

Standardisation du lait de fromagerie par microfiltration*

A. THOMET, H.-P. BACHMANN et K. SCHAFROTH, Agroscope Liebefeld-Posieux (ALP),
Schwarzenbuchstrasse 161, CH-3003 Berne

 E-mail: andreas.thomet@alp.admin.ch
Tél. (+41) 31 32 32 652.

Résumé

La microfiltration (MF) est particulièrement appropriée pour concentrer partiellement le lait de chaudière à une teneur en protéines et en matière grasse de 5-6%. Le rapport quantitatif des composants principaux (protéines, matière grasse et lactose) peut être réglé de manière assez précise à l'aide de la technique MF (filtre de 0,1 μm). Ainsi, il est possible d'équilibrer les différences saisonnières du lait cru (teneur, composition) avant la fabrication du fromage. La méthode MF permet de transformer 70-80% de plus de lait en fromage en utilisant les mêmes installations de fabrication existantes. Les coûts pour les investissements, la présure et les cultures diminuent fortement. En outre, on obtient comme sous-produit (selon le degré de concentration) un «petit-lait idéal» en quantité importante et avec un meilleur potentiel de valeur ajoutée. Grâce à cette nouvelle technologie, on a pu fabriquer des fromages à raclette irréprochables sur le plan qualitatif et sensoriel.

Introduction

Dans la pratique, depuis plusieurs années, on concentre partiellement le lait de chaudière au moyen de membranes afin de le standardiser. Pour y parvenir, on a généralement recours à des techniques d'ultrafiltration. Lors d'une importante série d'essais, Agroscope Liebefeld-Posieux (ALP), la station fédérale de recherches en production animale et laitière, a évalué les possibilités et les limites de la microfiltration (méthode MF) pour la fabrication de fromages à pâte mi-dure (de type raclette) à partir de lait partiellement concentré. Cet article étudie les possibilités de standardisation du lait de chaudière par microfiltration, ainsi que l'impact de cette technologie sur la composition chimique, les propriétés qualitatives, l'affinage et sur l'aptitude à la fonte des fromages.

*Traduction de l'article «Standardisierung der Käseemilch mit Mikrofiltration» paru dans *Agrarforschung* 11 (5) 156-161, 2004.

Principe du fractionnement des protéines avec la méthode MF

L'utilisation de la technique de microfiltration dans la fabrication de fromage a ceci de particulièrement intéressant que, contrairement à l'ultrafiltration (pores de filtre de 5 à 80 nm seulement), les protéines sériques présentes naturellement dans le lait ne sont pas concentrées. Cela permet une concentration nettement plus avantageuse (flux plus important, moins d'espace occupé par le filtre) lors de la séparation (fractionnement) des protéines sériques qui s'écoulent au travers du perméat (fig. 1). Grâce à la diafiltration ou, si nécessaire, à la combinaison de celle-ci avec un prétraitement thermique ciblé du lait cru, il est possible de régler la part de protéines sériques mais aussi la concentration de lactose dans le lait de chaudière.

L'installation-pilote de type Alcross M de l'entreprise Tetra Pak est équipée

pour effectuer des travaux de concentration et de fractionnement dans les domaines de la microfiltration et de l'ultrafiltration. Afin de ralentir la formation de la couche de surface lors des étapes du fractionnement, la machine travaille en utilisant le principe Cross-flow (fig. 2). Elle est en outre munie d'un système *Uniform Transmembran Pressure* (UTP) (THOMET et BACHMANN, 2003).

Lors de la microfiltration, le choix du diamètre des pores (valeur *Cut-off*) joue un rôle déterminant pour la composition des particules du concentré (rétentat) et du perméat. Le fractionnement des protéines à l'aide d'une membrane de microfiltration de 0,1 μm est de plus en plus apprécié dans l'économie laitière. Les fractions de lait obtenues peuvent être utilisées quasiment comme on le désire (THOMET et BACHMANN, 2003; MAUBOIS, 2001) et peuvent être transformées en produits novateurs disposant de bonnes propriétés fonctionnelles. Le rétentat est un concentré de caséines avec une légère part de protéines lactosériques qui peut être transformé en

