

Influence des variants AA, EE et FF de la caséine α_{s1} caprine sur le rendement fromager et les caractéristiques sensorielles de fromages traditionnels : premières observations

L Vassal¹, A Delacroix-Buchet¹, J Bouillon²

¹ Station de recherches laitières, INRA, 78352 Jouy-en-Josas Cedex;

² Station caprine de Moissac, 48110 Sainte-Croix-Vallée-Française, France

(Reçu le 23 août 1993; accepté le 24 décembre 1993)

Résumé — Le polymorphisme de la caséine α_{s1} caprine est associé à différents niveaux de synthèse protéique: les allèles A, B et C sont associés à un taux de caséine α_{s1} «fort» (3,6 g/l), l'allèle E à un taux «moyen» (1,6 g/l) et les allèles D et F à un taux «faible» (0,6 g/l). Ce travail avait pour but de déterminer l'influence de ce polymorphisme sur le rendement fromager potentiel du lait et sur les caractères des fromages. Quatre-vingt dix-neuf lots de fromage ont été fabriqués en comparant le lait de 3 lots de chèvres homozygotes α_{s1} -Cn^{AA} (lait A), α_{s1} -Cn^{EE} (lait E) et α_{s1} -Cn^{FF} (lait F) du même troupeau. Le lait A était plus riche en protéines, en caséine et en graisse que le lait E, lui-même plus riche que le lait F. Le rapport caséine/protéines du lait A était plus élevé que celui du lait F, celui du lait E étant intermédiaire. Le taux butyreux du lait A était également plus élevé que celui des 2 autres, mais cette augmentation était proportionnellement moins forte que celle du taux protéique. La différence moyenne entre les rendements en fromages A et E atteignait +8,2% et la différence entre A et F +17,7%. Les fromages faits avec le lait A étaient un peu moins gras, plus fermes et avaient, en milieu et fin de lactation, une saveur caractéristique de fromage de chèvre un peu moins intense que les 2 autres.

fromage de chèvre / polymorphisme génétique / caséine α_{s1} / rendement / caractères sensoriels

Summary — Effect of AA, EE and FF genetic variants of caprine α_{s1} -casein on cheese yielding capacity of milk and sensory properties of traditional cheese. The caprine α_{s1} -casein polymorphism is associated with different levels of protein synthesis. Some alleles (A, B, C) are associated with a 'high' level of α_{s1} -casein (around 3.6 g/l), the allele E is associated with a 'medium' level (1.6 g/l) and the D and F alleles with a 'low' level (0.6 g/l). The aim of this work was to determine the effect of this polymorphism on milk composition and cheese yielding capacity and on the characteristics of ripened traditional cheeses. Ninety-nine batches of goat's soft cheese were made comparing the milk of α_{s1} -Cn^{AA}, α_{s1} -Cn^{EE} and α_{s1} -Cn^{FF} goats of the same herd (milks A, E, F respectively). On an annual average, the milk A had higher protein, casein and fat content than the milk E, itself richer than the milk F. The casein/protein ratio of the milk A was also higher than the

milk F one during the whole lactation period but the difference was lower in spring. The milk E was intermediate. The fat content of the milk A was also increased but less than the protein content. Due to the higher protein and fat contents, the higher casein/protein ratio and the better milk protein retention in curd, the cheese yield was proportionally increased: the mean differences between A and E and between A and F fresh cheese yields reached 8.2 and 17.7% respectively. Cheeses made from milk A were less fat, firmer and had a less intense characteristic 'goat flavour' than the E and F cheeses, the last difference being more marked in summer and autumn.

goat's milk cheese / genetic polymorphism / α_{s1} -casein / cheese yield / sensory properties

INTRODUCTION

Le polymorphisme génétique de la caséine α_{s1} caprine est déterminé par un minimum de 7 allèles correspondant à des taux de synthèse de cette protéine très différents : les allèles A, B et C s'accompagnent d'un taux de caséine α_{s1} «fort» (environ 3,6 g/l), l'allèle E correspond à un taux «moyen» (1,6 g/l), les allèles D et F à un taux «faible» (0,6 g/l), alors que l'allèle O est «nul» (pas de caséine α_{s1} chez l'homozygote) (Grosclaude *et al*, 1987 ; Mahé et Grosclaude, 1989). Ces différences se retrouvent au niveau du taux de caséine totale et du taux protéique (TP) actuellement pris comme base du paiement du lait selon sa composition. Les allèles «moyen» et «faible» étaient les plus fréquents dans les races Alpine et Saanen au milieu des années 80 (Grosclaude *et al*, 1993), ce qui peut expliquer en partie la faiblesse des taux protéiques des laits de ramassage au cours de cette période (Le Jaouen, 1987).

L'influence du TP sur le rendement fromager a été mise en évidence de longue date pour le fromage de chèvre (Ricordeau et Mocquot, 1967 ; Portmann *et al*, 1968). Cependant, le TP n'est pas le seul facteur du rendement ; celui-ci est aussi largement influencé par le taux butyreux (TB), surtout pour les fromages à pâte molle (Maubois *et al*, 1970). De plus, le rapport TB/TP du lait de fabrication influe largement sur la texture des fromages affinés. Le lait de fabri-

cation des fromages de chèvre n'est pas standardisé et la modification de l'un de ces paramètres isolément peut donc influencer la qualité sensorielle des produits. D'autre part, l'influence de la composition fine de la caséine et en particulier l'influence de la proportion des différentes caséines sur le rendement fromager et la texture des fromages affinés a été également démontrée pour le lait de vache (Nuyts-Petit, 1991) comme pour le lait de chèvre (Ciafarone et Addeo, 1984).

Ce travail a donc été entrepris pour mesurer l'influence des variants «fort», «moyen» et «faible» (respectivement A, E et F) de la caséine α_{s1} sur le rendement fromager et sur la composition et les caractéristiques sensorielles du fromage de chèvre de type Pélardon des Cévennes en comparant les laits crus de petit mélange provenant de chèvres homozygotes α_{s1} -Cn^{AA} (lait A), α_{s1} -Cn^{EE} (lait E) et α_{s1} -Cn^{FF} (lait F) du troupeau de la station caprine de Moissac.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Fabrication des fromages

La comparaison des 3 types de lait a été effectuée 9 fois en 1989 en 3 périodes (avril, mai et août) avec 3 répétitions par période et 24 fois en 1990, d'avril à octobre, avec généralement un espace-temps hebdomadaire entre chaque fabrication.

