

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de L'univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production et Technologie Laitières

Département : Ecologie et Génie de L'Environnement

Thème : Rendement Fromager : Facteurs de Variation et Formules de Prédiction

Présenté par :

BOUGUERN Nour Elhouda

MEGUENAI Elmehdi

Devant le jury composé de :

Président : Dr : BOUDALIA Sofiane	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur : Dr : BOUSBIA Aissam	M.C.B	Université de Guelma
Examinatrice : Mme LEKSIR Choubaila	M.A.B	Université de Guelma

Juin 2016

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Nous adressons nos vifs et sincères remerciements aux personnes qui nous ont apporté leurs aides et leurs conseils car sans eux, ce travail n'aurait pas pu être achevé.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche n'aurait et pas pu avoir le jour sans et l'encadrement de Dr BOUSBIA Aïssam on le pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous sommes conscients de l'honneur que nous a fait Monsieur Dr BOUDALIA SOFIANE en étant président du jury de ce mémoire Nos sincères remerciements vont également à Madame LEKSIR Choubaila pour avoir accepté d'examiner notre travail.

L'ensemble de mes enseignants qui m'ont accompagné tout au long de nos cursus universitaire.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui nous ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Dédicace

A mon père, L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que Dieu te préserve et te procure santé et longue vie.

A ma mère, Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir, tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée.

A ma grande sœur Nazîha et son marié mon deuxième frère HARIDI Ahcen et ses enfants : Dikra Amani, Dani, Iyed et Md Amjed.

A ma belle sœur Amel et son marié DERADJI Md Amine.

A ma chère sœur Nada.

A mes chers frères : Khalil et Waheb.

A tous les membres de ma famille, petits et grands

A mon meilleur frère (mon binôme) Mehdi

A toutes mes chères amies surtout : Karima, Hadjer, Houyam, Nahla, Narimane et Ibtissam.

A toute ma promotion du Master Production et technologie Laitières

Nour elhouda

Dédicace

Je dédie ce mémoire

*A mes chers parents ma mère et mon père
Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur
Encouragement.*

A mes frères.

*A mes amis et mes camarades surtout M.M.
A ma petite sœur (mon binôme) Nour elhouda.*

*A tous les membres de ma famille.
A toute ma promotion du Master Production et
Technologie Laitières.*

Elmehdi

Sommaire

Introduction

Chapitre I : Le fromage dans le monde et en Algérie.....	4
1. La production mondiale de fromages.....	4
2. La consommation mondiale de fromage.....	5
3. Les échanges internationaux : exportation et importation.....	6
3.1 Exportation	6
3.2 Importation	6
4. La filière fromage en Algérie	7
4.1 La production Algérienne	8
4.2. La consommation Algérienne de fromage.....	9
4.3. Les fromages traditionnels en Algérie	9
4.3.1 Bouhezza.....	9
4.3.2 Jben.....	10
4.3.3 Klila.....	10
4.3.4 Takammart.....	10
4.3.5 Aoules.....	10
4. 3.6 Lebaa.....	10
4.3.7 Méchouna.....	10
4.3.8 Madghissa.....	11
4.4. Les contraintes de la filière fromage en Algérie.....	11
Chapitre II. Le fromage est un produit fini	12
1. Définition	12
2. Constituant de fromage.....	12
2.1. Teneur en extrait sec.....	12
2.2. Teneur en matières grasse.....	13
2.3. Les protéines.....	13
2.4. Les glucides.....	14
2.5. Minéraux.....	14

3. Caractéristiques physicochimique des différentes classes de fromages.....	16
4. la qualité bactériologique de lait cru.....	16
4.1. Micro-organismes utiles.....	17
4.1.1 Les bactéries propioniques.....	17
4.1.2 Les autres bactéries.....	17
4.2. Micro-organismes responsables d'altération.....	17
4.2.1. Les coliformes.....	18
4.2.2. Les bactéries butyriques (<i>Clostridium tyrobutyricum</i>)	18
4.2.3. Levures et moisissures.....	18
4.3. Microorganismes potentiellement pathogènes.....	18
4.4. Particularités microbiologiques des fromages.....	19
5. Principes généraux de la technologie fromagère.....	19
6. Les mécanismes de la transformation en fromage.....	20
7. Les grandes familles de fromage.....	22
7.1. Fromages frais.....	22
7.2. Fromages à pâte molle, à croûte lavée ou fleurie.....	22
7.3. Fromages à pâte pressée.....	23
7.4. Pâtes dures.....	24
7.5. Pâtes filées.....	24
7.6. Fromages fondus.....	24
8. Exemples de défauts rencontrés dans le fromage.....	25
Chapitre III. Le rendement en fromage prédétermination et mesure.....	27
1. Définition du rendement fromager.....	27
2. Mesure du rendement.....	27
2.1. A partir de la quantité de lait et de fromage.....	27
2.2. A partir de la quantité d'extrait sec dégraissé du lait retrouvée dans le fromage : coefficient G.....	28

2.3.A partir de la connaissance analytique de la teneur en extrait sec du lait, du fromage et du sérum obtenus.....	28
3. Prédétermination des rendements.....	29
3.1.A partir de l'analyse statistique des données analytique d'un grand nombre de Fabrications.....	29
3.2. A partir de la composition cible du fromage.....	30
3.3. Généralisation ou théorie de l'éponge.....	31
3.4. Fromages obtenus à partir de lait concentré (évaporation, adjonction de poudre de lait)	33
3.5. Fromages obtenus par ultrafiltration du lait (procédé MMV.....	33
4. Comparaison des rendements.....	35
4.1. Correction suivant la teneur en matière sèche des fromages.....	35
4.2. Comparaison des rendements : validation statistique.....	36
4.2.1. Comparaison de moyennes issues de grands échantillons.....	37
4.2.2. Comparaison de moyennes issues de petits échantillons.....	37
Chapitre VI. Facteur de variation du rendement fromager.....	39
1. Facteurs de variation du rendement fromager.....	39
1.1. Composition du lait.....	39
1.1.1. La teneur en matière utile.....	39
1.1.2. Effet de la teneur en matière grasse.....	40
1.1.3. pH.....	41
1.1.4. Teneur en calcium colloïdal.....	41
1.1.5. La teneur en caséine.....	42
1.1.6. Les variantes génétiques des protéines du lait.....	44
1.1.7. Taux d'urée.....	45
1.1.8. Teneur en lactose.....	45
1.2. Les facteurs physiologiques.....	45
1.2.1. Stade de lactation.....	45

1.2.2. Conséquences des cellules somatiques sur la technologie fromagère.....	46
1.2.2.1. Influence des cellules somatiques sur la qualité des fromages.....	46
1.2.2.2. Impact des cellules sur le rendement fromager.....	46
1.2.3. Effet de la saison.....	47
1.2.4. Effet de la race : cas des races bovine.....	47
1.3. Les conditions de traitement.....	49
1.3.1. Action du froid et traitement thermique.....	49
1.3.1.1. Action du froid sur les protéines du lait.....	49
1.3.1.2. Traitement thermique et action sur le TP.....	50
1.3.2. La standardisation du lait.....	50
1.3.3. L'utilisation de lait ultra filtré.....	51
1.3.4. Types de culture du levain utilisé.....	51
1.3.5. LE type de coagulant utilisé.....	52
1.3.6. La fermeté du caillé.....	52
1.3.7. La manipulation du caillé.....	53
1.3.8. Le lavage du caillé.....	53
Conclusion et recommandation.....	55
Référence Bibliographique	56

Liste des figures :

N°	Titre	Page
Figure 01	Principaux producteurs de fromage 2013	05
Figure 02	Principaux consommateurs de fromages 2013	05
Figure 03	Principaux importateurs de fromage en 2015 (milliers de tonnes)	07
Figure 04	La production algérienne part apport au Maroc et la Tunisie	08
Figure 05	Les importations de fromage en Algérie	08
Figure 06	Relation entre la teneur en matière utile de lait et le rendement fromager en MS	40
Figure 07	Effet de la teneur en matière grasse sur le rendement fromager	40
Figure 08	Classification des protéines de lait de vache	42
Figure 09	Evolution annuelle du TP et liaison avec le rendement laitier	47
Figure 10	l'effet de quelques races bovines sur l'aptitude à la coagulation des laits	48
Figure 11	L'effet de types de lactiques utilisé sur le rendement fromager	51
Figure 12	L'effet des paramètres de caillage sur le rendement	53

Liste des tableaux :

N°	Titre	Page
Tableau 01	Principaux producteurs de fromage 2013 (Milliers de tonnes)	04
Tableau 02	Principaux exportateurs de fromage 2013(Milliers de tonnes)	06
Tableau 03	Les principaux pays exportateurs du fromage vers l'Algérie	09
Tableau 04	Teneur en eau des fromages	12
Tableau 05	Teneur en matière grasse dans 100 g de fromage	13
Tableau 06	Teneur protéique des fromages	14
Tableau 07	Teneurs comparées en oligoéléments du lait et des fromages	15
Tableau 08	Caractérisation de différentes catégories de fromages par effet de pH et AW	16
Tableau 09	Le mécanisme de la coagulation	21
Tableau 10	Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager	25
Tableau 11	Les caséines du lait	42
Tableau 12	L'effet de types de coagulation sur les pertes de protéines	52

Liste des abréviations :

	Abréviations
%	Pourcentage
°C	Degré Celsius
AW	Activity Water
BBFA	Bureau Business France d'Alger
CCS	Conséquences des Cellules Somatiques
CEFAM	Centre d'Etudes et de Formation et Accompagnement Mesuré
CLBC	Contrôle Laitier des espèces Bovine et Caprine
ELEC	Economie Laitière En Chiffre
FAO	Food and Agriculture Organisation
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization STATISTICS
g	gramme
ITC	International Trade Center
JORF	Journal Officiel de la République Française
Kg	Kilo gramme
l	litre
MG	Matière Grasse
mg	milli gramme
Min	Minette
MMV	Maubois Mocquot Vissal
pH	potentiel Hydrogène
PPNC	Pate Pressé Non Cuite
R	Rendement
SCS	Score des Cellules Somatiques
TB	Taux Butyreux
TP	Taux Protéique
UE	Unis Européenne
UHT	Ultra Hight Température

Introduction :

Le lait est une matière première aux ressources considérables ; et face à la demande du consommateur qui sollicite de plus en plus de produits innovants à la qualité constante, l'industrie doit exploiter toutes les richesses de cette matière première à la fois si simple en apparence et si complexe dans sa composition.

Pour mieux faire faces aux contraintes naturelles du lait découlant de ses variations quantitatives et qualitatives, les technologues ont imaginé des solutions qui ont contribué à augmenter la diversité de la gamme des produits laitiers tout en répondant aux exigences économiques et hygiéniques.

L'industrie laitière a donc mis en place, au niveau de la production, une politique qualité qui, a permis, au cours des dernières années, d'acquérir une meilleure maîtrise des caractéristiques microbiologiques et physico-chimiques du lait. Mais la difficulté réside dans la notion de qualité ; en effet, celle-ci reste très subjective et elle aura des définitions différentes à chaque niveau de la filière :

Pour le producteur, la qualité est une absence d'impuretés et une présence de taux de matière utile élevés; l'industriel réclame une matière première au rendement de transformation élevé, tandis que le consommateur désire un produit sans risque pathogène aux qualités organoleptiques satisfaisantes.

L'industrie et la recherche dans le domaine laitier doivent donc faire face à toutes ces définitions afin de satisfaire tous les acteurs de la filière.

Nous aborderons ce thème qui est vaste. De ce fait, nous nous limitons nos recherches au rendement fromager. la fabrication du fromage est un processus essentiellement lié à la composition du lait, notamment la teneur en matière grasse et en protéine (**Banks et al., 1981**).

Le rendement fromager constitue un facteur primordial dans l'économie de la fabrication. De ce fait, une petite différence dans le rendement se traduit par une différence notable dans le bénéfice du fabricant. Une différence de 1% dans l'humidité du fromage Cheddar est équivalente à une différence du rendement de 1,8%.

L'évaluation du rendement fromager est un outil important non seulement pour la fabrication, mais aussi pour la gestion économique de la fromagerie (**Emmons, 1993 ; Lacroix et al.,1993**).

Le rendement fromager est défini comme la quantité du fromage, exprimé en Kg, obtenu à partir de 100 kg de lait. Il est donc évident de savoir comment élaborer un procédé

rapide qui permet d'estimer le rendement fromager final sur la base de la composition du lait avant la transformation de la matière première.

Une comparaison entre le rendement prévu et réel permettrait au fabricant d'avoir un contrôle constant sur l'efficacité des opérations, et d'estimer l'influence que certaines stratégies technologiques qui peuvent affecter l'ensemble du processus de fabrication du fromage. Ainsi, le calcul des effets de chaque composant du lait, et en particulier, de matières grasses et de la caséine, peut avoir un effet positif sur le rendement fromager d'où la nécessité d'adopter un système de paiement de la qualité du lait (**Paolo et al., 2008**).

Lucey et Kelly (1994), décrit les différents aspects liés à la production du fromage : les caractéristiques du lait (teneur en protéines et en matières grasses, des variantes génétiques des protéines, la teneur en cellules somatiques), les conditions de fabrication du fromage (l'incorporation de protéines de lactosérum dans le caillé, homogénéisation de la graisse, le type de coagulant, utilisation de différents levains lactiques, le type de cuve, le traitement du caillé...etc.). Les mêmes auteurs considèrent également des formules prédictives différentes pour déterminer le rendement et les stratégies de la fabrication fromage afin de minimiser les pertes fromagères.

Van den Berg et al., (1996), ont analysé certains aspects de (**Van Boekel, 1993**), relatifs au transfert des différents composants du lait en fromage , en se focalisant principalement sur la technologie de fabrication de fromage et les traitements que le lait a subi pendant la fabrication, comme la bactofugation, la pasteurisation, l'addition d'enzyme, la dénaturation des protéines du lactosérum, l'addition chlorure de calcium, et l'influence de tous ces éléments dans le transfert du lait en caillé.

Le but primordial de ce travail du Master, est de discuter la notion du rendement fromager, les différentes méthodes de calcul, ainsi les différents facteurs qui peuvent l'affecter.

Pour le plan de rédaction, la présente étude se compose de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est relatif à la filière fromage dans le monde et en Algérie : dans le monde, nous essayons de faire un bref aperçu sur les principaux pays producteurs du fromage ainsi, les principaux pays exportateurs, importateurs et consommateurs du fromage

Cependant, en Algérie nous essayons de faire une description générale de la filière fromage tout en expliquant les principaux maillons de cette filière.

- Le second chapitre : nous introduirons tout d'abord la notion générale de la fabrication fromagère

- Le troisième chapitre : nous entamons la présentation de la notion du rendement fromager ainsi, les différents mécanismes d'évaluation de ce dernier.
- Le quatrième et le dernier chapitre consiste à une analyse exhaustive des facteurs qui peuvent affecter le rendement fromager.

Chapitre I. Le fromage dans le monde et en Algérie

1. La production mondiale de fromages

Plus de 20 millions de tonnes de fromages sont produits chaque année, soit près de 655 kilos par seconde. La production fromagère augmente de 2% par an. Les États-Unis est le 1^{er} pays producteur dans le monde (**tableau 01**). Néanmoins, Ce pays est très marginal dans les exportations mondiales de fromage. De ce fait, les Etats-Unis ne se figure pas dans le (**tableau 02**) qui résume les principaux exportateurs du fromage dans le monde où l'essentiel de leur production étant destiné au marché intérieur (**ELEC, 2015**).

Les principaux pays producteurs on trouve : les Etats-Unis, l'Allemagne, l'Italie et la France. Le fromage est le produit laitier le plus répandu dans la sphère de la transformation du lait cru. En effet, la production fromagère consomme environ 40 % des laits produits dans le monde.

Parmi les dix premiers exportateurs, seuls l'Irlande, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas et l'Australie ont une production de fromage principalement orientée vers l'export : respectivement 95 %, 90 %, 72 % et 65 % de leur production fromagère est exportée. Seulement 30 % de la production française est exportée.