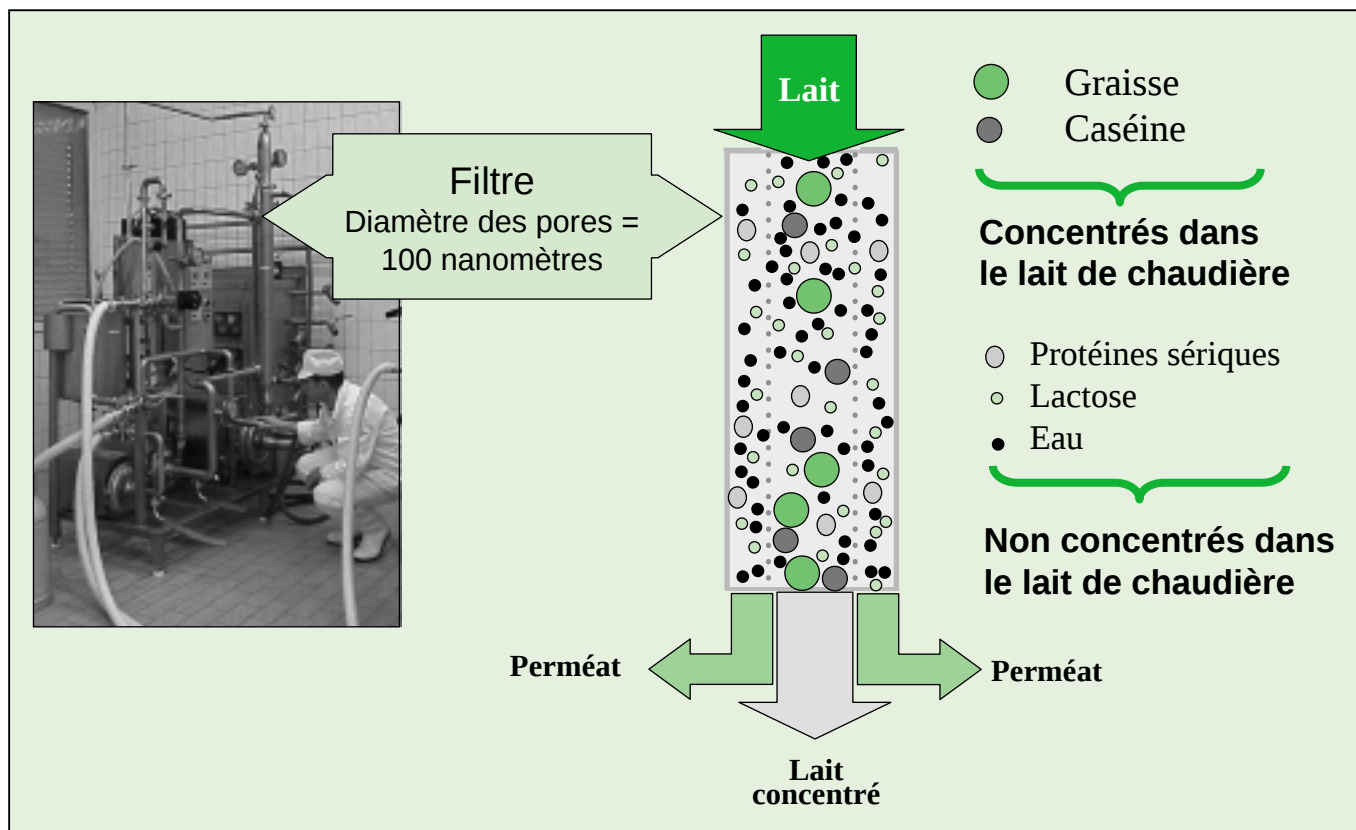


Fig. 1. Principe du fractionnement des protéines avec la méthode MF.

