

Effets du polymorphisme de la caséine α_{s1} caprine sur les performances laitières : analyse intradescendance de boucs de race Alpine

MF Mahé¹, E Manfredi², G Ricordeau²,
A Piacère³, F Grosclaude¹

¹ Institut national de la recherche agronomique, Laboratoire de génétique biochimique et cytogénétique, 78352 Jouy-en-Josas cedex;

² Institut national de la recherche agronomique, Station d'amélioration génétique des animaux, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan;

³ Caprigène France, 15, av de Vendôme, 41018 Blois cedex, France

(Reçu le 1^{er} avril 1993; accepté le 3 décembre 1993)

Résumé – Les effets sur les performances laitières des 5 principaux allèles du locus de la caséine α_{s1} caprine, α_{s1} -Cn^{A,B,C,E,F} (appelés respectivement A, B, C, E, F), qui contrôlent le polymorphisme à effet quantitatif de cette lactoprotéine, ont été analysés dans la descendance de 5 boucs hétérozygotes de race Alpine. Ce polymorphisme n'a pas d'effets sur la quantité de lait. Par rapport à l'allèle «faible» (F), les allèles «forts» A et C ont, en revanche, un effet significatif sur le taux de protéines vraies (+2,5, +2,6 et 1,8 g/kg pour les 3 familles étudiées), le taux butyreux (+1,5, +2,2 et +1,1 g/kg) et la quantité de matière protéique vraie (+2,3, +2,0 et +1,5 kg). Par rapport à l'allèle «moyen» (E), l'allèle fort A a un effet significatif sur le taux de protéines vraies (+2,0 g/kg) et le taux butyreux (+2,6 g/kg). Les résultats obtenus sur le taux de protéines vraies sont en accord avec les estimations antérieures des effets de ces allèles sur le taux de caséine.

chèvre / polymorphisme génétique / caséine α_{s1} / production laitière

Summary – Effects of the α_{s1} -casein polymorphism on goat dairy performances: a within-sire analysis of alpine bucks. The effects of the main alleles at the goat α_{s1} -casein locus (α_{s1} -Cn^{A,B,C,E,F} called A, B, C, E, F) on milk production traits were estimated via a within-sire analysis of the progeny of 5 Alpine bucks. This polymorphism had no effect on milk yield. On the other hand, compared with the weak F allele, the strong alleles A and C had a significant effect on the true protein content (+2.5, +2.6 and +1.8 g/kg for 3 families), the fat content (+1.5, +2.2 and +1.1 g/kg) and the true protein yield (+2.3, +2.0 and +1.5 kg). Compared with the intermediate E allele, the strong A allele had a significant effect on the true protein content (+2.0 g/kg) and the

fat content (+2.6 g/kg). The results on the true protein content were in agreement with previous estimates of the effects of the same alleles on the casein content of milk.

goat / genetic polymorphism / α_{s1} casein / milk production

INTRODUCTION

Selon Grosclaude *et al* (1987) et Mahé et Grosclaude (1989), le polymorphisme de la caséine α_{s1} caprine, décelé par électrophorèse en gel, est contrôlé par une série d'au moins 7 allèles, qui déterminent à la fois la mobilité relative des différents variants protéiques et leur taux de synthèse. Les allèles α_{s1} -Cn^{A,B,C} correspondent à un taux de synthèse «fort» (environ 3,6 g/l), α_{s1} -Cn^E à un taux «moyen» (1,6 g/l), α_{s1} -Cn^{D,F} à un taux «faible» (0,6 g/l) alors qu' α_{s1} -Cn⁰ est un allèle «nul». Ces valeurs du taux de caséine attaché à chaque allèle sont des ordres de grandeur approximatifs (Grosclaude *et al*, 1987). Selon ces mêmes auteurs, la relation entre le taux de caséine totale (TC) et le taux de caséine α_{s1} est donnée par $TC = 19,59 + 0,64 \alpha_{s1}$. D'après ces estimations, le remplacement d'un allèle faible par un allèle fort (α_{s1} -Cn^F/ α_{s1} -Cn^A par exemple) devrait se traduire par une augmentation du taux de caséine d'environ 2 g/l, le remplacement de l'allèle moyen par un allèle fort (α_{s1} -Cn^E/ α_{s1} -Cn^A) par une augmentation d'environ 1,3 g/l.