Chaque lot de fromage était fabriqué à partir d'un poids connu de 15 kg de lait environ selon la technique généralement utilisée par les producteurs fermiers de la région (coagulation longue, moulage en faisselles du caillé fortement acidifié par un levain de lactocoques ($\text{pH} \leq 4,50$), salage au sel sec d'une face après 6 h d'égouttage et un premier retournement du caillé ; la seconde face était salée après un égouttage supplémentaire de 16 h suivi d'un deuxième retournement 2 h avant le démoulage ; la quantité de lactosérum recueilli au premier retournement représentait en moyenne 73% du poids de caillé non égoutté et 93% de la quantité totale de lactosérum égoutté jusqu'au démoulage (tableau I). Le lait de la traite du matin était immédiatement transporté à la coopérative voisine, où il était ensémençé avec les levains lactiques utilisés pour la fabrication journalière. En 1989, les fromages étaient affinés à partir du troisième jour suivant la fabrication à la station INRA de Jouy à 12°C et 72% d'humidité relative (HR) jusqu'à l'emballage

effectué à 15 j. En 1990, les fromages étaient affinés à la coopérative dans les mêmes conditions que la production habituelle jusqu'à l'emballage (12 ± 3 j) dans des locaux conditionnés en température mais non en humidité. Ils étaient ensuite affinés à Jouy jusqu'à 30 j à 8°C et 85% d'HR comme en 1989.

Analyses

La masse volumique du lait était déterminée au moyen d'un thermolactodensimètre et la teneur en matière grasse (TB) du lait et du lactosérum était obtenue par la méthode Gerber (norme FIL 105:1981) en g/l puis transformée en g/kg.

La teneur en azote du lait (NT), du lactosérum et des différentes fractions azotées était déterminée par la méthode Kjeldahl à l'aide d'une chaîne Gerhardt (appareil Vapodest 6), Bonn,

Tableau I. Procédé de fabrication des fromages. *Cheesemaking process.*

Coagulation 15 kg de lait cru (traite du matin, 23°C) + 300 ml de levains lactiques mixtes mésophiles + 1,5 ml de présure à 700 mg de chymosine/l	J0, H0
Moulage en faisselles, égouttage (pH moulage $\leq 4,5$; 20–25°C)	J + 1, H + 24
Retournement, salage 1 ^{re} face (93% de lactosérum écoulé ¹)	J + 1, H + 30
Retournement, salage 2 ^e face	J + 2, H + 46
Démoulage → fromage frais	J + 2, H + 48
Affinage (12°C, 72% HR)	
Emballage «cellophane» (poids des fromages : 60 à 80 g pièce)	J + 15
Affinage (8°C, 85% HR)	
Fromage affiné	J + 30

¹ Par rapport au poids total de lactosérum écoulé jusqu'au démoulage.

Allemagne. Les fractions «azote non caséine» (NCN) et «azote non protéique» (NPN) étaient préparées selon Rowland (1938). Les teneurs en protéines vraies (TP) et en caséine (TC) du lait étaient calculées en multipliant les teneurs en azote correspondantes (respectivement NT-NPN et NT-NCN) par 6,38, sans tenir compte du volume des précipités.

Le rendement fromager brut (RDB) était exprimé par le poids de fromage obtenu à partir de 100 kg de lait après salage puis à l'emballage des fromages. Le rendement corrigé en fonction de la teneur en matière sèche (ES) des fromages frais et du lactosérum de fin d'égouttage était calculé par la formule de Maubois et Mocquot (1967).

La teneur des échantillons en ES était déterminée par dessiccation à l'étuve à 102°C pendant 16 h pour le fromage et pendant 5 h pour le lactosérum sur des prises d'essai d'environ 3 g.

La teneur des fromages en matière grasse était déterminée par la méthode de Heiss modifiée par Pien (1976).

La fermeté des fromages était mesurée par pénétrométrie selon la technique décrite par ailleurs (Vassal *et al*, 1986). Le travail nécessaire pour enfoncer une lame de 2 cm de largeur et 0,5 mm d'épaisseur à une profondeur de 5 mm était mesuré dans la couche externe du fromage à 3 mm de la surface et dans la partie centrale à égale distance des 2 faces. Trois mesures étaient effectuées sous chaque face et 3 mesures dans la partie centrale de chaque échantillon.

Les différences sensorielles éventuelles entre les fromages fabriqués le même jour étaient recherchées en 1989 par des essais triangulaires effectués par un jury de 12 membres selon la norme AFNOR NF V09-013 (1976) sur les échantillons comparés 2 à 2 après 30 j d'affinage. En 1990, les caractères sensoriels des fromages étaient analysés, également à 30 j, par la notation sur une échelle de 0 à 5 (0 = caractère non reconnu, 5 = caractère très intense) de descripteurs de texture et de flaveur définis à partir des observations effectuées par le jury en 1989. Les sessions de dégustation avaient lieu dans un local aménagé selon la norme AFNOR NF V09-105 (1972). Les 3 échantillons fabriqués le même jour, codés avec un numéro à 3 chiffres, étaient notés successivement. Les dégustateurs pouvaient se rincer la bouche avec du pain de mie et de l'eau entre chaque échantillon.

L'analyse statistique des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel STAT-ITCF (ITCF, Boigneville, France).

RÉSULTATS

Composition du lait de fabrication

Le tableau II donne les moyennes annuelles des variables de composition du lait de fabrication.

Le TP du lait A (31,1 en 1989 et 31,9 en 1990) était significativement plus élevé que celui du lait F (respectivement 26,4 et 27,1). Celui du lait E (27,5 en 1989 et 28,6 en 1990) était intermédiaire et différait de chacun des 2 autres de façon significative. Le TP apparaît fortement lié au génotype qui expliquait 83% de la variance de cette variable en 1989 et 44% en 1990. Le TP était plus faible en été qu'au début et surtout à la fin de la lactation pour tous les laits (fig 1b). La variation saisonnière du TP du lait E était plus proche de celle du lait F que de celle du lait A.

