HAL
open science

Appréciation de l'aptitude fromagère des laits de vaches individuels. Tests d'aptitude fromagère et rendement fromager de fabrication

Catherine Hurtaud, H Rulquin, M Delaite, R Vérité

To cite this version:

Catherine Hurtaud, H Rulquin, M Delaite, R Vérité. Appréciation de l'aptitude fromagère des laits de vaches individuels. Tests d'aptitude fromagère et rendement fromager de fabrication. Annales de zootechnie, 1995, 44 (4), pp.385-398. hal-00889192

HAL Id: hal-00889192

https://hal.science/hal-00889192

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ann Zootech (1995) 44, 385-398
© Elsevier/INRA

Article original

Appréciation de l'aptitude fromagère des laits de vaches individuels. Tests d'aptitude fromagère et rendement fromager de fabrication

C Hurtaud, H Rulquin, M Delaite, R Vérité

INRA, station de recherches sur la vache laitière, 35590 Saint-Gilles, France

(Reçu le 1er juin 1994; accepté le 2 janvier 1995)

Résumé — Les objectifs de cette étude sont de tester la répétabilité dans le temps des tests d'aptitude fromagère (Formagraph, rendement fromager par centrifugation) utilisés sur des laits individuels, de les relier à des fabrications de camemberts, d'essayer d'expliquer les tests d'aptitude fromagère avec des critères simples de composition du lait, comme la teneur en caséines, et d'étudier l'impact réel de la matière grasse sur l'aptitude à la coagulation. Les mesures ont été effectuées à 4 reprises sur une période de 14 sem sur des laits écrémés reconstitués avec une gamme de MAT de 28 à 34 g/kg et sur des laits individuels de vaches écrémés ou standardisés en matière grasse avec une gamme de MAT de 28 à 36 g/kg. La répétabilité dans le temps des tests d'aptitude fromagère mesurés sur les laits reconstitués, dans les conditions de l'étude, est relativement faible, ceci surtout pour l'aptitude à la coagulation mesurée au Formagraph (coefficients de variation de 5% pour les rendements fromagers et de 10 à 15% pour les paramètres d'aptitude à la coagulation). La matière grasse n'a pas d'effet sur l'aptitude à la coagulation. Parmi les tests d'aptitude fromagère étudiés, le rendement fromager de laboratoire réalisé avec de petites quantités de lait, semble le meilleur prédicteur du rendement fromager de fabrication. La teneur en caséines explique environ 80% des variations des rendements fromagers.

lait / caséine / aptitude à la coagulation / rendement fromager / nutrition

Summary — Prediction of cheese yielding efficiency of individual milk of dairy cows. Correlation with coagulation parameters and laboratory curd yield. *The objectives of this experiment were 1) to test the reliability of coagulation measured by Formagraph and laboratory cheese yields used in milks of individual cows, 2) to determine their correlations with the real production of Camemberts; 3) to study the influence of milk fat on coagulating properties and 4) to determine the correlations between cheese yielding efficiency and milk composition (particularly casein content). Coagulation properties were measured on 4 nonsuccessive days on reconstituted skim milk with true nitrogen contents ranging from 28 to 34 g/kg and on skimmed or fat standardized milk samples from individual cows with true nitrogen contents ranging from 28 to 36 g/kg. Repeatability of cheese capacity is quite important, especially for coagulating properties of milk determined by Formagraph (variation coefficients of 5% for cheese yields and 10 to 15% for coagulation measured by Formagraph). Milk fat has no effect on coagulation parameters measured with Formagraph. Among tests of cheese capacity, labo-*

ratory cheese yield (x) made with a small quantity of milk (30 ml) gives a good indication of pilot cheese yield (y): y = 0.18 x + 9.08, SE = 0.66, r^2 = 0.72 for fat standardized cow milk samples. As in previous studies, the casein content of milk had no effect on rennet clotting time, was negatively related to the time of firming (k20) and positively related to firmness (a30) and cheese yield. In conclusion, in spite of variability, laboratory cheese yields give the best estimates of real cheese yields. Among the Formagraph parameters of coagulation, firmness (a30) gives a rather good approximation of real cheese yield. The best way to take this variability into consideration in feeding trials would be the choice of an experimental design as Latin square or of a control milk. With no adjustment of repeated time effects, laboratory cheese yield is the best way to predict the real cheese yield of Camembert. With adjustment of repeated time effects, casein content is the best parameter.

cow milk / casein / coagulation properties / cheese yield / feeding

INTRODUCTION

L'impact de la nutrition des vaches laitières sur la qualité biochimique et l'aptitude des laits à la coagulation et à la production de fromages suscite de plus en plus d'intérêt. Des mesures d'aptitude à la coagulation ou de comportement viscosimétrique des laits ont été utilisées efficacement dans des expériences étudiant les effets de facteurs pathologiques (Grandison et Ford, 1986 ; Politis et Ng-Kwai-Hang, 1988) ou génétiques pour des variations souvent importantes du taux protéique (42,2 à 93,1 g/l chez des brebis ; Delacroix-Buchet *et al,* 1994). Pour de faibles variations du taux protéique, comme celles observées dans des expériences zootechniques (au plus, 3 g/kg pour des vaches laitières ; Rémond, 1985), les tests d'aptitude fromagère doivent être capables de détecter de faibles variations du comportement rhéologique des laits. De tels tests ont été utilisés entre autres par Grandison *et al* (1984) et Hurtaud *et al* (1993) pour mettre en évidence des effets de facteurs nutritionnels sur la qualité technologique des laits. Malheureusement, ces tests d'aptitude fromagère ne sont pas parfaits, la meilleure approche de la réalité du point de vue de la technologie fromagère étant la réalisation de microfabrications de fromages, difficilement possible dans des expériences de type nutritionnel compte tenu du nombre important d'échantillons de lait et souvent du manque d'infrastructures.