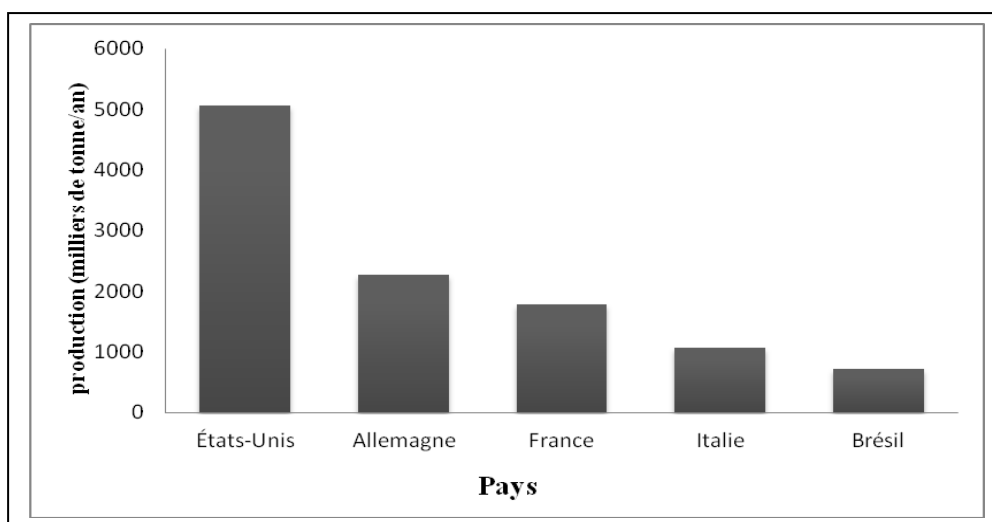
Les autres producteurs de fromage importants sont l'Océanie, la Russie, le Canada, le Brésil, le Mexique, l'Ukraine, l'Argentine, le Japon, l'Égypte et l'Iran. Les fabrications se développent dans les pays émergents pour répondre à la demande locale. Globalement, la production mondiale de fromage croît de 2% par an. En 2003, la production mondiale de fromages avait atteint 17,5 millions de tonnes fabriqués à partir d'environ 190 millions de tonnes de lait (**ELEC, 2015 ; FAOSTAT, 2015**).

Tableau 01. Principaux producteurs de fromage 2013 (Milliers de tonnes)

Pays	Production (milliers de tonnes)
États-Unis	5055
Allemagne	2268
France	1776
Italie	1061
Brésil	722

Source : (ELEC, 2015 ; FAOSTAT, 2015)

Comme l'illustre (**la figure 01**), les États-Unis sont le plus grand producteur de fromage, soit 24 % de la production mondiale totale en 2005. La France et l'Allemagne se classent au deuxième et au troisième rang respectivement, le Brésil se situe maintenant au cinquième place.

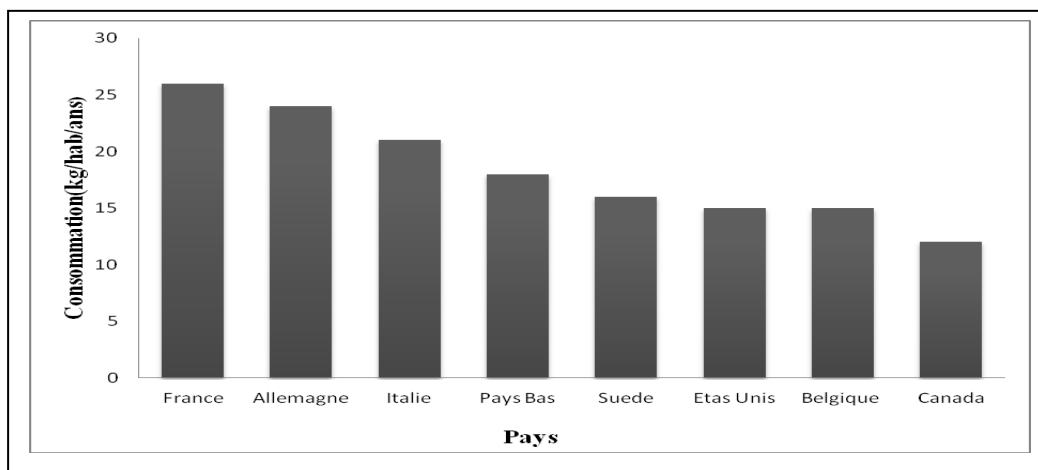


Source : établie par nos soins à partir des données de (FAOSTAT, 2015)

Figure 01. Principaux producteurs de fromage 2013

2. La consommation mondiale de fromage

La consommation de fromages, y compris fromages frais, est en moyenne de 17 kg/hab/an dans l'UE. Le fromage est très peu consommé en Asie et en Afrique. Dans le monde, la consommation atteint (25,9 kilos par habitant par an) en France suivie de l'Italie (20,6 kilos), de la Suède (16,6 kilos), des Pays-Bas (17,9 kilos), des États-Unis (15 kilos), de l'Allemagne (24 kilos) et du Canada (12 kilos). Les niveaux de consommation tendent toute fois à se rapprocher (figure 02) (ELEC, 2015).



Source : établie par nos soins à partir des données de (ELEC, 2015)

Figure 02. Principaux consommateurs de fromages 2013

3. Les échanges internationaux : exportation et importation

3.1 Exportation

En 2013, les principaux exportateurs de fromage dans le monde (**tableau 02**) selon les données de (**ELEC, 2015**), on trouve sont les pays membres de l'Union européenne, dont l'Allemagne, la France, les Pays-Bas, le Danemark et l'Italie. Ces cinq pays à eux seuls ont compté pour 59 % des exportations de fromage dans le monde en 2013, et les 25 membres de l'UE ensemble ont compté pour 81 % des exportations totales de fromage. Pour ce qui est des pays, la Belgique et Irlande se sont classées au 6^e et 7^e rang respectivement des plus grands exportateurs dans le monde respectivement en 2013.

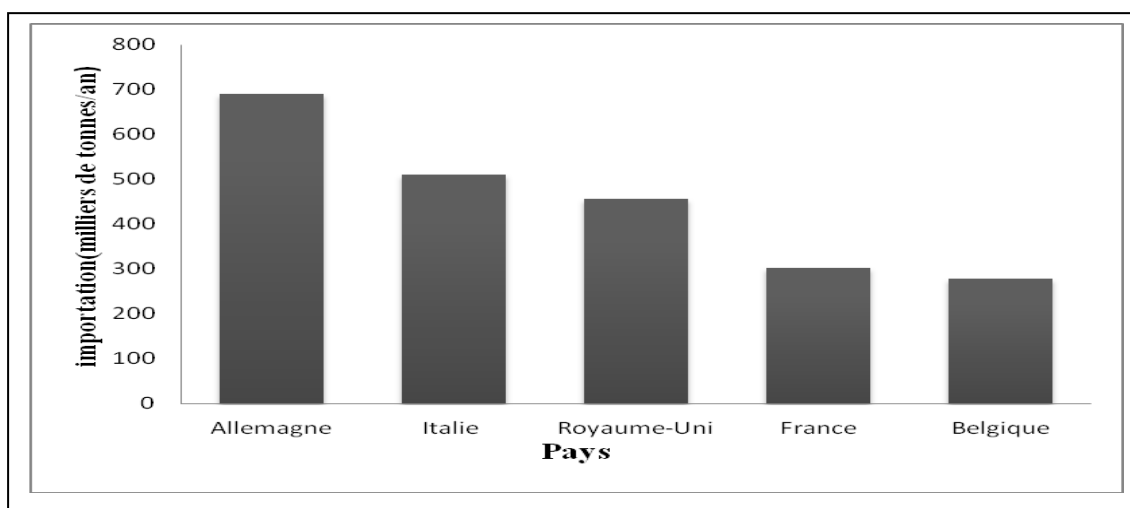
Tableau 02. Principaux exportateurs de fromage 2013(milliers de tonnes)

Pays	Exportation (milliers de tonnes)
Allemagne	1157
France	672
Pays-Bas	581
Italie	331
Danemark	313
Belgique	181
Irlande	188

Source : (**ELEC, 2015**)

3.2 Importation

Les plus grands importateurs de fromage en 2013 selon le volume ont été l'Allemagne, l'Italie, le Royaume-Uni, la Russie et la France et la Belgique. Ensemble, ces pays ont compté pour 54 % des importations de fromage dans le monde (**figure 03**).



Source: établie par nos soins à partir des données de (ELEC, 2015).

Figure 3 : Principaux importateurs de fromage en 2015 (milliers de tonnes)

4. La filière fromage en Algérie

Les fromages constituent une source de protéines alternatives pour les Algériens. La production locale ne couvre qu'une faible partie de la demande en fromage.

Les importations de fromages permettent de pallier les besoins en fromage qui sont loin d'être satisfaits par la production locale.

Le fromage fondu représente l'essentiel des ventes des fromages, 79% des volumes de production, c'est le fromage le moins cher et le principal fromage produit en Algérie (CEFAM, 2015). Les principaux canaux de distribution :

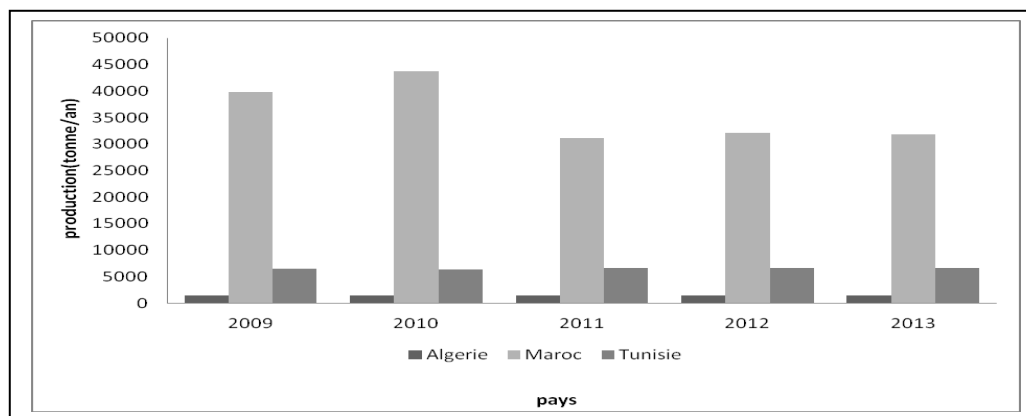
- Petits épiciers indépendants Représente 70% de la valeur des ventes.
- Supermarchés Représente 16% de la valeur des ventes.
- Détaillants divers Représente 12% de la valeur des ventes.

La demande prévue pour les fromages devrait stimuler les ventes de fromages en Algérie au cours des années avenir.

Les études prévisionnelles annoncent une augmentation des ventes de 10%, en termes de valeur à prix constants de 2014, au cours de la période de prévision. Le défi à la croissance entraînera des hausses inattendues des coûts de production, les coûts des matières premières, comme le lait en poudre, et la levée des subventions actuelles dont bénéficie l'industrie locale. Les coûts d'importation continueront de restreindre la part de fromages haut de gamme, tels que les fromages mous et durs non transformés importés (CEFAM, 2015).

4.1 La production Algérienne

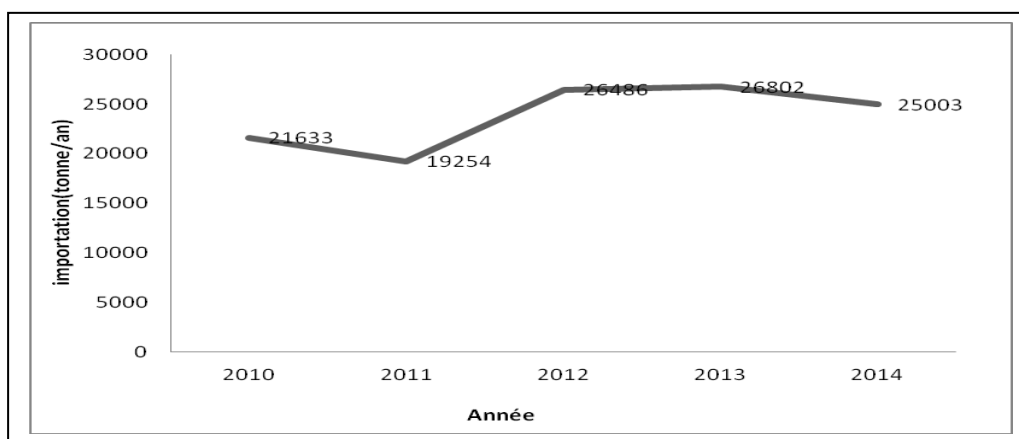
La **figure 4** illustre la production fromagère en tonne des différents types de fabrication, en Algérie, au Maroc et en Tunisie pendant la période allant de 2009 à 2013. Cette figure montre une production presque stable en Algérie pendant la dite période. Cela s'explique une stagnation de la production fromagère.



Source : établie par nos soins à partir de (FAOSTAT, 2015)

Figure 4. La production algérienne part apport au Maroc et la Tunisie

Outre, la production algérienne était largement inférieure à celle du Maroc et de la Tunisie cela est en accord avec les constatations de (Sraïri et al., 2009). Ceci peut être témoigné par une forte importation du fromage tous types confondus comme montre la (figure 5). De ce fait, la production fromagère en Algérie pour l'année 2009 ne représente que 3.87% et 23.49% de production fromagère respective au Maroc et en Tunisie.



Source : établie par nos soins à partir de (FAOSTAT, 2015)

Figure 05. Les importations de fromage en Algérie

Le (**tableau 03**), illustre les principaux pays exportateur du fromage vers Algérie, le Pays-Bas s'est classé au premier rang des plus grands exportateur du fromage vers l'Algérie en 2013. Viennent ensuite l'Irlande et la nouvelle Zélande.

Tableau 03. Les principaux pays exportateurs du fromage vers l'Algérie

Pays	Importation en tonnes
Pays-Bas	7596
Irlande	5665
Nouvelle-Zélande	3801
Pologne	2107
France	1529
Etats-Unis	1319
Allemagne	1243
Autriche	552

Source : (ITC, 2015)

4.2. La consommation Algérienne de fromage

Les habitudes alimentaires des Algériens évoluent à mesure que l'offre de produits alimentaires disponibles se diversifie. Un des secteurs en plus forte croissance est celui des produits laitiers, notamment des fromages. A tel point que l'Algérie est devenue une des marchés préféré pour les exportateurs de fromage. Au fil des années, la consommation fromagère augmente. Les algériens consomment surtout du fromage fondu (20 000 tonnes par an)

4.3. Les fromages traditionnels en Algérie

En Algérie, les fromages ont une longue histoire et sont traditionnellement fabriqués par des processus anciens à partir du lait de vache, de chèvre, de brebis ou de mélanges. Plus de 10 fromages traditionnels sont produit dans tout le territoire algérien, les fromages les plus célèbres sont :

4.3.1 Bouhezza

Ce type de fromage est répandu dans le territoire de l'Aurès (zone Chaouia). Il est fabriqué à partir de lait de chèvre, de vache ou de brebis baratté et écrémé (lben) (**Touati, 1990 ; Hallal, 2001**). Le salage, l'égouttage et l'affinage sont réalisés simultanément dans une outre perméable (Chekoua) avec incorporation de poudre du piment rouge la fabrication de bouhezza dure plusieurs semaines à plusieurs mois, il a un goût acidulé fort caractérisé au fromage (**Zaidi, 2002**).

4.3.2 Jben

Le Jben est un fromage traditionnel frais obtenu par coagulation enzymatique (présure extrait à partir de la caillette de veau). Le lait destiné à la fabrication est chauffé, une fois tiède, un fragment de caillette bovine est macéré dans le lait. Après coagulation du lait et égouttage, le caillé ainsi obtenu peut être salé ou additionné de quelques épices ou de plantes aromatiques, sa composition est donnée dans le tableau suivant (**Abdelaziz et Ait kaci, 1992**).

4.3.3 Klila

La klila est préparée à partir du lben chauffé sur feu doux pendant 12 minutes environ pour favoriser la séparation du caillé et du lactosérum et accélérer le processus d'égouttage. Le lait caillé est égoutté dans un tissu fin. La klila peut être consommée à l'état frais ou additionnée à certains plats traditionnels après avoir été coupé en petits cubes et séchés au soleil (**Touati, 1990**).

4.3.4 Takammart

D'après (**Hellal, 2001**), c'est un fromage du Hoggar, il est fabriqué par introduction d'un bout de caillette de jeunes chevreaux dans le lait, après quelques heures, le caillé est retiré à l'aide d'une louche et déposé en petits tas sur une natte et sera ensuite pétri pour évacuer le sérum puis déposé sur une autre natte faite de tige de fenouil sauvage qui lui donne de l'arome. Les nattes sont ensuite placées à l'ombre jusqu'à durcissement du fromage. Le fromage peut subir un affinage durant un mois (**Abdelaziz et Ait kaci, 1992**). Selon (**Oteng-Gyang, 1984**), il existe un fromage nommé Ahaggar. C'est un fromage séché et dur, est produit au Niger, en Inde "Tikkamarin" et en Afghanistan.

4.3.5 Aoules

Il est fabriqué à partir du lait de chèvre qui est extrêmement aigre. Après une coagulation intense, le fromage obtenu a une pâte dure (matière sèche représente 92%). L'égouttage se fait dans une paille ensuite, il est reformé sous forme des boules plates séchées au soleil, il peut être consommé en mélange avec les dates (**Abdelaziz et Ait kaci, 1992**).

