

Mars 1981 / 105

Publié par la Station fédérale de recherches laitières

CH-3097 Liebefeld

Directeur: Prof. Dr B. Blanc

Le rendement de la fabrication du fromage

par Chr. Steffen et F. Rentsch

1. Introduction

Les problèmes du rendement de la fabrication du fromage font souvent l'objet de discussions. Il faut en cela distinguer deux aspects importants de la question: d'une part, la rentabilité, mais aussi le rendement en tant que facteur exerçant une influence sur la qualité. Si l'on ne considère que la rentabilité dans la fabrication du fromage, on mettra l'accent sur un rendement aussi élevé que possible; ce rendement sera obtenu par l'application d'un certain nombre de mesures adéquates.

Mais cette rentabilité est mise en question dès l'instant où la qualité du fromage souffre de cette recherche exagérée de rendement, ce qui a immédiatement des répercussions financières.

Le fabricant de fromage doit donc s'ingénier à concilier au mieux le rendement, la rentabilité et la qualité, ce qui n'est pas une tâche facile.

Bien que la question du rendement du fromage soit importante, il existe peu d'ouvrages de référence fournissant des indications concrètes.

On fait en général une brève allusion au problème du rendement dans les conclusions d'une publication et l'on y ajoute une simple remarque indiquant que, lors de la fabrication, telle mesure peut avoir une influence sur le rendement. La plupart du temps, il manque des données précises à ce sujet; il est extrêmement rare que l'on fournisse des résultats concrets.

Dans une convention passée entre l'Union centrale des producteurs suisses de lait (UCPL) et l'Union suisse des acheteurs de lait (USAL), les chiffres sur le rendement du fromage qui figurent au tableau no. 1 ont été pris comme base pour le calcul de la rentabilité et l'on a fixé du même coup le rendement de la fabrication du beurre. On peut déduire de ces indications que le rendement moyen varie d'une sorte de fromage à l'autre. Des renseignements qui nous viennent d'Allemagne (30) laissent toutefois apparaître des variations relativement fortes pour une même sorte de fromage.

Les différences observées dans le rendement des diverses catégories

pour laquelle on estime souvent dans la pratique que le rendement dépend quasi uniquement de la teneur en eau.

Ceci est certainement exact pour les sortes de fromage ayant une forte teneur en eau, comme par exemple les fromages à pâte molle. Dès l'instant où la teneur en eau diminue, dans les fromages à pâte dure notamment, on doit aussi tenir compte des autres composants principaux du fromage.

Certains travaux ont été exécutés qui concernent directement le calcul du rendement; on a tenté d'exprimer ce rendement par une formule mathématique (18, 31, 36, 51, 60).

Peter (36) calcule le rendement du fromage d'Emmental mûr selon la formule suivante:

$$RF = \frac{Esl \times CR \times E}{Es}$$

Es

RF = rendement du fromage mûr

Esl = extrait sec — lait de chaudière

Es = extrait sec fromage

CR = chiffre de répartition

E = facteur d'écémage.

Ce chiffre de répartition indique combien de kilos de matière sèche provenant de 100 kilos d'extrait sec dans le lait de chaudière sont contenus dans le fromage mûr. Il prend en considération les pertes dues à la fermentation et à l'augmentation de la teneur en sel; en principe, il devrait être calculé séparément pour chaque exploitation.

SCHULZ et KAY (51) tiennent compte pour le calcul du rendement théorique de la teneur nette en graisse, du taux protéique constaté selon le titrage au formol et de la teneur en eau du fromage mûr.

RF = teneur nette en graisse

$$+ 0,75 \times TP + \frac{1,1 \times 0,75 \times TP \times \text{tefd}}{100 - 1,1 \times \text{tefd}}$$

TP = taux protéique du lait

tefd = teneur en eau dans le fromage

dégraissé

RF = rendement du fromage

Tableau 1: Rendement de quelques sortes de fromages

Sorte de fromages	Rendement du fromage %		Valeur moyenne B)
	Variations	Valeur moyenne A)	
Sbrinz			8,0
Parmesan	7,3— 8,5	8,0	
Emmental	7,3— 8,5	8,0	8,1
Gruyère			8,3
Gouda, Edam (45% FIT)	9,0—10,0	9,5	
Tilsit (45 resp. 48% FIT)	8,2— 9,5	8,7	8,8
Appenzel gras			9,3
Camembert (45% FIT)	11,0—12,5	11,5	
Brie (45% FIT)	11,5—12,5	11,8	

A) Données allemandes

B) Convention entre USAL et UCPL

de fromage s'expliquent en partie par les compositions qui varient d'une sorte à l'autre; voir à ce sujet le tableau 2.

Ce qui frappe en premier lieu, ce sont les différences relativement grandes dans la teneur en eau. Ceci pourrait peut-être expliquer la raison

Tableau 2: Composition de quelques fromages parvenus au stade de commercialisation

Sortes de fromages	Eau %	Graisse %	Protéines %	Sel de cuisine %
Sbrinz	31,5	33,5	28,5	1,8
Emmental	35,0	31,5	29,0	0,7
Gruyère	36,0	32,2	26,8	1,6
Tilsit (lait non pasteurisé)	39,0	30,4	25,0	1,8
Appenzell	39,0	31,8	26,5	1,6
Camembert Suisse	55	22	20	2,0

Tous les essais entrepris pour calculer le rendement du fromage montrent que les données suivantes sont importantes: matière sèche et teneur en graisse du lait de chaudière ainsi que la teneur en eau du fromage et les pertes de maturation.

Il n'en reste pas moins que toute prévision en matière de calcul du rendement est problématique, car on est obligé de tenir compte de valeurs constantes.