Dans cette expérience, 2 tests d'aptitude fromagère : aptitude à la coagulation par la présure mesurée au Formagraph et rendement fromager par centrifugation ont été choisis *a priori* pour leur rapidité, leur simplicité, pour la possibilité qu'ils offrent de traiter plusieurs laits simultanément et ont été associés à une fabrication réelle de camemberts pour essayer de mettre en évidence les relations entre tests de laboratoire et fabrication réelle. Pour être sûr de la validité des résultats obtenus, une étude de répétabilité dans le temps et entre double a été réalisée, pour ces 3 méthodes sur des laits reconstitués à partir de poudre enrichie en caséinate de calcium afin d'obtenir 4 teneurs en matières azotées totales variant de 28 à 34 g/kg. La précision de ces tests, leur représentativité de la réalité fromagère ont fait l'objet d'études approfondies réalisées sur 2 types de laits : les laits reconstitués et les laits individuels de 6 vaches choisies de façon à avoir des teneurs en matières azotées totales de 28 à 36 g/kg, écrémés ou standardisés en rapport matières azotées totales sur matière grasse. L'impact de la matière grasse sur le comportement rhéologique des laits a aussi été étudié sur les laits individuels de vaches de façon à pouvoir s'affranchir éventuellement de l'étape «écrémage» un peu contraignante en temps et en matériel. Pour cela, l'apti-

tude à la coagulation au Formagraph de laits écrémés ou standardisés en rapport matières azotées totales / matière grasse a été comparée.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Préparation des laits expérimentaux

Le lait reconstitué

Quatre laits ont été reconstitués pour réaliser une gamme de variation de la teneur en matières azotées totales de 28, 30, 32 et 34 g/kg (tableau I). Ces laits ont été testés 4 fois sur une période de 14 sem (2 répétitions sur une durée de 2 sem consécutives, les 2 autres répétitions 7 sem plus tard).

Le lait de base, conservé à +4°C, était constitué par une poudre «medium heat» (Laiterie E Bridel, 35230 Bourgbarré, France) diluée à 28 g/kg de matières azotées totales et additionnée de 0,003 M de chlorure de calcium par litre. Les taux de matière azotée différents (30, 32 et 34 g/kg) ont été obtenus en ajoutant dans le lait de base des doses croissantes de caséinate de calcium, conservé à +4°C (Laiterie du Mont-Saint-Michel, 35460 Saint-Brice-en-Coglès, France). Six litres de lait étaient préparés à chaque répétition. Un litre était utilisé pour les analyses biochimiques et technologiques, le reste était placé à +4°C pour la fabrication de camembert le lendemain.

Le lait individuel de vaches standardisé en matière grasse

Six vaches Holstein ont été choisies en fonction de leur taux protéique (environ 28, 32 et 36 g/kg) (tableau I). Elles étaient en fin de lactation (15 kg

Tableau I. Principales caractéristiques de composition chimique et d'aptitude fromagère des laits reconstitués et des laits de vaches individuels standardisés en matière grasse.

	Laits reconstitués (n = 16)			*Laits individuels de vaches standardisés en MG (n = 24)*		
	Moyenne	*Min*	*Max*	*Moyenne*	*Min*	*Max*
Composition du lait						
Teneur en MAT (g/kg)	30,7	26,7	34,4	34,2	27,9	38,1
Teneur en protéines (g/kg)	29,2	25,3	32,9	32,4	26,2	36,3
Teneur en caséines (g/kg)	25,3	21,9	28,7	25,9	20,6	29,5
Teneur en calcium colloïdal (mg/kg)	791	610	1081	702	416	859
Taux butyreux (g/kg)	nd	nd	nd	31,1	25,4	34,6
Aptitude à la coagulation						
Temps de gélification (min)	8,9	7,2	11,5	8,3	6,2	11,7
Temps de raffermissement (min)	8,8	7,2	11,5	4,0	2,0	7,0
Fermeté (mm)	34,8	29,2	40,2	49,4	30,0	59,5
Rendements fromagers de laboratoire (%)						
En frais	16,5	13,4	20,1	30,6	16,2	57,6
En matière sèche	43,6	39,7	48,0	60,6	47,8	78,3
Rendements fromagers de fabrication (%)						
En frais	11,3	9,7	13,3	15,1	11,6	18,0
En matière sèche	42,6	38,1	45,0	56,5	48,0	61,3

de lait par jour) et étaient alimentées au pâturage.

Quatre séries de mesures ont été réalisées en 5 sem sur chaque lait préalablement standardisé en matière grasse. Huit à 10 litres de lait ont été prélevés par vache à la traite du matin. Ils ont été immédiatement écrémés avec une écrémeuse. La crème obtenue pour les 6 vaches a été mélangée et sa teneur en matière grasse a été dosée par la méthode acido-butyrométrique de Gerber (norme NF V 04-210). La crème recueillie a ensuite été réincorporée dans les laits de façon à obtenir un rapport matières azotées totales sur matière grasse égal à 1,1, adapté à la fabrication de camembert (Ducruet, communication personnelle).

Le lait reconstitué témoin

Selon un protocole commun à plusieurs équipes de recherche de l'INRA, un lait témoin a été utilisé au cours de tous les essais. Ce lait était reconstitué à partir de poudre de lait écrémé «low heat» (INRA, station de recherches de technologie et d'analyses laitières, 39800 Poligny, France). La poudre de lait était dissoute dans une solution de $CaCl_2$, 0,01 M à raison de 12 g de poudre pour 100 ml de solution. Ce lait était analysé en double à chaque centrifugation et à chaque utilisation du Formagraph.