4. 3.6 Lebaa

La matière première est le colostrum, parfois il est mélangé avec des œufs, il est salé puis bouillit pendant 15 mn environ. Le produit obtenu est appelé lebaa (**Lemouchi, 2008**).

4.3.7 Méchouna

Il est fabriqué à partir du lait cru qui est chauffé jusqu'à ébullition. Ensuite, on ajoute de lait fermenté « lben » ou « rayeb » et du sel. En utilisant une gaze, le mélange est laissé égoutter. Il est consommé frais ou avec la galette (**Lemouchi, 2008**).

4.3.8 Madghissa

Le fromage est connu dans la zone du Chaouia coté Est du pays. Il est préparé avec la klila fraîche après salage et incorporation du lait frais. L'ensemble est porté à ébullition sur feu doux jusqu'à séparation du caillé et de lactosérum. Après refroidissement du mélange, la marmite est basculée pour éliminer le lactosérum. Le fromage ainsi préparé est une pâte jaune salée et élastique appelée Madghissa (**Aissaoui, 2003**).

4.4. Les contraintes de la filière fromage en Algérie

Parmi les principales contraintes de la filière fromagère en Algérie on peut citer :

- Une production laitière locale actuelle ne permet pas encore de couvrir la demande du marché.
- Le manque de l'effort de l'investissement dans la filière lait et dérivés et la faible émergence des grandes entreprises multinationales (**Allaya, 1995**).
- Les carences sur les aspects de la qualité hygiénique et nutritionnelle.
- L'absence des élevages orientés à la transformation fromagère (**Allaya, 1995**).
- La production locale ne couvre qu'une faible partie de la demande en fromage.
- Une grosse partie des fromages (frais ou à pâte molle) produits en Algérie sont fabriqués avec de la poudre de lait importée et subventionnée par l'état (**CEFAM, 2015**).
- La gamme des fromages fabriqués en Algérie reste étroite (Camembert, fromage frais, fromage fondu, pâtes pressées) (**BBFA, 2015**).

Chapitre II. Le fromage est un produit fini

1. Définition

Dans la réglementation française, la dénomination "fromage" désigne un produit fermenté ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitière suivantes : lait qui peut être partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse. La teneur en matière sèche du produit doit être au minimum de 23 g pour 100 g de fromage, à l'exception de certains fromages frais (**JORF, 1988**).

2. Constituant de fromage

Les fromages représentent un groupe alimentaire très hétérogène dont la constitution est très variable selon la qualité de la matière première utilisée ou selon la technique de fabrication.

2.1. Teneur en extrait sec

L'extrait sec est le complément à 100% de la teneur en eau. Il est fonction de la matière grasse du lait et de la crème ajoutée, et de l'importance de l'égouttage (**tableau 04**).

Tableau 04. Teneur en eau des fromages

	Teneur en eau (%)	Teneur moyenne en eau (%)
Fromage blanc	80	80
Fromage à pâte molle		
Camembert 30%MG	58	
45% MG	50	50
50% MG	45	
60%MG	43	
Roquefort 50%MG	40	
Fromage à pâte demi-dure		
Edam 30% MG	50	45
40%MG	45	
45%	42	
Fromage à pâte dure		
Emmental 45%MG	36	35
Parmesan 40% MG	25	
Fromage fondu	65	50
25%MG		

Source : (Michel et al., 2000).

2.2. Teneur en matières grasses

Traditionnellement, la teneur en matière grasse indiquée sur l'emballage ou le panneau lorsque le fromage est vendu en vrac, correspondait à la quantité de matière grasse contenue dans 100g d'extrait sec, c'est-à-dire sur ce qui reste du fromage après déshydratation complète. Le qualificatif accompagnant la dénomination fromage est lié au pourcentage de matière grasse par rapport à l'extrait sec. Lorsque le fromage est fabriqué avec du lait écrémé, il porte la mention 0% de matière. La plupart des fromages affinés commercialisés provenant de lait non standardisée en matières grasses ont une teneur en matière grasse affichée aussi à 45%, ce qui ne préjuge en rien de leur teneur réelle en lipide rapportée à 100g du produit. La teneur minimale en matière grasse c'est-à-dire la teneur lipidique par rapport à 100g du produit et maintenant indiquée sur l'étiquetage (tableau 05).

Tableau 05. Teneur en matière grasse dans 100 g de fromage

Pour 100 g	Fromage blanc à 45 %	Edam à 45 %	Gruyère fondus à 45 %	Roquefort à 45 %
Matière grasse en g dans le produit fini	Soit 9%	Soit 26%	Soit 23%	Soit 29%

Source : (Michel et al., 2000).

De point de vue qualitatif, la composition relative en lipide est celle du lait, c'est-à-dire en majeure partie sous forme de glycéride. Le cholestérol a subi la même concentration que le triglycéride, il peut atteindre 120 mg pour 100 g dans les fromages à pâte dure. Ces transformations sont importantes dans le fromage à moisissures internes dont l'arôme reste liée aux produits de dégradation des triglycérides par les moisissures spécifiques ensemencées, mais aussi dans les fromages à pâtes molles, à croûte lavée ou non, très affinés. Les fromages composés de matière grasse non nuisible, mais les sujets à tube digestif fragile éviteront ces fromages irritants pour les muqueuses, sont commercialisés dans des spécialités fromagères dans lesquelles les matières grasses laitières ont été remplacées par des matières grasses végétales, riches en esters d'acides gras mono et polyinsaturés fromages (Michel et al., 2000).

2.3. Les protéines

Les protéines du lait subissent une concentration lors de l'égouttage. Dans les fromages affinés traditionnels, le paracaséinate est la protéine essentielle puisque les protéines solubles

et les glycopeptides ont été éliminées avec le lactosérum. Dans les fromages obtenus par ultrafiltration préalable, toutes les protéines du lait sont présentes et ont été concentrées **tableau 06 (Ramet, 1985).**

Tableau 06. Teneur protéique des fromages

Fromages	Teneur protéique en g pour 100 g	Concentration par rapport au lait
Fromages blancs	7 à 10	2,5 à 3
Pâte molle	20 -21	6 à 7
Pâte persillée	22	6 à 7
Pâte demi-dur	25-26	7 à 8
Pâte dure	28-30	8 à 9
Fromage fondu (pâte fraîche)	9 à 11	3
Fromage fondu (pâte dure)	14 à 20	4,5 à 7

Source : **(Ramet, 1985).**

2.4. Les glucides

La teneur en glucides des fromages blancs est de 3 à 4%, celle des fromages affinés et fondus est négligeables (2%), elle est quasiment nulle dans les fromages à pâte pressée. Le lactose a été entraîné lors de l'égouttage dans le lactosérum ou a été transformé par la flore lactique lors de caillage ou de l'affinage. L'acide lactique formé a une saveur rafraîchissante dans les fromages frais. Les acides volatils forment lors de la transformation du lactose par la microflore, tels que les acides acétiques, propénoïques, cétones... etc. Sont sapides et odorantes **(Ramet, 1985).**

2.5. Minéraux

- Sodium : Les fromages ont subi l'adjonction de chlorure de sodium et/ou autres sels de sodium. De ce fait, l'augmentation de leur consommation constatée ces quinze dernières années a concouru au fort apport sodique de l'alimentation, pouvant intensifier les troubles cardio-vasculaires. Teneur en sodium pour 100g de fromage **(Ramet, 1985) :**

- Fromage blanc : 30 à 40 mg, mais le demi - sel : 1100mg.

- Fromage affiné : 800mg en moyenne.
- Fromage à pâte molle, à croûte moisie et à croûte lavée : 900 valeurs moyennes acceptables.
- Fromage à pâte demi-dure : 1000 valeurs moyennes acceptables. - Fromage fondu : 1500mg en moyenne (**Ramet, 1985**).

- Calcium, phosphore : Le rapport calcium / phosphore de 1,4 dans le lait, reste à peu près équivalent dans la plupart des fromages, sauf dans les fromages à caillage lactique, à égouttage lent où il est de 1,2. Le phosphore restant plus lié aux matières organiques. Dans les fromages fondus dans lesquels des poly phosphates ont été ajoutés, il est compris entre 0,5 et 1. La teneur en magnésium est de 10 à 50 mg pour 100g en rapport avec la concentration en matières sèches. Une fuite partielle du magnésium dans le lactosérum, fait que les fromages sont moins intéressants que la quantité de lait, matières première, qui a servi à leur fabrication, moitié moins en général (**Ramet, 1985**).

- Oligoéléments : Le lait a une teneur faible en oligoéléments. Dans les fromages, les oligoéléments se concentrent avec les matières sèches (**tableau 07**).

Tableau 07. Teneurs comparées en oligoéléments du lait et des fromages

	Fer	Cuivre	Zinc	Sélénium
Lait	0,05	0,01	0,38	0,0033
Fromage	0,2 à 1	0,08 à 0, 5	0,5 à 4,5	0,006

Source : (**Ramet, 1985**).

- Vitamines : Les vitamines liposolubles A, D, E et K des fromages sont fonction de la teneur en matière grasse des laits utilisés comme matières premières, de l'adjonction de crème et de la concentration en matière sèche réalisée lors de l'égouttage. On peut donc déterminer les teneurs vitaminiques des différents fromages en utilisant des facteurs multiplicateurs par rapport aux matières grasses de lait. Les teneurs en vitamines E restent faibles. Sauf la vitamine B12 qui augmente avec la concentration en matière sèche, les vitamines hydrosolubles sont en partie éliminées avec le lactosérum, aussi la plupart de fromages sont-ils peu intéressants comme sources d'apport en vitamines C et B. Cependant, certaines vitamines du groupe B sont synthétisées par les moisissures. Les fromages à moisissures internes contiennent alors une quantité quatre fois supérieur à celle du lait en vitamines B2,

PP, B6. Lors de l'affinage, les minéraux et vitamines migrent vers la croûte du fromage : il est donc conseillé de consommer le maximum de fromage servi, tout en sachant que la croûte est la partie la plus contaminée des fromages par la flore microbienne (**Ramet, 1985**).

3. Caractéristiques physicochimique des différentes classes de fromages

Les phases d'égouttage et d'acidification tiennent une place importante dans le mode d'obtention des caillées lactique et présure, puisqu'elles régulent les deux facteurs prépondérants que sont l'activité de l'eau (AW) et le pH comme le montre le **tableau 08** ci-dessous.

Tableau08. Caractérisation de différentes catégories de fromages par effet de pH et AW

Catégories de fromages	pH	AW
Pâtes fraîches	4,3-4,5	0,980-0,995
Pâtes molles	4,5-4,8	0,970-0,990
Pâtes pressées	4,8-5,2	0,940-0,970
Pâtes dures	5,0-5,5	0,885-0,905

AW : activité de l'eau

Source : (**Ramet, 1985**).

Ces deux facteurs jouent un rôle essentiel dans l'orientation de la croissance des microorganismes et dans le développement des réactions enzymatiques et biochimiques au cours de l'affinage des caillés. Comme on peut s'y attendre, il existe une relation entre la teneur en eau et l'activité de l'eau des fromages (**Dillo et Berthir, 1997**), plus que le AW est élevée, plus que l'humidité et important.

4. la qualité bactériologique de lait cru

Au cours des siècles, les progrès de la recherche ont mis en lumière l'impact des microorganismes du lait cru sur les fromages. Il était question de mieux maîtriser la qualité organoleptique des fromages en utilisant des flores aux fonctions technologiques et aromatiques précises (**Enil, 2011**). La flore microbienne du lait cru est très diversifiée. Selon son intérêt et ses conséquences en laiterie, on peut les classer en 3 groupes :

- La flore utile ou technologique : *lactococcus*, *lactobacillus*, *leuconostoc*, flore de surface (levures, microcoques, etc).

- La flore indésirable : *pseudomonas*.
- La flore potentiellement pathogène : *E. coli*, *staphylococcus coagulase* positive, *salmonella*, *Listeria monocytogenes* (Enil, 2011).

4.1. Micro-organismes utiles

Ce sont des bactéries Gram + (coques ou bacilles) produisant de l'acide lactique par fermentation des glucides simples ou oses (fermentation lactique), tolérant des pH acides, de niches écologiques anaérobies ou anaérobies facultatives et se montrant catalase négative. On distingue principalement: les *lactococcus*, les *leuconostocs*, les *pédiocoques*, les *streptococcus thermophiles*, les *lactobacilles mésophiles et thermophiles* et les *entérocoques* (Guiraud, 1998). Elles ont pour rôles essentiels d'acidifier le lait et le caillé, de participer à la formation du goût (protéolyse, production d'arômes) et de la texture des produits laitiers (fromage, beurre, yaourt, lait fermenté). Ces bactéries sont maintenant largement utilisées sous formes de levains sélectionnés (Guiraud, 1998).

4.1.1 Les bactéries propioniques

Ce sont des bactéries Gram +, fermentant les lactates pour donner de l'acide acétique et propionique, ainsi que du CO₂ (fermentation propionique). Ils participent à la formation du goût et de l'ouverture des fromages à pâte pressée cuite (Emmental, Comté, Gruyère) (Ramet, 1985).

4.1.2 Les autres bactéries

Les microcoques, les staphylocoques non pathogènes (*Staphylococcus equorum*, *S. xylosus*, *S. lentus*), les bactéries corynéformes (*Brevibacterium*, *Arthrobacter*, etc.).

Ce sont des bactéries Gram+, constituants de la flore de surface des fromages affinés. Ils jouent un rôle essentiel dans la formation du goût des fromages, notamment des fromages à croûte lavée, fleurie ou croûte mixte (Munster, Camembert, Pont l'Evêque, etc...) (Ramet, 1985).

4.2. Micro-organismes responsables d'altération

Du fait même de leur composition et des conditions de production, le lait et les produits laitiers peuvent être contaminés par des microorganismes qui, en se multipliant dans le milieu, provoquent des transformations nuisibles à la qualité des produits par dégradation de leurs constituants (protéines, lipides, lactose) et (ou) libération en leur sein de composés

indésirables. Ces dégradations peuvent être dues à des bactéries, levures et moisissures et se traduisent par des défauts de goût, d'odeur, d'aspect et de texture (**Ramet, 1985**).

4.2.1. Les coliformes

Peuvent être responsables de gonflements précoces dans les fromages, conduisant notamment en pâte molle, à des accidents spectaculaires (fromage à aspect spongieux). Ce gonflement est dû principalement à la formation d'hydrogène très peu soluble dans le fromage. Lors de leur développement dans le lait et les produits laitiers, les bactéries psychrotrophes (genre *Pseudomonas* principalement, mais également *Bacillus*) peuvent produire des lipases et protéases extracellulaires, généralement thermostables. Ces enzymes peuvent provoquer des défauts de goût dans les fromages (goût de rance, amertume) ou être responsables (protéases) de la déstabilisation des laits UHT (**Ramet, 1985**).

4.2.2. Les bactéries butyriques (*Clostridium tyrobutyricum*)

Peuvent se développer dans les fromages (à pâte pressée cuite et non cuite) et donner des défauts de goût et d'ouverture « gonflement tardif » par fermentation butyrique (production d'acide butyrique et d'hydrogène) (**Michel et al., 2000**).

4.2.3. Levures et moisissures

Elles se manifestent dans le fromage (peu dans le lait). Ainsi, *Mucor* est responsable de l'accident dit « poil de chat » principalement en fromage à pâte molle, se caractérisant par un défaut d'aspect des fromages, et par l'apparition de mauvais goûts. Il est à noter que le regroupement des microorganismes en flore utile ou flore d'altération est à nuancer en fonction des technologies considérées. Par exemple, le *Mucor* est utile en Tomme de Savoie, mais nuisible en Camembert (accident du « poil de chat ») (**Michel et al., 2000**).

4.3. Micro-organismes potentiellement pathogènes

La contamination du lait et des produits laitiers peut être aussi l'œuvre de germes dangereux pour la santé du consommateur. Ainsi *Staphylococcus aureus* peut produire des entérotoxines dont l'ingestion provoque des vomissements, souvent accompagnés de diarrhée. *Salmonella* peut provoquer les mêmes symptômes, caractéristiques d'une toxoinfection alimentaire, ainsi qu'*Escherichia coli* (**Hermier et al., 1992**).

4.4. Particularités microbiologiques des fromages

L'effet de la qualité bactériologique du lait cru sur la qualité des produits de transformation du lait est capital. Aussi les méthodes de transformation et la nature du produit fini influent beaucoup sur la microbiologie de ce dernier (**Antila, 1977**).