Les paramètres principaux pour calculer le rendement sont:

- la teneur en extrait sec du lait de fabrication
- les pertes pendant la fabrication
- la teneur en petit lait dans le fromage frais
- les pertes pendant la maturation.

Les considérations qui suivent ont pour but de donner un aperçu des facteurs qui influencent le rendement.

2. Facteurs exerçant une influence sur le rendement

2.1. Variations saisonnières

La composition du lait de chaudière à traiter a une importance primordiale pour le rendement; elle dépend de facteurs tels que le fourrage, la race et le stade de lactation. C'est pourquoi le rendement du fromage est soumis à des variations relative-

ment fortes au cours de l'année; il varie dans des limites assez larges d'une exploitation à l'autre, ainsi que cela ressort du tableau 3.

2.2. Teneur en caséine

La fabrication du fromage est basée sur la faculté de réticulation des micelles de caséine après que la présure ou l'acide ont déployé leurs effets. La caséine constitue en quelque sorte la structure dans laquelle les autres composants du fromage sont renfermés. Les autres parties albumineuses du lait, les protéines du petit-lait, ne s'incorporent qu'en partie avec le petit-lait dans le fromage.

La part de protéine du petit-lait dans le fromage devrait être en relation directe avec la teneur en eau. Outre la caséine, divers facteurs peuvent avoir une action qui influence le rendement.

2.2.1. Lait de vaches atteintes de la mammite

La teneur en caséine, en graisse et en lactose, de même que la matière sèche dégraissée, sont nettement plus basses dans le lait de mammite. La part de protéine du petit-lait en revanche est plus élevée (voir tableau 4). Il en résulte inévitablement une baisse du rendement, même si la teneur en eau dans le fromage de 24 heures augmente à la

suite de la diminution de la capacité de coagulation et d'une synérèse plus mauvaise.

Lors d'un essai parallèle avec des modèles réduits de fromage d'Emmental, une augmentation du nombre de cellules dans le lait de chaudière a eu des effets négatifs sur le rendement (tableau 5). Cet essai a démontré que le rendement diminuait après 24 heures, alors que la teneur en eau augmentait de 1,2%. Au cours de la maturation qui suivit, le fromage dont la teneur en eau était plus élevée, a perdu 1% d'eau en plus, de sorte que la perte de poids au cours de la maturation est plus importante et le rendement moindre au stade de la commercialisation.

Il faut toutefois tenir compte du fait que cet essai préliminaire ne correspond pas aux conditions extrêmes d'un lait de mammite.

2.2.2. Refroidissement du lait

Dans les ouvrages de référence, on fait souvent allusion à la relation entre la caséine, le refroidissement et le rendement. Les micelles de caséine, qui sont formées de diverses fractions de caséine, dépendent pour leur composition dans une forte mesure de l'équilibre entre différents sels et de la température. On a constaté une augmentation du taux de caséine dans le sérum lorsque la température diminue et la durée de refroidissement se prolonge (en priorité β -caséine) (45).

Lors de la fabrication du fromage, il a été observé que le refroidissement du lait avait pour conséquence une prolongation du temps de coagulation, une structure plus tendre du caillé et une synérèse de moindre qualité, ce qui est d'ailleurs aussi le cas avec le lait de mammite (21, 23, 28, 29, 45).

Dans les ouvrages de référence, les données relatives aux répercussions sur le rendement du fromage sont contradictoires. Pour le fromage à pâte molle notamment, fabriqué avec du lait stocké préalablement pendant 72 heures, on signale des diminutions de rendement de 4,5% et même plus (22, 23).

Dans divers travaux consacrés à cette question, on fait allusion à des possibilités technologiques qui permettront de rétablir complètement ou en partie seulement l'état original après le refroidissement du lait.

Il s'agit de la thermisation ou pasteurisation (42, 44, 59), l'adjonction de chlorure de calcium (38) et la maturation plus accélérée qui correspond à une correction du pH (5, 22, 47). A l'encontre des faits mentionnés plus haut, PETERS et KNOOP (38)

Tableau 3: Variations saisonnières du rendement Emmental parvenu au stade de commercialisation

	Fromagerie A	Rendement (%) Fromagerie B	Fromagerie C
Janvier	8,23	8,22	7,81
Février	8,18	8,13	7,56
Mars	8,09	8,03	7,58
Avril	8,11	8,01	7,64
Mai	8,19	8,16	8,10
Juin	7,91	7,93	8,03
Juillet	7,96	7,94	8,10
Août	8,02	8,01	8,05
Septembre	8,26	8,08	8,36
Octobre	8,67	8,37	8,49
Novembre	8,56	8,66	8,27
Décembre	8,49	8,51	7,90
Moyenne annuelle	8,22	8,16	8,01
Été (mai—octobre)	8,17	8,07	8,19
Hiver (novembre—avril)	8,27	8,24	7,75
Différence (max.—min.)	0,76	0,76	0,93

ont pu établir qu'un lait ordinaire, refroidi et conservé à 4° C, donne encore, même après 3 jours, un caillé irréprochable qui ne diffère que peu d'un caillé produit avec du lait frais. Les enquêtes récentes, faites de façon approfondie par SCHMUTZ (50), ont fait apparaître qu'aucune désintégration des micelles de la caséine ne se produisait.

Un autre élément important qui apparaît lors du refroidissement du lait pourrait être la croissance de micro-organismes psychrotrophes, liée à la diminution de la caséine. La protéolyse qui se produit dans le lait se traduit par une teneur en protéines plus élevée dans le petit-lait (35) comme le montre le tableau 6.