Analyses chimiques, tests technologiques et fabrications fromagères

Analyses chimiques

Le lait a été analysé en vue de la détermination de la matière sèche (passage à l'étuve à 103°C pendant 7 h), des fractions azotées (matières azotées totales, protéines, caséines) (Rowland, 1938), du calcium total et soluble par spectrométrie d'absorption atomique (directement sur le lait ou sur l'ultrafiltrat obtenu par centrifugation du lait pendant 30 min, à la température de 35°C à 860 g sur membranes coniques d'ultrafiltration CENTRIFLO CF 25 - Grace SA, Amicon, 28230 Épernon, France ; méthode de Murthy et Rhea, 1967 modifiée par Brulé *et al,* 1974).

Tests technologiques

Les paramètres technologiques ont été mesurés sur les laits standardisés à pH 6,50 par ajout d'acide lactique 1 M et maintenus à 35°C dans un bain-marie pendant 1 h 30 min pour rétablir les équilibres salins. La coagulation a été réalisée par addition de présure (Granday, 21200 Beaune, France). Cette présure contenait 520 mg/l de chymosine et était diluée 50 fois pour les tests de coagulation (200 µl de présure diluée pour 10 ml de lait) et 10 fois pour la détermination du rendement fromager (250 µl de présure diluée pour 100 ml de lait) (Hurtaud *et al,* 1993). L'aptitude à la coagulation a été mesurée avec un Formagraph (Foss Electric, DK-3400 Hillerod, Danemark). Le temps de gélification (*r*), le temps de raffermissement (*k*20) et la fermeté 30 min après l'ajout de présure (*a*30) ont été mesurés en double à une température de 35°C. Le «rendement fromager» a été obtenu après centrifugation (2700 g, à 35°C pendant 10 min) d'un caillé obtenu après 1 h de coagulation à l'étuve à 35°C, par pesée du caillé et du lactosérum (Hurtaud *et al,* 1993). Ces mesures ont été réalisées en double sur tous les laits reconstitués, sur les laits de vache standardisés en matière grasse ou écrémés.

Fabrications fromagères

Deux camemberts ont été fabriqués par échantillon de lait. Les fabrications ont été conduites jusqu'au stade caillé démoulé pour les laits reconstitués et jusqu'à l'affinage pour les laits standardisés en matière grasse selon le protocole suivant :

– pesée de 2,5 kg de lait mis dans un bain-marie à 34°C;

– ensemencement à 1,5% (v/v) de ce lait avec des ferments lactiques lyophilisés obtenus par repiquage (mélanges – rotation 1 à 8, Sanofi Bio-Industries, 77260 La Ferté-sous-Jouarre, France) ;

– maturation jusqu'à ce que le pH du lait atteigne 6,29–6,30 ;

– emprésurage à 0,25% avec de la présure contenant 520 mg de chymosine active par litre diluée au 1/10e;

– décaillage au sabre 45 min plus tard pour obtenir des morceaux de caillé cubiques de 3 cm d'arête ;

– soutirage du lactosérum quand le pH du caillé atteint la valeur de 5,70 (le sérum représentant alors environ 30% du lait mis en œuvre) ;

– moulage à la louche dans des faisselles métalliques posées sur des tamis en plastique installés sur des claies, le tout dans une enceinte fermée placée dans une pièce à 25°C et 80% d'humidité ;

– retournement des faisselles 2 h après moulage ;

– égouttage pendant 18 h dans une pièce à 25°C et 80% d'humidité ;

– démoulage.

Une partie du lactosérum est récupérée lors du soutirage, l'autre partie est obtenue lors de l'égouttage des caillés placés sur des grilles au-dessus de bacs. Les poids de lactosérum et de caillé sont mesurés au démoulage pour calculer le rendement fromager en frais (poids de caillé/poids de lait). Les rendements fromagers en matière sèche (rdt MS) sont calculés à partir de la détermination des teneurs en matière sèche du lait (MSL) et du lactosérum (MSLA), des poids de lait (PL) et de lactosérum (PLA) :

$$\text{rdt MS} = (1 - ((\text{PLA} \times \text{MSLA}) / (\text{PL} \times \text{MSL}))) \times 100$$

Analyses statistiques

La répétabilité entre périodes des mesures sur les laits reconstitués a été déterminée par une analyse de variance prenant en compte le facteur «répétition» et les covariables «matières azotées totales» et «ratio caséines sur matières azotées totales». Ces covariables étaient apparues comme étant les plus significatives dans une première analyse de variance visant à chercher les causes de variation des mesures d'aptitude fromagère faites sur les laits reconstitués.

Les liaisons des différents paramètres de coagulation entre eux ou avec la composition chimique des laits reconstitués ou de vaches standardisés en matière grasse ont été établies par des régressions après correction de l'effet «période».

Toutes ces analyses statistiques ont été réalisées selon les procédures GLM et REG du logiciel SAS (SAS®, 1987).

RÉSULTATS-DISCUSSION

Répétabilité des mesures

Entre doubles

La répétabilité entre doubles a d'abord été étudiée pour tous les paramètres d'aptitude fromagère. Pour les paramètres d'aptitude à la coagulation mesurés au Formagraph, les coefficients de variation entre doubles sont respectivement de 3,3, 4,1 et 1,6% pour le temps de gélification, le temps de raffermissement et la fermeté. Pour les rendements de laboratoire et de fabrication, les coefficients de variation entre doubles sont respectivement de 2,2 et 3,3%. Les mesures entre doubles sont donc très répétables quel que soit le paramètre mesuré, le moins bon étant le temps de raffermissement comme l'avaient constaté Delacroix-Buchet *et al* (1994) sur du lait de brebis.

Dans le temps

Cette étude a été effectuée avec les laits reconstitués. L'objectif de cet essai était de réaliser des classes de lait (28 à 34 g/kg) constantes dans le temps. Cette constitution de classes ayant été faite par ajout de caséinate de calcium à un lait de départ contenant 28 g/kg de matières azotées totales, plusieurs paramètres biochimiques ont été modifiés, entre autres la teneur en matières azotées totales évidemment et le ratio caséines sur matières azotées totales. L'analyse de la répétabilité s'est donc faite en tenant compte des covariables les plus significatives suivant les paramètres : la teneur en matières azotées totales réelle des laits reconstitués pour le temps de gélification, le temps de raffermissement et la fermeté, le ratio caséines sur matières azotées totales pour les rendements en frais de laboratoire et de fabrication.