Les fromages, au point de vue microbiologique, doivent être considérés comme des milieux de cultures solides, dans lesquels se sont multipliés certains micro-organismes : bactéries lactiques, microcoques, levures et moisissures. L'analyse microbiologique d'un fromage peut porter soit :

- Sur les bactéries pathogènes apportées par le lait ou au cours de la fabrication du fromage. Elles ne se multiplient pas dans le fromage, mais peuvent survivre au cours de l'affinage. Il est à noter que, dans des cas exceptionnels (*Clostridium botulinum* ou le *streptococcus aureus*) est susceptible de produire de la toxine dans un fromage (**Antila, 1977**). La croissance des bactéries coliformes est fréquemment observée dans certains types de fromages.

- Sur la flore microbienne "utile" qui s'est développée au cours de la maturation du fromage et est responsable de cette maturation.

- Sur les micro-organismes responsables des accidents de fabrication (levures, moisissures, clostridia) (**Antila, 1977**).

Dans la pratique, l'analyse microbienne est effectuée soit pour des raisons purement technologiques (cas d'accidents de fabrication), soit pour des raisons hygiéniques dans le cas des toxi-infections (**Antila, 1977**).

5. Principes généraux de la technologie fromagère

Compte tenu de son caractère très périssable, le lait subit de nombreux traitements ayant pour but de prolonger sa durée de conservation et d'éliminer tout risque avec la santé du consommateur. Il existe deux types de traitement thermique : la stérilisation et la pasteurisation (**Adrian, 1987**).

La stérilisation se fait à une température supérieure à 100°C. Elle a pour but de détruire l'ensemble des germes. Pour la stérilisation du lait commercialisé UHT (Ultra High

Température), la méthode vise la réduction du nombre de germes thermophiles par un facteur de 109 fois afin de prévoir une marge de sécurité (**Alais, 1984**).

La pasteurisation se fait à température inférieure à 100°C et ne vise à détruire que les germes pathogènes présents sous forme végétative. La pasteurisation est couplée à la réfrigération afin de stabiliser le produit (**Alais, 1984**).

La transformation de lait en fromage comporte 3 étapes principales :

- La coagulation du lait qui correspond à des modifications physicochimiques des micelles de caséines sous l'action d'enzymes protéolytiques et (ou) de l'acide lactique, entraînant la formation d'un réseau protéique tridimensionnel appelé coagulum ou gel (**Carole Vignolla, 1970**).
- L'égouttage du caillé qui assure une déshydratation partielle du gel, obtenu par séparation d'une partie du lactosérum (**Dillon et Berthir, 1997**).
- L'affinage qui se caractérise par des transformations biochimiques des constituants du caillé, essentiellement sous l'action d'enzymes microbiennes. Dans la plupart des fabrications, entre l'égouttage et l'affinage, se situe l'opération de salage qui représente à la fois un complément d'égouttage et un facteur de la maîtrise de l'affinage par action sur l'activité de l'eau (**Ramet, 1985**).

6. Les mécanismes de la transformation en fromage

La première dichotomie à considérer est le mode de coagulation, qui reste l'étape clé de la fabrication fromagère. La coagulation correspond au passage du lait liquide à l'état de gel. Elle est obtenue par modification physico-chimique des caséines du lait sous l'action d'une enzyme, le plus souvent la présure et/ou d'un acide, généralement l'acide lactique produit par les ferments lactiques. L'action de la présure ou de l'acide lactique provoque la déstabilisation de la suspension colloïdale qui entraîne l'agrégation des micelles de caséines et la formation d'un caillé. Les deux types de coagulation sont présentés dans le **tableau 09**.

Tableau 09. Le mécanisme de la coagulation

	Caillé lactique	Caillé présure
Obtention	Action des bactéries lactiques	Action de la présure (mélange de chymosine et de pepsine)
Mécanisme	L'apport d'une quantité croissante d'acide lactique déstabilise progressivement les micelles de caséines, les H⁺ neutralisant les charges négatives présentes en périphérie des micelles. Les micelles déstabilisées vont s'unir pour former un gel, réseau protéique qui piège la matière grasse et la phase aqueuse.	action de la présure se décompose en 2 phases : - phase primaire enzymatique où la présure lyse spécifiquement la caséine $\hat{e}$ et lui fait perdre ses propriétés stabilisantes. - phase secondaire où les micelles déstabilisées s'agrègent grâce à des liaisons minérales essentiellement calciques pour former un gel homogène.
Facteurs de coagulation	· Lait riche en protéines coagulables. · Acidification lente et progressive.	· Lait riche en caséines et en calcium dissous. · Température et pH optimaux au moment de l'emprésurage 40°C et pH=5.
Structure physique	Faible cohésion entre les micelles et les submicelles.	Micelles soudées entre elles par des liaisons calciques.
Propriétés du caillé	Déminéralisé car l'acidification induit la solubilisation des sels minéraux dans le sérum fragile et friable.	Minéralisé. Déformable et élastique.
Egouttage	· Le sérum s'écoule spontanément entre les micelles. · Egouttage spontané, lent et limité. · Niveau d'égouttage faible.	· A cause de la cohésion entre les micelles le sérum ne peut s'écouler qu'en périphérie. · Egouttage mécanique rapide et poussé. · Niveau d'égouttage fort.
Conséquence en fromagerie	Fromage humide de petit format. Extrait Sec 10-35%. pH caillé = 4,6. Conservation courte (Quelques semaines si affinage).	Fromage sec de gros format Extrait Sec 50-60% pH caillé = 5,2 Conservation longue (Plusieurs mois).

Source : (Dillon et Berthir, 1997).

7. Les 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 :

7.1. 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 (**Michel et al., 2000**). Les fromages frais se caractérisent tous par :

- Un caillé non pressé et une teneur élevée en eau.
- Une faible sensation acide
- Un produit à consommer sans période de maturation.

Exemple : Fromages blancs divers Petits suisses, Double ou Triple-crème... (Chavroux, Carré Gervais, Brillat-Savarin...), Mascarpone, ricotta...

7.2. Fromages à pâte molle, à croûte lavée ou fleurie

La grande gamme des pâtes molles s'explique par les grandes diversités des conduites d'affinage. Les caillés obtenus sont mites a caractères lactique ou à caractère présure .La recherche d'une synchronisation entre l'acidification et l'égouttage permet l'obtention d'un caillé caractéristique d'un fromage défini par son extrait sec, son pH et son degré de minéralisation (**Lenoir et al., 1985**). Lorsque l'on passe d'une technologie à caractère lactique vers une technologie à caractère présure :

- Le pH d'emprésurage (6,60), la température, (34-36 °C) et la dose de présure (30-40ml/100l de lait) augmentent, le coagulum est plus finement découpé, l'acidité de sérum est faible.

Le développement de la mécanisation en fromagerie de pâte molles a donc conduit les industriels, pour des raisons de rendement, de productivité et de qualité, à se diriger vers des technologies à caractère plus présure

7.3. Fromages à pâte pressée

Les catégories des fromages à pâte pressée désignent un ensemble de fromages très variés dans leur composition, leur format et leur aspect extérieur (croûte sèche ou présence d'une couverture microbienne). La coagulation à caractère enzymatique nécessite des lait frais et l'emploi de doses élevées en enzyme coagulant. Le temps de prise est court et la phase de durcissement est réduite pour éviter la déminéralisation du gel. Le pressage permet de compacter les grains et d'évacuer le lactosérum inter-granulaire (**Lenoir et al., 1985**). La bonne cohésion de la pâte permet la fabrication de fromages de gros format.

Les pâtes pressées se divisent en 2 familles :

➤ **Pâte pressée non cuite :**

Elle présente une teneur en matières sèches comprise entre 44 et 55%. Certains PPNC subissent un délactosage afin de limiter l'acidification et la baisse AW qui a un rôle important sur la sélection microbienne et sur l'action d'enzyme.

- Les PPNC à croûte sèche (edam, gouda, cantal, raclette...).
- Les PPNC à croûte fongique (tommes ...).
- Les PPNC à croûte marmorée (saint-paulin...).

➤ **Pâte pressée cuite :**

Elles 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 60% à 63%. Ce sont des fromages de garde, on distingue :

- Le groupe emmental qui se caractérise par des fromages de gros format (65 à 110 kg) à croûte sèche présentant des trous dans la pâte dus à la formation des propénoïques lors du passage en cave chaude (16 à 18 °C).

- Le groupe du gruyère qui regroupe des fromages à croûte morguée, de format plus réduit présentant peu ou pas de trous dus à une faible fermentation propionique (**Lenoir et al., 1985**).

7.4. Pates dures

Leur teneur en extrait sec (64%-72%) et leur durée de conservation peut atteindre 2 à 3 ans et en 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 55-58 °C, ce qui permet d'atteindre l'extrait sec recherché. La croûte est séchée et brossée régulièrement, parfois huilée (**Lenoir et al., 1985**).

7.5. Pates 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 heures jusqu'à un ES de 50-53% nécessaire pour avoir un bon filage. Le caillée est ensuite découpé en lamelles. Celles-ci sont alors immergées dans l'eau ou le lactosérum 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**).

7.6. Fromages fondus

A l'origine, la fabrication du fromage fondu permettait de recycler la fabrication défectueuse de gruyère. Actuellement, toutes les catégories de fromages sont utilisées en plus de beurres, de la caséine et de la protéine de lactosérum. Le procédé de fonte de fromage a pour fonction de transformer par la chaleur et avec l'aide de sels de fonte le gel de paracaseine insoluble en un sol de paracaseine c'est-à-dire de le faire passer à un état homogène et fluide ou la masse de fromage peut être pasteurisée, et le sol se transforme en gel homogène. Les sels de fonte agissent comme émulsifiants et chélatants ; ils sont autorisés dans la limite de 3% du poids du produit fini. Sont autorisées par législation :

- Les polyphosphates de sodium.

- Les orthophosphates de sodium.
- Le citrate de sodium.
- L'acide citrique.

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 (**Michael et al., 2000**).

8. Exemples de défauts rencontrés dans le fromage

Au cours du processus technologique et pendant le stockage, quelques défauts technologiques peuvent apparaître. Ces défauts sont résumés dans le **tableau 10**.

Tableau 10. Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager

Aspect de la pâte	Origines possibles	Remèdes
La pâte n'est pas homogène	- Le pH est faible, et sa valeur dépend de la matière première employée (ex : emmental nécessite un pH plus élevé que le cheddar). - La teneur de sel de fonte est faible. - Le temps de cuisson étant court.	-Augmenter le pH. - Augmenter la dose. - Augmenter le temps.
Le fromage fondu liquide	- La matière première utilisée n'est pas affinée, n'arrive pas à crêmer ou à l'inverse, est trop vieille et ne gonfle pas. - Les sels de fonte employés n'étaient pas crémants. - Le mélange contient une quantité élevée d'eau.	- Mélanger la matière première jeune avec une autre affinée. - Mettre un sel de fonte crémant - Vérifier la qualité d'eau.
La pâte forme des fils	- L'emploi des sels n'est pas adéquat. - Temps de fonte court. - Dose de sels de fonte n'est	- Augmenter le temps. - Augmenter la dose de sels. - Augmenter la vitesse des brasseurs.

	pas exacte. - Brasseur d'une vitesse faible.	
A l'ouverture du pétrin la pâte est relativement épaisse	pH faible	-Augmenter le pH
Un goût prononcé de fromage	-Cela tient dans la plupart des cas, à un emploi élevé du fromage trop vieux où une valeur élevée du pH.	- Si c'est possible de mélanger la matière première à un fromage plus jeune. - Réduire la quantité des sels de fonte en remplaçant la différence par le citrate de sodium qui masque le goût indésirable.

Source : (Berger et al., 1998).

Chapitre III. Le rendement en fromage prédétermination et mesure

1. Définition du rendement fromager

Le rendement fromage ou le rendement de la transformation du lait en fromage est l'expression mathématique de la quantité de fromage obtenue à partir d'une quantité donnée de lait (souvent 100 ou 100 kg).

Mais d'autres modes d'expression peuvent être utilisés pour exprimer la même notion :

- Littrage mis en œuvre pour fabriquer un fromage ou bien encore un kg de fromage.
- Proportion de tel constituant du lait ou groupe de constituants du lait restant dans le fromage (extrait sec dégraissé, protéine, caséines).

2. Mesure du rendement

2.1. A partir de la quantité de lait et de fromage

Nous avons vu dans la définition du rendement fromager, qu'il s'agissait de confronter deux grandeurs :

- la quantité de lait mise en œuvre.
- la quantité de fromage obtenue.

Nous nous limiterons ici à trois observations :

- la mesure volumétrique des liquides est souvent difficile, aussi est-il nécessaire de bien connaître le degré de précision des appareils de mesure. Le lecteur pourra utilement se reporter à une publication de la « Technique laitière » faisant le point sur ce sujet (**Table Ronde, 1981**).

- le plan d'échantillonnage pour mesurer la quantité de fromages obtenue et leur composition, suppose la connaissance du coefficient de variation des poids des fromages individuels au sein d'une même fabrication, et de leurs constituants ou des paramètres de précision du matériel de conditionnement volumique pour les fromages non moulés (fromage frais, fromages fondu).

- il est prudent d'effectuer un bilan pondéral de la transformation du lait en fromage. Il est nécessaire alors de se fixer une valeur maximale de la perte pour admettre la validité des résultats.

2.2. A partir de la quantité d'extrait sec dégraissé du lait retrouvée dans le fromage : coefficient G

Cette méthode, due à l'initiative de **(Guerault, 1966)**, que l'on retrouve dans la quasi-totalité des manuels consacrés à la science du lait ou à la fromagerie, est basée sur la mesure de l'extrait sec dégraissé retrouvé dans le fromage en mettant en œuvre un litre de lait écrémé.

$$\text{Coefficient G (en g)} = \frac{10 \times \text{ESD} \times P}{V}$$

P : Poids de fromage obtenu, en kg.

V : Quantité de lait écrémé mise en œuvre, en l.

ESD : Extrait sec dégraissé, en pourcentage de grammes de fromage.

L'auteur de cette méthode cherchait à apporter une aide aux fromagers en leur faisant constater les variations dans le temps de l'extrait sec dégraissé du fromage, variations qui, confrontées à celles de l'extrait sec dégraissé du lait, devaient permettre de souligner une certaine relation entre ces deux grandeurs. Quoique l'on ait pu constater, par la suite, à propos des relations entre les différents constituants du lait et le rendement fromager que la prise en compte, seule, de l'extrait sec dégraissé dans une équation de régression n'explique que 60 % des variations du rendement, alors que la prise en compte de la matière azotée et de la matière grasse en explique 80 % **(Ricordeau et Mocquot, 1967 ; Mocquot et al., 1963)**.

Cette méthode apporte néanmoins une aide fromager dans la recherche des causes des anomalies de fabrication et des pertes anormales. Elle permet aussi de saisir les variations saisonnières et de calculer un coefficient G prévisionnel pour différentes compositions du lait en extrait sec dégraissé.

2.3. A partir de la connaissance analytique de la teneur en extrait sec du lait, du fromage et du sérum obtenus

Le suivi de l'extrait sec dégraissé du lait à transformation en fromage et en sérum est utilisé pour calculer le rendement dans le cas de fabrication de pâtes fraîches lissées obtenues

par centrifugation du callé maigre. Cette méthode permet de déterminer le rendement sans mesurer les quantités de caillé obtenues au cours de l'opération, ce que serait relativement difficile, compte tenu des volumes importants mis en œuvre et du processus continu de fabrication.

On établit le « bilan sec » de la fabrication à partir de 100 kg de lait qui se transforme en (100 kg -X) kg de sérum (s'il n'y a pas de perte). On admet généralement 1% de perte.

On peut donc écrire :

$$100 \text{ kg} \times \text{ES lait} = X \times \text{ES caillé} + (100-X) \times \text{ES sérum}$$

La connaissance du rendement nécessite donc la mesure de trois paramètres :

ES lait (extrait sec du lait), en grammes pour un kilogramme.

ES caillé (extrait sec du caillé), en grammes pour un kilogramme.

ES sérum (extrait du sérum), en grammes pour un kilogramme.

La difficulté se situe au niveau de la mesure de l'extrait sec du caillé, car il est difficile d'obtenir une stabilité parfaite de ce paramètre dans le temps, au cours du processus de fabrication. Ces difficultés sont d'ailleurs en cours de résolution par la mise en place d'une régulation automatique de l'extrait sec du caillé reposant sur la relation existante entre la viscosité apparente du caillé et son extrait sec (**Corrieux et Ferret, 1981**).

3. Prédétermination des rendements

Les formules de rendement peuvent être regroupées en deux classes générales, celles qui sont obtenues par l'analyse statistique des données analytiques d'un grand nombre de fabrications et celles qui reposent sur une composition cible du fromage.