Structure de l'essai

Dans le cadre du projet ALP «Nouveaux procédés», on a analysé l'utilisation de la microfiltration (méthode MF) pour la fabrication de fromages à pâte mi-dure (de type raclette) à partir de lait partiellement concentré (tabl. 1). Une concentration en protéines de 3,2% correspond à la teneur moyenne en protéines du lait suisse commercialisé. Cette variante est donc pratiquement «inchangée». Le réglage des valeurs-cibles était basé pour toutes les concentrations de protéines (y compris la concentration à 3,2%) sur un mélange de rétentat MF et de perméat MF. La fabrication du fromage a été effectuée selon une recette pour le fromage à raclette à l'échelle modèle (gras, pasteurisé) avec les adaptations technologiques nécessaires (fig. 3) pour la transformation de lait partiellement concentré.

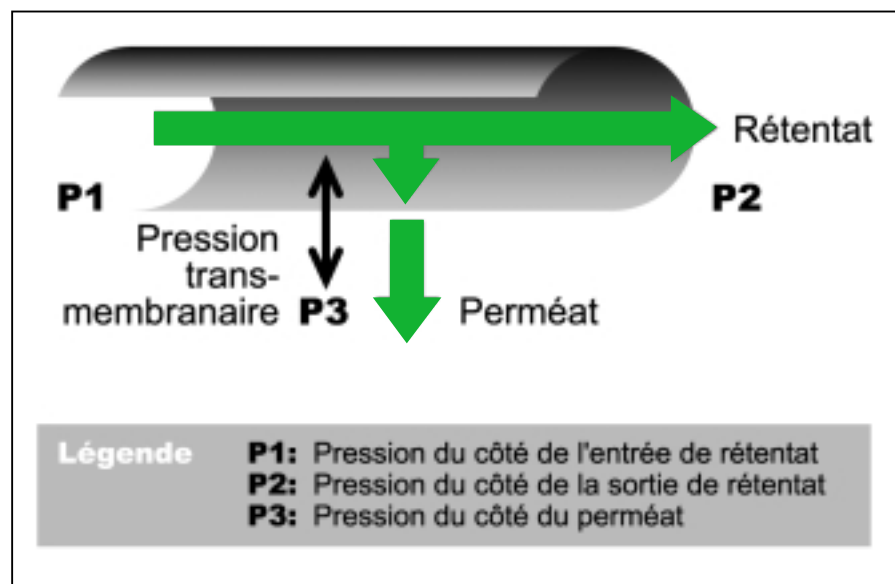


Fig. 2. Principe de la filtration Crossflow (graphique et légende, ALP).

toutes sortes de produits (BACHMANN *et al.*, 2003). La plupart des protéines sériques restent dans le perméat. Le perméat constitue un «petit-lait idéal». Celui-ci est pratiquement stérile du point de vue microbiologique, possède un pH stable et ne contient pas de graisse résiduelle, pas d'acide lactique et pas de glycomacropeptides (GMP), pas de cuivre, pas de résidus d'enzymes de présure et pas de cultures

starter. La majorité des fractions de protéines se trouvent encore à l'état naturel (THOMET, 2001).

Tableau 1. Aperçu des facteurs et variantes d'essai choisis.

Facteurs	Variantes	Légalité
Protéines	3,2%, 4%, 5%, 6%	4 ² = 16 fromages
Saison	Hiver, printemps, été, automne	

Fractionnement ciblé des composants du lait

Grâce au processus MF (fig. 4) et à la transformation en fromage qui s'ensuit, il est possible de séparer d'importants composants du lait (graisse, caséine, protéines lactosériques, lactose, sels) comme on le souhaite et de les transférer dans les différents flux.

L'objectif principal des deux processus microfiltration (séparation du perméat) et fabrication de fromage (séparation du lactosérum) est, d'une part, de perdre une quantité aussi faible que possible des précieux composants que représentent les protéines lactiques et la matière grasse et, d'autre part, de réduire la part de lactose dans le fromage à la quantité initiale souhaitée.

Les teneurs en matière grasse et en protéines recherchées pour le lait de chaudière ont été atteintes avec un écart de ± 2 g/kg. Plus la concentration partielle est élevée, plus la quantité de lactose diminue dans le lait de chaudière et dans le lactosérum, étant donné que le lactose s'écoule de plus en plus au travers du perméat.