Dans l'ensemble, les ouvrages de référence fournissent des données contradictoires concernant l'influence du refroidissement du lait sur le rendement du fromage. Si le refroidissement a une influence, il devrait se manifester par une diminution du rendement du fromage.

2.2.3. Traitement thermique

Le système albumineux du lait est en partie formé de composants très thermolabiles tels que les protéines du petit lait. L'albumine sérique, l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline sont dénaturées par des températures oscillant entre 65 et 75° C. Les caséines, au contraire, sont très résistantes à la chaleur (43).

En plus de la dénaturation des protéines du petit-lait, conséquence de la destruction des ponts d'hydrogène et des liaisons ioniques, il se produit pendant le traitement thermique du lait des formations complexes entre la β -lactoglobuline et les micelles de caséine (40), ce qui provoque une fixation des protéines du petit-lait à la caséine.

On a ainsi pu démontrer qu'après un traitement de 10 minutes à 96° C, la teneur en azote des protéines du petit-lait passait de 17% dans le lait non pasteurisé à 3,6%.

Pour les sortes de fromage provenant d'une coagulation acide, un traitement thermique pourrait éventuellement provoquer une amélioration du rendement. Avec le séré par exemple, un traitement à la chaleur a permis une augmentation de 10% environ du rendement (62).

2.2.4. Coagulants et succédanés de coagulants

La coagulation du lait, qui est amorcée par des enzymes protéolytiques (chymosine le plus souvent), provoque en premier lieu la séparation du glucomacropéptide qui passe dans le petit-lait.

Tableau 4: Composition du lait provenant de mamelles malades comparée au lait normal (26)

Elément	Modification par rapport au lait normal	
Matière sèche dégraissée	5—12%	↓
Caséine	5—8%	↓
Protéine du petit-lait	20%	↑
Graisse	5—12%	↓
Lactose	10—20%	↓

Légende: ↓ Pourcentage en moins
↑ Pourcentage en plus

Tableau 5: Répercussions sur le rendement d'un nombre plus élevé de cellules dans le lait de chaudière (modèles réduits d'emmental)

Définition	Lait normal	Lait contenant un nombre de cellules plus élevé
Nombre de cellules	93 000/ml	383 000/ml
Rendement 24 heures	8,77 %	8,60 %
Teneur en eau 24 heures	38,7 %	39,9 %
Teneur en eau 120 jours	34,8 %	35,0 %
Teneur en graisse petit-lait	0,45 %	0,52 %

La dégradation de la caséine et le processus de synérèse qui intervient ensuite sont importants pour le rendement du fromage. C'est notamment le cas lors de l'utilisation de succédanés de présure, ainsi que le

montre le tableau 7. Avec la plupart des succédanés de présure, le rendement est égal ou inférieur, si on le compare à celui obtenu avec la chymosine.

Tableau 7: L'influence des différentes sortes de succédanés de présure sur le rendement du fromage

Succédané	Sorte de fromage	Comparaison avec la chymosine	Ouvrage de référence	
Pepsine	Tilsit, Edam	=	61	
	Cheddar	↓	17	
	Diverses sortes de fromages français	=	64	
Fifty-Fifty	Sortes de fromages italiens	=	12	
	Sortes de fromages italiens	=	12	
Mucor Pusillus	Tilsit, Edam	=	61	
	Cheddar	=	46	
Lindt	Tilsit, Edam, Butterkäse*	=	52	
	Fonda Cheddar	↓	27	
	Fromages danois	↓	57	
	Cheddar	↓	67	
	Gruyère, Camembert, Coulommiers	=	39	
	Taleggio	↓	11	
	Grana	=	1	
	Emmental, Edam	↓	4	
	Endothia Parasitica	Parmesan-Reggiano	↓ ou =	3
	Mucor Miehei	Emmental	=	4
Emmental, Gruyère		=	6	
Succédané de B. Subtilis	Cheddar	↓	67	
	Taleggio, Italico	↓	11	
	Cheddar	↓	41	
B. Subtilis	Cheddar	↓	54	
B. Megatherium				
B. Cereus				
Rhizopus-Ogliosporus	Cheddar	=	34	

Légende: = rendement identique avec la chymosine
↓ rendement inférieur

* Butterkäse (fromage doux d'origine autrichienne)

2.3. Teneur en graisse

Le rendement du fromage et celui du beurre sont en relation étroite et l'homme de métier est bien conscient du fait qu'il doit considérer ces deux valeurs comme un tout.

Une opinion est aujourd'hui encore souvent répandue: une augmentation

de la teneur en graisse du lait de chaudière améliorerait le rendement, exactement dans la même mesure que la part de graisse du lait passant dans le fromage.

En fait, la relation du rendement avec la teneur en graisse ne se limite pas à la quantité de graisse

Tableau 6: Teneur en protéines du petit-lait en relation avec la croissance du nombre de bactéries et la durée de stockage selon Olson (35) (Cheddar — température de stockage: 5° C)

Durée de stockage	Part de protéines contenue dans le petit-lait	Bactéries psychrotrophes
Jours	%	× 10 ³ /ml
0	28,78	2,8
3	31,27	1 350
5	34,09	41 000
7	39,94	300 000

Tableau 8: Modification du rendement du fromage et du beurre en cas de changement de la teneur en graisse dans la matière sèche de 1% selon Thomann (33)

Sortes de fromage	Modification du rendement		1 kg de beurre correspond à kg de fromage
	Fromage (%)	Beurre (%)	
Emmental, Gruyère	0,17	0,12	1,40
Sbrinz	0,17	0,13	1,35
Tilsit	0,19	0,12	1,53
Camembert	0,28	0,14	1,96

qui passe dans le fromage. PETER et KOESTLER (37) ont constaté en 1911 déjà que lorsque la teneur en graisse du fromage augmentait de 0,33%, le rendement progressait de 0,65%.