Une étude des effets du polymorphisme de la caséine α_{s1} a été entreprise à la station expérimentale caprine de Moissac (Lozère) où sont comparées, sur plusieurs lactations, les performances des chèvres homozygotes et hétérozygotes pour les allèles α_{s1} -Cn^{A,E,F}. En complément, une analyse des effets de ce polymorphisme a été effectuée en ferme, à l'aide du fichier national de contrôle de performances, sur les lactations des filles de 5 boucs hétérozygotes utilisés en insémination artificielle. La présente publication rapporte les résultats de ce travail. Des résultats préliminaires des 2 protocoles ont été présentés aux Journées scientifiques et techniques du lait de chèvre à Surgères (France) (Manfredi *et al*, 1993).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Animaux

Les 5 boucs de race Alpine avaient le génotype suivant au locus α_{s1} -Cn : P306 et T315 : α_{s1} -Cn^{A/F} ; U313 : α_{s1} -Cn^{C/F} ; S129 : α_{s1} -Cn^{A/E} ; T317 : α_{s1} -Cn^{A/B}. Pour déterminer l'allèle transmis par ces boucs à chacune de leurs filles, des prélèvements de lait individuels ont été effectués sur celles-ci et sur leurs mères, en 1988 dans 52 élevages pour la famille du bouc P306, en 1989 dans 162 élevages pour les familles des autres 4 boucs (T315, U313, S129, T317), et en 1990 pour un complément de 91 filles du bouc U313. Au total, 1 075 filles et leurs mères ont ainsi été prélevées dans des élevages situés principalement dans les régions Centre et Poitou-Charentes. Au cours de ces 3 années, les prélèvements ont eu lieu d'avril à juillet, au cours de la 1^{re} lactation des filles. Les échantillons ont été conservés comme indiqué par Grosclaude *et al* (1987).

Techniques d'électrophorèse

Les échantillons de lait de la famille des boucs P306 et T315 (α_{s1} -Cn^{A/F}) ont été analysés par électrophorèse en gel d'amidon à pH 8,6 (Boulanger *et al*, 1984). Cette technique, qui ne permet pas d'identifier tous les variants, est cependant suffisante pour s'assurer de la transmission ou de la non-transmission du variant A. Les autres échantillons ont été examinés par électrophorèse en gel de polyacrylamide SDS (Grosclaude *et al*, 1987). Lorsqu'elle était nécessaire, la discrimination entre les variants B et C a été effectuée en gel d'amidon à pH 3 (Boulanger *et al*, 1984) ou par focalisation isoélectrique (Mahé et Grosclaude, 1993). Les laits sont toujours écrémés avant analyse.

Modèle d'analyse

Après électrophorèse des laits, l'allèle reçu du père a été déterminé avec certitude pour 970 filles, soit 90% des filles typées. Un fichier avec les 3 premières lactations de ces 970 filles a donc été constitué pour tester l'association entre l'allèle reçu du père et les décisions de réformes ou de sélection dans les élevages (tableau I).

Tableau I. Répartition des filles en 1^{re} lactation en fonction de l'allèle reçu du père et taux de réalisation des secondes et troisièmes lactations (lactations validées ou non, dans le système national d'évaluation génétique).

Code	Boucs		Effectifs en 1 ^{re} lactation	Filles	
	Index Lait (IF2, 1992) ¹	Allèle reçu du père ²		2 ^{es} lactations réalisées/premières (en %)	3 ^{es} lactations réalisées/premières (en %)
P306	+117	A	48	98	92
		F	55	96	85
T315	+35	A	127	87	71
		F	140	89	70
U313	+115	C	155 ³	91	73
		F	213	89	70
S129	-80	A	40	78	53
		E	36	75	56
T317	+80	A	77	87	61
		B	79	86	55

¹ Traitement 1992 de l'index génétique officiel utilisé en France jusqu'à 1993; ² Lire α_{s1} -Cn, etc.; ³ Ratio 155/213 significativement différent de 1/2, 1/2 ($P < 0,05$).