Les pertes en protéines et en matière grasse dans le perméat (fig. 5) sont infimes, ce qui prouve l'efficacité de cette étape supplémentaire. Les différences de perte dans le perméat entre les différentes filtrations sont très faibles. Les quantités de lait de chaudière

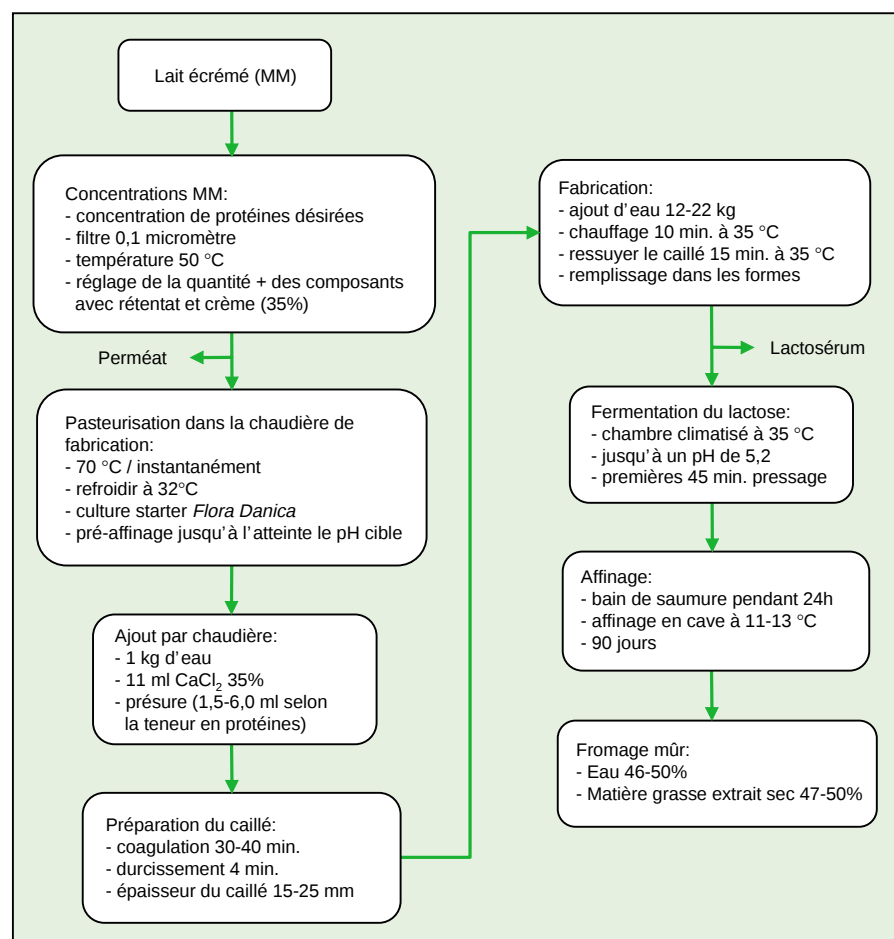
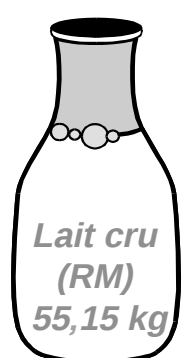
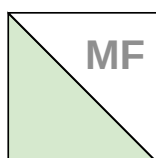


Fig. 3. Schéma de fabrication d'un fromage modèle de type raclette (meule de 5-6 kg) à partir de lait MF concentré.

Exemple protéine 6% (printemps):



MS 6,65 kg
Graisse 1,76 kg
Protéine 1,78 kg
Lactose 2,60 kg



Taux de transfert
RM-KM



MS 1,60 kg
Graisse 0,00 kg
Protéine 0,14 kg
Lactose 1,32 kg



Lait de chaudière (KM)
29,30 kg

MS 5,05 kg
Graisse 1,76 kg
Protéine 1,64 kg
Lactose 1,28 kg

Fig. 4. Transfert des composants du lait dans le lait de chaudière partiellement concentré.