La teneur moyenne en caséine du lait A était significativement plus élevée (26,4 g·kg⁻¹ en 1989 et 26,9 en 1990) que celle du lait F (21,3 g·kg⁻¹ en 1989 et 22,0 en 1990). La teneur en caséine du lait E (23,0 g·kg⁻¹ en 1989 et 23,7 en 1990) était intermédiaire et différait de façon significative des 2 autres. La variation saisonnière de la teneur en caséine suivait celle de la matière protéique (résultat non montré) et le génotype expliquait un pourcentage de la variation totale du même ordre que pour le TP (87% en 1989 et 47% en 1990).

Le rapport TC/TP intéresse particulièrement le fromager en fabrication de fromages traditionnels où la caséine est la seule protéine majoritairement retenue dans le fromage. Ce rapport était plus élevé de façon significative dans le lait A (0,85 en 1989 et 0,84 en 1990) que dans le lait F (respectivement 0,81 et 0,81). Le rapport TC/TP du lait E était intermédiaire mais plus proche de celui du lait A (0,84 en 1989 et 0,83 en 1990). Quel que soit le génotype, ce rapport

Tableau II. Influence du génotype sur la composition du lait de fabrication (moyenne annuelle et écart type, entre parenthèses, des échantillons).*Effect of genotype on cheese milk composition (annual mean and standard deviation, in brackets, of samples).*

	TP (g·kg ⁻¹)	TC (g·kg ⁻¹)	TC/TP	TB (g·kg ⁻¹)	TB/TC
1989 (n = 8) ¹					
A	31,1 ^A (1,172)	26,4 ^A (0,902)	0,85 ^A (0,005)	31,7 ^A (1,883)	1,20 ^A (0,098)
E	27,5 ^B (0,838)	23,0 ^B (0,958)	0,84 ^B (0,012)	29,8 ^A (2,737)	1,30 ^A (0,147)
F	26,4 ^C (0,884)	21,3 ^C (0,758)	0,81 ^C (0,011)	27,1 ^B (2,083)	1,27 ^A (0,072)
P	***	***	***	**	NS
% var	83	87	100	13	44
1990 (n = 24) ²					
A	31,9 ^A (2,945)	26,9 ^A (2,789)	0,84 ^A (0,021)	30,2 ^A (2,741)	1,13 ^A (0,124)
E	28,6 ^B (1,840)	23,7 ^B (1,739)	0,83 ^A (0,021)	29,5 ^A (2,632)	1,25 ^B (0,128)
F	27,1 ^C (1,963)	22,0 ^C (1,823)	0,81 ^B (0,016)	27,2 ^B (2,644)	1,24 ^B (0,126)
P	***	***	***	***	**
% var	44	47	25	19	15

% var : pourcentage de la variance expliqué par le génotype. ¹ Avril à août, ² Avril à octobre. NS : $P > 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$. TB : taux butyreux; TP : taux protéique; TC : teneur en caséine.

% var: percentage of variance associated with the genotype. ¹ from April to August; ² from April to October. NS : $P > 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$. TB: fat content, TP : true protein content, TC: casein content.

était plus élevé au milieu de la lactation (fig 2a).

Le TB du lait A (31,7 en 1989 et 30,2 en 1990) était toujours significativement plus élevé que celui du lait F (respectivement 27,1 et 27,2). Le TB du lait E (29,8 en 1989 et 29,5 en 1990) était plus élevé que celui du lait F de façon significative et il tendait à

être plus faible que celui du lait A. Le génotype expliquait 13% de la variance du TB en 1989 et 19% en 1990 en relation avec la durée de la période des prélèvements et la variation du TB en fonction du stade de lactation. La figure 2a montre en effet une forte variation saisonnière avec un minimum en été, qui affectait davantage le lait F que le lait A.

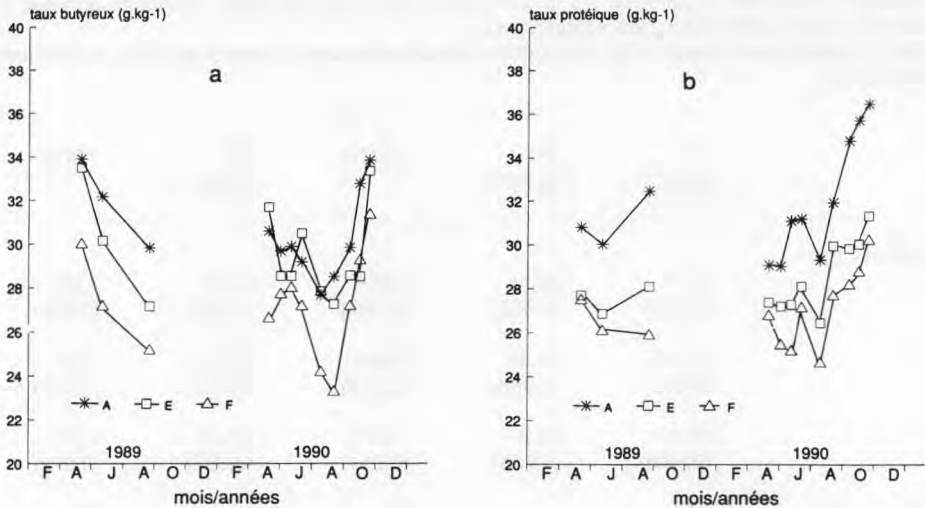


Fig 1. Variations saisonnières du taux butyreux (a) et du taux protéique (b) du lait en 1989 et 1990. Chaque point représente la moyenne de 3 essais effectués la même semaine en 1989 et la moyenne de 2 ou 3 essais effectués en 15 j en 1990.

Seasonal variations of milk fat content (a) and milk protein content (b) in 1989 and 1990. Each point exhibits the mean of 3 trials made in the same week in 1989 and the mean of 2 or 3 trials made in 15 days in 1990.