Pour étudier les effets des allèles sur la production laitière, les performances des filles ont été préalablement corrigées pour les effets de milieu estimés indépendamment de cette étude dans le cadre du système national d'évaluation génétique, basé sur une méthode Blup appliquée à un modèle animal (Boichard *et al*, 1992). Avec cette approche, les effets de milieu sont estimés à partir de toutes les

données disponibles et non seulement à partir des données des animaux typés qui représentent un échantillon restreint et non aléatoire intratroupeau. Les quantités de lait (L), de matière grasse (MG) et de matière protéique vraie (MP) ont été ramenées à une durée standard de 250 j; les quantités, le taux butyreux (TB) et le taux de protéines vraies (TP) ont été corrigés pour l'effet combiné «élevage-campagne-numéro de lactation» et pour les effets «âge à la mise bas (primipares)», «mois de mise bas (primipares et adultes)» et «durée de tarissement (adultes)». Seules ont été retenues les 3 premières lactations validées dans le système national d'évaluation génétique, soit 949 filles avec 2346 lactations. Les performances précorrigées ont ensuite été ajustées à un modèle unicaractère incluant l'effet fixé «allèle intrapère» et l'effet aléatoire fille intra-allèle (c) avec moyenne $\mu_c = 0$ et variance $I\sigma_c^2$. Les effets fixés et aléatoires et la variance de l'effet fille ont été estimés simultanément avec le logiciel SAS (procédure Mixed).

RÉSULTATS

Les allèles du locus α_{s1} -Cn ont une ségrégation mendélienne normale chez les boucs P306 et T315 (α_{s1} -Cn^{A/F}), S129 (α_{s1} -Cn^{A/E}) et T317 (α_{s1} -Cn^{A/B}). En revanche dans le cas du U313 (α_{s1} -Cn^{C/F}), l'écart aux proportions mendéliennes de 1/2, 1/2 est significatif ($P < 0,05$), l'allèle α_{s1} -Cn^F étant trouvé plus souvent chez les filles (tableau I). Les données du fichier national du contrôle laitier caprin permettent de suivre la carrière des filles de ces boucs dans leurs élevages respectifs. On constate la réalisation effective d'une seconde lactation pour 88% des animaux en moyenne et d'une troisième lactation pour 69%, pourcentages comparables à ceux observés pour l'ensemble des chèvres au contrôle laitier à la même période (Sigwad et Lequenne, 1991). On vérifie par ailleurs que les éliminations faites par les éleveurs sont indépendantes de l'allèle de caséine reçu du père, et sont plutôt en relation avec son index «lait».

Le tableau II récapitule, par numéro de lactation, les performances laitières des filles des 5 boucs en fonction de l'allèle reçu de leur père. Le tableau III donne les conclusions de l'analyse statistique de ces données, après précorrection des effets de milieu. Dans tous les cas, on n'observe pas d'effet significatif des allèles du locus α_{s1} -Cn sur la quantité de lait. Pour les autres caractères, les différences observées dépendent des allèles comparés. On vérifie d'abord, dans la famille du T317, l'absence de différences entre les 2 allèles forts, α_{s1} -Cn^A et ^B. À l'opposé, les allèles «forts» α_{s1} -Cn^A et ^C ont, par rapport à l'allèle «faible» α_{s1} -Cn^F, un effet très significativement favorable sur les caractères «quantité de matière protéique», «taux de protéines vraies» et «taux butyreux», l'effet n'étant très significatif sur la quantité de matière grasse que pour une seule descendance (T315). Dans le cas du taux de protéines vraies, cet effet est apparemment plus élevé pour l'allèle α_{s1} -Cn^A (+2,47 et +2,56 g/kg) que pour l'allèle α_{s1} -Cn^C (+1,81 g/kg). Dans le cas du taux butyreux, l'allèle α_{s1} -Cn^A a également un effet plus important que l'allèle α_{s1} -Cn^C (+1,49 et +2,18 contre 1,06 g/kg), mais les précisions de ces estimations sont inférieures à celles calculées pour le taux de protéines. Enfin, en ce qui concerne la comparaison des allèles α_{s1} -Cn^A et ^E, l'effet de l'allèle α_{s1} -Cn^A n'est très significativement favorable que sur les 2 taux (+2,05 g/kg pour le taux

