai, les fabrications ont eu lieu à partir du lait entier, Dans les deux autres, le lait était standardisé (**Verdier et al., 1995**). Dans le premier essai, des différences très importantes de texture ont été observées : les fromages issus de vaches Holstein ont été moins fermes et plus fondants que ceux issus de vaches Montbéliardes en raison d'un gras/sec plus élevé, lié à un rapport taux butyreux/taux protéique supérieur chez les Holstein. Ces différences ne se retrouvent pas dans les deux autres essais où le rapport taux butyreux/taux protéique était standardisé avant fabrication.

Au contraire, dans ce cas, et quelle que soit la nature de la ration, les fromages fabriqués avec le lait de vache Holstein étaient plus fermes, moins fondants, plus granuleux que les fromages fabriqués avec le lait des vaches de races Montbéliarde. Ils ont aussi présenté un goût moins prononcé. Dans les 3 essais, les fromages issus du lait de vaches Holstein ont été plus jaunes que les autres (**Ducy, 1997**).

II.1.2. Etat sanitaire

Les mammites sont les troubles sanitaires les plus fréquemment rencontrés dans les élevages laitiers. Ce sont des infections microbiennes de la mamelle qui sont à l'origine d'une

Chapitre II _____ Impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages

augmentation forte de la concentration en cellules somatiques (CCS) du lait. Outre leur impact sur la qualité microbiologique du lait lié au transfert au lait des germes responsables de l'infection (dont certains comme *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*...peuvent être pathogènes pour l'homme), les mammites sont également à l'origine de modifications importantes de la composition chimique du lait. Elles entraînent en général, au moins chez la vache, une diminution de la teneur en lactose, une altération de la membrane des globules gras favorisant la lipolyse, une diminution de la teneur en caséines, une augmentation de la teneur en protéines solubles et en enzymes ainsi qu'une modification des équilibres salins (Munro *et al.*, 1984, Coulon *et al.*, 2002).

Sur le plan des caractéristiques sensorielles des fromages, des résultats anciens synthétisés par Munro *et al.* (1984), soulignent qu'aux CCS les plus élevées sont généralement associés une appréciation globale moindre et des défauts de texture ou de flaveur, de nature et d'importance variables selon le type de fromage.

Par contre, les travaux de Pirisi *et al.* (2000), ont montrés que les CCS n'affectait ni les caractéristiques rhéologiques, ni la lipolyse des fromages.

II.1.3. Stade physiologique (ou stade de lactation)

Le stade physiologique des animaux est un facteur de variation majeur de différents constituants du lait : teneur et composition des matières grasses, teneurs en protéines, en minéraux ou en enzymes telles la plasmine (Coulon *et al.*, 1991, Dupont *et al.*, 1998). Ces variations sont à l'origine d'un effet fort du stade physiologique sur les caractéristiques sensorielles des fromages (tableau VI) (Coulon *et al.*, 1998).

Tableau V : Effet du stade physiologique sur les caractéristiques sensorielles du fromage (cas du saint-nectaire) (Coulon *et al.*, 1998).

| Stade | Début | Milieu | Fin | |
|--------------------|-------|---------|------|----|
| Jours de lactation | 15-45 | 150-230 | 300 | |
| pH | 4,49 | 5,47 | 5,67 | ** |
| Gras/sec | 50,0 | 52,8 | 53,0 | ** |
| Indice de jaune | 30,3 | 28,7 | 27,5 | ** |
| Texture ferme | 5,1 | 5,0 | 4,3 | ** |
| Odeur agréable | 4,9 | 5,5 | 4,6 | ** |

Chapitre II _____ Impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages

| | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|----|
| Persistance du gout | 5,4 | 5,0 | 6,0 | ** |
| Intensité du gout | 5,0 | 5,0 | 5,8 | * |

1 kg de caillé obtenu avec 100 kg de lait.

* : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$.

Les fromages réalisés avec des laits de début de lactation ont été plus jaunes que les autres et ont présenté un gras/sec inférieur. Les fromages réalisés avec des laits de fin de lactation ont été plus fondants, moins fermes que ceux de début ou de milieu de lactation. Leur goût a été plus intense, plus persistant. Globalement, les fromages réalisés avec des laits de fin de lactation ont été moins appréciés que les autres. Selon les auteurs, ces écarts étaient probablement liés à une protéolyse plus intense sur les fromages de fin de lactation (**Rémond et Pomiès, 2004**).

II.1.4. Effet des facteurs alimentaires

De nombreuses observations empiriques confèrent à ce facteur des effets sur les caractéristiques sensorielles des fromages. Ainsi, certains fromagers observent fréquemment des différences de qualités sensorielles des fromages selon la nature des fourrages offerts aux animaux (**Urbach, 1990**).

II.1.4.1. Effet de la nature de la ration et du mode de conservation de l'herbe

L'effet de l'utilisation de l'ensilage de maïs dans la ration a été testé dans des travaux qui ont comparé des fromages obtenus avec du lait de vaches nourries exclusivement avec de l'ensilage de maïs ou avec des rations à base d'herbe distribuée sous forme de foin (**Verdier et al., 1995**) ou d'ensilage (**Houssin et al., 2002, Hurtaud et al., 2004**).

Des différentes caractéristiques organoleptiques ont été observées entre des produits laitiers selon que le lait provenait de vaches recevant une ration hivernale (à base de foin et d'ensilage d'herbe) ou conduites au printemps sur des pâturages (tableau VI). Les fromages de Saint-Nectaire issus du lait de pâturage ont été plus jaunes, ont présenté une texture moins ferme, un goût plus intense et une odeur moins piquante, moins aigre et moins fruitée que ceux issus des laits hivernaux (**Verdier-Metz et al., 2002**).

Verdier-Metz et al. (2005), ont en effet observé que la distribution d'ensilage d'herbe comparativement à du foin entraînait des différences organoleptiques plus significatives sur des fromages de type Cantal que sur des fromages de type Saint-Nectaire.

Tableau VI : Effet de la conservation du fourrage sur les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des fromages (**Verdier-Metz *et al.*, 1998**).

| Ration | Essai 1 | | Essai 2 | |
|-----------------------|------------------|------|------------------|----------|
| | Ensilage d'herbe | Foin | Ensilage d'herbe | Pâturage |
| Lait | | | | |
| Taux butyreux (g/kg) | 35,3 | 36,3 | 36,4 | 37,1 |
| Taux protéique (g/kg) | 33,6 | 33,5 | 28,7** | 33,6 |
| Fromage | | | | |
| Extrait sec (%) | 54,6 | 54,8 | 52,6 | 52,7 |
| Gras /sec | 52,3 | 52,0 | 54,1** | 50,5 |
| Indice de jaune | 32,9** | 29,9 | 24,7** | 30,3 |
| Texture ferme | 4,6 | 4,5 | 4,3** | 3,4 |
| Texture collante | 3,1 | 3,3 | 4,1* | 3,5 |
| Intensité du gout | 5,4 | 5,3 | 5,0** | 5,6 |
| Intensité de l'odeur | 5,2 | 5,2 | 4,6 | 4,4 |
| Odeur piquante | - | - | 1,3** | 0,2 |
| Amertume | 3,5 | 3,2 | 1,5* | 1,9 |

* : P<0,05 ** : P<0,01

II.1.4.2. Effet de la composition botanique de l'herbe

La composition botanique de l'herbe peut avoir un effet sur la caractéristique organoleptique des fromages. Ce qui confirme certaine observation rapportée par les producteurs de fromages. Au cours des dernières années, plusieurs essais ont été réalisés en Europe pour décrire et analyser l'effet de la diversité botanique des fourrages offerts aux animaux (sous forme pâturée ou conservée) sur les caractéristiques sensorielles de différents types de fromage, généralement à pâte pressée cuite ou demi cuite (**Martin *et al.*, 2005**).

Les premières travaux, réalisées sur les fromages de type Gruyère (produit en plaine ou en alpage) (**Bosset *et al.*, 1999**), ont montré que les fromages d'alpage présentaient une saveur plus intense que ceux de plaine. De la même façon dans un essai où des fromages d'Abondance fabriqués par les mêmes producteurs fermiers en plaine et en alpage ont été comparés. **Baugaud *et al.* (2002)**, ont montré que les fromages d'alpage se caractérisaient par leur texture plus ferme et moins élastique, leur saveur moins piquante et leurs arômes jugés plus fruités.

Dans les travaux de **Bugaudet *et al.* (2002)**, il a été possible d'établir certaine corrélation. En particulier les prairies de basse altitude, les plus riches en graminées et légumineuses, étaient

associées à des flaveurs tels « chou cuit », butyrique ou « piquant », et des textures plus élastiques et ferme (figure 3).

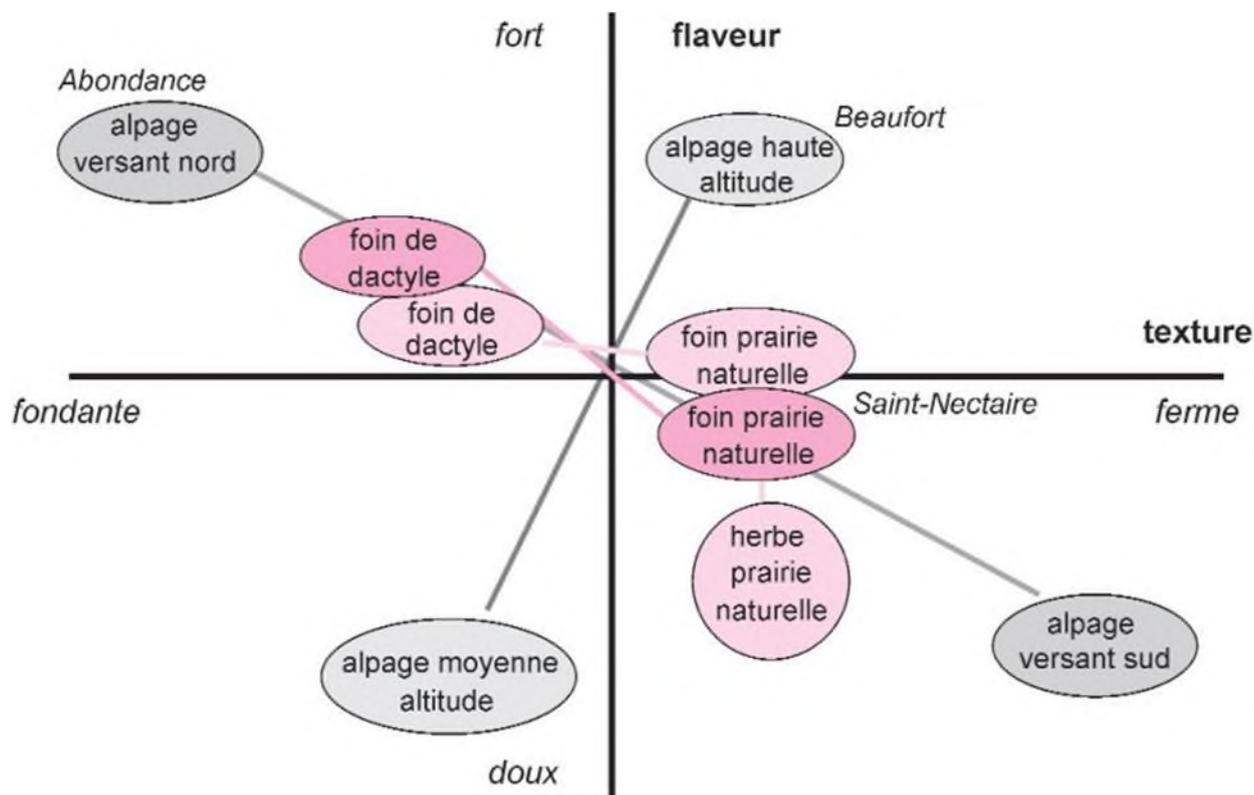


Figure 3 : Différenciation des caractéristiques sensorielles (flaveur et texture) de différents fromages selon la nature des fourrages (Coulon, 2005).