Le rapport TB/TC est important pour les fabricants de fromages de chèvre traditionnels qui ne standardisent pas la teneur en graisse du lait de fabrication car ce rapport conditionne le gras/sec des fromages. Ce rapport était plus faible pour le lait A (1,20 en 1989 et 1,13 en 1990) que pour le lait F (1,27 en 1989 et 1,24 en 1990). La différence entre le lait E et le lait F était faible et non significative. Ce rapport était plus faible en été qu'au début et à la fin de la lactation (fig 2b).

Composition des fromages et rendement fromager (tableau III)

La teneur moyenne annuelle en ES des fromages après salage ne différait de façon significative selon les génotypes ni en 1989 (31,8% pour A, 33,3 pour E et 31,9 pour F)

ni en 1990 (30,3% pour A, 30,9 pour E et 30,5 pour F). Le facteur génotype expliquait moins de 5% de la variation totale de cette variable. En 1989 et en 1990, l'ES diminuait légèrement au cours de la campagne de fabrication (fig 3a). L'ES très élevé des fromages E et F en avril 1989 était lié à une teneur en graisse très élevée (fig 3b).

Le rapport graisse/matière sèche (G/S) moyen des fromages A (45,8% en 1989 et 41,5 en 1990) était plus faible que celui des fromages E (respectivement 48,0 et 44,2%) et que celui des fromages F (respectivement 47,2 et 43,5%). Ces différences n'étaient pas significatives en 1989, le génotype n'expliquant que 8% de la variation totale du G/S, mais les différences entre A et E et entre A et F étaient hautement significatives en 1990 avec 18% de la variance totale de la variable expliqués par le génotype. Les fromages A étaient aussi secs

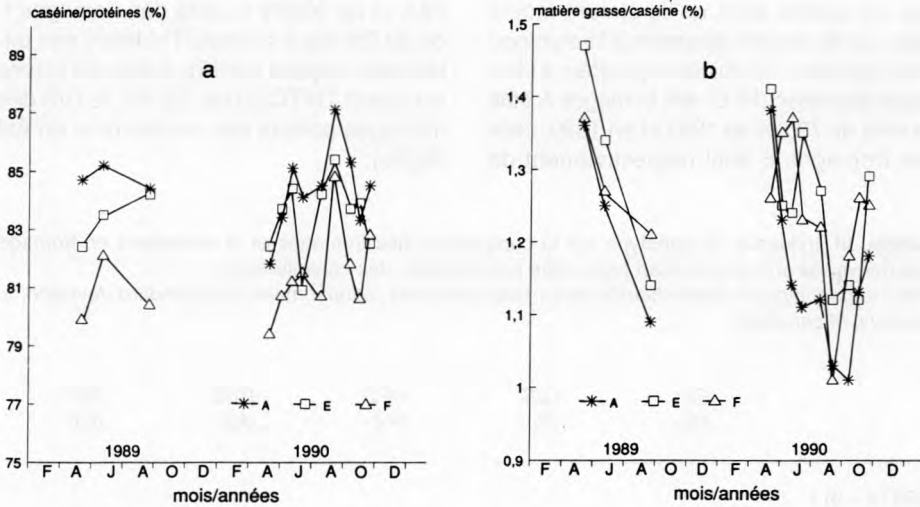


Fig 2. Variations saisonnières du rapport caséines/protéines (a) et du rapport matière grasse/caséine (b) du lait en 1989 et 1990 (%). Voir figure 1 pour la signification des points.
Seasonal variations of milk casein/protein (a) and fat/casein (b) ratios in 1989 and 1990 (%). See figure 1 for meaning of points.

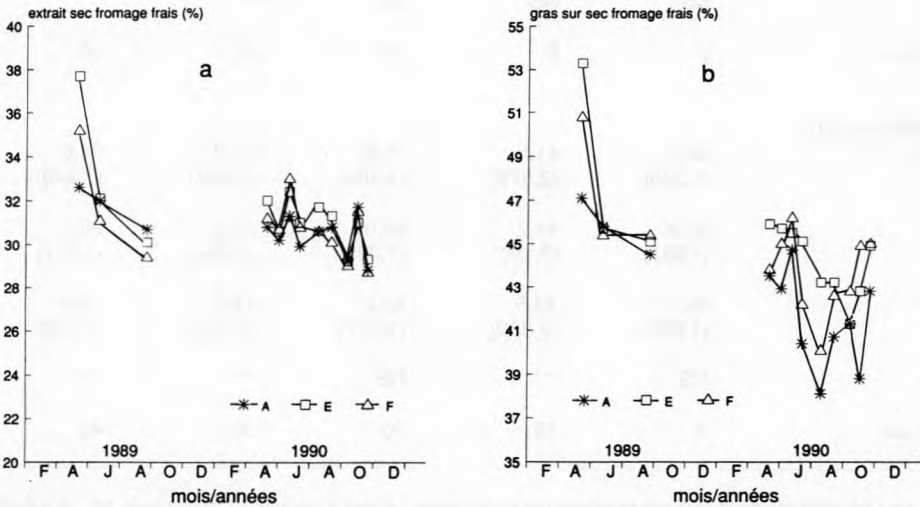


Fig 3. Variations saisonnières de la composition du fromage frais en 1989 et 1990 (%): matière sèche (a) et gras/sec (b). Voir figure 1 pour la signification des points.
Seasonal variations of fresh cheese composition in 1989 and 1990 (%): dry matter (a) and fat on dry matter (b). See figure 1 for meaning of points.

que les autres alors qu'ils étaient moins gras, car ils avaient tendance à être un peu plus égouttés. L'humidité rapportée au fromage dégraissé (HFD) des fromages A était en effet de 79,8% en 1989 et en 1990, celle des fromages E était respectivement de

79,5 et de 80,0% et celle des fromages F de 80,2% les 2 années. Toutefois ces différences n'étaient pas significatives. Comme le rapport TB/TC du lait (fig 2b), le G/S des fromages passait par un minimum en été (fig 3b).

Tableau III. Influence du génotype sur la composition des fromages et le rendement en fromage frais (moyenne annuelle et écart type, entre parenthèses, des échantillons).

Effect of genotype on fresh cheese composition and yield (annual mean and standard deviation, in brackets, of samples).