Des calculs effectués par DREWS (15) qui établissent une comparaison entre la teneur en eau (tefd) et les différents degrés de teneur en graisse, font apparaître que, pour toutes les sortes de fromage, à l'exception du cheddar, un degré plus élevé de teneur en graisse est lié à une teneur en eau (tefd) qui est aussi en moyenne plus forte.

THOMANN (33) a démontré la relation entre la teneur en graisse et le rendement. Le tableau 8 montre la variation du rendement du fromage lorsque la teneur en graisse augmente dans la matière sèche de 1% pour diverses sortes de fromages.

La teneur en graisse du lait est en premier lieu déterminante pour le rendement. C'est la raison pour laquelle il est important de surveiller la teneur en graisse du lait livré. Le fait que la teneur en graisse du lait de mammite soit de 5 à 12% inférieure devrait inciter le fabricant de fromage à examiner régulièrement le lait sur ce point.

L'augmentation de la teneur en graisse dans le fromage favorise l'insertion d'autres éléments constitutifs du lait. La graisse incluse dans les structures de la caséine a une influence déterminante sur la structure de la pâte et ne peut pas être modifiée à volonté pour des questions de qualité dans une sorte de fromage déterminée.

2.4. Teneur en eau

Il a été affirmé au début de cette étude que le rendement dépendait

souvent uniquement de la teneur en eau.

Contrairement par exemple à ce qui a trait à la teneur en albumine, le praticien connaît d'autres possibilités et d'autres mesures pour influencer le rendement par la teneur en eau. Ces possibilités doivent être examinées notamment par rapport à la coagulation du lait, la préparation du caillé, le traitement du caillé, la fermentation lactique ainsi qu'au traitement et à la maturation en cave (tableau 9).

La réticulation des micelles de la caséine par la coagulation du lait et la contraction des structures de la caséine (synérèse) a une grande importance pour l'exsudation du petit lait du grain du caillé.

Lors du traitement du lait de mammite ou du lait à coagulation lente, de même que lorsque l'on a ajouté de fortes quantités d'eau, la formation de caillé et la synérèse sont entravées et le grain du caillé retient plus d'eau. On fait la même constatation lorsque la durée de coagulation est plus longue. Par contre si l'on prolonge le délai de raffermissement du coagulum, si la température à laquelle se produit la coagulation est plus élevée ou lorsque la maturation du lait de chaudière est plus avancée, la synérèse est renforcée et la teneur en eau plus faible.

Dans des conditions extrêmes, il peut se former à la surface du fromage une membrane qui retient l'eau et la teneur en eau devient plus forte. L'homme de métier dit que le grain s'enrobe.

On peut exercer également une influence sur la teneur en eau par la préparation du caillé, comme cela apparaît par exemple par une com-

paraison entre le fromage à pâte molle et le fromage à pâte dure. Si le début du traitement du caillé est retardé et si la préparation du caillé dure longtemps, cela a en général pour conséquence une plus forte teneur en eau.

Un caillé fin et poussiéreux contient plus de petit lait. Dès que la longueur des arêtes du grain du caillé atteint 3 à 5 mm, il a tendance à contenir une plus faible quantité d'eau.

Les grains de caillé qui dépassent cette norme accusant à nouveau une plus forte teneur en eau. C'est pourquoi un caillé formé de gros dés est caractéristique pour la fabrication de fromage à pâte molle.

Il est généralement possible, pendant le travail en chaudière, d'exercer une influence par la température et la durée de traitement. Si la durée de fabrication plus longue et les températures de la chaudière plus élevées, de même qu'en cas de traitement mécanique plus énergique et un pressage plus fort, la quantité de petit-lait qui s'écoule est plus grande, ce qui apparaît à la lecture du tableau 10.

La fermentation lactique, sa durée dans la chaudière et lors du pressage sont en bonne partie déterminantes pour le rejet d'eau du caillé. De plus, on doit considérer en premier lieu la qualité bactériologique du lait. Une forte teneur en agents acidifiants favorise la fermentation lactique, alors qu'une proportion importante de bactéries ne produisant pas d'acide, ralentit le processus.

Avec des cultures actives, des quantités plus élevées de cultures ajoutées et des températures optimales pour les bactéries lactiques, la fermentation lactique et l'égouttage du petit-lait sont activés et l'on obtient ainsi une diminution de la teneur en eau dans le fromage (voir tableau 12). Une fermentation lactique intense, souvent utilisée pour la fabrication de fromage à pâte molle, a pour conséquence la formation d'une membrane autour des grains du caillé et ainsi la rétention d'eau.

Les conditions propices à l'égouttage pendant la durée de fermentation lactique la plus active pour les fromages à pâte dure et mi-dure, notamment pendant le traitement sur la presse, doivent être respectées.

L'écoulement du petit-lait est rendu plus difficile lorsque la meule est plus grosse. Des conditions techniques idéales à un bon égouttage ont pour conséquence de diminuer la teneur en eau.