La variabilité dans le temps d'un lait témoin présent lors de tous les tests technologiques a été étudiée parallèlement. Ce lait témoin reconstitué à partir de poudre de lait «low heat» de l'INRA de Poligny est assez peu variable dans le temps : 1,5% pour le temps de gélification, 3,5% pour le temps de raffermissement, 0,7% pour la fermeté et 7,2% pour le rendement fromager frais par centrifugation.

En revanche, pour les laits reconstitués, la variabilité entre répétitions dans le temps des rendements fromagers et des paramètres d'aptitude à la coagulation est relativement élevée (coefficients de variation de 5 à 17%) (tableau II). Elle est moins forte que la variabilité associée aux covariables «matières azotées totales» et «ratio caséines/matières azotées totales» (respectivement 6 fois et 2,2 fois) sauf pour la fermeté (variabilité entre répétitions 1,1 fois plus élevée que la variabilité associée à la covariable «matières azotées totales»).

L'origine de la variabilité entre répétitions dans le temps des paramètres d'aptitude à la coagulation et des rendements fromagers est assez floue. Cette variabilité aurait pu être due aux conditions de manipulation (changement de température ambiante et d'hygrométrie) (Vertès et Hoden, 1989) mais celles-ci n'ont pas eu d'effet sur le lait témoin reconstitué. Une autre cause pourrait être la reconstitution des échantillons ; en fait, s'il y a eu problème, il a déjà été pris en compte par les covariables lors de l'analyse de variance.

Les mesures de rendement ont eu une plus faible variabilité ; en effet, elles étaient réalisées dans un milieu dont les conditions étaient contrôlées : pour le rendement de laboratoire, la coagulation du lait s'est faite en étuve thermostatée à 35°C, la centrifugation à la même température et pour le rendement de fabrication, la fabrication de fromages s'est faite en atmosphère contrôlée (température et humidité). Le rendement fromager de laboratoire a été plus variable que le rendement fromager de fabrication car l'égouttage s'est fait par centrifugation et cette opération d'ordre mécanique a pu varier selon les répétitions (durée de freinage, vitesse réelle...).

En conséquence, compte tenu de la variabilité entre jours de mesure, il serait préférable, dans un essai zootechnique, de comparer tous les traitements expérimentaux au même moment.

Tableau II. Variabilité dans le temps des paramètres technologiques des laits reconstitués.

					Variabilité (écart type)		
	Moyenne	*a*[a]	*b*[a]	r^2	*cov*[b]	*rep*[c]	*résidu*[d]
Temps de gélification (min)[e]	8,9	0,41	–3,06	0,61	3,37	1,50	1,05
Temps de raffermissement (min)[e]	8,7	–0,25	16,88	0,55	2,09	0,94	0,89
Fermeté (mm)[e]	34,8	0,52	17,82	0,73	4,26	4,80	2,08
Rendement en frais (%)							
de laboratoire[f]	16,5	1,33	–93,5	0,84	6,10	0,94	0,93
de fabrication[f]	11,3	0,65	–42,6	0,70	3,00	0,56	0,71

[a] Relation linéaire de type $y = ax + b$, y étant un paramètre d'aptitude à la coagulation ou un rendement fromager, x étant la covariable prise en compte dans le modèle ; [b] variabilité liée à la covariable ; [c] variabilité liée à la répétition ; [d] variabilité résiduelle ; [e] covariable «matières azotées totales» ; [f] covariable «rapport caséines/matières azotées totales».

Liaisons entre les différents tests technologiques de laboratoire et l'aptitude fromagère

Étant donnée la variabilité entre jours de mesure, nous avons étudié la relation entre 2 sortes de tests de laboratoire (aptitude à la coagulation mesurée au Formagraph et rendement fromager de laboratoire) en les corrigeant de l'effet «période de mesure» (SAS®, 1987).

Relations entre rendement de laboratoire et de fabrication de camemberts

Les rendements fromagers de laboratoire et les rendements fromagers de fabrication de camemberts en frais et en matière sèche mesurés avec les laits reconstitués ou avec les laits individuels de vaches standardisés en matière grasse sont bien corrélés (respectivement r^2 de 0,70 à 0,90) (figs 1 et 2). Les rendements fromagers en frais de laboratoire sont nettement plus élevés que les rendements fromagers en frais de fabrication de camemberts. Ceci pourrait être dû à un meilleur égouttage du caillé de fabrication. La centrifugation (2 700 *g* pendant 10 min) ne permet pas une évacuation aussi complète du lactosérum que l'égouttage naturel par gravité (une douzaine d'heures) comme le confirme la bonne similitude des rendements en matière sèche. En particulier, le gel égoutté par centrifugation n'est pas acidifié et est donc moins perméable que le gel de fromagerie, dont le pH descend régulièrement au cours de la fabrication (Weber, 1987).