de protéines vraies et +2,60 g/kg pour le taux butyreux), les estimations étant cependant imprécises compte tenu du nombre limité de filles. Ces résultats sont cohérents avec une étude préliminaire (Manfredi *et al.*, 1993) réalisée avec moins de données et un ajustement différent des effets de milieu.

Tableau II. Performances laitières, validées dans le système national d'évaluation génétique, des filles des boucs P306, T315, U313, S129 et T317 par numéro de lactation et par allèle reçu du père.

Père	Allèle reçu	Nombre de filles	Durée de lactation (j)	Quantités (kg) ¹			Taux (g/kg) ²	
				L	MG	MP	TB	TP
<i>1^{re} lactation</i>								
P306	A	48	260	675	23,4	19,4	34,9	28,7
	F	55	271	683	22,9	18,2	33,4	26,5
T315	A	125	260	603	21,3	18,3	35,5	30,4
	F	135	265	603	20,0	17,1	33,1	28,2
U313	C	153	253	623	20,3	18,1	32,6	29,1
	F	206	258	597	18,8	16,5	31,3	27,7
S129	A	40	248	495	17,5	14,8	35,1	29,8
	E	36	238	459	15,0	12,6	32,6	27,8
T317	A	74	257	626	21,6	18,3	34,3	29,2
	B	77	254	616	20,9	18,4	33,9	29,9
<i>2^e lactation</i>								
P306	A	47	295	903	32,0	26,4	35,8	29,1
	F	53	286	866	29,9	23,2	34,3	26,8
T315	A	105	288	809	28,2	25,4	35,0	31,5
	F	116	269	783	25,7	22,2	32,9	28,3
U313	C	133	275	829	27,2	25,0	32,9	30,3
	F	179	271	787	24,5	22,0	31,2	28,1
S129	A	29	281	762	26,7	23,0	35,2	30,3
	E	26	260	728	22,4	19,9	30,9	27,4
T317	A	60	277	828	28,0	24,4	33,8	29,5
	B	60	258	805	27,7	24,3	34,9	30,5
<i>3^e lactation</i>								
P306	A	44	263	841	30,0	24,8	35,7	29,6
	F	47	285	930	32,0	24,6	34,4	26,6
T315	A	81	294	867	31,4	27,5	36,2	31,7
	F	79	285	857	28,3	24,7	33,2	28,9
U313	C	102	273	823	27,7	25,3	33,9	31,1
	F	125	269	840	27,1	24,0	32,6	28,7
S129	A	20	275	753	27,5	23,2	36,4	30,9
	E	14	249	779	25,7	21,5	33,4	28,0
T317	A	39	277	873	31,0	26,1	35,9	30,1
	B	38	259	904	31,8	27,5	35,5	30,8

¹ L, MG et MP indiquent respectivement «quantité de lait», «quantité de matière grasse» et «quantité de matière protéique». ² TB et TP indiquent respectivement «taux butyreux» et «taux de protéines vraies».

Tableau III. Effets intrapère des allèles du locus de la caséine α_{s1} sur les performances laitières des filles.