3.1. A partir de l'analyse statistique des données analytiques d'un grand nombre de fabrications

Depuis 80 ans, on a cherché à prévoir, avant la fabrication proprement dite, la quantité de fromage qui pourrait être obtenue à partir d'une quantité déterminée de lait.

On a remarqué, tout d'abord qu'à partir de laits plus ou moins riches en matière grasse on obtenait des rendements différents.

On a fait par la suite la même constatation avec la teneur en extrait sec du lait, puis dans un stade ultérieur, avec la teneur en protéine ou en caséine du lait.

Différents auteurs à l'instar de **Table Ronde, (1981)**; **Maubois et al., (1970)**, à partir de l'analyse statistique d'un grand nombre de fabrications * ont pu alors établir des équations de la forme :

$$R = a \times P + b \times M$$

* Remarquons que tous ces calculs nous donnent des valeurs qui s'appuient sur la méthode statistique (voir § 4.2 ci-dessous).

R : Rendement en kg de caillé pour 100 kg de lait.

P : Teneur en protéines pour 1 kg de lait.

M : Teneur en matière grasse pour 1 kg de lait.

Cette méthode donne d'excellents résultats et permet de prédire une prévision de plus de 90 % des causes de variation des rendements. Elle a cependant l'inconvénient de nécessiter, chaque fois, une expérimentation très lourde.

Les différents paramètres pris en considération dans les équations de prédétermination ne s'appliquent, en effet, qu'à une fabrication donnée, obtenue selon une technologie donnée.

Aussi, cette méthode, si elle est efficace, s'avère très coûteuse par la lourdeur et la rigueur de l'expérimentation.

3.2. A partir de la composition cible du fromage

On considère que le fromage est composé de trois phases : la matière grasse, le réseau de paracaseïne et la phase aqueuse constituée par les solubles et l'eau.

Les différentes manières de distribuer les particules solubles et l'eau les autres constituants aboutissent à quatre types de formules.

Les formules de types A où les particules solides de lactosérum, le sel et la teneur en eau sont distribués proportionnellement à la matière grasse et à la paracaséine.

Les formules de type B où les particules solides de lactosérum et le sel sont inclus dans la paracaséine pour former du fromage sec dégraissé, et la teneur en eau qui est distribuée proportionnellement à la matière grasse et au fromage sec dégraissé.

Les formules de type C où les particules solides de lactosérum, le sel et l'humidité sont distribués proportionnellement à la paracaséine uniquement.

Les formules de type D où les particules solides de lactosérum, le sel et l'humidité sont traités ensemble en tant que phase aqueuse et où toutes les phases sont comparées sur une base volumique.

Ces différentes formules ont été disséquées et évaluées d'une manière très approfondie par (**Emmons et al., 1990**), en précisant leur intérêt par rapport aux formulations obtenues à partir de l'analyse statistique des données analytique d'un grand nombre de fabrication.

3.3. Généralisation ou théorie de l'éponge

D'après **Maubois et Morquot, (1971)**, l'établissement d'une formule générale de prévision du rendement fromager qui s'adapterait à tous les types de fromages et qui serait indépendante de la technologie utilisée pour la fabrication. Dans cette étude les auteurs comparent le fromage à une éponge imbibée d'un liquide, la trame de l'éponge serait formée de paracaséine (fixant la graisse), le liquide d'imbibition serait le lactosérum.

Le lecteur pourra se reporter à l'étude de (**Maubois et Mocquot, 1971**), pour l'examen des calculs qui aboutissent à l'équation générale ci-après :

$$RM = \frac{(MAC \times 10) (200 - 3s)}{200 (F - g) - 2s (100 - g) (1)}$$

A partir de l'établissement de ce rendement maximum, on déduit donc très facilement la quantité de lait à mettre en œuvre pour obtenir un kg de fromage.

RM : Poids maximum de fromage pour 100 kg de lait.

MAC : Teneur en paracaséine du lait exprimée en g pour un kg de lait.

F : Quantité de substance sèche totale contenue dans 100 kg de lait.

g : Quantité de matière grasse contenue dans 100 kg de fromage.

s : Teneur en substance sèche ou lactosérum inclus dans le fromage, exprimée en g pour 100 g de lactosérum.

Ainsi, la composition du fromage étant définie (teneur en matière sèche, teneur en matière grasse, teneur en matière sèche du sérum inclus sans le fromage), la connaissance du taux de caséine du lait mis en œuvre suffit pour estimer le poids maximum du fromage qui peut être obtenu avec ce lait.

▪ Remarque 1

La teneur en paracaséine peut être calculée grâce à la formule de Mocquot et Alais, reprise par **(Ricordeau et Macquot, 1967)** :

$$\text{MAC \% MAT} = 100 - 100 K \frac{TP'}{TP}$$

$$K = \frac{900 - 0,9 TB - 1,46 - TP}{100 - 0,9 TB' - 1,46 - TP'}$$

MAC % MAT : Teneur en paracaséine, en g pour 100 g de matière azotées totales

Du lait.

TP : Teneur en protéine du lait, en g par kg.

TP' : Teneur en protéine du sérum, en g par kg.

TB : Teneur en matière grasse du lait, en g par kg.

TB' : Teneur en matière grasse du sérum, en g par kg.

Maubois donne un certain nombre de valeurs concernant le rapport MAC / TP **(Maubois et Mocquot, 1971)**, (74 pour le lait cru en moyenne, 74,5 pour le lait chauffé à 74 °C pendant 20 s). Nous-mêmes avons obtenu la valeur de 75,91 avec un coefficient de variation de 1,19 pour du lait pasteurisé utilisé au cours de la fabrication de fromage à pâte molle **(Vandeweghe et Burat, 1969)**.

- Remarque 2

La teneur en substance du lactosérum de fin d'égouttage est très voisine de la teneur en substance sèche du lactosérum inclus dans le fromage.

- Remarque 3

Cette formule ne tient pas compte des pertes qu'il faudra essayer de déterminer expérimentalement par l'observation de quelques fabrications de manière à en tenir compte lors de comparaisons des rendements théorique et des rendements constatés.

3.4. Fromages obtenus à partir de lait concentré (évaporation, adjonction de poudre de lait)

Selon **Maubois et al., (1965)**, ont montré l'origine de l'augmentation de rendement en fromage, consécutive à l'utilisation de lait concentré (meilleure rétention des sels phosphocalciques pour une faible part, mais surtout augmentation de la teneur en extrait sec du lactosérum contenu dans le fromage).

La formule générale de prédétermination des rendements (§ précédent) établie par **(Maubois et al., 1967)**. Tient compte de la teneur en extrait sec du lactosérum, aussi reste-t-elle applicable pour la prédétermination du rendement des fromages fabriqués à partir de lait concentré ; l'erreur commise étant très faible en regard de la précision possible des mesures quantitatives.

3.5. Fromages obtenus par ultrafiltration du lait (procédé MMV)

Deux cas peuvent se présenter :

- soit que le fromage obtenu par coagulation du concentré (rétentat) ou du préfromage (rétentat enrichi en matière grasse) ne subit aucun égouttage.

- soit que le fromage obtenu par coagulation du rétentat subit un égouttage complémentaire.

- Premier cas : fromage ne subissant aucun égouttage.

Dans ce cas, le poids de fromage obtenu sera égal au poids de préfromage. Ainsi, la seule connaissance du facteur de concentration du lait, obtenu par ultrafiltration, est seule connaissance du facteur de concentration du lait, obtenu par ultrafiltration, est nécessaire.

Ce facteur de concentration F (rapport du poids de mis en œuvre sur le poids de rétentat obtenu) est donné l'équation qui tient compte du bilan de l'opération.

$$\text{ES rétentat} = F \times (\text{ES lait} - \text{ES ultrafiltrat}) + \text{ES ultrafiltrat}.$$

$$N \text{ rétentat} = F \times (N \text{ lait} - N \text{ ultrafiltrat}) + N \text{ ultrafiltrat}.$$

ES = extrait sec en g par kg.

N = teneur en protéine en g par kg.

Ainsi, une connaissance préalable de la teneur en extrait sec ou en protéines du lait (analyse rapide) permet de régler l'opération de concentration afin d'obtenir la teneur en extrait sec ou en protéines souhaitée dans le rétentat.

▪ Remarque :

D'après **Maubois et Mocquot, (1971)** ; **Brulé et al., (1974)**, précisent que pour des concentrations comprises entre 2 et 4, l'extrait sec et la teneur en protéines de l'ultrafiltrat ne subissent pas de variations notables, s'il n'y a pas de variations de pH.

- Deuxième cas : fromage nu égouttage complémentaire.

L'utilisation de lait concentré conduit à une réduction importante de l'égouttage. A la différence du cas exposé au § 3.3, il s'agit ici d'une concentration sélective (concentration en protéines et sels liés à la caséine), les éléments solubles dans la phase aqueuse restant à la concentration qu'ils avaient dans le lait mis en œuvre.

La démonstration mathématique concourant à l'établissement de la formule générale de prédétermination (§ 3.2) (**Maubois et Mocquot, 1971**), repose sur la détermination des quantités d'eau liée et d'eau libre présentes dans le fromage.

Afin de déterminer la quantité d'eau libre contenue le fromage, les auteurs ont admis que la quantité d'eau liée était proportionnelle à la teneur en caséine (50 %). Ils tiennent compte du fait que le lactose ne retient que très peu d'eau et que les protéines du lactosérum (qui retiennent autant d'eau liée, voire plus, que la caséine) sont en très faible quantité dans le fromage.

Dans le cas de fromage obtenus par le procédé traditionnel (sans concentration sélective du lait), la teneur en protéine solubles dans le fromage est effectivement faible (inférieure à 5% de la teneur en caséine).

Par contre, le procédé d'enrichissement sélectif du lait (ultrafiltration) tend à accroître cette proportion (elle s'élèverait jusqu'à 25 % dans un fromage qui ne subirait aucun égouttage). Par ailleurs, la quantité d'eau liée par rapport à la quantité d'eau libre est faible dans le fromage (elle est de l'ordre de 5 % pour les fromages à pâte fraîche et de 15 % pour les fromages à la pâte molle). L'erreur que l'on peut faire sur l'estimation de la quantité d'eau libre, en utilisant l'hypothèse teneur en eau liée égale à la moitié de la teneur en caséine, reste relativement faible (elle est inférieure à 4 % dans le cas d'un fromage à pâte molle qui ne subirait pratiquement aucun égouttage). Cette minoration de l'estimation de la teneur en libre se traduit par une sous-estimation au plus égale à 1 % du rendement prédéterminé dans le cas d'un fromage à pâte molle (ES 40 % - G/S 45 %), qui ne subirait pratiquement pas d'égouttage après coagulation du préfromage.

Dans ces conditions, on peut estimer que la formule générale du § 3.2, prenant en compte l'enrichissement de la teneur en ES du lactosérum, reste applicable dans le cas de fromages obtenus par concentration (ultrafiltration) ne subissant qu'un très faible égouttage.

▪ Remarque 1

Il est à noter que la teneur en MAC peut toujours être mesurée à partir du rapport $\frac{\text{MAC}}{\text{TP}}$, celui-ci ne variant pas au cours de l'ultrafiltration.

▪ Remarque 2

Le rendement prédéterminé par la formule générale permettra d'estimer la quantité de rétentat à mettre en œuvre pour obtenir un kg de fromage. On devra alors apprécier la quantité nécessaire de lait à mettre en œuvre en appliquant la formule permettant de calculer le facteur de concentration (§ 3.4).

4. Comparaison des rendements

4.1. Correction suivant la teneur en matière sèche des fromages

Préalablement à toute étude comparative des rendements de fabrications successives, il est nécessaire de tenir compte de leur composition (teneur en matière grasse et en matière sèche principalement).

La variabilité la plus importante s'observe au niveau de la teneur en eau des fabrication à teneur faible en matière sèches ; pâtes molles et pâtes fraîches.

Si l'on veut suivre les rendements successifs d'une fabrication dans ou si on veut comparer des fabrications réalisées avec procédés ou des matériels différents, il est alors nécessaire de ramener les différentes fabrications par le calcul à la même teneur en eau.

Maubois et Mocquot, (1967), propose une formule simple :

$$R2 = R1 \times F2 \frac{F2-S}{F1-S}$$

R1 : rendement observé pour une transformation de fromage de teneur en substance sèche F1.

R2 : rendement corrigé pour un fromage de teneur en substance sèche F2.

S : teneur en substance sèche du lactosérum d'égouttage en g par kg.

F1 : teneur en substance sèche en g par kg.

F2 : teneur en substance sèche en g par kg.

4.2. Comparaison des rendements : validation statistique

Pour mettre en évidence l'influence sur le rendement de deux ou plusieurs technologies différentes, de matériels différents, de quantités différentes, d'un constituant du lait (lait pauvre en protéine / lait riche par exemple), on réalise plusieurs fabrications avec chacun des procédés, des matériels, etc. Ces répétitions constitueront des séries de valeurs individuelles caractérisées par leur moyenne et leur écart-type.

Il suffira ensuite de vérifier si deux séries que l'on souhaite comparer ont leur moyenne égale ou non avec un risque α choisi.

A noter qu'avant d'effectuer la comparaison de 2 moyennes de deux séries de valeurs individuelles, il est nécessaire de valider si les variantes de ces deux séries de mesures individuelles ne sont pas significativement différentes au risque choisi α (par exemple $\alpha=5\%$).

Pour ce faire, on vérifie que le quotient de la variace la plus élevée sur la variante la plus faible est situé à l'intérieur d'un intervalle de confiance déterminé par les limites extraites de la Table Ficher Snédecor.

4.2.1. Comparaison de moyennes issues de grands échantillons

Dans le cas de grands échantillons ($>$ à 30 valeurs individuelles), on sait que la distribution des différences des moyennes (m_1 et m_2) de deux échantillons d'une même population d'origine est une distribution normale qui a pour moyenne zéro. Si on se réfère aux propriétés de la distribution normale, on peut dire que, pour des échantillons distincts prélevés à partir d'une même population d'origine, une différence ($d = m_1 - m_2$) supérieure à 2 Sd (écart-type standard) ne s'observera par suite de fluctuations fortuites que dans moins de 5 % des cas.

▪ Remarque

Pour un seuil de probabilité de 1 %, on prendra 2,6 Sd.

$$\text{Sd est donné par la formule } Sd = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

S_1 et S_2 : écarts type estimés des séries n_1 et n_2 .

n_1 et n_2 : nombre de valeurs des séries 1 et 2.

4.2.2. Comparaison de moyennes issues de petits échantillons

Lorsque l'effectif de la population est faible ($n < 30$), la loi normale ne s'applique plus. Si la population est normale, on applique dans la loi de student à $n_1 + n_2 - 2$ degrés de liberté pour comparer les moyennes de deux échantillons n_1 et n_2 valeurs individuelles.

Dans ce cas, pour être considérée comme significative au seuil de probabilité de 95 %, la différence des moyennes ($m_1 - m_2$) devra être supérieure à $t_{0,05} \times Sd$ avec $t_{0,05} > 2$.

L'écart type standard, Sd est donné par équation :

$$Sd : \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \times \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}$$

S_1^2 et S_2^2 : variances des 2 séries 1 et 2.

n_1 et n_2 : nombre de valeurs individuelles des séries 1 et 2.

La table de t donne les valeurs 0,05 et 0,01 du paramètre t qui ont respectivement 5 et 1 chances sur 100 d'être dépassées par suite de fluctuations fortuites.

Ainsi si $m_1 - m_2 > t_{0,05} \times S_d$, on dira que les moyennes m_1 et m_2 sont significativement différentes au seuil de probabilité de 0,05.

Chapitre VI. Facteur de variation du rendement fromager

1. Facteurs de variation du rendement fromager

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

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**).

1.1. 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 considéré 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 coulou, 1995**).

1.1.1. La teneur en matière utile

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), nous avons référé aux résultats de 189 fabrications de fromages à pâte pressée non-cuite, réalisées dans le cadre de 8 essais zootechniques différents, en conditions contrôlées dans une fromagerie expérimentale. Les laits, de haute qualité hygiénique, étaient partiellement écrémés de manière à avoir un rapport TB/TP de 1,15 (**Hurtaud et al., 2001**).

La teneur en matière utile des laits utilisés a varié de 55 à 85 g/kg (taux protéique de 25,6 à 39,5 g/kg). Sur cette large plage de variation, la relation entre la teneur des laits en matière utile et le rendement fromager a été linéaire. La teneur en matière utile explique à elle seule 77 % du rendement frais et 87 % du rendement en matière sèche (**figure 06**). Une fois

pris en compte la teneur en matière utile, d'autres caractéristiques du lait (pH, variants de la caséine k) peut modifier le rendement fromager, mais de manière marginale. Ainsi, dans le cas de laits de bonne qualité hygiénique, les seuls taux butyreux et protéiques constituent de très bons prédicateurs des rendements fromagers (Hurtaud et al., 2001).