Liaison entre rendements et tests d'aptitude à la coagulation (Formagraph)

La plupart des liaisons entre rendement fromagers et tests d'aptitude à la coagulation sont faibles (tableau III). Le temps de gélification et les rendements fromagers ne sont pas liés pour les laits individuels de vaches standardisés en matière grasse ($r^2 < 0,01$) (tableau III). Ce résultat est logique dans la

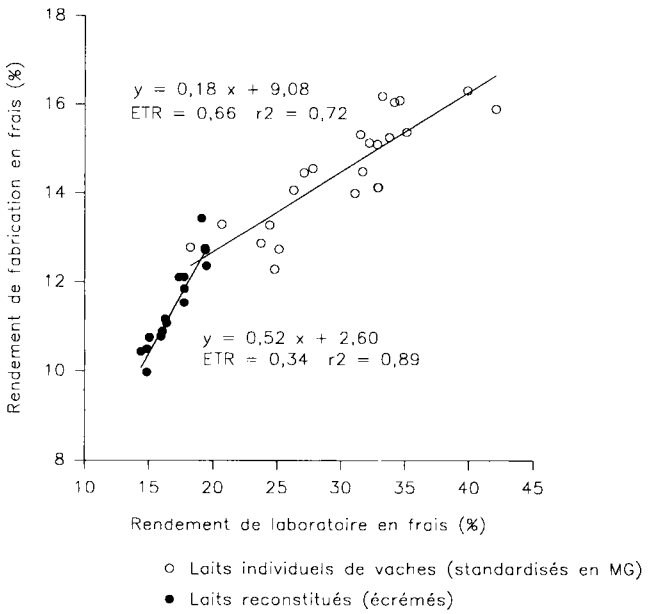

Fig 1. Relation entre les rendements fromagers frais de laboratoire et de fabrication pour les laits reconstitués et les laits individuels de vache standardisés en matière grasse (valeurs ajustées de l'effet «période»).

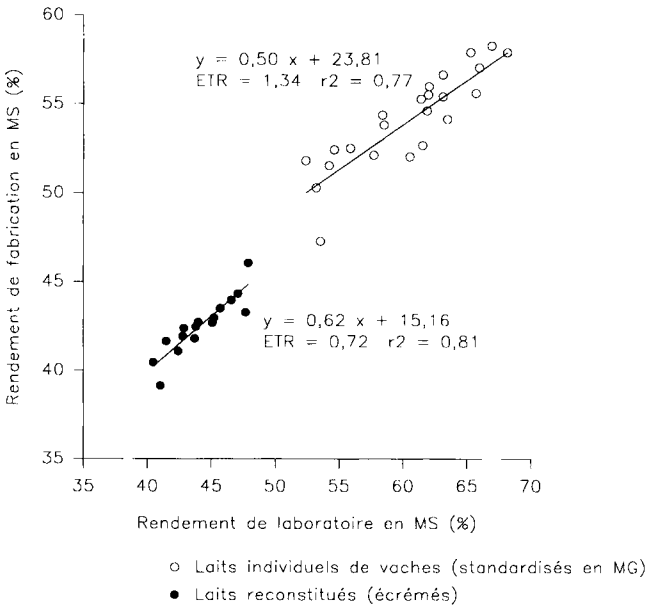

Fig 2. Relation entre les rendements fromagers en matière sèche de laboratoire et de fabrication pour les laits reconstitués et les laits individuels de vache standardisés en matière grasse (valeurs ajustées de l'effet «période»).

mesure où le temps de gélification correspond à une phase de latence avant la modification de l'état physique du lait alors que le rendement est surtout influencé par le phénomène de gélification proprement dit. Avec les laits reconstitués, une meilleure liaison existe entre le temps de gélification et les rendements fromagers (tableau III). La dif-

Tableau III. Liaisons entre les rendements fromagers et les paramètres de coagulation au Formagraph pour les laits reconstitués et les laits individuels de vache standardisés en matière grasse (valeurs ajustées de l'effet «période»).

		Laits reconstitués (n = 16)				*Laits individuels de vache (n = 24)*			
		a[a]	*b*[a]	r^2	*ETR*	*a*[a]	*b*[a]	r^2	*ETR*
Rendements frais (%)									
de laboratoire	r[b]	0,87	8,70	0,42	1,34	0,56	25,65	0,01	5,89
	k20[c]	–1,05	27,29	0,33	1,44	–2,13	38,74	0,32	4,91
	a30[d]	0,40	3,72	0,25	1,53	0,47	7,20	0,35	4,78
de fabrication	r[b]	0,53	6,52	0,48	0,72	–0,04	14,88	0,002	1,25
	k20[c]	–0,46	16,07	0,20	0,89	–0,49	16,45	0,37	0,99
	a30[d]	0,23	3,93	0,25	0,86	0,11	9,22	0,41	0,96

[a] Relation linéaire de type $y = ax + b$, y étant le rendement fromager de laboratoire ou de fabrication et x étant un paramètre d'aptitude à la coagulation ; [b] temps de gélification (min) ; [c] temps de raffermissement (min) ; [d] fermeté (mm).

férence entre les 2 types de laits est liée à des paramètres autres que la teneur en caséines qui influencent le temps de gélification, comme par exemple les équilibres salins (Hurtaud *et al,* 1991 ; Remeuf *et al,* 1991), les caractéristiques micellaires (Remeuf *et al,* 1991).

Le temps de raffermissement est lié négativement aux rendements fromagers (fig 3) (tableau III). Un temps de raffermissement plus court correspondrait à de meilleurs rendements fromagers. Ce résultat est similaire à celui de Ng-Kwai-Hang *et al* (1989) et de Colin *et al* (1992).

La fermeté du caillé et les rendements fromagers sont corrélés positivement : plus un caillé est ferme, meilleur est le rendement fromager (fig 4) (tableau III). En effet, la fermeté est fonction de la densité du réseau caséinique et donc de la structure du caillé. Un caillé bien structuré perdra moins de matière utile (protéines, matières grasses) lors du décaillage et de l'égouttage. Ce résultat est en accord avec ceux d'Aleandri *et al* (1989) qui ont mis en évidence une relation non linéaire entre la fermeté des caillés et les rendements fromagers.

En conclusion, le rendement fromager de laboratoire réalisé avec de petites quantités de lait (30 ml) et par centrifugation est un bon indicateur du rendement fromager réel frais (stade caillé non affiné) quel que soit le type de lait. Ce test est rapide, facile à réaliser et nécessite peu de matériel (centrifugeuse et étuve).