II.2. Homogénéisation du lait

L'homogénéisation est un traitement physique qui a pour objet de réduire la matière grasse en des globules de dimension plus petite (< 1 μm). Ce procédé permet ainsi de réduire la taille des globules gras en minuscules particules avec une modification de leurs membranes et n'auront plus la capacité de s'assembler pour remonter à la surface et assurer une meilleure homogénéisation du produit. Sur le plan sensoriel, les conséquences de l'homogénéisation sont nombreuses ; elles peuvent influencer la texture, la flaveur et l'apparence (Nair, 2000 ; Madadlou *et al.*, 2007).

Les traitements d'homogénéisation sont généralement classés selon la pression appliquée (Tableau VII)

Tableau VII : Différents types de traitement d'homogénéisation à des hautes pressions (Broyard et Graucheron, 2015).

Chapitre II _____ Impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages

| Types | Pression |
|--|------------------|
| Homogénéisation conventionnelle | 14 a 70 MPa |
| Homogénéisation Haute Pression (HHP) | HHP 150-200 MPa |
| Ultra Haute Pression Homogénéisation(UHHP) | UHPH 350-400 MPa |

L'utilisation des Ultra Haute Pression Homogénéisation (UHPH) sur les propriétés fromagères est peu documentée, car c'est seulement depuis 2006 que les homogénéisations de nouvelle génération, pouvaient être opérées à des pressions élevées (jusqu'à 400MPa), sont disponibles (**Zamora et Guamis, 2014**).

Quelques études préliminaires ont été effectuées sur les propriétés de coagulation du lait à la présure et sur les fromages produits avec des laits traités aux UHPH (**Zamora et Guamis, 2014**). Les fromages fabriqués à partir de laits crus montrent une augmentation de la teneur en humidité qui est proportionnelle à la pression d'homogénéisation seulement jusqu'à 200 MPa (**Kheadr et al., 2002 ; Escobar et al., 2011**) ainsi qu'une forte diminution quand le lait cru est traité à des pressions de 300 MPa (**Escobar et al., 2011**).

Kheadr et al. (2002), ont remarqué des comportements différents entre des fromages faits à base de lait entier homogénéisé ou d'un lait écrémé homogénéisé. Les fromages produits à partir de lait entier homogénéisé montraient une texture plus ferme et cohésive, tandis que les fromages faits de lait écrémé homogénéisé étaient plus souples

II.3. Traitement thermique

D'après plusieurs études ou travaux scientifiques, il s'avère que le traitement thermique semble être un facteur externe important qui va impacter les différentes qualités sensorielles des fromages. En termes de texture, la température modifie la structure. Elle modifie en effet la composition physicochimique (perte d'eau, fonte des matières grasses et diminution du nombre de liaisons) ce qui va engendrer un réarrangement des molécules (formation de nouvelles interactions liaisons hydrophobiques...). Au niveau olfacto-gustatif, les intensités des saveurs évoluent selon la nature des produits (**Ryynänen et al., 2001**). Beaucoup de modifications qui se produisent dans des laits chauffés entraînent automatiquement la modification des protéines sérum. ces changements concernent la dénaturation d'une partie des protéines sériques, l'apparition de groupements sulfhydriles (SH) et d'hydrogène sulfuré (H₂S) à partir de la β -lactoglobuline, ces

Chapitre II _____ Impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages

groupements produisent un goût de cuit mais offrent une meilleure protection de lipides contre l'oxydation (**St-Gelais et Tirad-Collet, 2002**).

Lors du chauffage, la matière grasse va se séparer du fromage fondu et va former des petites poches d'huile à la surface du fromage. Ce phénomène se traduit par le terme « Exsudation de gras ». L'exsudation d'huile en proportion modérée donne un aspect brillant et attirant en revanche, en trop forte proportion, ce paramètre est considéré comme un défaut et va devenir un frein pour le consommateur (**Breene et al., 1964**).

II.4. Refroidissement

Le refroidissement ralentit la détérioration causée par la microflore hétérogène. A basse température, la croissance des microorganismes mésophiles est fortement réduite. Par contre, celle des psychrotrophes n'est que très légèrement ralentir. La synthèse des enzymes continue et ces derniers hydrolysent les caséines et la matière grasse, ce qui a une incidence directe sur la saveur de produit fini (**St-Gelais et Tirad-Collet, 2002**).

A partir de 40-50°C, la cristallisation de la matière grasse produit la solidification et un renforcement de la structure du fromage. En ce qui concerne les saveurs, seule l'amertume a été modifiée. **Bajec et al. (2012)** ont montré que la température influençait l'intensité maximale perçue pour les solutions amère, acide et astringente. Plus spécifiquement, l'amertume était perçue plus intense à froid (5°C) qu'à chaud (35°C).

II.5. Type de coagulant

Les coagulants peuvent être des enzymes ou des acides. Il existe quatre types d'enzymes de coagulation qui sont classées selon leur source en : coagulant d'origine animale (présure) coagulant d'origine microbienne (enzymes de *R. miehei* et *C. parasitica*, coagulant d'origine végétale (extraits de *Cynara cardunculus* et de *Calotropis procera*), et la chymosine produite par la fermentation (chymosine pure). Les principaux acides utilisés comme coagulants comprennent l'acide malique, l'acide citrique, l'acide acétique, l'acide chlorhydrique et l'acide phosphorique (**Muthukumarappan et Swamy, 2017**).

La proportion de présure ajoutée dans le caillé varie selon le type de la présure, la température de cuisson, et le pH à l'égouttage, ces variables devraient être normalisées si le fromage produit est de qualité constante. Il a été suggéré que l'activité de la chymosine dans le caillé est un facteur limitant dans la maturation du fromage, cependant, l'activité excessive de

Chapitre II _____ Impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages

présure conduit à l'amertume (**Fox et al., 2017**), donc cela modifie la qualité sensorielle des fromages.

Lors de la protéolyse primaire, les caséines se dégradent en peptides suivie de la protéolyse secondaire où les peptides sont fragmentés en peptides plus petits et en acides aminés libres par les enzymes de culture starter. L'acidification directe du lait influence les propriétés sensorielles du fromage en fonction du type d'acide utilisé et du pH où la viscosité du fromage diminue avec la diminution du pH (**Muthukumarappan et Swamy, 2017**).

II.6. Pressage du caillé

La température à laquelle le caillé est cuit affecte les propriétés rhéologiques. Une température de cuisson plus élevée réduit la teneur en humidité et réduit le caillé. Il améliore également l'activité métabolique des bactéries dans le caillé, augmentant la production d'acide lactique et abaissant le pH, la contraction supplémentaire du caillé. Cette action rend le fromage acide, dur, friable et sec (**Muthukumarappan et Swamy, 2017**).

Le caillé qui est salé et pressé pour former le bloc du fromage, ce procédé est également responsable de la texture caractéristique du fromage. Le pressage favorise le paillage des particules de caillé dans une masse contiguë et ferme (fromage cheddar) ou empêche les particules de caillé de paillage de sorte qu'une texture ouverte est apparue (**Muthukumarappan et Swamy, 2017**).

II.7. Salage

Le salage a un rôle sensoriel en donnant une saveur marquée au produit et un rôle technologique en complétant l'égouttage et en limitant l'acidification et la déminéralisation (**Hardy, 1997**). Le sel ou le chlorure de sodium a de nombreuses fonctions et exerce d'importants effets sur le fromage. Il a un rôle au niveau biochimique, microbiologique et organoleptique (**Fox et al., 1996**)

- Il exerce ainsi un pouvoir sur l'activité microbienne et sur l'activité enzymatique ;
- Il joue un rôle dans les changements biochimiques durant l'affinage (**Pastorino et al., 2003**) ;
- Il intervient également sur le développement des arômes et des saveurs et sur la texture des fromages.

Dans le cas des fromages à pâte persillée, les deux types de salages peuvent exister. Quand le fromage est immergé dans une saumure, un mouvement des ions Na^+ et Cl^- de la saumure à

Chapitre II _____ Impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages

l'intérieur se crée, conséquence de la différence de la pression osmotique entre le cœur du fromage et la saumure. Par ailleurs, l'eau et les autres éléments solubles se dirigent, en contre sens, de la solution la moins concentrée à celle la plus concentrée, ce qui rétablit l'équilibre de la pression osmotique (**Guinee, 2004**).

Pour assurer un salage régulier et efficace, plusieurs paramètres sont à prendre en compte, notamment la concentration en sel de la saumure, la température, le degré de vieillissement et l'agitation (**Chamba, 1988**).

Pour le salage réalisé par frottement, un contre flux d'humidité crée une couche saturée de sel à la surface du fromage et ainsi la prise de sel peut se dissiper par un procès de diffusion (**Guinee, 2004**). Le sel va jouer sur les propriétés organoleptiques des fromages et plus particulièrement sur la texture et la flaveur (**Paulson et al., 1998 ; Pastorino et al., 2003 ; Saint-Eve et al., 2009**). En effet, les protéines interagissent avec différentes molécules, notamment avec l'eau, le sel mais aussi les matières grasses. L'hydratation des protéines va donc influencer la structure et la stabilité physico-chimiques du fromage. De ce fait, l'ajout de sel viendrait altérer la fonction des caséines, diminuer le pH ce qui favoriserait l'interaction du sodium avec les protéines.

De plus, il a été également démontré que le sel contribue à modifier certains paramètres en relation avec la composition du fromage (matières sèches, matières grasses). En effet, **Saint-Eve et al. (2009)**, montrent dans des modèles fromagers que les variations de sel, de gras et de matières sèches influencent fortement la perception de la texture et les paramètres instrumentaux liés. Dans ce contexte, la quantité de sel a un impact sur les propriétés sensorielles qui sont plus marquées sur les fromages à 20% de matières grasses que ceux à 40% de matières grasses. D'après **Mistry et al. (1998)**, en plus de sa saveur salée, il favoriserait l'apparition d'autres saveurs comme l'acidité et l'amertume.

II.8. Affinage

L'affinage, dernière étape primordiale de la fabrication du fromage, correspond à la digestion enzymatique des constituants du caillé. Durant l'affinage, des changements microbiologiques et biochimiques vont apparaître et être impliqués dans la formation et le développement des arômes ainsi que sur les caractéristiques de la texture. Trois grands processus vont prédominer au cours de l'affinage : la fermentation du lactose en lactate, la lipolyse et la protéolyse (**Fox et al., 1996 ; McSweeney, 2004**).

Chapitre II _____ Impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages

Durant l'affinage, le complexe enzymatique du *Penicillium roqueforti* va être en grande partie responsable de l'activité protéolytique et lipolytique et du développement de la flaveur des fromages « Bleu » (**Sousa, 2001**). En effet, le *Penicillium roqueforti* présente des systèmes protéolytiques et lipolytiques très complets (**Le Bars et Gripon, 1981**). Selon les souches utilisées et les conditions de culture, la production de lipases et de protéases diffère.

Niki et al. (1966), ont montré qu'avec un pH élevé dans le milieu, *Penicillium roqueforti* produit plus de lipases et moins de protéases. Les moisissures vont s'accroître et sporuler durant cette période en formant des marbrures, des « veines bleues » dans la pâte du fromage. La protéolyse, par l'intermédiaire des exo et endo-peptidases (aspartyl protéase et une métalloprotéase) est l'un des processus qui intervient principalement sur la texture mais aussi sur le développement des flaveurs. Ce phénomène contribue à des modifications texturales dues à la dénaturation des protéines, à la diminution de l'activité de l'eau (A_w) et à l'augmentation du pH. Il contribue à la formation d'arômes notamment due à la formation d'acides aminés libres ou de peptides.