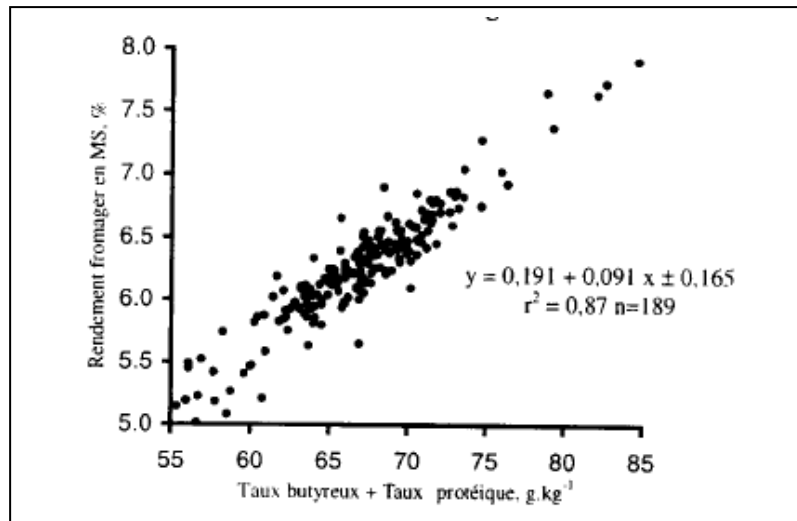


Figure 06. Relation entre la teneur en matière utile de lait et le rendement fromager en MS (Hurtaud et al., 2001).

1.1.2. Effet de la teneur en matière grasse

D'après Verdier-Metz et al., (2001) ; Fenelon et Guinée, (1999), ont observé une corrélation linéaire et positive entre l'augmentation du rendement fromager et l'augmentation de la teneur en matière grasse (figure 07).

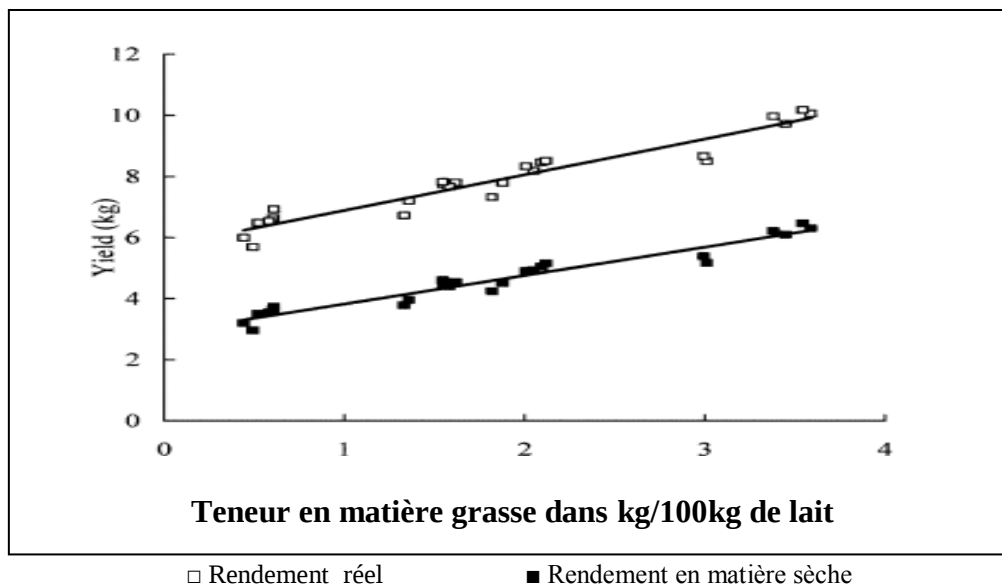


Figure 07. Effet de la teneur en matière grasse sur le rendement fromager (Fenelon et Guinée, 1999).

1.1.3. 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 fermenté 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 deux actions :

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

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

1.1.4. Teneur en calcium colloïdal

Un lait pauvre en calcium coagule difficilement et conduit à un gel mou qui se tient mal et, aussi il est difficile d'agir directement sur ces teneurs dans le lait car, les animaux sont capables de mobiliser leurs réserves corporelles ce qui a pour résultat de maintenir un taux stable de calcium dans le lait. Il peut être ajouté du chlorure de calcium avant emprésurage pour permettre d'obtenir un caillé plus structuré et réduire le temps de floculation. Il est indispensable de rappeler que l'utilisation de chlorure de calcium est interdite pour certaines fabrications sous signe de qualité (**Delphine, 2005**). D'autre part, l'ajout en excès peut entraîner l'apparition de défaut d'amertume et un goût métallique. L'influence du taux de calcium se manifeste sur le temps de floculation et la fermenté du gel. Le calcium est indispensable à la floculation des micelles. L'aptitude à la coagulation dépend également de la teneur en phosphate de calcium colloïdal. Plus la teneur en phosphate de calcium micellaire sera élevé, plus le gel sera ferme et se prêtera à l'égouttage (**Delphine, 2005**).

1.1.5. La teneur en caséine

Le potentiel du rendement fromager est largement tributaire de la composition du lait, en particulier les graisses et les protéines (**Barbano et Sherbon, 1984 ; Gilles et Lawrence, 1985 ; Banks et al., 1986 ; Lawrence, 1993 ; Lou et Ng-Kwai-Hang, 1992 ; Lucey et Kelly, 1994 ; Van den Berg, 1994 ; Brito et al., 2002 ; Guo et al., 2004**).

Le lait contient deux fractions de protéines, la caséine et la protéine du sérum ou protéine sérique. Cette dernière regroupe les «albumines» et les «globulines» (**figure 08**).

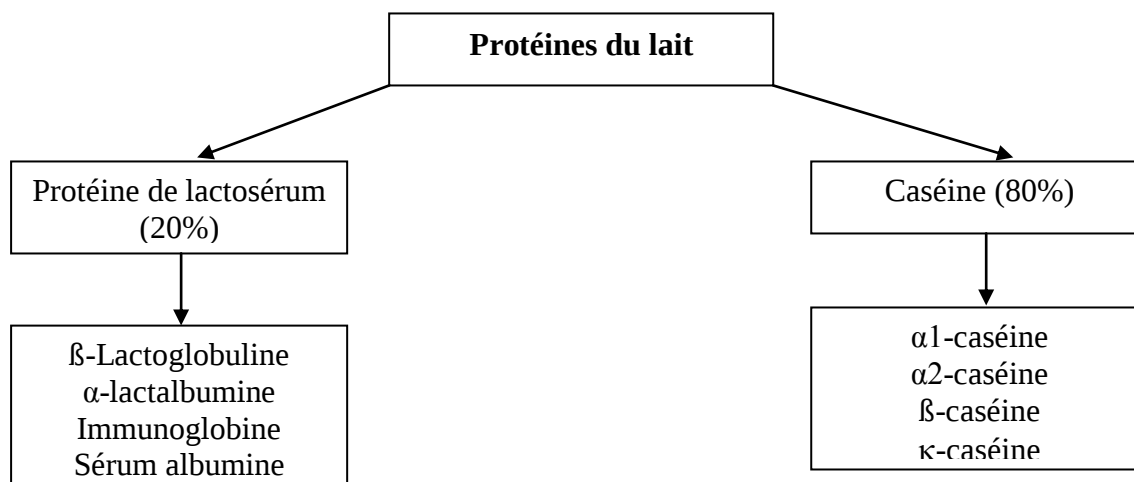


Figure 08. Classification des protéines de lait de vache (Skeie, 2007)

La teneur en caséine dans le lait de fromagerie est un facteur économique important pour le fromage. La caséine peut être définie comme un groupe de protéines phosphorées qui coagule dans le lait à un pH 4,6 à 20°C. Elle est essentiellement présente dans le lait sous forme de micelles. La caséine pure est un complexe formé de différentes fractions, comprenant quatre protéines individuelles (**tableau 11**).

Tableau 11. Les caséines du lait (Lenoir, 1985)

Alpha caséines	α_{s1}	36 %
	α_{s2}	10 %
Bêta caséine	β	34 %
Kappa caséine	κ	13 % (4 variants génétiques A / B* / C ou E selon la race)
Gamma caséines	γ	7% (produits de la protéolyse de la bêta caséine)

* le variant B confère au lait une meilleure aptitude à la coagulation par la présure.

Les caséines ne présentent pas la même sensibilité vis-à-vis du calcium. Les caséines, α_{s1} α_{s2} 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. Le rendement augmente aussi avec la teneur en matière grasse mais de façon beaucoup moins importante que la teneur en protéine. En effet, la caséine quand elle coagule forme un réseau protéique qui emprisonne les autres constituants et en particulier la matière grasse présente sous forme de globules gras. Par contre, une trop forte teneur en matière grasse peut entraîner des problèmes d'égouttage et de coagulation (**Bank et al., 1984**).

Des travaux montrent que la composition des caséines intervient également sur le temps de floculation et sur la fermeté du gel mais les données de la littérature dans ce domaine sont parfois contradictoires.

Il existerait une corrélation assez étroite et négative entre le temps de floculation et la concentration en caséine β (**Storry et al., 1983**), alors que la fermeté du gel serait plus étroitement liée à la concentration en caséine α_s . Ceci est en contradiction avec d'autres travaux selon lesquels la teneur en caséine β influence de manière positive l'aptitude du lait à la coagulation alors que celle de la caséine α_s aurait plutôt un effet contraire (**Lenoir, 1985**).

Par ailleurs, **Yun et al., (1982)**, ont démontré que l'augmentation de la concentration en caséine β se traduit par une meilleure fermeté des gels présures qu'un enrichissement réalisé avec la fraction α_s .

D'après **Colin et al., (1992)**, ont démontré l'influence favorable de la caséine β sur l'expulsion du lactosérum en début d'égouttage et donc sur la vitesse d'égouttage d'une part, et son effet sur le volume de lactosérum expulsé en fin d'égouttage et sur la rétention en eau du fromage, d'autre part.

La caséine est influencée par la génétique et l'alimentation de la vache. Elle présente entre 72 et 78 % de la valeur des protéines totales.

La caséine est présente entre.

- 26 à 32 % dans la composition des fromages à pâte dure.
- 24 à 26 % dans la composition des fromages à pâte mi-dure.
- 18 à 23 % dans la composition des fromages à pâte molle.

Elle représente l'élément fixe pour la fabrication des différents fromages. Elle est présente dans le lait sous forme de minuscules particules solides qui restent en suspension dans le lait. Ces particules s'appellent micelles et leur dispersion dans l'eau du lait forme une suspension colloïdale.

Les facteurs influençant la teneur du lait en caséine sont.

- La génétique (parents, hérédité, race, variant génétique).
- La santé de la mamelle.
- Le stade de lactation (important dans le lait de colostrum, diminue rapidement au cours des premiers 15 jours, puis augmente progressivement jusqu'au tarissement).
- L'alimentation (ration alimentaire, saison, l'altitude en raison de la composition botanique).
- La technique d'alimentation (préparation et mélange optimal des fourrages).

Le rendement de la fabrication de fromage à partir de lait de dromadaire est plus faible qu'à partir de lait de vache (**CLBC, 1995**). Ainsi, en Tunisie, avec la même technique de transformation, pour obtenir 1 kg de fromage sec, il a fallu 20,4 kg de lait de dromadaire au lieu de 17,9 kg de lait de vache (**Luquet, 1995**).

1.1.6. Les variantes génétiques des protéines du lait

Trois des quatre caséines du lait de vache, les caséines α_s1 , β et κ , ainsi que la β -lactoglobuline, principale protéine du lactosérum, présentent dans toutes les races bovines un polymorphisme génétique, c'est-à-dire plusieurs formes alléliques, ou "variants génétiques", facilement décelables par la technique d'électrophorèse.

A l'heure actuelle, on décrit 5 variants génétiques (A, B, C, D, E) pour la caséine α_s1 , 4 variants (A,B,C,D) pour la caséine α_s2 , 7 variants ($A^1, A^2, A^3, B, C, D, E$) pour la β caséine, 4 variants (A,B,C,E) pour la κ caséine, 7 variants (A,B,C,D,E,F,G) pour la β - lactoglobuline (β -lg) et 3 variants (A,B,C) pour α lactalbumine (**Remeuf, 1994**).

L'influence de la nature des variants génétiques des caséines sur les aptitudes fromagères ont été source de nombreux travaux.

Il est toutefois intéressant de noter que l'incidence de ce polymorphisme résulte indirectement de ces effets sur la composition physico-chimique du lait (**Remeuf, 1994**).

Aussi, les laits contenant les variants B des caséines κ et β ont des temps de floculation plus courts et des gels plus fermes que les laits ayant des variants A (**El-Negoumy, 1972**).

La meilleure aptitude à la coagulation s'obtient pour des laits présentant le variant B de la caséine κ . Ces laits se caractérisent par une plus grande concentration en caséine et des micelles aux dimensions plus faibles (**Lenoir et al., 1985**).

De ce fait, des travaux plus récents ont permis d'établir que les gels formés à partir de lait contenant des petites micelles sont plus fermes. Les gels constitués de petites micelles sont caractérisés par la formation d'un réseau protéique plus dense, plus cohérent et donc plus ferme (**Lenoir et al., 1985**), et qu'il existe une corrélation positive entre le temps de prise et la dimension des micelles.

Ces différentes données conduisent à penser que les animaux qui présentent une association des variants B des caséines β et κ produisent un lait particulièrement bien adapté à la transformation laitière.

1.1.7. Taux d'urée

Un excès d'urée dans le lait souvent du à un excès d'azote dans la ration, engendre des caillés plus mous et plus humides du fait de la diminution en proportion des caséines fromageables (**Enil, 2011**).

1.1.8. Teneur en lactose

Au cours de traitement de lait à transformer, à température élevée, le lactose participe avec les protéines à des réactions de brunissement non enzymatiques pouvant altérer la couleur et le goût (goût de cuit) des laits pasteurisés et stérilisés et des fromages. En fromagerie, Le lactose est un sucre fermentescible. Il est dégradé en acide lactique ce qui provoque un abaissement du pH du lait pouvant entraîner sa coagulation (**Enil, 2011**).

1.2. Les facteurs physiologiques

On peut analyser les facteurs qui peuvent affecter principalement la composition du lait et, par conséquent, le rendement fromager, parmi ces facteurs : la race, la variabilité entre les individus, le stade de lactation, les variations saisonnières, les facteurs d'alimentation, l'âge de la vache, etc.

1.2.1. Stade de lactation

Dans le fromage Cheddar, les pertes relatives à la matière grasse et en 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)**, ont montré que 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.

La fromageabilité du lait est influencée par la synchronisation des vêlages, la qualité des fromages produit en début de lactation est moins bonne. L'aptitude à la coagulation diminue en fin de lactation mais dans une mesure insignifiante du point de vue technologique (**Jakob et Hänni, 2004**).

1.2.2. Conséquences des cellules somatiques sur la technologie fromagère

Les cellules somatiques (CS) du lait constituent un indicateur de l'état sanitaire, et la relation entre les facteurs infectieux (mammites) et les CCS est bien établie (**Berney et Huched, 1980**). Les conséquences des infections sur la qualité microbiologique des laits et les pertes de production ont été bien montrées (**Baudry, 1999**). Toutefois, une augmentation des cellules somatiques peut également entraîner des modifications de la composition biochimique du lait (**Baudry, 1999**).

1.2.2.1. Influence des cellules somatiques sur la qualité des fromages

L'augmentation de la teneur en protéines solubles et en minéraux, une baisse du pH et la diminution des taux de lactose et de caséine, peuvent être observées dans des laits à cellules somatiques élevées, ce qui entraîne dans la fabrication des fromages un allongement du temps de coagulation et des problèmes de fermeté du caillé. Mais le caillé est ferme, plus qu'il y a de risque de perte de fines particules de caséines dans le lactosérum. Si le lait de mélange contient trop de lait mammitique le problème peut aller jusqu'à avoir un lait incoagulable, d'autre part, en cas d'infection mammaire la production de protéines solubles pour la réponse immunitaire entraîne une chute de production de caséine par rapport aux protéines solubles.

1.2.2.2. Impact des cellules sur le rendement fromager

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 par ml (**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).

1.2.3. 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 (oct.), l'azote non protéique suit également cette courbe. La figure 2 retrace cette évolution (Wolster, 1997).

D'après Bynum et Olson, (1982) ; Barbano et Sherbon, (1984) ; Ozimek et Kennelly, (1993), ont mis en évidence 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 (figure 09).