Liaisons entre la teneur en caséines du lait et les paramètres d'aptitude fromagère

La relation entre la teneur en caséines et le temps de gélification dépend du type de lait. Avec les laits reconstitués, le temps de gélification et la teneur en caséines des laits sont assez bien corrélés (r^2 = 0,46), une augmentation de la teneur en caséines de

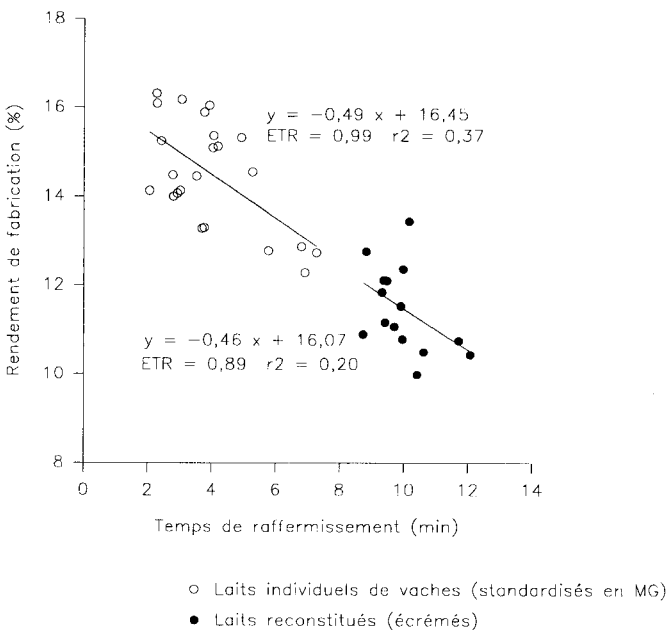

Fig 3. Relation entre les rendements fromagers de fabrication et le temps de raffermissement mesuré au Formagraph pour les laits reconstitués et les laits individuels de vaches standardisés en matière grasse (valeurs ajustées de l'effet «période»).

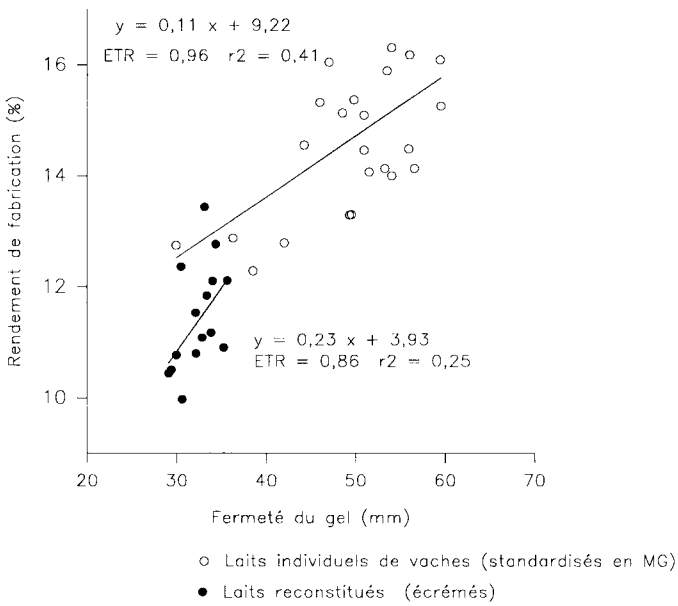

Fig 4. Relation entre les rendements fromagers de fabrication et la fermeté du caillé mesurée au Formagraph pour les laits reconstitués et les laits individuels de vache standardisés en matière grasse (valeurs ajustées de l'effet «période»).

1 g/kg ayant entraîné un allongement du temps de gélification de 0,39 min. En revanche, avec les laits individuels de vache standardisés en matière grasse, aucune corrélation entre le temps de gélification et la teneur en caséines des laits n'a été mise en évidence (tableau IV). Des résultats similaires ont été obtenus par Okigbo *et al* (1985) et Remeuf *et al* (1989). Le temps de gélification dépend d'autres facteurs comme par exemple certaines fractions caséiniques (caséine α_s pour Laurent *et al,* 1992) ou la teneur en minéraux ou les caractéristiques micellaires déjà cités précédemment.

Le temps de raffermissement et la teneur en caséines sont corrélés négativement quel que soit le type de lait. Le temps de raffermissement a diminué de 0,24 min pour les laits reconstitués et de 0,47 min par g de caséine supplémentaire par kg de lait pour les laits individuels de vaches standardisés en matière grasse (tableau IV). Cette liaison entre temps de raffermissement et teneur en caséines est conforme aux résultats de la bibliographie (Schaar, 1984 ; Okigbo *et al,* 1985 ; Marziali et Ng-Kwai-Hang, 1986 ; Politis et Ng-Kwai-Hang, 1988 ; Remeuf *et al,* 1989).

L'augmentation de la teneur en caséines du lait a eu un effet positif sur la fermeté du caillé (tableau IV). Il s'agit d'un résultat classique de la bibliographie (entre autres, Politis et Ng-Kwai-Hang, 1988; Marziali et Ng-Kwai-Hang, 1986; Aleandri *et al,* 1989; Remeuf *et al,* 1989; Remeuf *et al,* 1991). Selon Schultz et Ashworth (1974), une élévation de 4 à 5% de la teneur en protéines du lait sans addition de $CaCl_2$ augmenterait la tension du caillé de 25 à 30%. Dans notre essai, cette ampleur de réponse de la fermeté est presque atteinte : une élévation de 6% de la teneur en caséines du lait en moyenne augmente la fermeté du caillé de 24% à peu près.

Une liaison positive entre la teneur en caséines du lait et les rendements fromagers a été mise en évidence (tableau IV). Ceci est en accord avec de nombreux résultats de la bibliographie dont Remeuf *et al* (1991) et Colin *et al* (1992). Outre un effet

matière, la teneur en caséines modifierait le rendement fromager en frais en agissant sur la vitesse de synérèse. Colin *et al* (1992) suggèrent que les laits à faible taux protéique ont tendance à s'égoutter plus rapidement, ce qui entraînerait des valeurs plus faibles des rendements fromagers bruts (d'où l'intérêt de travailler sur les rendements matière sèche, ou les rendements corrigés à extrait sec constant pour mettre en évidence les variations réelles des taux de récupération).