II.9. Cuisson

Durant la fabrication fromagère, le lactose est métabolisé en galactose et en glucose tandis que la caséine est soumise à l'action d'enzymes. Celles-ci vont agir sur la protéolyse permettant ainsi la dégradation progressive des protéines en acides aminés. La teneur en galactose résiduel et l'intensité de la protéolyse secondaire (lors de l'affinage) ont été identifiés comme des facteurs majeurs du brunissement. La réaction de Maillard est donc responsable de la couleur du fromage gratiné et de la formation d'arômes caractéristiques qui ajoutent à l'appétence des plats cuisinés. Elle va donc avoir un effet favorable ou défavorable sur les propriétés fonctionnelles, sensorielles et nutritionnelles (**Matzdorf et al., 1994 ; Richoux et al., 2001**).

**Chapitre III : Impact des
facteurs technologiques sur le
rendement des fromages**

III.1. Définition du rendement fromager

Le rendement fromager ou le rendement de la transformation du lait en fromage est l'expression mathématique de la quantité de fromage obtenu à partir d'une quantité donnée de lait (souvent 100 L ou 100 kg) (**Vandewegh, 1997**). Le rendement fromager est exprimé selon la formule suivante (**Hanno *et al.*, 1991 ; Libouga *et al.*, 2006**).

$$\text{Rdt} = \frac{\text{EST}(\text{lait}) - \text{EST}(\text{sérum})}{\text{EST}(\text{coagulation}) - \text{EST}(\text{sérum})}$$

Où :

Rdt : Rendement

EST (lait) : Extrait Sec Total du lait

EST (sérum) : Extrait Sec Total de sérum

III.2. Facteurs de variation du rendement lié à la matière première (lait)

Le rendement fromager est affecté par de nombreux facteurs, y compris la composition du lait, la quantité et le type génétique de caséine, la qualité hygiénique, la pasteurisation du lait, type du coagulant, la conception des cuves, la fermeté du caillé à la coupe et les paramètres de fabrication (**Banks *et al.*, 1981 ; Lawrence, 1993 ; Lucey et Kelly, 1994 ; Walsh *et al.*, 1998 ; Fenelon et Guinée, 1999**).

La prise en compte des critères de composition bactériologiques et physicochimiques du lait est nécessaire pour répondre à des besoins d'aptitude fromagère (**Thebaut, 1991**).

La valeur d'un lait peut être jugée par son efficacité à la transformation en fromage. L'aptitude à la coagulation dépend de son pH, sa teneur colloïdale et en caséine, qui jouent un rôle primordial dans la mise en place du gel (**Martin et Coulon, 1995**).

III.2.1. Composition du lait

D'après **Aleandri *et al.* (1989)**, la fermeté du caillé est le seul paramètre de coagulation en corrélation avec le rendement fromager. La coagulation du lait par la présure et/ou par acidification est la première étape de la fabrication d'un fromage qui peut être considérée comme le résultat d'un processus dans lequel la caséine et les matières grasses sont concentrées après élimination du lactosérum. Pour le fromage, le comportement du lait lors de la coagulation joue un rôle important sur le bon déroulement des étapes ultérieures de la fabrication fromagère (**Martin et Coulon, 1995**).

III.2.1.1. Teneur en caséine

La teneur en caséine dans le lait de fromagerie est un facteur économique important pour le fromage. Les caséines ne présentent pas la même sensibilité vis-à-vis du calcium. Les caséines, α_1 α_2 et β s'agrègent en présence de calcium jusqu'à une valeur limite de concentration au-delà de laquelle elles précipitent. Seule la caséine κ ne précipite pas en présence de calcium. Le calcium se lie aux caséines par l'intermédiaire des acides aminés phosphorylés, ainsi deux charges négatives sur les molécules de caséine sont neutralisées par chaque ion calcium lié, ce qui entraîne une diminution des répulsions électrostatiques entre les caséines chargées négativement à pH (6,6) et les conduits à s'agréger (**Dalgleish, 1982**)

La présence à la fois d'interactions électrostatiques et hydrophobes permet aux caséines de former des agrégats colloïdaux (**Schmidt, 1982**), qui retiennent le calcium et le phosphate. L'augmentation de la teneur en caséine κ s'accompagne de la baisse de la taille des micelles et suggère une localisation de cette caséine à la surface des micelles (**Lavoisier, 1995**).

De ce fait, pour le fromage il est important de prendre en compte la teneur en caséine plutôt que la teneur en protéines. Toute augmentation du taux protéiques est favorable aux rendements plus précisément, la teneur en caséine. En pratique, la mesure du taux protéique du lait chez des animaux indemnes de mammites, reste un bon indicateur du taux de caséine, donc la surveillance de rendement commence par la maîtrise de taux protéique (**Bank et al., 1984**).

III.2.1.2. Variantes génétiques des protéines du lait

Plusieurs travaux ont montré que les laits contenant les variantes B des caséines κ et β ont des temps de floculation plus courts et des gels plus fermes que les laits ayant des variantes A et se caractérisent par une plus grande concentration en caséine et des micelles aux dimensions plus faibles (**El-Negoumy, 1972 ; Lenoir et al., 1985 ; Remeuf, 1994**). Les animaux qui présentent une association des variantes B des caséines β et κ produisent un lait particulièrement bien adapté à la transformation laitière.

III.2.1.3. Teneur en matière sèche (MS)

De nombreux auteurs ont proposé des équations de prévision des rendements fromagers en fonction des taux butyreux et protéiques des laits (**Banks et al., 1984 ; Emmons et al., 1990**).

Afin d'étudier cette relation dans le cas de laits extrêmes (très pauvres ou très riches), **Hurtaud et al. (2001)**, se sont référés aux résultats de 189 fabrications de fromages à pâte pressée non-cuite, réalisés, en conditions contrôlées dans une fromagerie expérimentale. Les laits utilisés,

dans la fabrication de ces fromages, étaient partiellement écrémés de manière à avoir un rapport TB/TP de 1,15, avec une teneur en en matière sèche qui varie de 55 à 85 g/kg et un taux protéique de 25,6 à 39,5 g/kg. Les résultats ainsi obtenus ont montré une relation linéaire entre la teneur des laits en matière sèche et le rendement fromager (figure 4)

Le potentiel du rendement fromager est largement tributaire de la composition du lait, en particulier la matière grasse et les protéines (Lou et Ng-Kwai-Hang, 1992 ; Lucey et Kelly, 1994 ; Guo *et al.*, 2004).

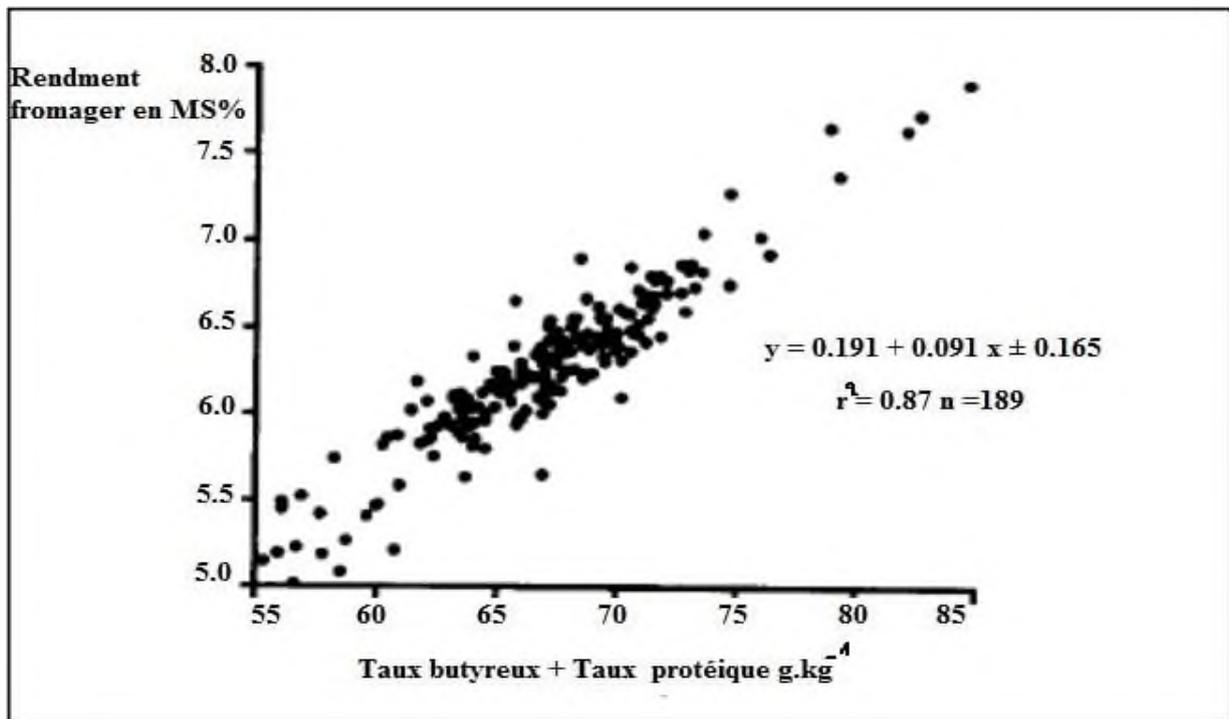
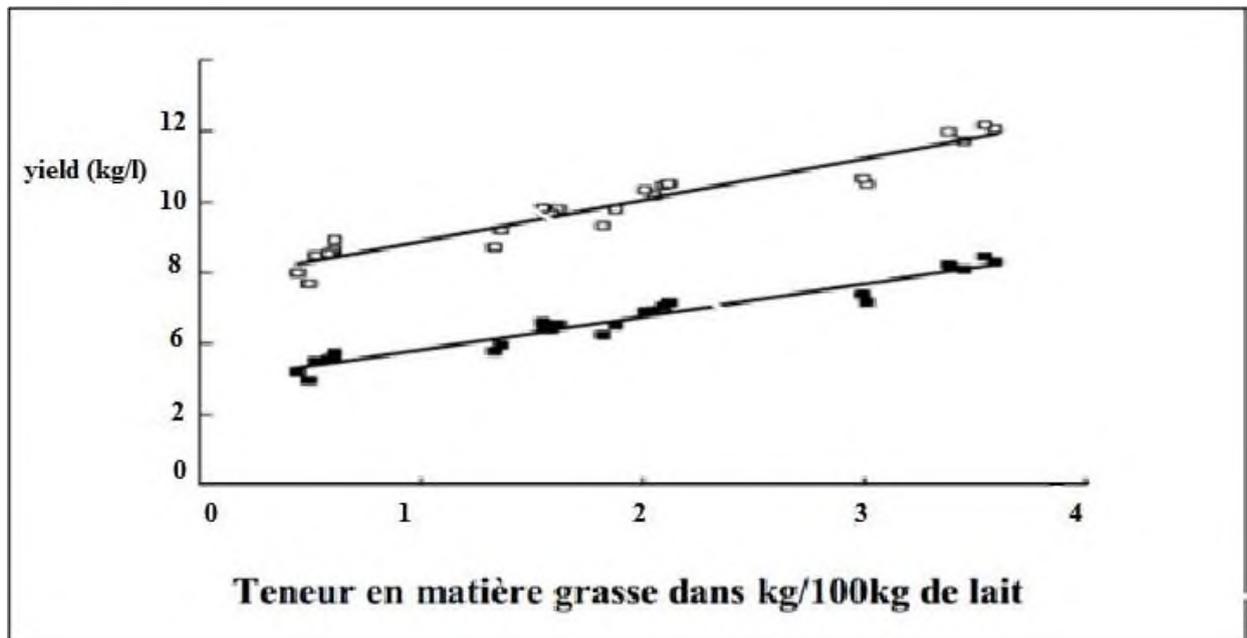


Figure 4 : Relation entre la teneur en matière sèche de lait et le rendement fromager en MS (%) (Hurtaud *et al.*, 2001).