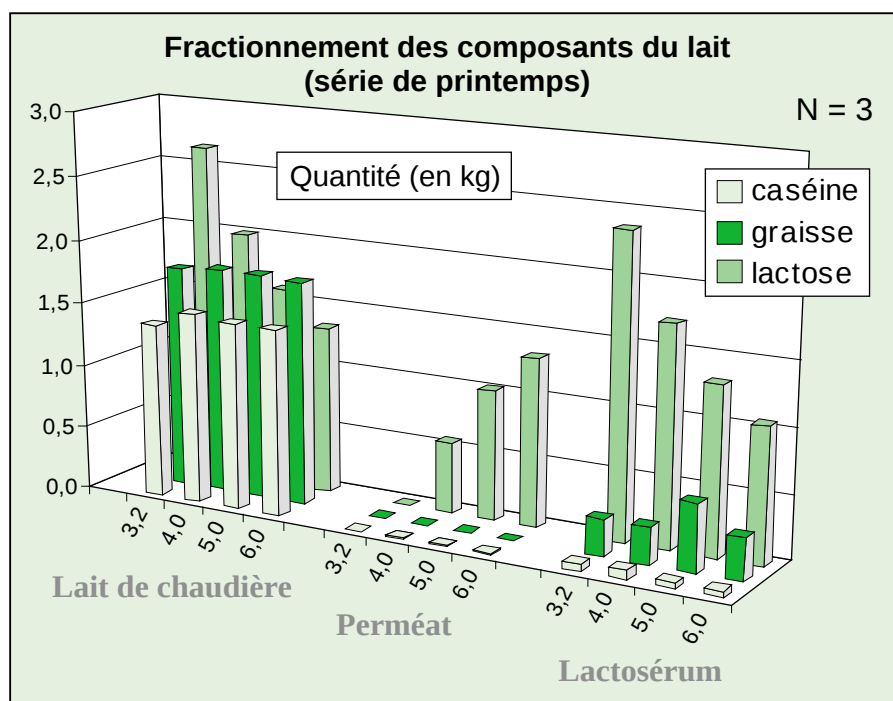


Fig. 5. Quantité totale (par meule, variante) des composants dans le lait de chaudière, le permétat et le lactosérum.

et de lactosérum augmentent en fonction de la concentration. C'est la raison pour laquelle, plus la teneur en protéines augmente, plus la perte de protéines dans le lactosérum est petite. On observe ce phénomène aussi bien pour la caséine (fig. 5) que pour les protéines du lactosérum. Les avantages économiques de la concentration partielle résultent de la diminution des pertes en caséine comme le montre un calcul fort simple: avec une concentration partielle de l'ordre de 6%, on perd environ 25 g de caséine (THOMET, 2002) par rapport à la variante d'essai à 4%. Si la teneur en eau dans le fromage reste identique, cela signifie que le rendement augmente de 1,3%.

Plus la concentration est élevée, plus les pertes de matière grasse dans le lactosérum augmentent. Toutefois, si l'on traite le caillé avec soin, il semble que les pertes en matière grasse restent minimales.

Composition chimique des fromages mûrs

L'établissement de bilans de masse (poids du fromage mûr $\times$ concentration des composants) donne un meilleur aperçu de la composition chimique du fromage mûr que les indications sur la concentration des substances, car ces bilans permettent de nettement distinguer l'influence du rendement, de la teneur en eau et du transfert de substances.

Si l'on part d'une quantité de lait cru (non filtré) de 55 kg à chaque fois, le calcul du bilan de masse permet une comparaison horizontale du rendement et des quantités spécifiques de substances (MS, eau, matière grasse, protéines brutes, etc.) des différentes variantes d'essai. La conversion des valeurs des protéines brutes à partir des valeurs N (méthode de Kjeldahl) a été effectuée avec les facteurs individuels (SCHLIMME et BUCHHEIM, 1995) suivants: protéines totales 6,38, petit-lait 6,41, NPN 3,60.