Tableau 9: Facteurs exerçant une influence sur la teneur en eau et leurs répercussions

Facteurs exerçant une influence sur la teneur en eau	Modification du facteur	Répercussions sur la teneur en eau
— Coagulation du lait		
sensibilité du lait à la présure	↑↑	↓
lait de mammites	↑↑	↑↓
adjonction d'eau	↑↑	↓
degré de coagulation	↑↑	↓ à ↑ (enrobage du grain)
durée de coagulation	↑↑	↓ ou ↓
température de coagulation	↑↑	↓ à ↑ (enrobage du grain)
degré de maturation du lait	↑	↓ à ↑ (enrobage du grain)
— Préparation du grain		
début et durée de la formation du grain	↑↑	↑
grosseur du grain	↑↑	↑↑
formation de poussière	↑	(exception: poussière → normale ↓)
— Traitement du grain		
durée de décaillage	↑↑	↓
température de chauffage	↑↑	↓
durée du brassage final	↑↑	↓
durée et intensité du brassage	↑↑	↓
formation de poussière	↑↑	(exception: poussière ↓)
pression et durée de pressage	↑	↓
— Fermentation lactique		
nombre et genre de germes du lait de chaudière	↑	↓ ou ↑ (bactéries lactiques — non-lactiques)
activité des cultures de bactéries lactiques	↑↑	↓
quantité de cultures employées	↑↑	↓
refroidissement sous presse	↑	(exception: enrobage du grain ↑)
— Maturation et soins		
grandeur des pièces	↑↑	↓
égouttage sous presse	↑↑	↓
durée et intensité du salage	↑↑	↓
degré de maturité	↑	↓
climat en cave	↑	↓
humidité relative	↑	↑
vitesse de l'air	↑	↓
température	↑	(exception: humidité relative élevée)
traitement des surfaces des fromages (paraffinage, plastifiage)		↑

Légende: ↑ augmentation, prolongation ↓ diminution

Tableau 10: Influence de la durée du pressage sur l'écoulement de petit-lait pour le fromage d'Edam (24)

Durée du pressage min.	Écoulement de petit-lait %
15	3,82
30	4,49
45	4,97
60	5,19
120	5,36
240	5,41
480	5,43

Tableau 11: Influence de la température de pressage sur l'écoulement de petit-lait pour le fromage d'Edam selon Kammerlehner (24)

Température de la masse de fromage		Écoulement de petit-lait %
Lors de la mise en forme	dans la presse	
37° C	27° C	6,22
32° C	22° C	4,38
27° C	17° C	3,17

Tableau 12: Influence de la teneur en eau sur l'absorption de sel et les pertes de poids du gouda selon de Vries (14)

Teneur en eau avant le salage %	Teneur en sel %	Perte de poids dans le bain de sel %
47,7	2,45	4,5
46,6	2,10	3,0
45,5	1,90	1,5

Cependant, on ne peut pas dire qu'une teneur en eau relativement forte dans le fromage frais assure un bon rendement. **Le bain de sel et la maturation en cave** peuvent encore provoquer de fortes variations de la teneur en eau.

Dans le bain de sel, le fromage exsude son eau et absorbe du sel. Plus la teneur en eau est élevée dans le fromage frais, plus les pertes de poids sont fortes pour un bain de sel de durée égale ainsi que le démontre DE VRIES (14) pour le gouda.

Pour le tilsit, on a enregistré des pertes de poids de 2,1 à 4% dans le bain de sel (53), alors que pour l'emmental, les valeurs se situent entre 0,8 et 2,5% (19, 55, 58).

Les pertes de poids du fromage au cours de la maturation subséquente devraient provenir pour une large part de l'exsudation d'eau et très peu en revanche des pertes de graisse et de celles dues au frottement.

Par une humidité de l'air relative entre 80 et 95%, 1885 fromages d'Emmental ont perdu de 10 à 16% de leur poids pendant la maturation (49). Une amélioration des conditions

climatiques a permis de diminuer considérablement ces pertes. Lors de différents prélèvements, on a constaté pour le fromage d'Emmental jusqu'à la pesée des diminutions de poids de 6,75 jusqu'à 8,36% (2,55). Dans des entrepôts commerciaux, on a enregistré des pertes de poids moyennes entre 1,56 et 2,4% au cours d'une période de stockage de 3 mois (9, 10).

Pour le tilsit, on a noté jusqu'à la pesée (fromage de 42 jours) des pertes de poids de 2,7 à 4,5% (53). Après une période ultérieure de conservation de 6 semaines dans 5 entrepôts commerciaux différents, SCHAEER (48) a mesuré des diminutions de poids entre 0,97 à 4,43%.

Tableau 13: Relation entre l'humidité relative de l'air dans les dépôts commerciaux et la perte moyenne de poids des fromages Tilsit pendant une période de stockage de 6 semaines selon Schär (48)

Dépôt No	Humidité moyenne de l'air en valeur relative %	Perte de poids moyenne %
5	98	0,97
4	95	2,13
3	93	2,47
2	92	3,23
1	91	4,43

De plus, on a constaté au début de la période de conservation que la vitesse de circulation de l'air avait une grande influence, mais qu'elle diminuait lorsque la conservation se prolongeait.

La répartition de l'eau contenue dans le fromage est considérée comme un élément stabilisateur (7).

Pour le fromage de Gouda, on a enregistré au cours d'une période d'essai de 10 jours, avec une vitesse de circulation de l'air de 0,2 m/s et une humidité relative de l'air de 82%, une perte qui était de 1% plus élevée qu'avec une humidité relative de l'air de 90% (7).

Avec des valeurs constantes relatives d'humidité de l'air (85%) et de température (14° C), il est résulté, selon le travail de BOUMAN (7), avec une vitesse de circulation de l'air de 0,5 m/s, une perte de poids en 10 jours de 1% plus élevée qu'avec une vitesse de circulation d'air de 0,1 m/s.

EMCH et ses collaborateurs (16) ont fait des recherches relatives à l'influence que peuvent avoir des vitesses de circulation de l'air de 0 à 0,8 m/s à des degrés d'humidité différents, sur la perte de poids de fromages de Tilsit pendant une durée de conservation de 8 semaines à une température de 14° C. Si l'air est immobile, le poids initial a pu être maintenu par une humidité relative de l'air de 93 à 95%.