III.2.1.4. Teneur en matière grasse

Le rendement augmente avec la teneur en matière grasse (MG), mais de façon beaucoup moins importante que la teneur en protéine. En effet, les caséines, quand elles coagulent, forment un réseau protéique qui emprisonne les autres constituants, et en particulier la matière grasse présente sous forme de globules gras. Un point de taux butyreux (TB) supplémentaire ferait ainsi gagner entre 90 et 165g de fromage pour 100 litres de lait. Par contre, une trop forte teneur en matière grasse peut entraîner des problèmes d'égouttage et de coagulation. D'après Fenelon et Guinée (1999) et Verdier-Metz *et al.* (2001), ont observé une corrélation linéaire et positive entre l'augmentation du rendement fromager et l'augmentation de la teneur en matière grasse (figure 5).



□ Rendement réel ■ Rendement en matière sèche

Figure 5 : Effet de la teneur en matière grasse sur le rendement fromager (Fenelon et Guinée, 1999).

III.2.1.5. Teneur en humidité conservée dans le fromage

Plus on garde de l'eau dans un fromage, moins il faut mettre de lait en œuvre pour l'obtenir. Ainsi, il faut moins de litre de lait pour faire un kg de patte fraîche que pour faire 1kg de comté (pâte ferme), et bien évidemment, on extraira moins de sérum pour 1 kg de pâtes fraîches que pour 1 kg de comté. Schématiquement, en augmentant le caractère lactique d'un fromage, on tend à augmenter le rendement ; inversement, en augmentant le caractère présure, on tend à réduire le rendement (Coline *et al.*, 1992).

III.2.1.6. pH

Le pH initial du lait a un effet déterminant sur la coagulation bien que pour le temps de raffermissement. La maîtrise de la préparation de lait permet de régler le pH qui conditionne la fermentation des gels au moment de moulage (Starry, 1982).

En fromagerie, L'abaissement du pH favorise le processus de coagulation (diminution du temps de floculation et formation d'un gel se raffermissant plus rapidement) par ces actions :

- L'activité de la présure sur la caséine κ est maximale à pH = 5,5 et est rapidement inactivée lorsque le pH est supérieur à 7,0 ;

Chapitre III _____ Impact des facteurs technologique sur le rendement des fromages

-La stabilité des micelles décroît avec le pH par neutralisation des charges négatives et par libération d'ions calcium, ce qui favorise la réaction d'agrégation (**Linden, 1987**) ;

- L'acidification du lait entraîne des modifications des propriétés du lait puis de gel. Elle permet de raccourcir le temps de prise et d'augmenter la vitesse de raffermissement ;

- Elle permet également d'obtenir un fermenté de gel accrue de part une solubilisation du calcium et du phosphore qui deviennent alors disponibles pour créer des liaisons entre les micelles lors de la phase enzymatique de la coagulation. Si l'intensité de l'acidification est mal gérée, les conséquences sont toujours négatives au niveau de la technologie ;

-Une acidification excessive entraîne une déminéralisation très forte qui rend le caillé friable. Une acidification insuffisante entraîne une déminéralisation trop faible rend la caille fragile ;

-Il est donc nécessaire en premier lieu, l'ajustement du pH et le contrôle des paramètres d'acidification (**Delphine, 2005**).

III.3. Impact des facteurs technologiques sur le rendement fromager

Une large gamme de facteurs technologiques affecte le rendement fromager et la perte de constituants de fromage. Certains de ces facteurs en cause peuvent avoir un effet relativement faible sur le rendement individuel mais quand on parle d'une grande production, sa peut causer des grandes pertes sur le plan économique (**Bouguren et Megunai, 2016**).

III.3.1. Refroidissement

Le refroidissement du lait cru et son maintien à basse température déstabilise les composants (solubilisation du calcium et des protéines, qui peuvent alors être évacuées dans le lactosérum) ce qui entraîne une chute de rendement (**Bouguren et Megunai, 2016**).

Les effets du refroidissement se font ressentir au niveau des caséines et des équilibres phosphocalciques. Ceux-ci se traduisent par une diminution de l'aptitude du lait à la coagulation par la présure et à l'égouttage : le temps de coagulation est allongé, la fermeté du gel diminue et l'égouttage est ralenti. Les principales modifications au niveau des caséines sont dues au fait que les liaisons hydrophobes sont minimales à basse température, la caséine β étant la plus hydrophobe, elle est particulièrement sensible à l'action du froid, elle se solubilise et tend à s'extraire de la micelle pour passer à un état de caséine soluble (**Bouguren et Megunai, 2016**).

La proportion de caséines solubles augmente de 3,2-4,5% dans un lait à 20°C à 12-16% dans un lait refroidi à 2°C. Les rapports entre les formes solubles et les formes colloïdales du

calcium et des phosphates sont assez profondément modifiés par le refroidissement où les ions tendent à sortir de la micelle (**Bouguren et Megunai, 2016**).

Il s'ensuit une solubilisation de phosphate de calcium colloïdal et une augmentation des teneurs en calcium et phosphore inorganique solubles. Ceci a pour conséquence une diminution des micelles. Par contre, les teneurs en magnésium dissous et colloïdal ne sont pas modifiés par le refroidissement (**Ichilczyk-Leone et al., 1991**)

Parallèlement à la réduction des dimensions de micelles, il se produit un accroissement de leur degré d'hydratation. Le gel formé à partir d'un lait refroidi est moins ferme et plus fragile ce qui se traduit par des difficultés au niveau de l'égouttage. On constate que la diminution de l'aptitude à la coagulation par la présure du lait est particulièrement sensible pour des temps de conservation au froid supérieure à 48 heures (**Bouguren et Megunai, 2016**).

III.3.3. Traitement thermique et action sur le taux protéique (TP)

Le chauffage est à l'origine de modification affectant les protéines solubles, les équilibres salins et le système micellaire. Les conséquences technologiques de ces phénomènes sont nombreuses : diminution de l'écémage spontané, moindre sensibilité à la présure (allongement du temps de prise, réduction de la vitesse de raffermissement du gel et de sa fermeté maximale, égouttage du gel plus difficile et moins complet (**Alcouffe, 1988 ; Vignola, 2002**).

La formation d'un complexe caséine κ / β -lactoglobuline (due à une perte de solubilité des protéines du sérum) constitue un facteur limitant du processus de coagulation enzymatique, les micelles de caséines étant plus stables. Le chauffage entraîne une précipitation et une migration du phosphate de calcium vers la phase micellaire ce qui réduit les teneurs en calcium et en phosphore inorganique (**Remeuf, 1994**).

Il est bien connu que le traitement thermique élevé du lait augmente le temps de coagulation de la présure (**Emmons, 1993**). Un avantage aux interactions entre les caséines et les protéines sériques, soit une augmentation des rendements fromagers par l'inclusion dans la matrice caséique des protéines sériques. La dénaturation des protéines sériques favorise aussi la rétention d'eau, ce qui permet d'améliorer le rendement fromager (**Vignola, 2002**).

III.3.4. Standardisation du lait

La standardisation du lait donne au fabricant la possibilité de manipuler la composition de produit finale en contrôlant la composition du lait au départ afin de répondre à la définition juridique de la variété spécifique et d'améliorer les rendements. Cependant, l'utilisation de lait

standardisé limite les excès de graisse et minimise les pertes de graisses et de caséines dans le lactosérum (**Lucey et Kelly, 1994 ; Scott, 1998**).

La standardisation d'un lait consiste à ajuster au moins la teneur en matière grasse en fonction de taux protéique. Son objectif premier est d'éliminer les fluctuations saisonnières afin d'obtenir les mêmes rendements fromagers pour la même quantité de lait mis en œuvre. Normalement la standardisation va de pair avec l'automatisation d'une chaîne de fabrication fromagère et permet d'obtenir une meilleure productivité (**Vignola, 2002**).

III.3.4.1. Impact des facteurs physiologiques sur la composition du lait

Les facteurs qui peuvent affecter principalement la composition du lait et, par conséquent, le rendement fromager, sont nombreux et parmi eux on peut citer : la race de l'animal laitier, la variabilité entre les espèces, le stade de lactation, les variations saisonnières, les facteurs d'alimentation, l'âge de la vache, etc.

III.3.4.1.1. Stade de lactation

Dans le fromage Cheddar, les pertes relatives à la matière grasse et aux protéines pendant la fabrication du fromage sont plus élevées pour le lait de vache produit à la fin de la lactation par rapport au lait produit au début de la lactation. Cependant, le lait de lactation tardive a une teneur plus élevée de caséine et de graisse. De ce fait, le rendement fromager du lait de lactation tardive est plus élevé que le rendement du lait au début de lactation (**Sapru et al., 1997**).

Selon **Guinée et al. (2007)**, la teneur en protéines du lait augmente au cours de la lactation, et que le rendement fromager augmente d'une manière similaire à la teneur en protéines.

III.3.4.1.2. Etat sanitaire de la mamelle

Toutes les modifications de la composition du lait cru en cas de mammites ont pour conséquences une baisse du rendement qui peut être très importante, elle est de plus associée à l'obtention de fromage de moindre qualité. La réduction du rendement devient particulièrement sensible lorsque le lait de mélange atteint un million de cellules somatiques (**Delphine, 2005**).

Le lait provenant de mammite a des numérations plus élevées de cellules somatiques, ce qui indique une augmentation de l'activité de la plasmine. De nombreux documents montrent que le lait à haute teneur en cellules somatiques conduit à une grande perte de protéine dans la fabrication du fromage et donc une diminution du rendement fromager ; ces pertes sont

probablement dues à la plus grande activité protéolytique plasmine sur caséines (**Barbano et al., 1991 ; Klei et al., 1998**).

III.3.4.1.3. Effet de la saison

Les variations saisonnières de la composition du lait, en particulier celles concernant la protéine ou le contenu de la caséine, affectent nettement le rendement fromager de la plupart des productions fromagères (**Barbano et Sherbon, 1984 ; Gilles et Lawrence, 1985 ; Paolo et al., 2008**).

Le taux protéique passe par deux valeurs minimales, à la fin de la période hivernale (mars) et au milieu de l'été (août) et par deux valeurs maximales, à la mise à l'herbe (avril) et surtout à la fin de la période de pâturage (octobre), l'azote non protéique suit également cette courbe. La figure 6 retrace cette évolution (**Wolster, 1997**).

D'après **Bynum et Olson, (1982) ; Barbano et Sherbon, (1984) ; Ozimek et Kennelly, (1993)**, une tendance analogue pour le rendement fromager de type Cheddar, avec des valeurs minimales dans les mois de juin, juillet et août et maximales pour le mois d'Automne, a été mise en évidence.