Plus la concentration en protéines est élevée, plus la teneur en eau du fromage diminue. Lors de cette série d'essais, le rendement maximal a été atteint

avec une concentration de protéines de l'ordre de 4%. Si l'on souhaite maintenir le rendement des fromages MF à base de lait partiellement concentré à un niveau élevé, il faut apporter suffisamment d'eau aux fromages en utilisant des mesures technologiques appropriées (THOMET et BACHMANN, 2003). L'augmentation de la quantité de protéines, de graisse et de protéines brutes dans le fromage jusqu'à une concentration de protéines de 5% indique que, grâce à la concentration partielle, le transfert de substances subit moins de pertes lors du processus de fabrication. Plus la concentration partielle est élevée, plus il y a de protéines qui passent dans la matrice du fromage. En outre, il y a moins de pertes en protéines (caséine et protéines sériques) dans le lactosérum (THOMET, 2002). Le taux de transfert de matière grasse reste stable, indépendamment de la concentration du lait de chaudière. A partir d'une concentration de 6% en protéines, les pertes en graisses augmentent lors de la formation du caillé et le taux de graisse diminue en conséquence. Le rapport idéal entre le taux de transfert de graisse et de protéines devrait se situer autour d'une concentration de protéines de 5 à 6%. Cela signifie que le degré optimal de concentration partielle (volume) du lait de chaudière MF se situe entre 1,5 et 1,8. A une telle concentration, le rétentat peut encore être transformé dans les installations fromagères conventionnelles existantes.

Un des importants objectifs de la standardisation du lait de chaudière est d'équilibrer les différences saisonnières de teneurs du lait cru destiné à la fabrication de fromage. Au cours de toute l'année, les principaux composants du lait de chaudière (graisse, protéines, lactose et sels) doivent être équilibrés.

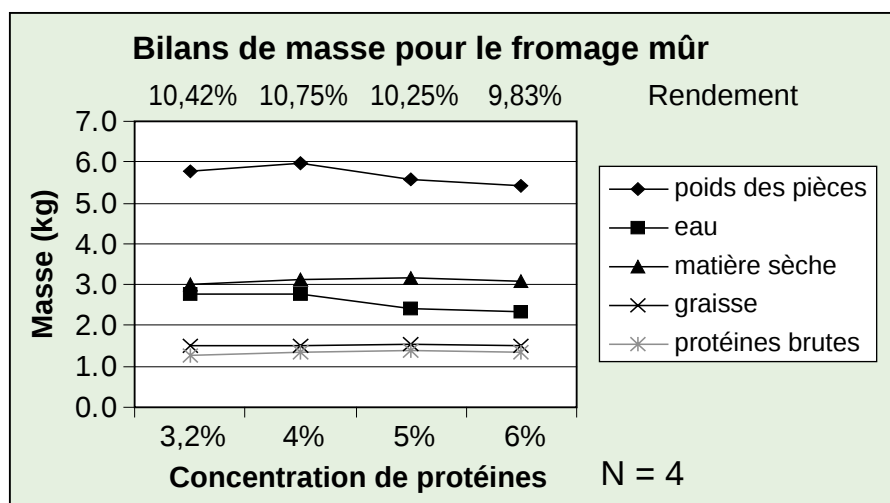


Fig. 6. Quantité totale des principaux composants et rendements pour le fromage mûr (à 90 jours).

Cela engendre des avantages au niveau du rendement, des lots et de la composition des fromages fabriqués. Le traitement MF (THOMET et BACHMANN, 2003) permet en outre, de manière analogue à la standardisation de la graisse (séparateur), d'effectuer une standardisation des protéines avec un fractionnement simultané (concentration des caséines).

Développement de propriétés qualitatives et d'aptitude à la fonte

Tous les fromages des essais ont reçu une appréciation par rapport à leurs propriétés qualitatives (de suffisantes à bonnes) et à leur aptitude à la fonte (note de 3,0 à 6,0) (fig. 7). Les différences en ce qui concerne la pâte et la fonte sont prononcées. Elles sont principalement dues à la teneur en eau qui diminue de manière significative la concentration lorsqu'elle est élevée (fig. 6). La teneur en eau élevée (> 50%) des fromages de la variante à concentration de protéines de 3,2% a provoqué une maturation plus rapide de ces fromages et a engendré les effets correspondants sur la qualité de la pâte (plus courte et plus molle) et sur le goût (légèrement amer et acide, plus intense) après 90 jours. Par contre, les fromages avec une concentration de protéines de 6% étaient moins mûrs, avec une pâte longue et ferme, et présentaient des valeurs élevées dans les paramètres de fonte que sont la viscosité, la structure et la consistance. D'une manière générale, les fromages d'essai ont obtenu de meilleures notes sur leur pâte, leur goût et leur aptitude à la fonte avec une concentration en protéines élevée. Quant au critère de qualité appelé «ouverture», les différences de concentration des protéines n'ont généré que d'infimes différences.