Importance de la matière grasse

Selon un protocole commun à plusieurs équipes de recherche, les tests d'aptitude à la coagulation avec le Formagraph sont normalement effectués avec du lait écrémé, afin de favoriser un échantillonnage homogène, éviter une remontée de crème à la surface du lait qui pourrait perturber les déplacements du pendule au cours de la coagulation et faciliter le nettoyage des pendules.

L'ajout de matière grasse dans le lait écrémé a provoqué une dilution des protéines (tableau V). Le taux mesuré sur le lait standardisé en matière grasse (34,0 g/kg) correspond à celui attendu (33,8 g/kg) car la crème contient 32% de matière grasse et aurait en moyenne d'après Alais (1984) 5% d'extrait sec non dégraissé.

Cet effet de dilution de la teneur en protéines associé à l'ajout de matière grasse s'est traduit par une légère diminution du temps de gélification mais n'a pas eu d'effet significatif sur les autres paramètres d'aptitude à la coagulation. L'absence d'effet sur la fermeté est en désaccord avec les résultats de Storry *et al* (1983), Grandison *et al* (1984). La variabilité dans le temps des paramètres de coagulation a été plus élevée

Tableau IV. Relations entre les paramètres d'aptitude fromagère et la teneur en caséines du lait (valeurs ajustées de l'effet «période»).

	Teneur en caséines (g/kg)							
	Laits reconstitués (n = 16)				*Laits individuels de vache (n = 24)*			
	a[a]	*b*[a]	r^2	*ETR*	*a*[a]	*b*[a]	r^2	*ETR*
Rendements de laboratoire (%)								
Rendement en frais	0,74	–1,69	0,92	0,50	1,92	–19,46	0,71	3,17
Rendement en MS	0,92	20,96	0,81	1,06	1,74	15,29	0,88	1,64
Rendement de fabrication (%)								
Rendement en frais	0,39	1,67	0,82	0,42	0,44	3,16	0,83	0,51
Rendement en MS	0,54	28,93	0,59	1,07	0,88	31,43	0,68	1,53
Temps de gélification (min)	0,39	–0,43	0,46	0,96	–0,06	9,77	0,01	1,23
Temps de raffermissement (min)	–0,24	16,09	0,33	0,80	–0,47	16,09	0,61	0,98
Fermeté (mm)	0,49	20,16	0,27	1,86	2,29	–9,87	0,63	4,59

[a] Relation linéaire de type $y = ax + b$, y étant le rendement fromager ou un paramètre d'aptitude à la coagulation et x étant la teneur en caséines.

Tableau V. Comparaison des caractéristiques de coagulation entre le lait écrémé et le même lait standardisé en matières grasses.

	Lait écrémé n = *24*		*Lait standardisé en MG* [a] n = *24*		*Relation entre laits standardisés et écrémés*		
	Moyenne	*ETR* [b]	*Moyenne*	*ETR* [b]	*a* [c]	*b* [c]	r^2
Matières azotées totales (g/kg)	34,9	0,84	34,0	0,90	0,87	3,59	0,99
Temps de gélification (min)	8,6	1,12	8,0	0,83	0,41	4,50	0,29
Temps de raffermissement (min)	4,0	1,03	4,0	0,25	0,84	0,68	0,75
Fermeté (mm)	49,3	5,01	49,1	3,70	0,82	8,77	0,60

[a] Lait standardisé en matière grasse avec un rapport MAT/TB = 1,1; [b] écart type résiduel après analyse de variance faisant intervenir l'effet «vache» et l'effet «répétition» ; [c] relation linéaire de type $y = ax + b$, y étant le lait standardisé en matière grasse et x le même lait mais écrémé.

avec le lait écrémé qu'avec le lait standardisé en matière grasse (tableau V).

La corrélation entre les mesures sur lait écrémé et celles sur lait standardisé en matière grasse est bonne pour le temps de raffermissement et la fermeté (respectivement $r^2 = 0,75$ et 0,60) mais médiocre pour le temps de gélification ($r^2 = 0,29$). Ce résultat est difficile à expliquer.

En conclusion, la matière grasse ne semble pas avoir d'effet sur l'aptitude à la coagulation du lait : le comportement du même lait standardisé en matière grasse ou écrémé est sensiblement identique. Cependant, comme les laits étaient standardisés en matière grasse, ils n'ont pas eu forcément le même comportement que des laits originels. Un essai complémentaire serait donc nécessaire pour étudier le comportement à la coagulation de laits à même teneur en caséines mais à teneurs en matière grasse différentes.

CONCLUSION

Parmi les tests d'aptitude fromagère de laboratoire étudiés, le rendement fromager de laboratoire semble le meilleur prédicteur du rendement fromager de fabrication de camembert malgré la variabilité entre répétitions. Pour s'affranchir de ce problème de variabilité, il faudrait faire une étude complémentaire pour utiliser dans les analyses statistiques le lait de référence de l'INRA et pouvoir corriger les résultats expérimentaux de l'effet «période». L'autre solution pourrait être d'adopter un schéma expérimental approprié, comme par exemple le carré latin dans lequel chaque animal est son propre témoin et dans lequel il est possible d'éliminer l'effet «période».

L'intérêt de beaucoup de manipulations biochimiques ou technologiques réalisées sur les laits est la prédiction de la variation du rendement fromager de fabrication consécutif à une modification de la composition du lait. D'après le tableau VI, il semblerait que, s'il n'est pas possible d'ajuster les résultats de l'effet «période», le rendement fromager de laboratoire prédise de façon très correcte le rendement fromager de fabrication de camembert ($r^2 = 0,75$). En revanche, avec ajustement de l'effet «période», le meilleur prédicteur semble être la teneur en caséines ($r^2 = 0,84$) (par

Tableau VI. Liaisons entre le rendement fromager de fabrication en frais, la teneur en caséines, le rendement fromager de laboratoire en frais et les paramètres d'aptitude à la coagulation pour les laits individuels de vaches standardisés en matière grasse (avec ou sans ajustement de l'effet «période»).