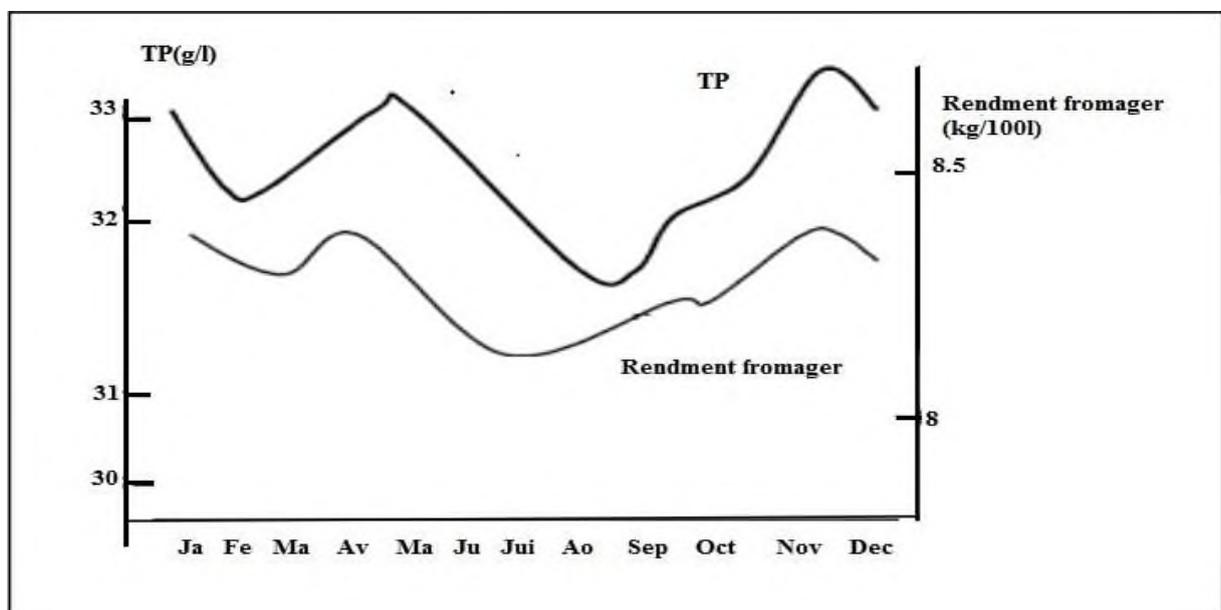


Figure 6 : Evolution annuelle du taux protéique (TP) et liaison avec le rendement laitier (**Wolster, 1997**).

III.3.4.1.4. Effet de la race : cas des races bovines

D'après la littérature, les vaches de race Normande, Montbéliarde ou Brune produisent un lait plus riche en protéines et de meilleure aptitude fromagère que celui de vaches Holstein conduites dans les mêmes conditions (**Froc *et al.*, 1988 ; Macheboeuf *et al.*, 1993 ; Malossini *et al.*, 1996 ; Auldist *et al.*, 2002 ; Mistry *et al.*, 2002**).

L'essentiel de cet effet est lié d'une part aux différences de teneurs en caséines des laits d'une race à l'autre et d'autre part aux variations du polymorphisme génétique des lactoprotéines et en particulier à la fréquence du variant B de la caséine κ . En effet, il est maintenant bien établi que les variantes de cette caséine, dont la fréquence diffère fortement d'une race à l'autre, influencent l'aptitude à la coagulation des laits (**Grosclaude, 1988 ; Macheboeuf *et al.*, 1993**).

En effet, lorsque l'on tient compte de la teneur en caséines et des variantes génétiques des lactoprotéines, les différences entre races disparaissent pratiquement totalement (**Macheboeuf *et al.*, 1993 ; Auldist *et al.*, 2002**).

Une étude menée par **Jakob et Hänni, (2004)**, confirme cette affirmation. De ce fait, la (figure 7) montre que la race brune présente des résultats meilleurs par rapport aux autres races avec un caillé plus résistant donc plus ferme et un temps de coagulation plus rapide.

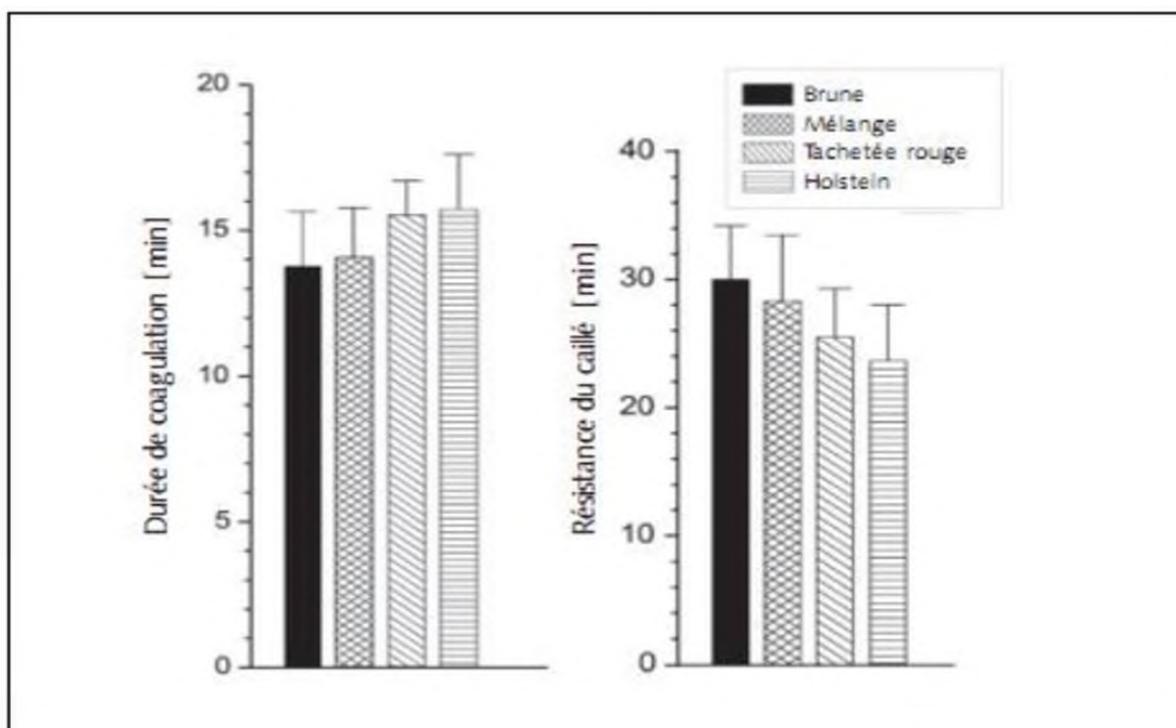


Figure 7 : Effet de quelques races bovines sur l'aptitude à la coagulation des laits (**Jakob et Hänni, 2004**).

III.3.5. Type de la coagulation : enzymatique et acide

La fermeté du caillé et le temps de raffermissement et de coagulation sont des facteurs très importants pour expliquer les déférences de rendement qu'on peut obtenir. Il est connu qu'un gel plus ferme donnent des meilleurs rendements que les mous ou les friables, la vitesse de coagulation a aussi une importance, mais la coagulation plus rapide n'est pas synonyme de qualité. En caillé lactique, il faut en effet laisser le temps aux bactéries d'acidifier le lait (**Delphine, 2005**).

L'acidification du lait entraine des modifications des propriétés du lait puis du gel. Elle permet de raccourcir le temps de prise et d'augmenter la vitesse de raffermissement. Si l'intensité de l'acidification est mal gérée, les conséquences sont toujours négatives, que ce soit au niveau technologique qu'au niveau du rendement. Une acidification excessive entraine une déminéralisation trop forte qui rend le caillé faible et fait baisser le rendement. A l'opposé, une acidification insuffisante entraine une déminéralisation trop faible qui rend le caillé fragile et très sensible au moulage et fait également chuter le rendement. Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement les paramètres pertes de rendement dues à des problèmes d'acidité du caillé (figure 8) (**Delphine, 2005**).

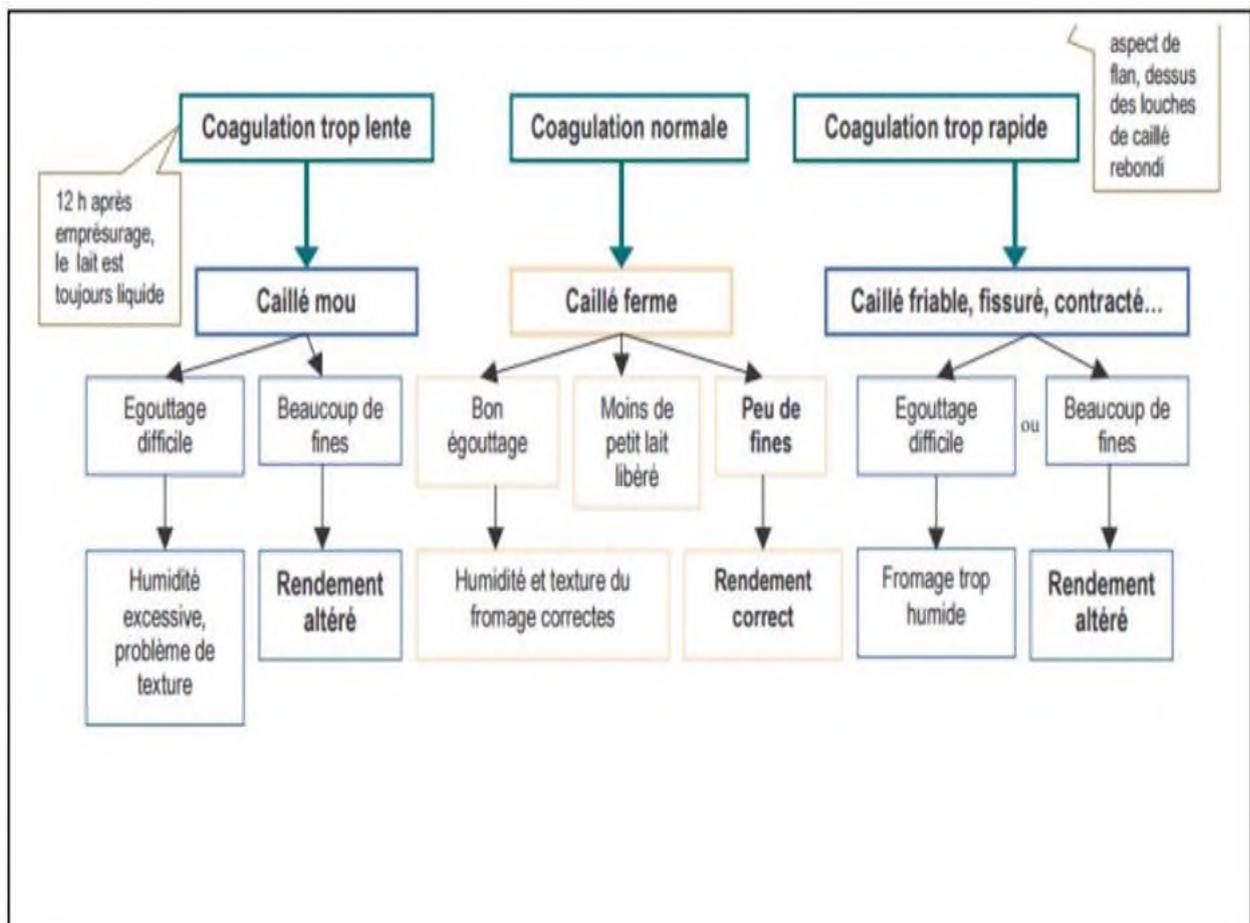


Figure 8 : L'effet des paramètres de caillage sur le rendement (**Delphine, 2005**)

Outre, il est difficile d'évaluer les facteurs qui influents l fermeté des gels présure objectivement. En outre, les facteurs qui influent sur le degré de perte de matière grasse et de la caséine fines dans le petit-lait sont complexes. Le type de cuve de fromage, la construction des couteaux, la manière dont le coagulum présure est formé, le régime de coupe et les propriétés du caillé par rapport à la variété de fromage en cours de fabrication sont tous importants (**Lawrence, 1993**).