Selon BOUMAN (7), la perte de poids des fromages dépend de l'humidité relative de l'air, de la température, de la vitesse de circulation de l'air et de la vitesse de diffusion de l'air dans le fromage. Il a été prouvé que l'humidité relative de l'eau avait une grande importance. Lors de cet essai, l'influence de la température était nettement moindre.

Le tableau 13 montre très clairement la relation qui existe entre l'humidité moyenne de l'air en valeurs relatives de la cave à fromage et la perte de poids moyenne pour les fromages Tilsit, alors que pour l'emmental la répercussion de l'humidité de l'air joue un rôle moins important (9, 10, 19).

Des valeurs relatives d'humidité de l'air de l'ordre de 86 à 88% ont provoqué des pertes de poids de 5,5 à 6% indépendamment de la vitesse de circulation de l'air. Lorsque l'humidité relative de l'air se situe en-dessous de ce seuil d'équilibre d'humidité et avec une vitesse de circulation de l'air de 0 à 0,2 m/s, on a enregistré des pertes de poids de 1,5 à 2%. Dans les mêmes conditions, des vitesses de circulation d'air de 0,4 à 0,8 m/s n'ont pas provoqué de variations de poids. Par des degrés d'humidité relative se situant au-dessus du seuil d'équilibre et des vitesses de circulation de l'air de 0 à 0,4 m/s, le poids n'a pas varié ou il a légèrement augmenté. Dans les mêmes conditions, une vitesse de circulation de l'air de 0,8 m/s a provoqué une augmentation du poids de 3,5 à 6,75%. Il s'agit pourtant de remarquer que ces augmentations de poids ont provoqué des pertes très nettes de qualité.

Ces renseignements montrent que de bonnes conditions d'humidité de l'air et de vitesse de circulation de l'air dans la cave à fromage sont d'une grande importance pour la rentabilité. De plus, il faut considérer que la qualité du fromage peut être influencée par les conditions de stockage.

On cherche à limiter les pertes de maturation à l'aide de différentes mesures et moyens auxiliaires tels

que le stockage préalable du fromage au froid (25), les couvercles perforés (8), la maturation sous plastique ou le paraffinage (32).

2.5. Amélioration du rendement et pertes lors de la fabrication du fromage

Il existe aujourd'hui des techniques qui permettent une meilleure utilisation des composants du lait. Lors de la fabrication traditionnelle du fromage, les protéines du petit-lait (20% en chiffres ronds de l'ensemble des protéines contenues dans le lait) restent dans le petit-lait et sont perdues pour le fromage.

On connaît déjà des procédés d'ultrafiltration qui, en récupérant les protéines du petit-lait, permettent d'améliorer le rendement de 24% par rapport à la fabrication normale (56, 65, 66). Il faut alors tenir compte du fait que le fromage ainsi obtenu est fortement modifié, de sorte que ce procédé ne saurait être retenu pour les catégories traditionnelles de fromage.

En revanche, on peut obtenir une amélioration du rendement par ultrafiltration du lait dans la fabrication de fromage à pâte molle. Le traitement de lait ultrafiltré permet de réduire au minimum le résidu de petit-lait: ainsi, les pertes en protéines sous forme de poussière de caséine et les pertes en graisse diminuent. De plus, le faible égouttage des fromages améliore la répartition des poids lors du portionnage.

Avec du lait ultrafiltré, on peut évaluer le poids à plus ou moins 10 grammes près, alors qu'avec la fabrication traditionnelle la marge varie entre moins et plus 30 grammes (56). Lors de la fabrication d'unités entre 250 et 900 grammes, on peut, grâce à l'ultrafiltration et aux installations techniques adéquates, obtenir une amélioration du rendement de 3,3 à 6% (13).

Les pertes de lait jouent également un rôle primordial dans le rendement. On peut éviter des pertes souvent considérables en rinçant consciencieusement les récipients, les conduites et les appareils, et en traitant cette eau qui contient des protéines et de la graisse.

Dans le cadre de la fabrication du fromage, il faut considérer la poussière de caséine comme une perte effective de rendement. On peut observer que la part de poussière de caséine par fromage varie très fortement d'une pièce à l'autre.

Lorsque la fabrication de fromage à pâte dure se fait dans de bonnes conditions, on trouve environ 500 grammes de poussière de fromage

pour 1000 litres de lait, alors que dans certaines exploitations on peut atteindre 2 kg et même plus. Si l'on reporte cette différence de 1,5 kg pour 1000 litres de lait travaillé pour une quantité journalière de 3000 litres, cela correspond à une perte de 4,5 kg par jour ou de 1620 kg par an en chiffres ronds.

Il peut se produire une autre perte, que le praticien a de la peine à déceler, par le petit-lait non centrifugé (petit-lait gras). Des pertes peuvent aussi se produire journellement dans les entreprises, notamment par une fausse manipulation de l'écumeuse centrifuge.

Les pertes de graisse augmentent par une perte accrue du petit-lait gras non centrifugé et une augmentation de la teneur en graisse du petit-lait gras, comme le montre le tableau 14.

La perte de 50 litres de petit-lait par jour, prise en considération pour le calcul, peut être considérée comme une quantité moyenne pour diverses fromageries. Selon les expériences que nous avons faites, la teneur en graisse du petit-lait varie dans des limites relativement fortes de 0,2 à 0,8%; elle dépend de la façon de traiter le caillé. Les critères les plus importants pour cela sont le degré de coagulation, les installations techniques pour la préparation du caillé, la dimension des grains du caillé et la teneur en graisse du lait du chaudière.

Les pertes auxquelles il est fait allusion ne sont pas toujours faciles à déceler, puisque la poussière et les pertes du petit-lait se produisent

dans la chaudière, sous la presse, dans la centrifugeuse etc.