Comparaison avec la fabrication de fromage traditionnelle

La standardisation combinée à une **concentration partielle** du lait de chaudière par microfiltration présente quelques avantages par rapport à la fabrication traditionnelle de fromage:

- > Avec une teneur en protéines et en matière grasse de l'ordre de 5 à 6%, 70 à 80% de lait en plus peuvent être transformés en fromage et ceci avec les mêmes installations. Les coûts d'investissement pour les installations techniques diminuent d'autant.

- > Les coûts pour la présure et les cultures starter diminuent de manière significative.
- > Une augmentation de rendement (relative) de l'ordre de 3 à 5% est possible grâce aux faibles pertes de caséine dans le lactosérum et grâce aux taux de transfert de protéines plus élevés.
- > Grâce à la technique MF (filtre de 0,1 μm), le rapport quantitatif entre les principaux composants, protéines, matière grasse et lactose, peut être réglé de manière assez précise.
- > Grâce à la standardisation du lait de chaudière, il est possible d'équilibrer les différences saisonnières dans les teneurs et la composition du lait.
- > On peut mieux influencer et piloter les propriétés de la pâte et l'aptitude à la fonte du fromage.
- > Avec la microfiltration, les flux lors de la concentration sont nettement plus élevés qu'avec l'ultrafiltration.

Pour les fabricants de fromages, il est important de savoir si les avantages économiques de la microfiltration compensent les nouveaux investissements et les coûts des développements technologiques. Pour les établissements de transformation, les réflexions d'ordre économique et stratégique sont quelque peu différentes (PAPADATOS, 2003). Les perspectives offertes par le lait partiellement concentré en matière de rendement et de qualité du fromage sont prometteuses. En outre, selon la concentra-

tion, le produit dérivé formé, soit une quantité considérable de «lactosérum idéal», possède un meilleur potentiel de valeur ajoutée. La concentration partiellement issue de la technologie MF est particulièrement intéressante pour les établissements qui, à partir du perméat, souhaitent mieux valoriser leurs installations ou fabriquer des produits de qualité avec des propriétés précises (isolats de protéines sériques natives, dérivés de lactose, obtention de composants en petite concentration à partir de lactosérum).

Bibliographie

- BACHMANN H.-P., THOMET A., SCHAFROTH K., 2003. Neues, innovatives Verfahren für die Herstellung von Käse. *Agrarforschung* **10** (10), 406-410.
- MAUBOIS J.-L., 2001. Milk microfiltration, a convenient starting material for fractionation of whey proteins and derivatives. Proceedings of the 3rd International Whey Conference, 12-15 September, 2001, Munich, Germany, (Behr's Verlag), 59-72.
- PAPADATOS A., 2003. Economic Feasibility Evaluation of Microfiltration of Milk Prior to Cheesemaking. *Journal of Dairy Science* **86**, 1564-1577.
- THOMET A., 2001. Molke und Milchserum, Rohstoffe mit Potenzial. *Schweizerische Milchzeitung* **127** (47), 7.
- THOMET A., 2002. Standardisation der Kessimilch mit MF-Technologie (Teilkonzentration, saisonale Einflüsse, Serie 1). *Interner Bericht FAM* **18**, unveröffentlicht.
- THOMET A., BACHMANN H. P., 2003. Standardisierung der Kessimilch mittels Mikrofiltration. *FAM-Information* **462**.
- THOMET A., GALLMANN P. U., 2003. Neue Milchprodukte dank Membrantechnik. *FAM-Information* **453**.