III.3.6. Lavage du caillé

Le caillé râpé est lavé à l'eau courante, pendant un temps suffisant pour éliminer tout le lactose, et en même temps les éléments solubles. Ce lavage est réalisé en plaçant le caillé dans une mousseline à mailles fines, et en l'immergeant dans un récipient où circule un courant d'eau. Après cinq à six heures, le caillé ne contient plus de lactose, se termine par plusieurs rinçages à l'eau (**Mocquot, 1947**). Il existe une relation entre le rendement et la quantité d'eau ajoutée au caillé (**Lawrence, 1993**).

Dans une étude réalisée par **Lawrence (1993)**, sur l'impact de la quantité d'eau de lavage sur le rendement fromager, dans la fabrication de fromages de type Gouda, a montré que la quantité d'eau de lavage affecte la teneur en matières solides non gras dans la phase d'humidité (lactosérum dilué) du fromage. Une augmentation de la quantité d'eau ajoutée à partir de 30 à 40% (exprimé en masse de caillé après qu'une partie du petit-lait a été enlevé) réduit le rendement de 0,5 à 1%. Dans cette étude, l'auteur a établi une relation presque linéaire entre la diminution du rendement de Gouda, mesurée 12 jours après la fabrication, et la quantité d'eau ajoutée au caillé.

III.4. Amélioration du rendement

Le rendement fromager dépend de nombreux facteurs technologiques, lorsque ces facteurs sont suffisamment contrôlés, il est facile de mettre en évidence l'impact de ces facteurs afin d'améliorer le rendement fromager au niveau de la fromagerie passe en passant : par une manipulation précautionneuse du lait ; une maturation longue plutôt qu'un refroidissement à 4°C ; une acidification bien maîtrisée ; un moulage appliqué (**Delphine, 2005**). La figure 9, ci-dessous, montre les différents paramètres à contrôler afin d'améliorer le rendement fromager.



Figure 9 : Amélioration de rendement fromager (Delphine , 2005).

Conclusion
CONCLUSION

En générale le fromage est connu comme aliment de valeur nutritionnelle non négligeable et comme source de plaisir gustatif. Du fait de son importance ainsi ses avantages pour l'organisme humain notre étude était pour objectif de démontrer l'influence des facteurs technologiques, tels que le traitement thermique, affinage etc. sur la qualité sensorielle des fromages et le rendement fromager.

La qualité sensorielle et le rendement fromager varient en fonction de la technologie de fabrication et de la matière première mise en œuvre. Ces deux derniers dépendent aussi de nombreux facteurs liés à l'alimentation de l'animal, la race, l'état sanitaire, le nombre de lactation..., par exemple les vaches de race Normande, Brune, ou Montbéliarde produisent un lait plus riche en protéines et meilleure aptitude fromagère que celui des vaches Holstein dans les mêmes conditions.

Les différents facteurs technologiques souvent modifient la qualité sensorielle et le rendement des fromages, apportent des modifications de la composition de lait qui modifie ainsi la qualité du fromage.

Les protéines sériques contribuent peu au développement de la structure et de la saveur des fromages, elles sont thermosensibles. Les protéines du lactosérum dénaturées ayant la propriété de retenir l'eau, leur incorporation abusive dans le fromage peut provoquer l'apparition de défauts de textures et de saveurs.

La caséine en formant un caillé lactique ou présure, retient selon le cas plus ou moins de matière grasse, de minéraux, d'eau et d'élément solubles ce qui a une incidence direct sur les rendements fromagers, leur dégradation par les enzymes protéolytiques vas contribuer à faire évoluer la texture du fromages en cours d'affinage, l'interaction entre les caséines et les protéines sériques est pour avantage d'augmenter les rendements fromagers par l'inclusion dans la matrice caséique des protéines sériques.

La synthèse des enzymes continue au cours du refroidissement et ses derniers hydrolysent les caséines et la matière grasse ce qui a une incidence directe sur le rendement et la qualité sensorielle des fromages qui modifier la saveur du produit fini.

Références bibliographiques

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΕΡΕΣ

Alais C. (1984). Sciences du lait, principes des techniques laitiers, 3^{eme} édition, 10 : p12.

Alcouffe A. (1988). Transformation du lait par le producteur : techniques, réglementations, économie. Thèse de doctorat vétérinaire.

Aleandri R., Schneider J.C. et Buttazzoni L.G. (1989). Evaluation of milk for cheese production based on milk characteristics and Formagraph measures, *Journal Dairy Science*, 72 : 1967-1975.

Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P. et Simpson R. (2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualités technologiques et techniques d'analyse du lait, *In Science et technologie du lait : Transformation du lait*, C. L. Vignola, Editor. Presses internationales Polytechnique : Montréal, QC, Canada, 70 : 14. St

Auldist M.J., Coats S., Sutherland B.J., Mayes J.J. et McDowell G.H. (2002). Effects of somatic cell count and stage of lactation on raw milk composition and the yield and quality of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Research*. 63: 269-280.

Bajec M.R., Pickering G.J. et DeCourville N. (2012). Influence of Stimulus Temperature on Orosensory Perception and Variation with Taste Phenotype. *Chemosens Percept*, 5:243–265.

Banks J.M., Banks W., Muir D.D. et Wilson A.G. (1981). Cheese yield: composition does matter. *Dairy Ind. Int.* 46 (5): 15, 17, 19, 21-

Banks J.M., Clapperton J.L., Muir D.D. et Girdler A.K. (1986). The influence of diet and breed of cow on the efficiency of conversion of milk constituents to curd in cheese manufacture. *Journal of Science Food Agricultural*, 37: 461-468.

Banks J.M., Muir D.D. et Tamime A.Y. (1984). A comparison of cheese yield and cheese making efficiency using seasonal and standardized milk. *Journal Soc. Dairy Technology*, 37:83-88.

Barbano D.M., Rasmussen R.R. et Lynch J.M. (1991). Influence of milk somatic cell count and milk age on cheese yield. *Journal Dairy Science*, 74: 369-388.

Barbano D.M. et Sherbon J.W. (1984). Cheddar cheese yields in New York. *Journal of Dairy Science*, 67:1873-1883.

Bosset J.O., Jeangros B., Berger T., Bütikofer U., Collomb M., Gauch R., Lavanchy P., Scehovic J. et Sieber R., (1999). Comparaison de fromages à pâte dure de type gruyère produits en région de montagne et de plaine. *Revue Suisse Agricolaire*, 31 : 17-22.

Bougren N.E et Megunai E. (2016). Rendement fromager : Facteurs de variation et formules de prédiction. Mémoire de master, Université Guelma.

Bourgeois C., Mescle J.F. et Zucam. (1990). Microbiologie Alimentation ; Aspects microbiologiques de la sécurité et de la qualité alimentaire. Techniques et Documentation, Lavoisier, Paris, 422p.

Breene W., Price W. et Ernstrom C. (1964) Manufacture of Pizza Cheese without Starter. *Journal of Dairy Science* 47 :1173– 1180.

Broyard C. et F. Gaucheron. (2015). Modifications of structures and functions of caseins: à scientific and technological challenge. *Dairy Science and Technology* 95(6) :831-862.

Brulé G., Maubois J.L. et Fauquant, J. (1974). Étude de la teneur en éléments minéraux des produits obtenus lors de "ultrafiltration du lait sur membrane. *Lait* ,54 : 600-615.

Bubelová Z., Tremlová B., Buňková L., Pospiech M., Vítová E. et Buňka F. (2015). The effect of long-term storage on the quality of sterilized processed cheese. *Journal Food Science Technology*, 5 :4985–4993.

Bugaud C., Buchin S., Hauwuy A. et Coulon J.B. (2002). Texture et flaveur du fromage selon la nature du pâturage : cas du fromage d'Abondance. *INRA Production Animales.*, 15: 31-36.9.

Bynum D.G. et Olson N.F. (1982). Influence of curd firmness at cutting on Cheddar cheese yield and recovery of milk constituents. *Journal of Dairy Science.* 65 : 2281-2290.

Carole L. et Vjgnola, (2002). Science et technologie du lait. Presses Internationales Polytechnique, Montréal.

Cayot P. et Lorient D. (1998). Structures et Technologie fonctions des Protéines du Lait. Edition Tec et Doc, Lavoisier. Paris.

Chamba J. (1988). Salage de l'Emmental. I. Influence des conditions de saumurage sur l'absorption du sel et sa cinétique. *Lait*, 68 :121–142.

Chambers D. H., Chambers. Et Johnson d. (2005). Flavor description and classification of selected natural cheeses. *Culinary Arts and Sciences V: Global and National Perspectives*, (Coord. Edwards J.S.A., Kowrygo B, et Rejman, K.), pp 641- 654, Publisher, Worshipful Company of Cooks Research Centre, Bournemouth, Poole, UK.

Christensen J., Povlsen V.T. et Sorensen J. (2003). Application of Fluorescence Spectroscopy and Chemometrics in the Evaluation of Processed Cheese During Storage. *Journal Dairy Science*, 86(4) : 1101-1107.

Colin O., Laurent F. et Vignon B. (1992). Variations du rendement fromager en pâte molle. Relations avec la composition du lait et les paramètres de la coagulation. *Lait*, 72 : 307-319.

Coulon J.B., Chilliard Y. et Rémond B. (1991). Effets du stade physiologique et de la saison sur la composition chimique du lait de vache et ses caractéristiques technologiques (aptitude à la coagulation, lipolyse). *INRA Productions Animales.*, 4 : 219-228.

Coulon J.B., Delacroix-Buchet A., Martin B. et Pirisi A. (2005). *Productions Animales*, 18 : 49-62.

Coulon J.B., Gasqui P., Barnouin J., Ollier A., Pradel P. et Pomiès D. (2002). Effect of mastitis type and germ on milk yield and composition during naturally-occurring udder infections in dairy cows. *Anim. Research.*, 51,383-393.

Coulon J.B. et Priolo A. (2002). Influence of forage feeding on the composition and organoleptic properties of meat and dairy products: bases for a « terroir » effect. *In: « Multi-function grasslands: quality forages, animal products and landscapes »*, J.L. Durand, J.C. Emile, C. Huyghe and G. Lemaire Edition, British Grassland Society, 513-524.

Coulon J.B., Verdier I., Pradel P. et Almena M. (1998). Effect of lactation stage on the cheese making properties of milk and the quality of Saint-Nectaire-type cheese. *Journal of Dairy Research*, 65: 295-305.

Dalgleish D.G. (1982). Milk products. Chemistry and physics food protein London. on the characteristics of matured Saint-Nectaire cheeses. *Lait*, 75: 523-533.

Dalgleish D.G. et Corredig, M. (2012). The Structure of Casein Micelle of Milk and Its Changes During Processing. *Annales Revue. Food Science. Technology.*

Debry G., (2001). Lait, nutrition et santé, Tec et Doc, Paris : 21(566 pages).

Delphine C. (2005). Centre fromager de bourgogne aout 2005 (une synthèse sur le rendement fromager). *Dairy Food.* 78 : 145- 155.

Ducy M. (1997). Influence du polymorphisme des protéines en fabrication de Pont-l'Evêque. Mémoire de DEA, INAPG, 84 pp.

Dumont J.P. et Adda J., (1978). Occurrence of sesquiterpenes in mountain cheeses volatiles. *Journal Agricultural Food Chemistry,* 26, 364-367.

Dupont D., Rémond B. et Collin J.C. (1998). ELISA determination of plasmin and plasminogen in milk of individual cows managed without the dry period. *Milchwissenschaft,* 53 : 66-69.

Eck et Gillis J.C. (2006). Le fromage, Lavoisier, 3eme édition, Paris. P.874.

EL-Negoumy A.M. (1972). Effects of polymorphic composition of calcium caseinate sols on their stability to rennin. *J Dairy Res* 39: 373-379.

Emmons D.B. (1993). Definition and expression of cheese yield. In: Factors affecting the of cheese. *International Dairy food.* Brussels, 12-20.