Il n'en reste pas moins que le contrôle des pertes de poussière et de petit-lait gras dans la fabrication en

vaut la peine, ainsi que le montrent les exemples ci-dessus.

Les facteurs qui ont une influence sur le rendement du fromage sont résumés dans le schéma 1.

Tableau 14: Perte en graisse avec le petit-lait non centrifugé en cas de teneur variable en graisse du petit-lait

Données: 1) 50 litres de petit-lait par jour non centrifugé
2) Teneur en graisse du petit-lait après centrifugation 0,05%
3) Rendement du beurre 1,17

Teneur en graisse du petit-lait %	Perte en graisse par jour g	Perte calculée en beurre par année kg
0,25	100	42
0,50	225	95
0,80	375	158

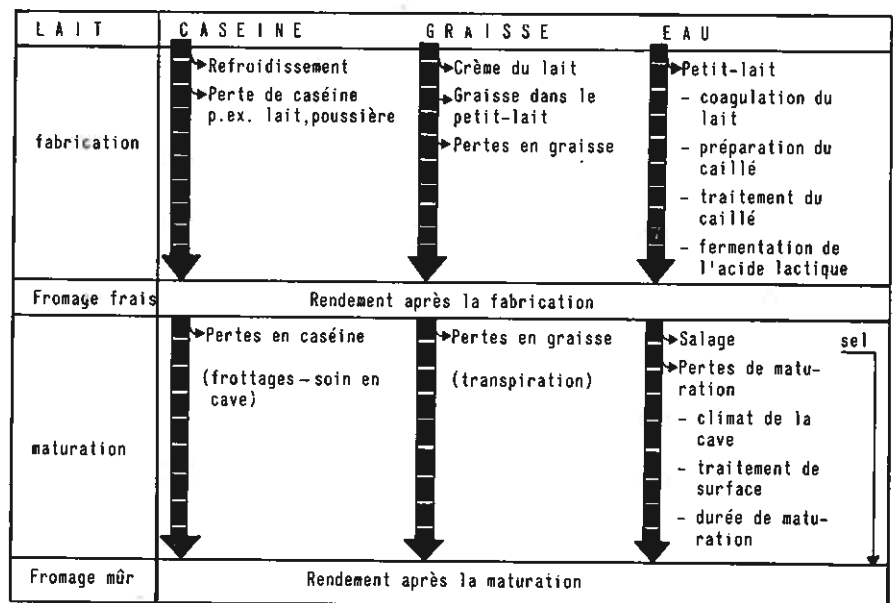


Schéma 1: Facteurs exerçant une influence sur le rendement du fromage

Bibliographie

Literaturverzeichnis

- 1 ALBERINI, B. und NIZZOLA, S.: Dairy Sci. Abstr. **37** (206) (1975)
- 2 ANDRES, J., SCHÖNHOLZER, A. und ZÜRCHER, A.: Jahresbericht der Molkereischule Rütli, Zollikofen **93**, 46—48 (1980)
- 3 ANNIBALDI, S. und NIZZOLA, S.: Dairy Sci. Abstr. **32** (25) (1970)
- 4 ANTILA, V. und AAPOLA, M.: Dairy Sci. Abstr. **32** (585) (1970)
- 5 BOCHTLER, K.: Deutsche Molkereiztg. **93**, 1602—1605 (1972)
- 6 BOLLIGER, D. und SCHILT, P.: Schweiz. Milchztg., Wissenschaftlicher Beitrag **121**, 95 (1969)
- 7 BOUMAN, S.: Nordeuropäische Molkereizeitschrift **45** (1), 4—12 (1979)
- 8 BURKHALTER, G., FLÜCKIGER, E., SCHILT, P.: Schweiz. Milchztg. **83**, WB-Nr. 49 (1957)
- 9 BURKHALTER, G. und KAUFMANN, E.: Bericht Schweiz. Käseunion 7—10 (1975)
- 10 BURKHALTER, G. und KAUFMANN, E.: Bericht Schweiz. Käseunion 8—13 (1976)
- 11 CARBONE, E., EMMALDI, G. C. und CLARI, L.: Dairy Sci. Abstr. **38** (49) (1976)
- 12 CORRADINI, C., DIECI, E. und BOTTAZZI, V.: Dairy Sci. Abstr. **38**, 120 (1974), ev. Scienza e tecnica Lattario-casaria **25** (3) (1974)
- 13 DEUTSCHE MOLKEREIZEITUNG, **101**, 119 (1980)
- 14 DE VRIES, A. E.: Nordeuropäische Molkereizeitschrift **45** (7—8), 193—202 (1979)
- 15 DREWS, M.: Molkerei und Käsezeitung, Hildesheim **15**, 9—15 (1964)
- 16 EMCH, F., MÖNCH, P., GLUNK, U.: Schweiz. Milchwissenschaftliche Forschung **7** (3), 55—57 (1978)
- 17 EMMONS, O. B., REISER, B., GIRAU, R. und STANLEY, D.: Dairy Industries International (1978)
- 18 FLEISCHMANN, W.: zitiert nach KÖSTER, W., Käselexikon, Heinrichverlag KG Hildesheim (Seite 153) (1973)
- 19 FLÜCKIGER, E. und STETTLER, H.: Schweiz. Milchztg. **93**, 9—11 (1967)
- 20 GAY, J.: Deutsche Molkereiztg. **80**, 5—8 (1959)
- 21 GROSSERHODE, J.: Deutsche Milch-wirtschaft **26**, 198—200 (1975)
- 22 GROSSERHODE, J.: Deutsche Milch-wirtschaft **27**, 86—89 (1976)
- 23 HAISCH, K. H., HERMANN, M. und KIERMEIER, F.: Milchwissenschaft **26**, 6—13 (1971)
- 24 KAMMERLEHNER, I.: Deutsche Molkereiztg. **97**, 244—249 (1976)
- 25 KAPPELARI, K. und BÖSIGER, H.: Deutsche Molkereiztg. **89**, 1459—1463 (1968)
- 26 KIELER MILCHWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNGSBERICHTE, Band 21 (Heft 3), 226 (1969)
- 27 KIKUCHI, T. und TOYODA, S.: XVIII Int. Dairy Congr. **1 F**, 291 (1970)