	ES (%)	G/S (%)	HFD (%)	RDB (kg)	RDC (kg)
1989 (n = 9) ¹					
A	31,8 (1,349)	45,8 (1,879)	79,8 (1,205)	21,5 (0,999)	22,7 (0,891)
E	33,3 (4,107)	48,0 (4,339)	79,5 (1,810)	18,5 (1,855)	20,4 (1,613)
F	31,9 (3,436)	47,2 (3,367)	80,2 (1,520)	17,9 (1,713)	18,8 (1,105)
P	NS	NS	NS	***	***
% var	5	8	10	54	64
1990 (n = 24) ²					
A	30,3 (1,375)	41,5 (2,979)	79,8 (1,364)	21,9 (1,861)	21,6 (1,440)
E	30,9 (1,551)	44,2 (2,151)	80,0 (1,095)	19,9 (1,606)	20,1 (1,217)
F	30,5 (1,629)	43,5 (2,350)	80,2 (1,271)	18,8 (1,684)	18,8 (1,250)
P	NS	***	NS	***	***
% var	3	18	10	36	45

% var : pourcentage de la variance expliquée par le génotype. ¹ D'avril à octobre; ² D'avril à août. NS : $P > 0,05$; *** $P < 0,001$. ES : teneur en matière sèche, G/S : rapport graisse/ES ; HFD : humidité rapportée au fromage dégraissé; RDB : rendement brut = poids de fromage obtenu à partir de 100 kg de lait; RDC : rendement corrigé, calculé pour des fromages ramenés à 31% d'ES.

% var : percentage of variance associated with the genotype. ¹ From April to October; ² From April to August. NS: $P > 0.05$; *** : $P < 0.001$. ES: dry matter content; G/S: fat on dry matter ratio; HFD: moisture of defatted cheese; RDB: actual yield = cheese weight from 100 kg of milk; RDC : corrected yield for cheeses at 31% dry matter.

Le rendement brut à 48 h (poids de fromage frais en kg obtenu à partir de 100 kg de lait) était plus élevé avec le lait A (21,5 en 1989 et 21,9 en 1990) qu'avec le lait E (18,5 en 1989 et 19,9 en 1990), celui-ci donnant lui-même un rendement plus élevé que le lait F (17,9 en 1989 et 18,8 en 1990). Toutes ces différences étaient hautement significatives et le génotype expliquait toujours plus du tiers de la variance totale de la variable.

Le rendement corrigé pour la teneur des fromages en ES (RDC) montrait les mêmes différences que le rendement brut, mais le génotype expliquait alors 45% de la variance totale. Pour chacun des laits A, E et F, les équations de régression qui relient le RDC au TB et au TP étaient respectivement les suivantes pour l'année 1990 (24 essais pour chaque lait):

$$RDC_{AA} = 0,437 TB + 0,263 TP$$

$$RDC_{EE} = 0,479 TB + 0,208 TP$$

$$RDC_{FF} = 0,325 TB + 0,365 TP$$

avec des R^2 respectifs de 0,998; 0,998 et 0,997 et des écarts types résiduels respectifs de 1,029; 0,835 et 1,036 kg de fromage pour 100 kg de lait.

L'évolution saisonnière du rendement (fig 4) était identique à celle de la matière fromagère utile (TB+TP) à laquelle il était très fortement corrélé ($r = 0,846$ en 1990).

En 1990, le rendement à l'emballage a été également déterminé. Ce rendement dépend d'une part du rendement en fromage frais ($r = 0,677$ pour l'ensemble des essais 1990 et 0,746 si l'on excepte 2 fabrications de juillet, mois particulièrement chaud en 1990 et pendant lequel les fromages ont beaucoup séché en cave) et d'autre part de la freinte due à la dessiccation du fromage. Celle-ci variait avec la saison, mais elle était pratiquement identique pour les 3 types de fromages et la différence restait très significative entre le rendement à

l'emballage des fromages A (13,2 kg pour 100 kg de lait) et celui des fromages E (12,2) ou F (11,6) en 1990.

Caractéristiques des fromages affinés

Les analyses sensorielles (reconnaissance d'un échantillon différent parmi 2 échantillons identiques dans un essai triangulaire) effectuées en 1989 montraient que le jury de dégustation était apte à distinguer les fromages A des fromages F de façon hautement significative ($P = 0,01$) et les fromages E des fromages F de façon significative ($P = 0,05$), mais qu'il ne pouvait pas distinguer de façon significative les fromages A des fromages E.

En 1990, la fermeté (mesure instrumentale) des fromages A (6,3 mJ en zone externe (ZE) et 7,4 mJ en zone interne (ZI))

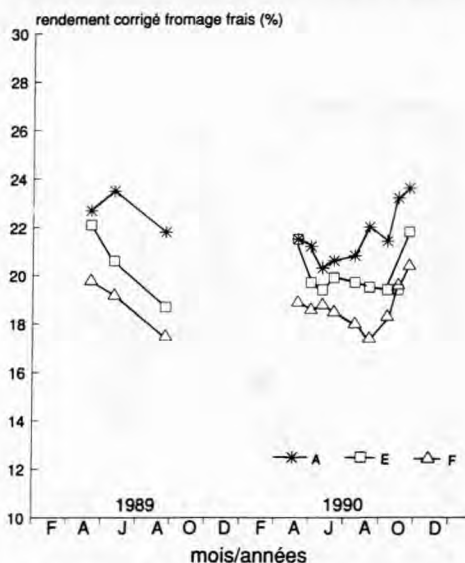


Fig 4. Variation saisonnière du rendement corrigé (31% ES) en fromage frais en 1990. Voir figure 1 pour la signification des points. *Seasonal variation of corrected fresh cheese yield (69% moisture) in 1990. See figure 1 for meaning of points.*

était en moyenne plus élevée que celle des fromages E (5,8 mJ en ZE et 6,6 mJ en ZI), elle-même plus forte que celle des fromages F (5,6 mJ en ZE et 6,4 mJ en ZI). Ces variables se caractérisaient toutefois par un écart type très élevé (tableau IV) dû en grande partie à une forte variation saisonnière (fig 5a). Or ces variables étaient fortement corrélées à l'ES et, dans une moindre mesure au G/S et au pH des fromages (tableau V). Alors que l'ES à 30 j était en moyenne tout à fait comparable pour les 3 génotypes (50,9% pour A, 51,3% pour E et 50,0% pour F) l'écart type de cette variable était nettement plus élevé que celui de l'ES du fromage frais, ce qui traduisait les irrégularités de séchage des fromages en cave. Pour pallier cette difficulté, la signification de l'effet génotype sur la fermeté du fromage a été testée par la méthode des couples en appariant les fromages fabriqués le même jour et soumis aux mêmes

conditions d'affinage. Les probabilités associées à une différence entre génotypes sont données par le tableau VI. En ZI comme en ZE, la fermeté des fromages A se différenciail de façon hautement significative de celle des fromages E et F qui ne se différenciaient pas entre eux.