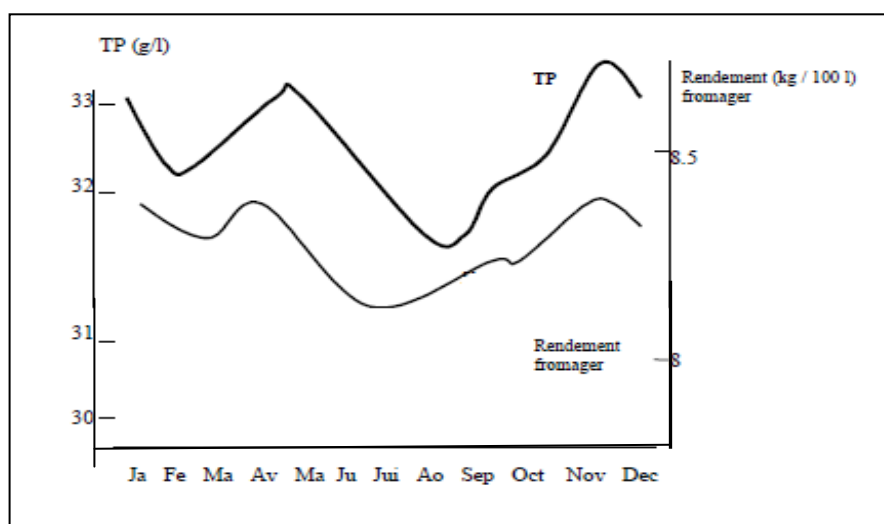


Figure 09. Evolution annuelle du TP et liaison avec le rendement laitier (Wolster, 1997)

1.2.4. Effet de la race : cas des races bovines

D'après la littérature, on sait que les vaches de race Normande, Montbéliarde ou Brune produisent un lait plus riche en protéines et de meilleure aptitude fromagère que celui

de vaches Holstein conduites dans les mêmes conditions (Froc et al., 1988 ; Macheboeuf et al., 1993 ; Malossini et al., 1996 ; Auldist et al., 2002 ; Mistry et al., 2002), le gel obtenu après adjonction de présure est plus ferme et les rendements fromagers plus élevés. 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 variants 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 variants génétiques des lactoprotéines, les différences entre races disparaissent pratiquement totalement (Macheboeuf et al., 1993 ; Auldist et al., 2002).

Une étude a montré que des différences existent entre les races bovines et la fromageabilité du lait. Une étude menée par (Jakob et Hänni., 2004), confirme cette affirmation. De ce fait, la figure xx 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 (figure10).

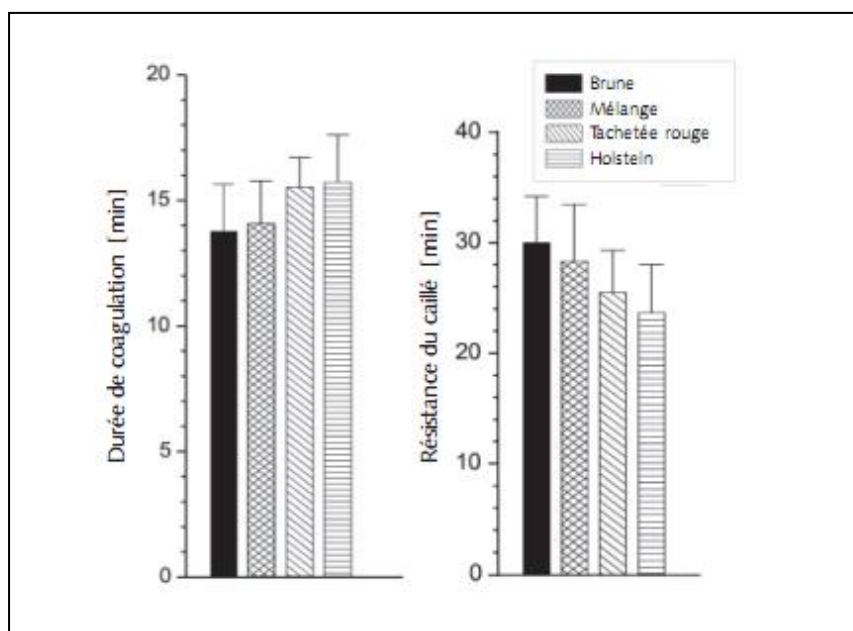


Figure 10. Effet de quelques races bovines sur l'aptitude à la coagulation des laits (Jakob et Hänni., 2004)

1.3. Les conditions de traitement

Une large gamme de conditions de traitement affecte le rendement fromager et la perte de constituants de fromage potentiels peuvent se produire à tout moment après la traite. Certains de ces facteurs en cause peuvent avoir un effet relativement faible sur le rendement individuel mais quand on parle d'une grande production, ça peut causer des grandes pertes sur le plan économique.

1.3.1. Action du froid et traitement thermique

Le refroidissement du lait cru et son maintien à basse température est aujourd'hui chose courante. Il en résulte une meilleure maîtrise de la qualité du lait mais cette technique est également à l'origine de modifications physico-chimiques qui auront des répercussions sur le comportement du lait lors de ses transformations.

1.3.1.1. Action du froid sur les protéines du lait

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. 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. 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 supérieures à 48 heures.

1.3.1.2. Traitement thermique et action sur le 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), apparition de goûts anormaux (**Alcouffe, 1988**).

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. Cette augmentation est causée par une modification de l'équilibre entre le phosphate de calcium colloïdale dissous et la formation d'un complexe entre la K caséine et B-lactoglobuline (**Emmons, 1993**).

Le chauffage peut être à l'origine de réactions entre les groupes aldéhydes et aminés du lactose et des protéines qui forment des produits de condensation colorés (réaction de Maillard). Ces réactions provoquent le brunissement des laits et aboutissent à une baisse de la valeur nutritionnelle des protéines.

1.3.2. La 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 de minimise les pertes de graisse et de caséine dans le lactosérum (**Lucey et Kelly., 1994 ; Scott, 1998**).

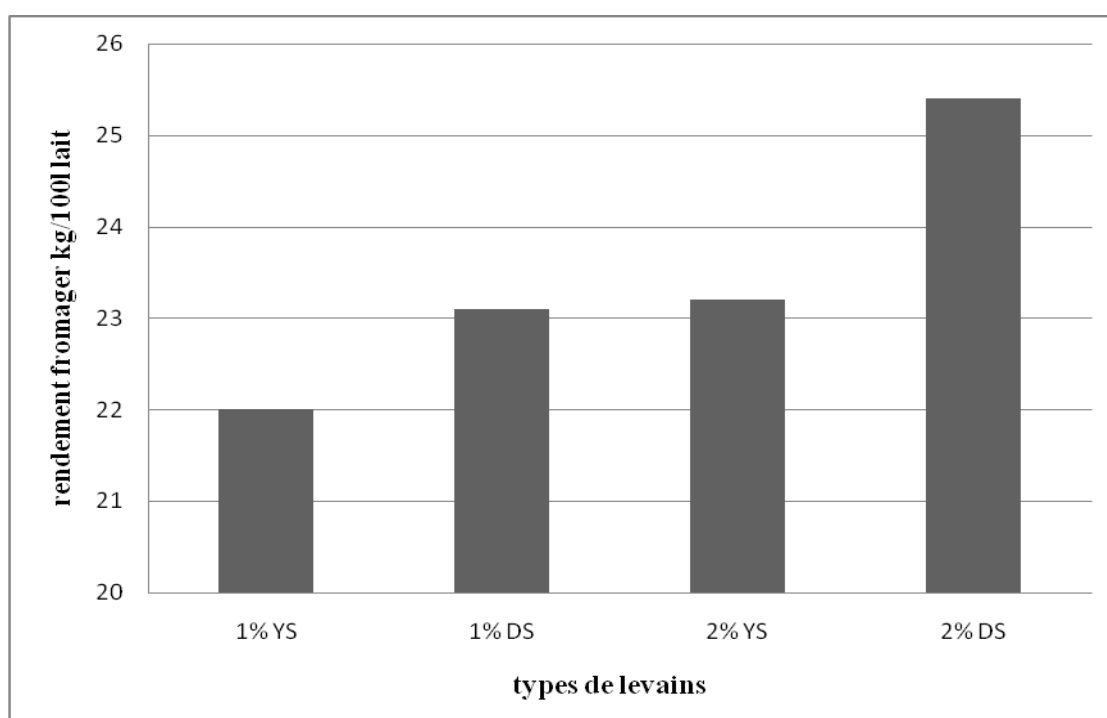
D'après **Chapman, (1981)**, a décrit les trois principales méthodes de standardisation du lait pour la fabrication du fromage : l'ajout de lait écrémé en poudre, l'ajout de lait écrémé liquide et l'élimination de la crème. Dans les deux premiers cas, l'historique de la qualité et de la température du lait écrémé en poudre ou en liquide sont importantes, en particulier dans la fabrication de fromage cheddar de haute qualité. La normalisation a entraîné une légère perte de rendement. Cette perte a été compensée par un gain à peu près égale à l'efficacité de la rétention des matières grasses (**Banks et al., 1984**).

1.3.3. L'utilisation de lait ultra filtré

L'ultra filtration a prouvé son succès dans la concentration des protéines du lait pour la fabrication du fromage en particulier pour les fromages de type doux tels que le fromage à la crème. Cette technique introduite par (**Maubois et Mocquot., 1971**), qui va conduire à une augmentation du rendement fromager par rapport au fromage à la crème fabriqué de manière traditionnelle. Il a été rapporté une augmentation de 20% du rendement fromager par l'application du traitement de la membrane ou ultrafiltration (**Dejmek, 1986**).

1.3.4. Types de culture du levain utilisé

Le rendement fromager a une grande importance sur la qualité du produit final. Le rôle des bactéries lactiques et le pH d'emprésurage est très important dans la fabrication de fromage. Théoriquement, l'utilisation de souches de levain lactique de protéinases négatif pour aboutir à la moindre perte de la caséine. Ceci a été trouvé pour la fabrication de fromage Cottage, car les rendements les plus élevés ont été obtenus avec l'usage exclusif des souches de protéinase négatives. Leur utilisation dans la fabrication des variétés de fromages a maturation longue, peut conduire à un manque de formation de la saveur typique (**figure 11**)(**Lawrence, 1993**).



YS : levain naturel obtenu à partir de fromage Kareish

DS : culture de levain composé de *Lactococcus lactis* et *Lactococcus cremoris*

Figure 11: l'effet de type de levains lactiques utilisé sur le rendement fromager (Hamad, 2015).

1.3.5. LE type de coagulant utilisé

Une critique de la littérature basé sur les pertes de protéines dans le lactosérum indique que l'examen de la plupart des enzymes de coagulation de lait est susceptible d'affecter le rendement de nombreuses variétés de fromage, les pertes relatives pour le Cheddar étaient présentées dans le **tableau 12 (Emmons et Binns, 1990)**.

Tableau 12. L'effet de types de coagulant sur les pertes de protéines (Emmons et Binns, 1990).

Types de coagulant	Pertes de protéines
la pepsine bovine	0,14%;
pepsine de poulet	0,44%
Enzyme de <i>Mucor miehei</i>	0,63 à 0,68%
Enzyme de <i>Mucor pusillus</i>	0,49%
Enzyme de <i>Endothia parasitica</i>	1,24 %

1.3.6. La fermeté du caillé

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 que 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 **figure 12 (Delphine, 2005)**.

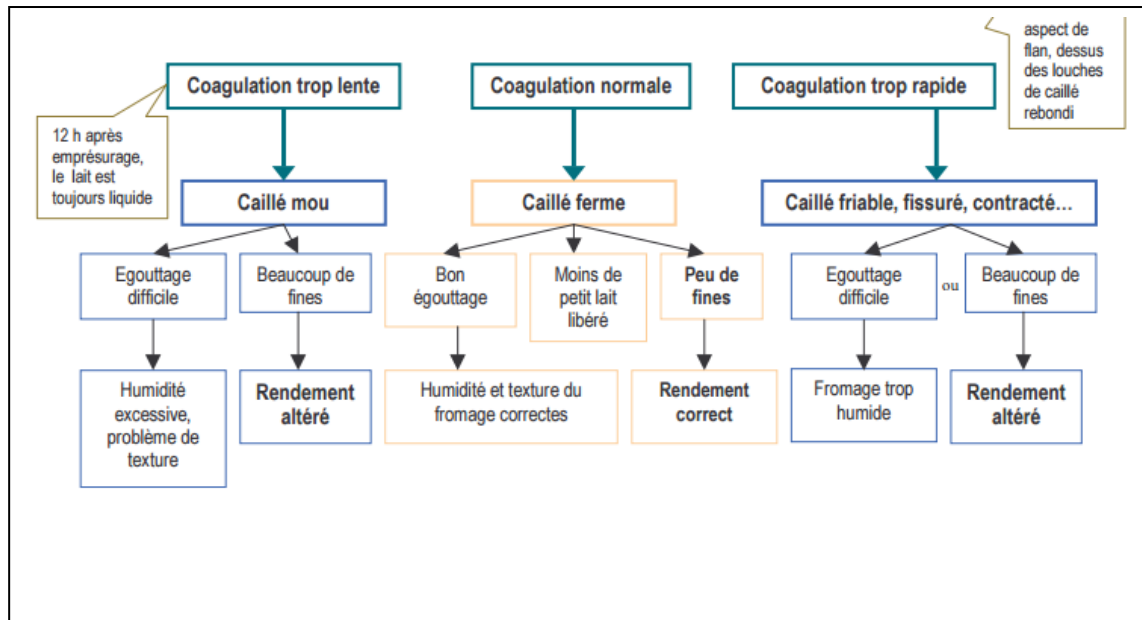


Figure 12. L'effet des paramètres de caillage sur le rendement (Delphine, 2005)

Outre, il est difficile d'évaluer les facteurs qui influent la 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).

Si le caillé est coupé quand il est très doux, le réseau va se briser et la graisse sera perdue, ce qui diminue les rendements, si le caillé est trop ferme lorsqu'il est coupé, le réseau de protéines va briser et il y aura une perte élevée de caséine (Johnson et Law, 1999 ; Johnson et al., 2001).

1.3.7. La manipulation du caillé

Les plus grande pertes des matières grasse et des protéines se produit au stade de la cuve. D'autres pertes dépendent de la manière dont le caillé est manipulé. En règle générale, le caillé doit être manipulé aussi doucement que possible pour toutes les variétés de fromage (Lawrence, 1993).

1.3.8. Le lavage du caillé

La quantité d'eau de lavage utilisée dans la fabrication de fromages de type Gouda 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%. Il existe 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 (**Lawrence, 1993**).

1. **Abdelaziz S., et Ait kaci F., 1992.** Contribution à l'étude physico-chimique et microbiologique d'un fromage traditionnel algérien fabriqué à partir du lait de chèvre le "Djben". Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie. Institut national agronomique d'El Harrach, Alger. 67 p.
2. **Adrian J., 1987.** Les vitamines, le lait matière première de l'industrie laitière, 2 volume2, première édition, p26.
3. **Aissoui Zitoun O., 2003.** Fabrication et caractéristiques d'un fromage traditionnel algérien bouhezza. Thèse de magister, INATAA, Constantine, Algérie. 138 p.
4. **Alais C., 1984.** Sciences du lait, principes des techniques laitiers, volume10, 3ème édition, p12.
5. **Alcouffe A., 1988.** Transformation du lait par le producteur : techniques, réglementations, économie. Thèse de doctorat vétérinaire.
6. **Aleandri R., Schneider J.C., Buttazzoni L.G., 1989.** Evaluation of milk for cheese production based on milk characteristics and Formagraph measures.J.Dairy Sci.72 1967-1975.
7. **Allaya M., 1995.** La filière lait en Algérie : entre l'objectif de la sécurité alimentaire et la réalité de la dépendance.
8. **Antila V., 1977.** The effect of bacteriological quality of raw milk on the quality of milk products. Dairy milk. 90.54756-4585
9. **Auldist M.J., Coats S., Sutherland B.J., Mayes J.J., 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. J. Dairy Res. 63, 269-280.
10. **Banks J.M., Banks W., Muir D.D., Wilson A.G., 1981.** Cheese yield: composition does matter. Dairy Ind. Int. 46 (5), 15, 17, 19, 21-22.
11. **Banks J.M., Clapperton J.L., Muir D.D., 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. J. Sci. Food Agric. 37, 461-468.
12. **Banks J.M., Muir D.D., Tamime A.Y., 1984.** A comparison of cheese yield and cheesemaking efficiency using seasonal and standardized milk. J. Soc. Dairy Techn.37, 83-88.