Paramètres de régression	a_1	a_2	a_3	b	r^2	*ETR*
Sans ajustement de l'effet période [a]						
Rendement frais de fabrication						
Teneur en caséines (g/kg)	0,40	/	/	4,07	0,40	1,25
Rendement frais de laboratoire (%)	0,12	/	/	10,86	0,75	0,82
Paramètres du Formagraph	0,44	–0,82	–0,03	15,36	0,31	1,43
Avec ajustement de l'effet période [a]						
Rendement frais de fabrication						
Teneur en caséines (g/kg)	0,44	/	/	2,95	0,84	0,48
Rendement frais de laboratoire (%)	0,18	/	/	9,08	0,72	0,66
Paramètres du Formagraph	0,42	–0,09	0,12	5,24	0,54	0,90

[a] Relation linéaire de type $y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + b$, y étant le rendement fromager de fabrication en frais et x_1 étant la teneur en caséines ou le rendement frais de laboratoire ou le temps de gélification, x_2 étant le temps de raffermissement et x_3 la fermeté.

exemple avec un schéma expérimental en carré latin).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient P Ducruet, ingénieur à l'INRA, laboratoire de technologie laitière de Rennes, pour son aide lors de la fabrication des camemberts et pour ses précieux conseils.

RÉFÉRENCES

AFNOR (1971) Lait. Détermination de la teneur en matière grasse. Méthode acidobutyrométrique. Norme NF V04-210

Alais C (1984) *Science du lait.* SEPAIC, Paris

Aleandri R, Schneider JC, Buttazoni LG (1989) Evaluation of milk for cheese production based on milk characteristics and formagraph measures. *J Dairy Sci* 72, 1967-1975

Brûlé G, Maubois JL, Fauquant J (1974) Étude de la teneur en éléments minéraux des produits obtenus lors de l'ultrafiltration du lait sur membrane. *Lait* 539-540, 600-615

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

Delacroix-Buchet A, Barillet F, Lagriffoul G (1994) Caractérisation de l'aptitude fromagère des laits des brebis Lacaune à l'aide d'un Formagraph. *Lait* 74, 173-186

Grandison AS, Ford GD, Owen AJ, Millard D (1984) Chemical composition and coagulating properties of renneted Friesian milk during the transition from winter rations to spring grazing. *J Dairy Res* 51, 69-78

Grandison AS, Ford GD (1986) Effects of variations in somatic cell count on the rennet coagulation properties of milk and on the yield, composition and quality of Cheddar cheese. *J Dairy Res* 53, 645-655

Hurtaud C, Vérité R, Rulquin H (1991) Détermination de l'aptitude des laits à la transformation fromagère : intérêt et limites des tests de laboratoire. *In : Journées sur la qualité des laits à la production et aptitude fromagère,* Colloque INRA-ENSA, Rennes, 23-24 janvier

Hurtaud C, Rulquin H, Vérité R (1993) Effect of infused volatile fatty acids and caseinate on milk composition and coagulation in dairy cows. *J Dairy Sci* 76, 3011-3020

Laurent F, Vignon B, Coomans D, Wilkinson J, Bonnel A (1992) Influence of bovine somatotropin on the composition and manufacturing properties of milk. *J Dairy Sci* 75, 2226-2234

Marziali AS, Ng-Kwai-Hang KF (1986) Effects of milk composition and genetic polymorphism on cheese composition. *J Dairy Sci* 69, 2533-2542

Murthy GK, Rhea U (1967) Determination of major cations in milk by atomic absorption spectrophotometry. *J Dairy Sci* 50, 313-317

Ng-Kwai-Hang KF, Politis I, Cue RI, Marziali AS (1989) Correlations between coagulation properties of milk and cheese yielding capacity and cheese composition. *Can Inst Food Sci Technol J* 22, 291-294

Okigbo LM, Richardson GH, Brown RJ, Ernstrom CA (1985) Variation in coagulation properties of milk from individual cows. *J Dairy Sci* 68, 822-828

Politis I, Ng-Kwai-Hang KF (1988) Effects of somatic cell counts and milk composition on the coagulating properties of milk. *J Dairy Sci* 71, 1740-1746

Remeuf F, Lenoir J, Duby C (1989) Étude des relations entre les caractéristiques physicochimiques des laits de chèvre et leur aptitude à la coagulation par la présure. *Lait* 69, 499-518

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

Rémond B (1985) Influence de l'alimentation sur la composition du lait de vache. 2. Taux protéique : facteurs généraux. *Bull Tech CRZV Theix, INRA* 62, 53-67

Rowland SJ (1938) The determination of the nitrogen distribution in milk. *J Dairy Res* 9, 42-46

SAS® User's Guide: Statistics, Version 6 Edition (1987). SAS Inst, INC, Cary, NC

Schaar J (1984) Effects of κ-casein genetic variants and lactation number on the renneting properties of individual milks. *J Dairy Res* 51, 397-406

Schultz DL, Ashworth US (1974) Effect of pH, calcium, and heat treatment on curd tension of casein fraction fortified skim milk. *J Dairy Sci* 57, 992-997

Storry JE, Grandison AS, Millard D, Owen AJ, Ford GD (1983) Chemical composition and coagulating properties of renneted milks from different breeds and species of ruminant. *J Dairy Res* 50, 215-229

Vertès C, Hoden A (1989) Qualité fromagère des laits de vache en fonction des régimes à base d'herbe. *Lait* 69, 197-209

Weber F (1987) Chapitre 2 : L'égouttage du coagulum. *In : Le Fromage* (A Eck, ed), Technique et Documentation, Paris, 22-36