Ces différences de fermeté étaient perçues par le jury de dégustation qui notait 3,2/5 la fermeté moyenne des fromages A, 2,8/5 celle des fromages E et 2,9/5 celle des fromages F. Des tests de *t* par couples montrent que les différences A-E et A-F étaient hautement significatives (tableau VI). La répartition saisonnière de la réponse du jury était tout à fait comparable à celle des mesures instrumentales (fig 5b). Tous les fromages étaient plus mous au printemps que par la suite et plus durs en été qu'en automne.

De même, le jury donnait en moyenne une note d'intensité du goût de chèvre de

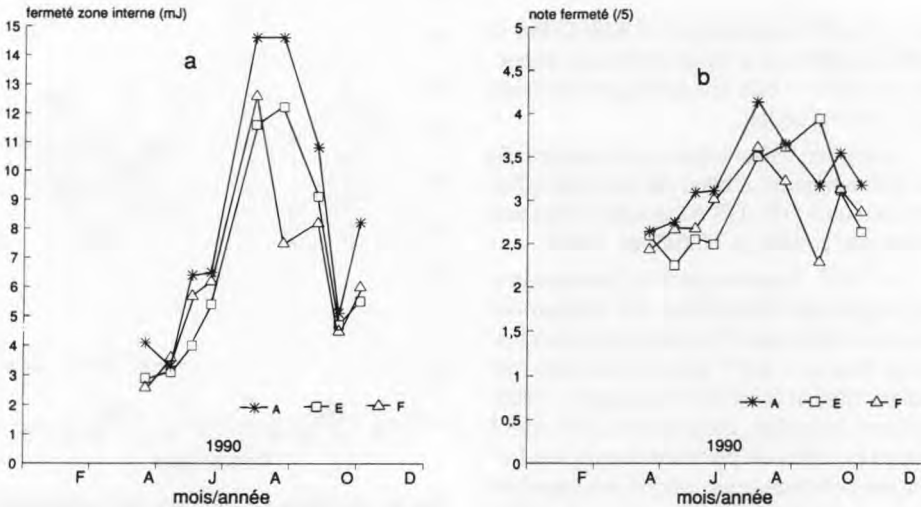


Fig 5. Variation saisonnière de la fermeté des fromages affinés en 1990 : mesure instrumentale (a) et évaluation sensorielle (b). Voir figure 1 pour la signification des points.
Seasonal variation of cheese firmness in 1990: instrumental determination (a) and sensory evaluation (b). See figure 1 for meaning of points.

Tableau IV. Caractéristiques physico-chimiques et sensorielles moyennes des fromages de 30 j en 1990 ($n = 24$)*Chemical and sensory characteristics of the 30-day-old cheeses in 1990 ($n = 24$).*

	WZE (mJ)	WZI (mJ)	ES (%)	pHI	Fermeté (/5)	Goût chèvre (/5)
A	6,3 (3,8)	7,4 (4,8)	50,9 (6,07)	4,65 (0,14)	3,23 (0,605)	2,02 (0,482)
E	5,8 (3,8)	6,6 (4,6)	51,3 (5,94)	4,66 (0,15)	2,81 (0,672)	2,21 (0,365)
F	5,6 (3,7)	6,4 (4,6)	50,0 (5,80)	4,68 (0,15)	2,85 (0,598)	2,19 (0,438)

WZE : travail nécessaire pour enfoncer une lame de 20 mm de largeur et de 0,5 mm d'épaisseur dans le fromage à une profondeur de 5 mm en zone externe (3 mm sous la croûte). WZI : idem en zone centrale du fromage. ES : teneur en matière sèche; pHI : pH en zone centrale du fromage. Fermeté : note de fermeté de la texture. Goût chèvre : note de «goût de chèvre». Les valeurs entre parenthèses correspondent à l'écart type de l'échantillon.

WZE: work required to run a strip (20 mm width, 0.5 mm thickness) into the cheese to 5 mm deep in external area (3 mm under the surface of cheese). WZI: ibid in central area. ES: dry matter content, pHI: pH in central area of cheese. Fermeté: firmness score. Goût chèvre: goat flavour score. Numbers in brackets standard deviation of samples.

2,0/5 aux fromages A et une note de 2,2/5 aux fromages E et F. La différence entre A et E était hautement significative ($P = 0,002$) et la différence entre A et F approchait du seuil de signification ($P = 0,10$). La note «goût de chèvre» donnée par le jury aux fromages A diminuait beaucoup plus nettement au cours de la lactation que celle des fromages E et F (fig 6).

DISCUSSION

Quelle que soit l'année considérée, le lait A est toujours plus riche en matière grasse, en protéines et en caséine que le lait E, lui-même plus riche que le lait F.

Pour l'ensemble des échantillons prélevés, la différence relative moyenne atteint

Tableau V. Coefficients de corrélations entre la fermeté mesurée en zone externe (WZE) et en zone interne (WZI) et la teneur en matière sèche (ES), le gras/sec (G/S) et le pH interne (pHI) des fromages de 30 j (1990).

Correlation coefficients between firmness in external and internal areas, dry matter content (ES), fat on dry matter ratio (G/S) and internal pHI of the 30-day-old cheeses (1990).