Emmons D.B., Ernstrom C.A., Lacroix C. et Verret P. (1990). Predictive formulae for yield of cheese from composition of milk: a review. *Journal Dairy Science,* 73: 1365-1394.

Escobar D., Clark S., Ganesan V., Repiso L., Waller J. et Harte F. (2011). High-pressure homogenization of raw and pasteurized milk modifies the yield, composition, and texture of queso fresco cheese. *Journal of Dairy Science* 94(3) :1201-1210.

FAO. (1978). Norme générale codex pour le fromage. CODEX STAN 283-1978. www.fao.org/input/download/standards/175/CXS_283f.pdf.

Fenelon M.A. et Guinee T.P. (1999). The effect of milk fat on Cheddar cheese yield and its prediction, using modifications of the Van Slyke cheese yield formula. *Journal of Dairy Science,* 82: 2287-2299.

Fenelon M.A. et Guinee T.P. (2000). Primary proteolysis and textural changes during ripening in Mozzarella cheeses manufactured to different fat contents. *Int. Dairy Journal*.10

Fox P.F., Guinee T.P., T.M., C. et McSweeney P.H. (2000). Fundamentals of cheese science. ASPEN Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland.

Fox P.F., Guinee T.P., Cogan T.M. et P.L.H. McSweeney. (2017). Enzymatic Coagulation of Milk, *In Fundamentals of Cheese Science*. Springer US: Boston, MA. p. 185-229.

Fox P.F., O'Connor TP., Mcsweeney PLH. et al. (1996). Cheese: Physical, Biochemical, and Nutritional Aspects. *Adv Food Nutr Reserch* 39:163–328.

Fredot E. (2006). Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Tec et Doc, Lavoisier: 25 (397 pages).

Froc J., Gilibert J., Daliphar T. et Durand P. (1988). Composition et qualité technologique des laits de vaches Normandes et Pie-Noires. 1. Effet de la race. *INRA Prod. Anim.*, 1 : 171-177

Gaborit P., Menard A. et Morgan F. (2001). Impact of ripening strains on the typical flavour of goat cheeses. *International Dairy Journal*, 11 : 315–325

Garel J.P. et Coulon J.B. (1990). Effet de l'alimentation et de la race des vaches sur les fabrications de fromage d'Auvergne de Saint-Nectaire. *INRA Productions Animales.*, 3 : 127-136.

Gelais D. et Tirard-Collet P, Fromage, in *Science et technologie du lai : transformation du lait*.

Gilles J. et Lawrence R.C. (1985). The yield of cheese. *New Zeal. Journal of Dairy Sci. Technology*, 20: 205-214.

Grosclaude F. (1988). Le polymorphisme génétique des principales lactoprotéines bovines. Relation avec la qualité, la composition et les aptitudes fromagères du lait. *INRA Productios Animales*, 1: 5-17.

Guinee T.P. (2004). Salting and the role of salt in cheese. *International Journal Dairy Technology*, 57:99–109.

Guinee T.P. et O'kenedy B. (2009). The effect of calcium content of Cheddar-style cheese on the biochemical and rheological properties of processed cheese. *Dairy Science Technology*, 89 : 317-333.

Guiraud J. (2003). Microbiologie alimentaire. Edition DUNON, Paris. Pp: 136-141.

Guo M., Park Y.W., Dixon P.H., Gilmore J.A. et Kindstedt P.S. (2004). Relationship between the yield of cheese (Chevre) and chemical composition of goat milk. *Small Rumin. Reserch*, 52: 103-107.

Hanno R., Lehmann E. et Dolle K.H. (1991). Centrifuges for milk clarification and bacteria removal. *Technical scientific documentation*, 2eme édition, 12 :19-29.

Hardy J. (1997). L'activité de l'eau et le salage des fromages. *In Le fromage*, pp. 63-83. Edited by A. Eck et J.C. Gillis. Paris, France : Lavoisier.

Hebert A. (2010). Ecosystème fromager : de l'étude du métabolisme du soufre chez *Kluyveromyces lactis* et *Yarrowia lipolytica* à l'interaction entre *Kluyveromyces lactis* et *Brevibacterium aurantiacum*.

Houssin B., Foret A. et Chenais F. (2002). Effect of winter diet (corn vs. Grass silage) of dairy cows on the organoleptic quality of butter and camembert cheese. *Grassland Science in Europe*, 7: 572-573.

Hurtaud C., Berthelot D., Delaby L. et Peyraud J.L. (2004). Winter feeding systems and dairy cows breed have an impact on Camembert and Pont L'Evêque PDO cheeses in Normandy. *Grassland Science in Europe*, 8 : 1145-1147

Hurtand C., Buchin S., Martin B., Verdier-Metz J.L., Peyraud I. et Noel Y. (2001). La qualité des laits et ses conséquences sur la qualité des produits de transformation : quelques techniques de mesure dans les essais zootechniques Ruminants Animales., 45 : 29-40.

Huppertz T., Upadhyay Y., Kelly K. et Tamime A.Y. (2006). Constituent and properties of MILK from different species, Brined cheeses, Edited by Dr Adnan tamime. Copyright Blackwell Publishing, Pp: 1-34.

Ichilczyk-Leone J., Amram Y., Schneid N. et Lenoir J. (1991). Le refroidissement du lait et son comportement en fromagerie. *Revue laitière française*, 401 : 7-14.

Jakob E. et Hänni J.P. (2004). Fromageabilité du lait. Edition, Agroscope Liebefeld Posieux. Groupe de discussions N° 17F.

Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P. et Brulé G. (2008). Les produits laitiers. Edition. . Techniques et Documentation – Lavoisier, Paris, 2 :185 p.

Jeantet R., Crpguennec T., Schuck P. et Brule G. (2007). Science des aliments-technologie des produits alimentaires ,Tec et Doc, Lavoisier : 17 (456 pages).

Khaled A. (2012). Effet de traitements thermiques sur les propriétés fonctionnelles de Fromages traditionnels : le cas des pâtes persillées. Agricultural sciences. University Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, France.

Kheadr E. E., Vachon J F., Paquin P. et Fliss I. (2002). Effect of dynamic high pressure on microbiological, rheological and microstructural quality of Cheddar cheese. International Dairy Journal 12(5):435-446

Kindstedt P., Kiely L., et Gilmore J. (1992). Variation in composition and functional properties within brine-salted Mozzarella cheese. Journal of dairy science 75, 2913-2921.

Kirchmeier O. (1961). « Milchwissenschaft », 16 (3): p.137-140.

Klei L., Yun J., Sapru A., Lynch J., Barbano D., Sears P. et Galton D. (1998). Effects of milk so- matic cell counton cottage cheese yield and quality. Journal of Dairy Science, 81 : 1205-1213.

Lavoisier B. (1995). Association of casein and casein micelle, 4^{ème} édition.

Le Bars D et Gripon J. (1981). Role of Penicillium roqueforti proteinases during blue cheese ripening. Journal of Dairy Rescerch ,48 :479–487.

Lenoir J. (1985). Les caséines du lait. Revue laitière française, 440 : 17-23.

Lenoir G., Lambert G. et Schmidt J.L. (1985). la maitrise de bioréacteur de fromage , l^{ère} édition,9 : 41.

Libouga D.G., Vercaigne-Marko D., Djangal S. L., I. Choukambou, Ebangi A.L., M. Ombionyo, Beka R.G., Aboubakar T.M. et Guillochon D. (2006). Mise En Evidence D'un

Agent Coagulant Utilisable En Fromagerie Dans Les Fruits De Balanites Aegyptiaca. *Tropicultura*, 24 : 229-238.

Linden G. (1987). Les enzymes, le lait matière première de l'industrie laitière, volume 14, 1ère édition, p127.

Lou Y. et Ng-Kwai-Hang K.F. (1992). Effects of protein and fat levels in milk on Cheddar Cheese yield. *Food Research International*. 25: 437-444.

Lucey J. A. (2008). Some perspectives on the use of cheese as a food ingredient. *Dairy Science and Technology* 88: 573-594.

Lucey J. et Kelly J. (1994). Cheese yield. *Journal of Dairy Technology*. 47 (1) : 1-14

Macheboeuf D., Coulon J.B. et D'Hour P. (1993). Effect of breed, protein genetic variants and feeding on cows' milk coagulation properties. *Journal of Dairy Reserch.*, 60: 43-54.

Madadlou A., Mousavi M., Khosrowshahiasl A. et al. (2007). Effect of cream homogenization on textural characteristics of low-fat Iranian White cheese. *International Dairy Journal*, 17 :547–554.

Mahaut M., Jeantet R. et Brule G. (2003). Initiation à la technologie fromagère. Techniques et Documentation – Lavoisier, Paris, 194 p

Mahaut M., Jean R. et Gérard Brulé G. (2000). Initiation à la technologie fromagère. Éditions TEC & DOC, volume20, p194.

Martin B. et Coulon JB. (1995). Facteur de production du lait et caractéristique de fromage. Influence du facteur de produit sur l'aptitude à la coagulation des laits. *Lait*, 5 : 61-80.

Martin B., Pradel P. et Verdier-Metz I. (2000). Effet de la race (Holstein/Montbeliarde) sur les caractéristiques chimiques et sensorielles des fromages. *Recherche Ruminants*, 7, 317.

Martin B., Verdez-Metz I., Buchin S., Hartoud C. et Coulon J.B. (2005). “How do the nature of forages and pasture diversity influence the sensory quality of dairy livestock products”, *Amin.Su.*, 81:205.212.

- Masson C., Decaen C., Rousseaux P. et Bouty J. (1978).** Variations géographique et saisonnière de la composition du lait destiné à la fabrication de gruyère de Comté (observations préliminaires). *Le lait*, 58: 261-273.
- Matzdorf B., Cuppett S.L., Keeler L. et Hutkins R. (1994)** Browning of Mozzarella Cheese during high temperature pizza baking. *Journal Dairy Science* ,77 :2850–2853.
- Maubois J.L., Ricordeau G. et Moquot G. (1970).** Etude des rendements en fromagerie de Camembert et de Saint-Paulin. *Lait* ,50: 351-373.
- McSweeney P. (2004).** Biochemistry of cheese ripening. *Internationale Journal of Dairy Technology* ,57 :127–144.
- Meitton I B. (1995).** La typologie des fromages, Symposium organisé par la fondation des Gouverneurs et le centre de recherche et de développement sur les aliments d'agriculture et Agroalimentaire Canada, octobre, 245p.
- Mistry V.V., Brouk M.J., Kasperson K.M. et Martin E. (2002).** Cheddar cheese from milk of Holstein and Brown Swiss cows. *Milchwissenschaft*, 57: 19-23.
- Mistry V V. et Kasperson K M. (1998).** Influence of salt on the quality of reduced fat Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 81 :1214–1221.
- Moquot G. (1947).** Etude sur l'eau liée des fromages. *Le lait*, INRA Edition ,21 : (269-270), pp.576-595.
- Munro G.L., Grieve P.A. et Kitchen B.J. (1984).** Effects of mastitis on milk yield, milk composition, processing properties and yield and quality of milk products. *Aust. Journal of Dairy Technology*, 39:7-16.
- Muthukumarappan K., et Swamy G. (2017).** Rheology, microstructure, and functionality of cheese. In "Advances in Food Rheology and Its Applications", pp. 245-276. Elsevier.
- Nair M. G., Mistry .V. et Oommen B. S. (2000).** Yield and functionality of Cheddar cheese as influenced by homogenization of cream. *International Dairy Journal* ,10(9):647-657.
- Niki T., Yoshioka Y. et Yahiko K. (1966).** Proteolytic and lipolytic activities of *Penicillium roqueforti* isolated from blue cheese. XVII. XVIII Int. Dairy Congr. D. pp 531–37.