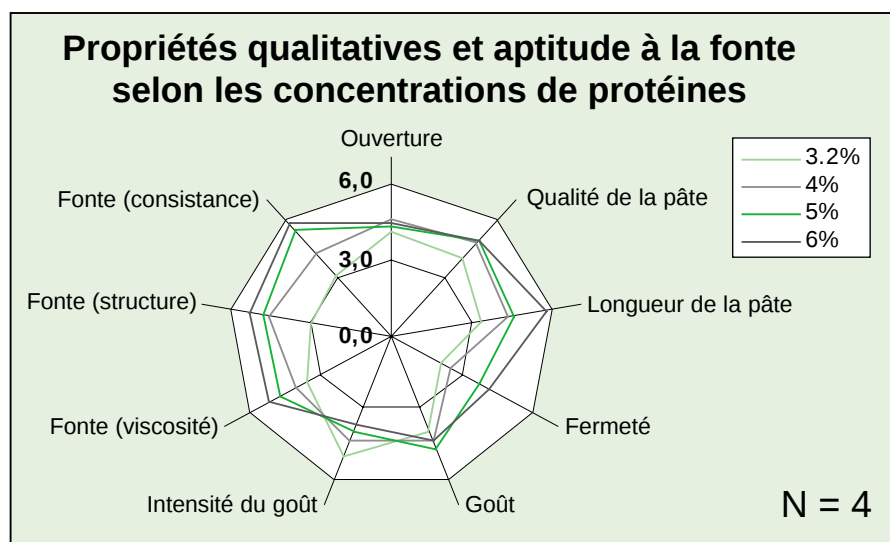


Fig. 7. Comparaison des résultats de l'appréciation des fromages (90 jours) par le panel de dégustation interne.

Légende:

- | | | | |
|---------------------------------------|------------------|---------------|---------------------|
| > Ouverture, qualité de la pâte, goût | 1 = très mauvais | 4 = suffisant | 6 = très bon |
| > Longueur de la pâte | 1 = très court | 4 = moyen | 7 = très long |
| > Fermeté | 1 = très mou | 4 = moyen | 7 = très ferme |
| > Intensité du goût | 1 = très fade | 4 = moyen | 7 = très aromatique |
| > Aptitude à la fonte (viscosité) | 1 = coulant | 4 = moyen | 7 = épais |
| > Aptitude à la fonte (structure) | 1 = court | 4 = moyen | 7 = long |
| > Aptitude à la fonte (consistance) | 1 = mou | 4 = moyen | 7 = ferme |

Zusammenfassung

Standardisierung der Käseemilch mit Mikrofiltration

Die Mikrofiltration (MF) eignet sich vorzüglich zur Teilkonzentrierung der Kessmilch auf einen Protein- und Fettgehalt von 5 bis 6%. Das Mengenverhältnis der Hauptbestandteile Protein, Fett und Laktose lässt sich mit der MF-Technologie (Filter 0,1 μm) ziemlich genau einstellen. Somit können die saisonalen Gehaltsunterschiede der Rohmilch vor der Käsefabrikation ausgeglichen werden. Die MF-Methode erlaubt es, mit den gleichen, bestehenden Fabrikationsanlagen 70 bis 80% mehr Milch zu Käse zu verarbeiten. Die Kosten für Investitionen, Lab und Kulturen sinken deutlich. Zudem entsteht als Nebenprodukt (je nach Konzentrierungsgrad) eine beachtliche Menge an «idealer Molke» mit besserem Wertschöpfungspotenzial. Mit der neuen Technologie konnten zum Beispiel qualitativ und sensorisch einwandfreie Raclettekäse hergestellt werden.

Summary

Standardisation of cheese-milk with microfiltration

Micro filtration (MF) is especially suitable for partially concentrating cheese vat milk with a protein and fat content of 5-6%. The quantitative ratio of the principal constituents, protein fat and lactose, can be set fairly precisely by the use of MF technology (filter 0.1 μm). Thus it is possible to correct for seasonal variations in raw milk (content, composition) before cheese manufacture. The MF technique allows one to transform 70-80% more milk to cheese with existing installations. Investment costs as well as amounts of rennet and starter cultures sink sharply. In addition one obtains a by-product (depending on the degree of concentration) of «ideal whey» in considerable quantities with a greater net product value. Irreproachable Raclette cheese can be manufactured using this new technology.

Key words: semi-hard cheese, microfiltration, meltability, fractionation, standardization, concentration, ideal whey.