	WZE	WZI
ES%	0,852**	0,846**
pHI	0,383 NS ($P = 0,08$)	0,374**
G/S%	0,381 NS	0,389*

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

Tableau VI. Probabilités associées aux différences intergénotypes entre les moyennes de fermeté mesurée, de note de fermeté et de note de «goût de chèvre» (1990).*Probabilities associated to the intergenotypic differences of instrumental and sensory firmness values and goat flavour scores (1990).*

Moyennes	P%	Signification de la différence
Fermeté mesurée		
WZI _A – WZI _E	0,17	**
WZE _A – WZE _E	0,40	**
WZI _A – WZI _F	0,08	***
WZE _A – WZE _F	0,34	**
WZI _E – WZI _F	84,5	NS
WZE _E – WZE _F	80,7	NS
Note de fermeté		
A – E	0,28	**
A – F	0,35	**
E – F	64,5	NS
Note «goût de chèvre»		
A – E	2,07	*
A – F	10,7	NS
E – F	89,6	NS

NS : $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

6% pour le TB, 14,5% pour le TP et 15,7% pour la caséine entre le lait A et le lait E. Elle atteint 12% pour le TB, 17% pour le TP et 21,4% pour la caséine entre le lait A et le lait F. Le TP est en moyenne supérieur au TB pour le lait A (rapport TB/TP = 0,97), alors qu'il est plus faible pour les autres laits (TB/TP = 1,04 pour E et 1,01 pour F), comme c'est généralement le cas pour les laits de chèvre ou de vache.

Ces résultats sont globalement en accord avec ceux de Remeuf (Grosclaude *et al*, 1993) obtenus sur des laits individuels provenant du même troupeau et avec ceux de Grosclaude et Mahé (1986) et Grosclaude *et al* (1987). Les différences interannuelles que nous avons observées, ainsi que la différence de rapport moyen TB/TP par rap-

port aux résultats de Remeuf proviennent très probablement des dates de prélèvement par rapport au stade de lactation et de la composition des lots de chèvres en ce qui concerne les individus et leur numéro de lactation.

Les variations saisonnières du TB et du TP que nous avons observées sont en accord avec les résultats de Grappin *et al* (1981) qui trouvaient également des minima estivaux. Le maximum en août 1990 du rapport TC/TP correspond bien également au maximum estival du rapport protéines coagulables/TP rapporté par Grappin *et al* (1981).

Le rendement fromager est très corrélé à la richesse du lait en matière grasse et en protéines. Ce résultat est en accord avec

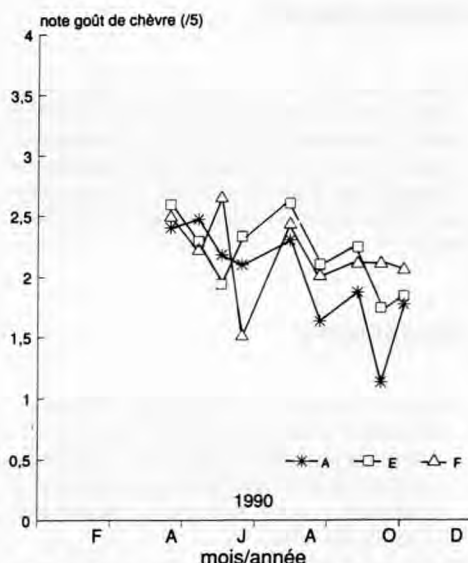


Fig 6. Variation saisonnière de l'intensité du goût de chèvre en 1990. Voir figure 1 pour la signification des points.

Seasonal variation of cheese goat flavour in 1990. See figure 1 for meaning of points.

toutes les données de la littérature et en particulier avec celles de Ricordeau et Mocquot (1967) et de Portmann *et al* (1968) sur des fromages de type analogue. Cependant les équations données par ces auteurs attribuaient beaucoup plus de poids au TP qu'au TB, alors que ces 2 variables qui sont beaucoup plus corrélées entre elles dans notre essai que dans les études précédentes, ont un poids sensiblement équivalent, comme c'était aussi le cas dans les équations trouvées par Maubois *et al* (1970) en fabrication de camembert. Toutefois l'augmentation de rendement avec les laits à variants forts résulte non seulement d'une plus grande richesse en protéines et en graisse, mais également d'une plus forte proportion de caséine dans les protéines. Ainsi, au cours de 6 essais de 1989, la proportion de matière azotée du lait (MAL)

incorporée au fromage était de $81,3 \pm 1,8\%$ pour le variant AA, de $78,2 \pm 2,2\%$ pour le variant EE et de $75,1 \pm 2,1\%$ pour le variant FF. Ces différences sont hautement significatives ($P = 0,01\%$) et les valeurs obtenues sont fortement corrélées au rapport TC/TP ($r = 0,805$). Notons que cette proportion de MAL retrouvée dans le fromage est particulièrement élevée pour des fromages de lait cru. Elle peut s'expliquer par la technologie mise en œuvre, qui conduit à un fromage très humide et peu protéolysé (Vassal *et al*, 1961) et par la transformation de lait très frais. Il est toutefois possible que les moyennes obtenues soient un peu surévaluées. En effet, pour un bilan pondéral légèrement déficitaire (poids de fromage + poids de lactosérum = $0,988 \pm 0,008$ poids de lait), par suite des pertes mécaniques, de l'évaporation, etc, le bilan matière azotée est légèrement excédentaire (matière azotée du fromage + matière azotée du lactosérum = $1,019 \pm 0,021$ poids de lait). Quoi qu'il en soit, cette meilleure rétention de la fraction azotée dans le fromage contribue, à rapport TB/TP du lait égal, à abaisser le G/S des fromages A par rapport aux autres, car nous n'avons observé aucune différence intergénétype des pertes de matière grasse dans le lactosérum, toujours faibles ($\leq 1 \text{ g}\cdot\text{F}^{-1}$) dans la technologie considérée. Cette observation est importante à considérer dans la mesure où le G/S fait l'objet de dispositions réglementaires.