Olson N.F. (1995). Cheese. In *Enzymes, Biomass, Food & Feed, Biotechnology*.

Ozimek L. et Kennelly J. (1993). The effect of seasonal and regional variation in milk composition on potential cheese yield. In: *Cheese yield and factors affecting its control*. IDF Seminar. Cork (Ireland), 95-100.

Paolo F., Andrea S., Piero F., Massimo M. et Primo M. (2008). Cheese yield: Factors of variation and predictive formulas. A review focused particularly on grana type cheeses. *Annales de Med Veterinaire*. Parma ,28 : 211-232

Parente E. et Cogan T M. (2004). Starter cultures: general aspects. In: Fox, P. F., McSweeney P. L. H., Cogan T.M. et Guinee, T. P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, V

Paulson B. M., McMahan D.J. et Oberg C.J. (1998). Influence of sodium chloride on appearance, functionality and protein arrangements in nonfat mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 81(8) : 2053-2064.

Perrin G. (1997). Qualité hygiénique du lait de chèvre, Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre : Niort (France), 7 novembre 1996. INRa, Paris (les colloques n° 81).

Pirisi A., Piredda G., Corona M., Pes M., Pintus S. et Ledda A. (2000b). Influence of somatic cell count on ewe's milk composition, cheese yield and cheese quality. *Proceedings of 6th Great Lakes Dairy Sheep Symposium*, Guelph, Canada, 47-59.

Prentice J. H. (1993). Cheese rheology. In *Cheese: Chemistry, Physics & Microbiology, General Aspects*, Ed. Fox P.F. Elsevier Applied Science, London,1: .303–340.

Pougheon S .et Goursaud J. (2001). Le lait caractéristique physicochimiques *In* Debry G., *Lait, nutrition et santé*, Tec et Doc, Lavoisier.

Ramet J.P. et Scher J. (2006). Propriétés physiques du coagulum, *In* : Eck, A., Gillis, J.C.Edition, *Le fromage*, pp : 324-363.

Remeuf F. (1994). Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et aptitudes fromagères des laits. *Recueil de Médecine Vétérinaire*, 1994, 170 (6/7) : 359-365.

Remeuf F., Cossin V., Dervin C., Lenoir J. et Tomassone R. (1991). Relations entre les caractères physico-chimiques des laits et leur aptitude fromagère. *Lait*, 71: 397-421.

Rémond B. et Pomiès D. (2004). Effect of once daily milking in dairy cows: a review of recent french experiment. EAAP, à paraître.

Richoux R., Roseta G., Famelart M. et Kerjean J. (2001). Diversité de quelques propriétés fonctionnelles à chaud de l'Emmental français. Lait, 81 :547–559.

Roudaut H. et Lefrancq E. (2005). Alimentation théorique. Edition des Aliments.

Romain J., Thomas C., Michel, M., Pierre S. et Gérard B. (2008). "Les produits laitiers (2e édition.), Lavoisier.

Ryynänen S., Hyvönen L. et Tuorila H (2001). Perceived temperature effects on microwave heated meals and meal components. Food Service Technology, 1:141–148.

Saint-Eve A., Lauverjat C. et Magnan C. (2009). Reducing salt and fat content: Impact of composition, texture and cognitive interactions on the perception of flavored model cheeses. Food Chemistry ,116:167– 175.

Sapru A., Barbano D.M., Yun J.J., Klei L., Oltenacu P.A. et Bandler D.K. (1997). Cheddar cheese: influence of milking frequency and stage of lactation on composition and yield. J. Dairy Science,80: 437-446.

Schmidt A. (1982). Development in dairy chemistry protein, association of casein and casein micelle structure, volume5, 2^{ème} édition, p61.

Scott R. (1998). Cheese making practice. Aspen Publ. Gaithersburg.

Solowiej B., Cheung I.W. et Li-Chan E.C. (2014). Texture, rheology and meltability of processed cheese analogues prepared using rennet or acid casein with or without added whey proteins. International Dairy Journal, 37(2):87-94.

Starry J.E. (1982). Supplimentation of pressed sugar with molasses for the production milk. Dairy Science, 39 : 209-225.

St-Gelais D., Patrik T.C., Géatan B., Roger C. et Roger D. (2000). Chapitre 6 ; Fromage *In* science technologie du lait. Edition. Presses internationales polytechnique. Pp :349-415.

St-Gelais D. et P. Tirard-Collet. (2002). Fromage. Pages 349-415 in Science et technologie du lait : transformation du lait. Presses internationales Polytechnique, [Montréal].

- Sousa M. (2001).** Advances in the study of proteolysis during cheese ripening. *Int Dairy J*, 11:327–345. **Tsakalidou E. (2010).** Handbook of dairy products. Chapter 30. Microbial flora. Uniaxial compression. *Journal of Food Science* 57(5) :1078–1081.
- Thebaut L. (1991).** Qualités des produits agricoles et qualité de l'environnement, des Synergies limiter. *Tun. Reg. Aride*. 1: 1-11
- Urbach G. (1990).** Effect of feed on flavor in dairy foods. *Jornal of Dairy Science*, 73: 3639-3650.
- Vandewegh J. (1997).** Le rendement en fromage : prédétermination et mesure, *in* : ECK A. Le fromage. 2ème édition Tec et Doc Lavoisier.
- Verdier-Metz I., Coulon J.B. et Pradel P. (2001).** Relationship between milk fat and protein contents and cheese yield. *Anim Research* ,50 : 365-371
- Verdier-Metz I., Pradel P. et Coulon J.B. (2002).** Influence of the forage type and conservation on the cheese sensory properties. In: Durand J.L., Emile J.C., Huyghe C., Lemaire G. edition, Multi-function grasslands: quality forages, animal products and landscapes, British Grassland Society, La Rochelle, France, 2002, 592-593.
- Verdier-Metz I., Martin B., Pradel P., Hulin S., Mortel M.C. et Coulon. (2005).** “Effet of gras-silage Vs hay diet on the characteristics of cheese: interactions with the cheese model”. *Lait*, 85 :469-480.
- Verdier-Metz I., Coulon J B., Pradel P., Viallon C. et Berdagué J.L. (1998).** Effect of forage conservation (hay or silage) and cow breed on the coagulation properties of milks and on the characteristics of ripened cheeses.
- Verdier I., Coulon J.B., Pradel P. et Berdagué J.L. (1995).** Effect of storage type and cow breed.
- Verdier-Metz I., Coulon J.B., Viallon C. et Pradel P. (2000).** Effet de la conservation du fourrage sur les caractéristiques physicochimiques et sensorielles des fromages. *Renc. Rech. Rum.*, 7,318.
- Visser J. (1991).** Factors affecting the rheological and fracture properties of hard and semihard cheese. *Bulletin of the International Dairy Federation*, 268 : 49-61

Vignola C. (2002). Science et Technologie du Lait Transformation du Lait. Edition Presses Internationales Polytechnique, Canada. pp. 3-75.

Walsh C.D., Guinée T.P., Harrington D., Mehra R., Murphy J. et Fitzgerald R.J. (1998). Cheese making, compositional and functional characteristics of low-moisture part skim Mozzarella cheese from bovine milks containing -casein AA, AB or BB genetic variants. Journal of Dairy Research, 65: 307-315.

Wolster R. (1997). Alimentation de la vache laitière. France Agricole - 3è édition, Paris.

Yildiz F. (2010). Development and manufacture of yogurt and other dairy products, CRC Press Taylor et Francis Group, USA, 435p. ogan et T. P. Guinee. London: Elsevier.

Zamora A. et Guamis B. (2014). Opportunities for Ultra-High-Pressure Homogenization (UHPH) for the Food Industry. Food Engineering Reviews.

Glossaire

GLOSSAIRE

Affinage : digestion enzymatique des constituant du caillé égoutté qui lui conférera à la fin une texture et une saveur caractéristiques selon le type de fromage recherché.

Brassage : agitation des grains de caillé dans le lactosérum.

Caillé : c'est le produit obtenu après coagulation du lait.

Caillé de type lactique : caillé produit lorsque des bactéries lactiques transforment le lactose en acide lactique, il s'ensuit que le ph du lait diminue, ce qui décalcifie les micelles de caséines, les déstabilise et les fait précipiter.

Caillé de type présure : caillé produit avec l'addition d'une enzyme tel que la chymosine. Les micelles deviennent instables puis forment en présence de minéraux un réseau de caséines qui gélifie de plus en plus pour former un caillé plus ou moins ferme.

Coagulation : déstabilisation des micelles de caséines qui flocculent puis se soudent pour former un gel emprisonnant des éléments solubles du lait.

Chymosine : enzyme retrouvée dans la présure de veau.

Egouttage : séparation physique entre solide et liquide.

Lipolyse : est un ensemble de voies métaboliques énergétiques permettant la phosphorylation de l'APD en ATP, grâce à l'oxydation des graisses.

Maturation : étapes opération de nature physicochimique dans le mélange qui a pour objet de cristalliser partiellement la matière grasse globulaire liquéfiée par le traitement thermique, de favoriser l'adsorption des protéines sur les globules gras, de poursuivre et d'achever l'hydratation des colloïdes.

Moulage : permet de séparer le caillé du lactosérum. Cette séparation donne naissance qu petit lait qui par la suite peut être utilisé indépendamment.

Pressage : Correspond à la dernière opération mécanique de l'égouttage ; il a pour but d'éliminer les dernières portions de sérum inter-granulaire et de donner au fromage sa forme définitive.

Pasteurisation : traitement thermique qui se fait à une température inférieure à 100°C, dont le but est de détruire les bactéries pathogènes seulement, présente sou forme végétative.

Protéolyse : c'est la décomposition des protéines en plus petits éléments, tels que des polypeptides ou des acides aminés.

Standardisation : série d'Operations qui consiste à ajuster le ph ou une ou des composantes du lait a des valeurs cibles prédéterminées par l'opérateur.

Synérèse : expulsions de la phase liquide hors du caillé.

Tranchage : Coupe des meules ou des longes de façon extrêmement régulière.

Ultrafiltration (UF) : la membrane d'ultrafiltration dépare le flux (par exemple le lait écrémé) en deux flux, permettant ainsi à l'eau, aux sels dissous, au lactose et aux acides de la traverser, tout en conservant (et par conséquent concentrant) les protéines et les matières grasses séparées.

Water activity (AW) : Indice de disponibilité de l'eau.

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de l'impact des facteurs technologiques sur la qualité sensorielle des fromages et le rendement fromager.

Le refroidissement du lait à la ferme, le traitement thermique appliqué pendant la pasteurisation, la standardisation du lait destiné à la fabrication, pressage du caillé, le salage, l'affinage etc. influencent, tous d'une manière ou d'une autre, la qualité sensorielle et le rendement des fromages. Les facteurs physiologiques à savoir la race de l'animal laitier, le stade de lactation, l'alimentation etc. affectent significativement la composition chimique du lait qui modifie à son tour la qualité sensorielle des fromages et le rendement fromager. On note que plus la matière sèche du lait est élevée plus la qualité sensorielle et le rendement fromager sont meilleurs.

Mots clé : Fromage, Lait, Qualité sensorielle, Rendement fromager, Facteurs technologiques

Abstract

The objective of this work is the study of the impact of technological factors on the sensory quality of cheeses and cheese yield.

The cooling of milk on the farm, the treatment applied during pasteurization, the standardization of milk for manufacturing, curd pressing, salting, ripening etc. all influence in one way or another the sensory quality and yield of cheeses physiological factors. Breed of dairy animal, stage of lactation, diet etc. significantly affect the chemical composition of milk which in turn modifies the sensory quality of cheeses and cheese yield: we note that the higher the dry matter content of the milk, the better the sensory quality and the cheese yield.

Key words: Cheese, Milk, Sensory quality, Cheese yield, Technological factors.