- 28 KLOSTERMEIER, H. und REIMERDES, E.: «Welt der Milch» **30**, 135—138 (1976)
- 29 KLOSTERMEIER, H. und REIMERDES, E.: Deutsche Milchwirtschaft **51**, 1826—1844 (1976)
- 30 KÖSTER, W.: Käselexikon, Heinrichs-verlag KG, Hildesheim (Seite 153) (1973)
- 31 KÖSTLER, G.: Schweiz. Milchztg. **73**, 405—408 (1947)
- 32 KURMANN, J. L., FLÜCKIGER, E. und SCHEIWILER, R.: Schweiz. Milchztg. **99**, 221—223 (1973)
- 33 MÄDER, E.: zitiert nach THOMANN, W., Anleitung zum milchwirtschaftlichen Rechnen (1972)
- 34 NAGARAJA, K. S., KRISHNA, NAND, SRIKANTA, S., KRISHNASWAMY, M. A. und SREENIVASA MURTHY, V.: Die Nahrung **23** (6) (1979)
- 35 OLSON, N. F.: Dairy Industries International **14—19** (1977)
- 36 PETER, A.: zitiert nach THOMANN, W. und MÄDER, E., milchwirtschaftliches Rechnen, Bern (1944)
- 37 PETER, A. und KÖSTLER, G.: Molkereizeitung **500—501** (1911)
- 38 PETERS, K. A. und KNOOP, A. M.: Milchwissenschaft **33**, 77—81 (1978)
- 39 PIERS, J.: La Technique Laitière **29** (21) (1974)
- 40 PUHAN, Z. und FLÜELER, O.: Milch-wissenschaft **29**, 148—151 (1974)
- 41 PUHAN, Z. und IRVINE, D. M.: I. Dairy Sci. **56** (313) (1973)
- 42 REIMERDES, E.: Deutsche Milch-wirtschaft **27**, 482—484 (1976)
- 43 REIMERDES, E.: Deutsche Molkereiz-zeitung **99**, 488—493 (1978)
- 44 REIMERDES, E., JIMENES PEREZ, S. J. und RINQUIST, B. M.: Milch-wissenschaft **32**, 207—210 (1977)
- 45 REIMERDES, E. und KLOSTERMEIER, H.: Kieler Milchwirtschaftl. Forschungsbericht **28**, 17—25 (1976)
- 46 ROBERTSON, P. S. und GILLIES, J.: I. Dairy Technol. **4** (128) (1979)
- 47 ROINER, F.: Deutsche Milchwirtschaft **27**, 82—84 (1976)
- 48 SCHÄR, H.: Diplomarbeit Schweiz. Landw. Technikum (1976)
- 49 SCHATZMANN, R.: zitiert nach MURI, R., Diplomarbeit Schweiz. Landw. Technikum (1974)
- 50 SCHMUTZ, M.: Diss. ETH Zürich Nr. 6 651 (1980)
- 51 SCHULZ, M. E. und KAY, H.: Käse-tabelle Verlag TH Man., Hildesheim (1957)
- 52 SCHULZ, M. E., VOSS, E., LELL, H. und MROWETZ, G.: Lab.-Milch-wissenschaft **22** (139) (1967)
- 53 SCHÜPBACH, H.: Diplomarbeit Schweiz. Landw. Technikum (1976)
- 54 SINGH, AJAIB, SING, AJAIT, KUILA, R. K., DUTTA, S. M., BABTAR, S. J., SRINIVASAN, R. A. und DUDANI, A. T.: I. of Dairy Sci. **50** (1886) (1967)
- 55 SOLLBERGER, H.: Persönliche Mit-teilung
- 56 SØREN, JEPSEN: Nordeuropäische Molkereizeitschrift **41** (3), 101—105 (1975)
- 57 STATENS FORSØGSMEJERI, HIL-LERØD, 207 Beretning (1974)
- 58 STEFFEN, C. und KESSLER, W.: Inter-ner Bericht Nr. **33**, EFAM (1975)
- 59 STORGARDS, T.: Deutsche Molkerei-ztg. **87**, 1306—1307 (1966)
- 60 TEICHERT, K.: zitiert nach KÖSTER, W., Käselexikon, Heinrichs-verlag KG, Hildesheim (Seite 153) (1973)
- 61 THOMASOW, J.: Milchwissenschaft **35** (4) (1980)
- 62 TOLLE, E.: Molkereiztg. «Welt der Milch» **31**, 683—689 (1977)
- 63 TRAUlsen, K. M.: Milchwirtschaftliche Berichte **36**, 195—196 (1973)
- 64 VALLES, E., VASSEL, L., RIBADEAU-DUMAS, B.: Revue Laitière Française **750** (1) (1977)
- 65 VOSS, E.: Kieler Milchwirtschaftliche Woche (1976)
- 66 WALKER, Y.: XVIII Int. Milch-wirtschaftskongress, 1 D, 328 (1970)
- 67 WIGLEY, R. C.: XIX Int. Dairy Congr. **1 E**, 687 (1974)