La fermeté des fromages A est plus élevée que celle des fromages E ou F. Ce résultat peut être dû partiellement à la plus faible proportion de graisse dans les fromages A. L'influence de la teneur en graisse sur la texture du fromage est en effet connue de longue date (Whitehead, 1948) et nous avons trouvé une corrélation négative significative entre le G/S et la fermeté des fromages en zone centrale. Il est cependant très probable que la texture du réseau protéique diffère selon le génotype en fonction de la proportion de caséine α_{S1} dans le

caillé. Il est bien établi que le ramollissement de la pâte au cours de l'affinage des fromages de vache est dû en premier lieu à la dégradation de la caséine α_{s1} par les enzymes de la présure (de Jong, 1977; Noomen, 1977) qui libère en particulier le peptide 1-23. Or la caséine α_{s1} caprine se différencie de la caséine α_{s1} bovine en particulier par la présence d'un résidu valine en position 24 de la chaîne peptidique (Brignon *et al*, 1989) et de ce fait l'aptitude à l'hydrolyse de cette protéine par la chymosine pourrait être modifiée.

La plus faible intensité du «goût de chèvre» des fromages A peut être due soit à une plus faible production de composés aromatiques, soit à une perception sensorielle plus faible de la présence de ces molécules du fait de la différence de structure du caillé, mais nous n'avons trouvé aucune corrélation entre l'intensité du «goût de chèvre» et le G/S des fromages.

En conclusion, la différence du niveau de synthèse de la caséine associée au polymorphisme de la caséine α_{s1} se retrouve en grande partie pour la matière grasse. Il en résulte une forte augmentation de rendement, en fromages de composition voisine, avec les variants «forts» par rapport au variant «moyen» lui-même supérieur aux variants «faibles». Cette observation milite d'autant plus en faveur d'une orientation de la sélection en faveur des variants forts, jusqu'ici très minoritaires dans les troupeaux laitiers français, qu'une telle amélioration de la richesse du lait en protéines devrait permettre d'éviter les difficultés de transformation liées aux faibles teneurs protéiques des laits d'été. Cependant, les causes biochimiques des différences de texture et d'intensité de la faveur typique des fromages observées à certaines périodes de la lactation, doivent être identifiées en vue de parvenir à une meilleure maîtrise de ces caractères dont les bases moléculaires sont encore mal connues.

REMERCIEMENTS

Nous remercions très vivement M B Gout, de la Coopérative Le Pélardon de Cévennes et G Pitel pour la fabrication et l'affinage des fromages, E Perrot, E Theveu et R Le Gouar pour la réalisation soigneuse des analyses ainsi que S Etienne pour sa participation à la mise en place des premiers essais.

RÉFÉRENCES

- Brignon G, Mahé MF, Grosclaude F, Ribadeau-Dumas B (1989) Sequence of caprine α_{s1} -casein and characterisation of those of its genetic variants which are synthesised at a high level, α_{s1} -Cn A, B and C. *Protein Seq Data* 2, 181-188
- Ciafarone N, Addeo F (1984) Composition de la caséine et propriétés du lait de chèvre. *Vergaro* 11, 17-24
- De Jong L (1977) Protein breakdown in soft cheese and its relation to consistency. 2. The influence of the rennet concentration. *Neth Milk Dairy J* 31, 314-327
- Grappin R, Jeunet R, Pillet R, Le Toquin A (1981) Étude des laits de chèvre. I. Teneur du lait de chèvre en matière grasse, matière azotée et fractions azotées. *Lait* 61, 117-133
- Grosclaude F, Mahé MF (1986) Polymorphisme des caséines du lait de chèvre. 11^{es} Journées de recherche ovine et caprine, Paris
- Grosclaude F, Mahé MF, Brignon G, Di Stasio L, Jeunet R (1987) A mendelian polymorphism underlying quantitative variations of goat α_{s1} -casein. *Genet Sel Evol* 19, 399-412
- Grosclaude F, Ricordeau G, Martin P, Remeuf F, Vassal L, Bouillon J (1993) Du gène au fromage: le polymorphisme de la caséine α_{s1} caprine, ses effets, son évolution. *INRA Prod Anim* (sous presse)
- Le Jaouen JC (1987) Production de lait de chèvre. In: *Lait et produits laitiers. Vache, brebis, chèvre* vol I (Luquet FM, ed) Tech et Doc, Paris
- Mahé MF, Grosclaude F (1989) α_{s1} -Cn D, another allele associated with a decreased synthesis rate at the α_{s1} -casein locus. *Genet Sel Evol* 21, 127-129

- Maubois JL, Mocquot G (1967) Comment ramener à la même teneur en substance sèche des fabrications de fromage en vue de comparer les rendements respectifs du lait en fromage. *Rev Lait Fr* 239, 15-18
- Maubois JL, Ricordeau G, Mocquot G (1970) Étude des rendements en fromagerie de camembert et de Saint-Paulin. *Lait* 50, 351-373
- Nöomen A (1977) Noordhollandse Meshanger cheese: a model for research on cheese ripening. 2. The ripening of cheese. *Neth Milk Dairy J* 31, 75-102
- Nuyts-Petit V (1991) Influence des variants génétiques des caséines bovines sur l'aptitude fromagère du lait de vaches de races traditionnelles. Thèse Université de Compiègne
- Pien J (1976) Détermination du taux de matière grasse des fromages. *Tech Lait* 878, 15-17
- Portmann A, Pierre A, Vedrenne P (1968) Relation entre teneur en matière grasse et azotée du lait de chèvre et rendement en fromage. *Rev Lait Fr* 251, 97-101
- Ricordeau G, Mocquot G (1967) Influence des variations saisonnières de la composition du lait de chèvre sur le rendement en fromage. Conséquences pratiques pour la sélection. *Ann Zootech* 16, 165-181
- Rowland SJ (1938) The determination of the nitrogen distribution in milk. *J Dairy Res* 9, 42-46
- Vassal L, Ducruet P, Mocquot G (1961) Essai de fabrication de fromage à pâte fraîche à l'aide d'un «filtre à caillé» Berge. *Ind Lait* 185, 39-46
- Vassal L, Monnet V, Le Bars D, Roux C, Gripon JC (1986) Relation entre le pH, la composition chimique et la texture des fromages de type camembert. *Lait* 66, 341-351
- Whitehead HR (1948) Control of the moisture content and "body-firmness" of cheddar cheese. *J Dairy Res* 15, 387-397