13. **Barbano D.M., Rasmussen R.R., Lynch J.M., 1991.** Influence of milk somatic cell count and milk age on cheese yield. *J. Dairy Sci.* 74, 369-388.
14. **Barbano D.M., Sherbon J.W., 1984.** Cheddar cheese yields in New York. *J. Dairy Sci.* 67, 1873--1883.
15. **Baudry C., 1999.** Influence de la numération cellulaire sur la production et la composition du lait, volume23, 1ère édition, p26-28.
16. **BBFA., 2015. Bureau Business France d'Alger.** Le marché de la filière laitière en Algérie 2015 <http://export.businessfrance.fr/algerie/001B1502846A+le-marche-de-la-filiere-laitiere-en-algerie-2015.html>
17. **Berger W., Klostermeyer H., Merkenich K., Uhlmann G., 1998.** Volatile compounds of swiss processed cheeses. *Dairy science.* 89 :625-638
18. **Berney F., Huched V., 1980.** Relation entre numération cellulaire du lait et le statut infectieux de la mamelle, volume16, 3ème édition, p88.
19. **Brito C., Niklitschek L., Molina L.H., Molina I., 2002.** Evaluation of mathematical equations to predict the theoretical yield of Chilean Gouda cheese. *Int. J. Dairy Technol.* 55: 32-39.
20. **Brulé G., Maubois J.L., et Fauquart J., 1974.** Le lait, 539-540, 600-615.
21. **Bynum D.G., Olson N.F., 1982.** Influence of curd firmness at cutting on Cheddar cheese yield and recovery of milk constituents. *J. Dairy Sci.* 65, 2281-2290.
22. **Carole Vignola R., 1970.** Science et technologie de lait, volume2 , 3 ème édition,
23. **CEFAM., 2014. Centre d'études et de formation et accompagnement mesuré** cefam-persevert/la-filire-fromage-en-algrie-en-7-diaapos?qid=8094eef1-153a-453b-83c7-9fb72ecc8722&v=&b=&from_search=1 (Accessed16/02/2016)-
24. **Chapman H.R., 1981.** Standardisation of milk for cheesemaking at research level. *J. Soc. Dairy Techn.* 34, 147-152.
25. **CLBC., 1995. Résultats de contrôle laitier des espèces bovine et caprine.** France - 1995. Juin 1996. Paris, Institut de l'Elevage, Département Génétique et Contrôle des Performances, 49 + 17 p.

26. **Colin O., Laurent F., 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.
27. **Corrieux G. et ferret R., 1981.** Rechn. Lait., 960, 11-13.
28. **Dalgleish, 1982 .** Milk products. Chemistry and physics food protein London.
29. **Dejmek P., 1986.** Milk saving in cheesemaking by ultrafiltration. Milchwissenschaft 41, 686-688.
30. **Delphine Cuvillier., 2005.** Centre fromager de bourgogne aout 2005 (une synthèse sur le rendement fromager). Dairy Food. 78 : 145- 155.
31. **Dillon J., Berthir A., 1997.** Le fromage dans l'alimentation, volume16, 2ème édition, p713-724
32. **ELEC., 2015. P.184. Economie laitière en chiffre.** Editeur : centre national interprofessionnel de l'économie laitière (CNIEL) Http: <http://www.maison-du-lait.com/fr/les-organisations/cniel> Consulté le 19/02/2016
33. **EL-Negoumy A.M., 1972.** Effects of polymorphic composition of calcium caseinate sols on their stability to rennin. J Dairy Res 39 : 373-379.
34. **Emmons D.B., 1993.** Definition and expression of cheese yield. In: Factors affecting the yield of cheese. Inter. Dairy Fed. Brussels, 12-20.
35. **Emmons D.B., Binns M., 1990.** Cheese yield experiments and proteolysis by milk-clotting en- zymes. J. Dairy Sci. 73, 2028-2043.
36. **Emmons D.B., Ernstrom C.A., Lacroix C., Verret P., 1990.** Predictive formulae for yield of cheese from composition of milk: a review. J. Dairy Sci. 73, 1365-1394.
37. **Enil M., 2011.** Connaissance du lait Congres international de la répression des Fraudes à Genève 1999.
38. **FAOSTAT., 2015. Food and Agriculture Organization statistics.** <http://faostat3.fao.org/compare/F>(Accessed18/02/2016)
39. **Fenelon M.A., Guinee T.P., 1999.** The effect of milk fat on Cheddar cheese yield and its predic- tion, using modifications of the Van Slyke cheese yield formula. J. Dairy Sci. 82, 2287-2299.

- 40. Frod J., Gilibert J., Daliphar T., Durand P., 1988.** Composition et qualité technologique des laits des vaches normandes et pie-noires. Effet de la race. INRA Prod. Anim., 1, 171-177.
- 41. Gilles J., Lawrence R.C., 1985.** The yield of cheese. New Zeal. J. Dairy Sci. Techn. 20, 205-214.
- 42. Gilles J., Lawrence R.C., 1985.** The yield of cheese. New Zeal. J. Dairy Sci. Techn. 20, 205-214.
- 43. Grosclaude F., 1988.** Le polymorphisme génétique des principales lactoprotéines bovines. Relation avec la qualité, la composition et les aptitudes fromagères du lait. INRA Prod. Anim., 1, 5-17.
- 44. Guinee T.P., O'Brien B., Mulholland E.O., 2007.** The suitability of milk from a spring-calved dairy herd during the transition from normal to very late lactation for the manufacture of lowmoisture Mozzarella cheese. Int. Dairy J. 17, 133-142.
- 45. Guiraud, 1998.** Microbiologie Alimentaires, volume4, 2ème édition, p89-95.
- 46. Guo M., Park Y.W., Dixon P.H., Gilmore J.A., Kindstedt P.S., 2004.** Relationship between the yield of cheese (Chevre) and chemical composition of goat milk. Small Rumin. Res. 52, 103-107.
- 47. Hallal A., 2001.** Fromages traditionnels algérien. Quel avenir ? Revue agroligne n° 14,
- 48. Hamad M. N. F., 2015.** Effect of Adding Glucono- δ -Lactone, Different of Starters, Rennet on the Chemical Composition, Yield and Economic Study of Kareish Cheese, International Journal of Food Science and Nutrition Engineering, Vol. 5 No. 3, 2015, pp. 130-140. doi: 10.5923/j.food.20150503.04.
- 49. Hermier. J., Lenoir. F., Weber, 1992.** Les groupes microbiens d'intérêt laitiers, volume 34, 2ème édition, p56.
- 50. Hurtand C., Buchin S., Martin B., Verdier-Metz J.L., Peyraud I., 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. Ann. Zootech., 45, 29-40.

51. **Ichilczyk-Leone J., Amram Y., Schneid N., Lenoir J., 1991.** Le refroidissement du lait et son comportement en fromagerie. *Revue laitière française*, 401: 7-14.
52. **ITC., 2015. International Trade Center**
http://www.trademap.org/Product_SelCountry_TS.aspx(Accessed 24/02/2016)
53. **Jakob E., Hänni J-P., 2004.** Fromageabilité du lait. Edition, Agroscope Liebefeld Posieux. Groupe de discussions N° 17F.
54. **Johnson M., Law B.A., 1999.** The origins, development and basic operations of cheesemaking technology. In: *Technology of cheesemaking*. Ed. B.A. Law. Sheffield Acad. Press Sheffield, 1-32.
56. **Johnson M.E., Chen C.M., Jaeggi J.J., 2001.** Effect of rennet coagulation time on composition, yield, and quality of reduced fat Cheddar cheese. *J. Dairy Sci.* 84, 1027-1033.
57. **JORF, 1988.** Décret N88-1206 du 30 décembre 1988 code de la consommation.
58. **Klei L., Yun J., Sapru A., Lynch J., Barbano D., Sears P., Galton D., 1998.** Effects of milk so-matic cell count on cottage cheese yield and quality. *J. Dairy Sci.* 81, 1205-1213.
59. **Lacroix C., Verret P., Emmons D.B., 1993.** Design of experiments and statistical treatment of yield data. In: *Monograph on factors affecting the yield of cheese*. Inter. Dairy Feder. Brussels, 128-150.
60. **Lavoisier B., 1995.** Association of casein and casein micelle, volume 6, 4ème édition, p 33.
61. **Lawrence R.C., 1993.** Processing conditions. In: *Factors affecting the yield of cheese*. Ed. D.B.Emmons. Inter. Dairy Feder. Brussels, 64-78.
62. **Lemouchi L., 2008.** Le fromage traditionnel bouhezza: enquête dans la wilaya de Tébessa et suivie de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de deux fabrications. Mémoire d'ingénieur, INATAA, Constantine, Algérie, 65 p.
63. **Lenoir G., Lambert G., Schmidt J.L., 1985.** La maîtrise de bioréacteur de fromage, volume 9, 1ère édition, p41.
64. **Lenoir, J., 1985.** Les caséines du lait. *Rev lait franç*, 440 : 17-23.

65. **Linden . G , 1987.** Les enzymes, le lait matière première de l'industrie laitière , volume 14 , 1ère édition, p127.
66. **Lou Y., Ng-Kwai-Hang K.F., 1992.** Effects of protein and fat levels in milk on Cheddar cheese yield. Food Res. Int. 25, 437-444.
67. **Lucey J., Kelly J., 1994.** Cheese yield. J. Soc. Dairy Techn. 47 (1), 1-14.
68. **Luquet F.M., 1995.** Laits et produits laitiers. 2. Les produits laitiers. Paris, Technique et Documentation, Lavoisier ; APRIA, 633 p. (Coll. Sciences et techniques agro-alimentaires)
69. **Macheboeuf D., Coulon J.B., D'Hour P., 1993.** Effect of breed, protein genetic variants
70. **Malossini F., Bovolenta S., Piras C., Dalla Rosa M., Ventura W., 1996.** Effect of diet and breed on milk composition and rennet coagulation properties. Ann. Zootech., 45, 29-40.
71. **Martin B., 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.
72. **Maubois J.L. et Mocquot G. et Blanc-Patin E., 1965.** Ind.Lait.,222, 309-314.
73. **Maubois J.L. et Mocquot G. et Blanc-Patin E., 1967.** Ann. Techn. Agric., 16 (4), 287-299.
74. **Maubois J.L. et Mocquot G., 1967.** Rev. Lait. Fr., 239, 15-18.
75. **Maubois J.L. et Mocquot G., 1971.** Le lait, 416-420.
78. **Maubois J.L. et Mocquot G., 1971.** Le lait, 508, 495-533.
79. **Maubois J.L., Ricordeau G. et Mocquot G., 1970.** Le lait 351-373.
80. **Michel Mahaut., Romain Jean., Gérard Brulé., 2000.** Initiation à la technologie fromagère. Éditions TEC & DOC, volume20, p194.
81. **Mistry V.V., Brouk M.J., Kasperson K.M., Martin E., 2002.** Cheddar cheese from milk of Holstein and Brown Swiss cows. Milchwissenschaft, 57, 19-23.
82. **Mocquot G., Ricordeau G., et Auriol P., 1963.** Ann, Zootech., 12 (1), 53-66 ;
83. **Oteng-Gyang K., 1984.** Introduction à la microbiologie alimentaire des pays chauds. Edition Tec. Et Doc. Lavoisier, Paris. 240p.

84. **Ozimek L., 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.
85. **Paolo F., Andrea S., Piero F., Massimo M., Primo M., 2008.** Cheese yield: Factors of variation and predictive formulas. A review focused particularly on grana type cheeses. Ann. Fac. Med. Vet. Parma 28, 211-232
86. **Ramet, 1985.** le fromage, volume2, 3 éditions, p54.
87. **Remeuf F., 1994.** Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et aptitudes fromagères des laits. Rec. Méd. Vét., 1994, 170 (6/7) : 359-365.
88. **Ricordeau G. et Mocquot G., 1967.** Ann. Zootech., 16 (2), 165-181.
89. **Sapru A., Barbano D.M., Yun J.J., Klei L., Oltenacu P.A., Bandler D.K., 1997.** Cheddar cheese:influence of milking frequency and stage of lactation on composition and yield. J. Dairy Sci.80, 437-446.
90. **Schmidt A., 1982.** Development in dairy chemistry protein, association of casein and casein micelle structure, volume5, 2 éme edition, p61.
91. **Scott R., 1998.** Cheesemaking practice. Aspen Publ. Gaithersburg.
92. **Skeie S., 2007.** Characteristics in milk influencing the cheese yield and cheese quality. J. Anim.Feed Sci. 16 (1), 130-142.
93. **Sraïri M.T., Benhouda H., Kuper M., et Gal P.Y., 2009.** “Effect of cattle management practices on farms operating in a two stage dairy chain”, in Tropical Animal Health and Production 41, 259-272.
94. **Starry. JE ., 1982 :** Supplimentation of pressed sugar with molasses for the production milk. Dairy Science. 39: 209-225.
95. **Storry J.E., Grandisson A.S., Millard, Ford G.D., 1983.** Chemical composition coagulating properties of renning from different breeds and species. *J Dairy Res*, 50: 215-229.
96. **Table Ronde, 1981.** Techn. Lait., 957, 19-28.

- 97. Thebaut L., 1991.** Qualités des produits agricoles et qualité de l'environnement , des synergies limitées. Tun . Reg. Aride. 1: 1-11
- 98. Touati K., 1990.** Contribution à l'étude microbiologique et physico-chimique d'un fromage artisanal algérien "la klila". Mémoire d'ingénieur, INATAA, Constantine, Algérie, p 83
- 99. Van Boekel M.A.J.S., 1993.** Transfer of milk components to cheese: scientific considerations. In: Cheese yield and factors affecting its control. IDF Seminar. Cork (Ireland), 19-28.
- 100. Van den Berg M.G., 1994.** The transformation of casein in milk into the paracasein structure of cheese and its relation to non-casein milk components. IDF, Intern. Dairy Feder. Brussels, 35-47.
- 101. Van den Berg M.G., van den Berg G., van Boekel M.A.J.S., 1996.** Mass transfer processes involved in Gouda cheese manufacture, in relation to casein and yield. Neth Milk Dairy J. 50,
- 102. Verdier-Metz I., Coulon J.B., Pradel P., 2001.** Relationship between milk fat and protein contents and cheese yield. Anim Res. 50, 365-371.
- 103. Walsh C.D., Guinée T.P., Harrington D., Mehra R., Murphy J., Fitzgerald R.J., 1998.** Cheesemaking, compositional and functional characteristics of low-moisture part-skim Mozzarella cheese from bovine milks containing α -casein AA, AB or BB genetic variants. J. Dairy Res. 65, 307-315.
- 104. Wandeweghe J. et Burat O., 1969.** Contrat DGRST n°61-01-012-00212-75-01.
- 105. Wolster R., 1997.** Alimentation de la vache laitière. Ed. France Agricole - 3^è édition, Paris.
- 106. Yun Se-Eok., Kunio Ohmiya., Shoichi Shimizu., 1982.** Role of β - Casein in Milk Curdling, Agricultural and Biological Chemistry
- 107. Zaidi O., 2002.** Caractérisation du fromage traditionnel bouhezza; caractérisation physico-chimique et microbiologique. Mémoire d'ingénieur INATAA. Constantine, Algérie. 51 p.

Résumé

La valorisation du lait par les fromagers passe par la production de produits de qualité mais aussi par une optimisation de la quantité de fromage produite à partir du lait. Le but de ce mémoire de master est donc l'étude des variations du rendement fromager en fonction des facteurs intrinsèques liés à la composition du lait, des facteurs physiologiques et des facteurs technologiques. En effet la perte de quelques grammes de fromage par jour peut sembler insignifiante sur la production journalière mais rapportés à l'année et sur l'ensemble des fromages les pertes économiques peuvent vite prendre une plus grande ampleur.

Mots clés : fromage, rendement, lait, facteurs, variation.

Summary

The valuation of milk by cheese involves the production of quality products but also by optimizing the amount of cheese produced from the milk. The purpose of this master thesis is the study of changes in the cheese yield based on intrinsic factors related to the composition of milk, physiological factors and technological factors. Indeed the loss of a few grams of cheese per day can seem insignificant on the daily production but reported in the year and all cheeses the economic losses can quickly make a broader.

Key words: cheese, yield, milk, factors, variations.

الملخص

تقييم الحليب والجبن يشمل إنتاج منتجات ذات جودة عالية ولكن يشمل أيضا تحسين كمية الجبن المصنعة من الحليب. والغرض من أطروحة الماجستير هذه هو دراسة التغيرات في محصول الجبن على أساس العوامل الجوهرية المتعلقة مكونات الحليب، والعوامل الفسيولوجية و التكنولوجيا. والواقع أن فقدان بضعة غرامات من الجبن يوميا يمكن أن يبدو غير مؤثر من الناحية الاقتصادية ولكن عند النظر إلى الإنتاج السنوي نجد إن الخسائر الاقتصادية سرعان ما تكبر.

الكلمات المفتاحية : جبن، مردود، حليب، عوامل، تغيرات