	<i>Bouc P306</i>		<i>Bouc T315</i>		<i>Bouc U313</i>		<i>Bouc S129</i>		<i>Bouc T317</i>	
	A	F	A	F	C	F	A	E	A	B
Nb de lactations	139	155	311	330	388	510	89	76	173	175
<i>Quantités (kg)</i>										
Lait	5,1 ± 23,1		1,6 ± 16,0		-0,5 ± 15,1		-37,0 ± 28,2		23,7 ± 25,9	
MG	1,35 ± 0,95		1,76* ± 0,58		0,82 ± 0,52		0,82 ± 0,97		0,78 ± 0,88	
MP	2,26* ± 0,68		1,98* ± 0,42		1,51* ± 0,41		0,48 ± 0,73		0,21 ± 0,71	
<i>Taux (g/kg)</i>										
TB	1,49* ± 0,56		2,18 ± 0,42		1,06* ± 0,36		2,60* ± 0,68		-0,15 ± 0,50	
TP	2,47* ± 0,32		2,56 ± 0,22		1,81 ± 0,20		2,05* ± 0,42		-0,65 ± 0,33	

A, B, C, E, F : allèles transmis ; * $P < 0,01$. Les effets sont exprimés par la différence entre le premier et le second allèle mentionnés.

DISCUSSION

Sur les 5 boucs considérés, 4 sont très améliorateurs, notamment P306 et U313 (tableau I). La mesure des effets des allèles du locus α_{s1} -Cn a donc été effectuée sur des filles ayant, en moyenne, un haut niveau de production, ce qui renforce l'intérêt de cette étude.

Les valeurs estimées des différences d'effets moyens sur le taux de protéines vraies sont en accord avec les estimations antérieures (Grosclaude *et al*, 1987) des différences d'effet de ces allèles sur le taux de caséine sachant que les caséines représentent environ 80% de la matière protéique vraie.

L'absence d'effets du polymorphisme de la caséine α_{s1} sur la quantité de lait produite peut surprendre sachant qu'on observe habituellement, chez les espèces laitières, une corrélation génétique négative entre la quantité de lait et les taux de protéines et de matières grasses. En fait, cette corrélation traduit les relations existant entre les polygènes qui régulent la synthèse de ces constituants. Or la situation étudiée ici chez les caprins est un cas particulier qui n'entre pas nécessairement dans la logique habituelle, puisque l'analyse porte non pas sur des éléments du déterminisme génétique des régulations, mais sur les allèles du locus de structure d'une caséine, ou plus exactement des haplotypes englobant ces allèles. L'effet de ces haplotypes est analysé dans le cadre d'un protocole qui assure, en principe, que le reste du génome, tous polygènes confondus, est statistiquement identique. Il reste à vérifier si cette absence d'effets du polymorphisme de la caséine α_{s1} sur la quantité de lait se retrouve lorsque l'on compare les génotypes extrêmes (α_{s1} -Cn^{A/A} et α_{s1} -Cn^{F/F}), ce qui fait, entre autres, l'objet du protocole expérimental en cours à la station caprine de Moissac.

Beaucoup plus surprenante est la relation observée entre le polymorphisme de la caséine α_{s1} et le taux butyreux. Il est peu vraisemblable, en effet, que ce locus joue un rôle direct dans la synthèse des matières grasses. En revanche, on ne peut exclure qu'un locus ayant des effets majeurs sur cette synthèse soit lié au locus

α_{s1} -Cn. Compte tenu des résultats de la présente étude, la liaison entre ce locus et α_{s1} -Cn serait alors très étroite, et son allèle «faible» serait, par coïncidence, associé à l'allèle «faible», α_{s1} -Cn^F. Cette hypothèse semble également peu vraisemblable. On peut plutôt être tenté de rechercher une explication dans les mécanismes cellulaires de sécrétion des caséines et des matières grasses du lait, avec l'idée qu'une plus forte sécrétion des caséines pourrait entraîner, par un mécanisme restant à élucider, une plus forte sécrétion des matières grasses. Des travaux sont en cours, en liaison avec notre équipe, pour tenter de vérifier le bien fondé de cette hypothèse.

REMERCIEMENTS

Nous remercions D Boichard (Station de génétique quantitative et appliquée à Jouy-en-Josas) qui nous a fourni les données précorrignées pour les effets de milieu. Nous sommes également redevables à ceux qui ont permis et assuré la collecte des échantillons de lait, en particulier JP Sigwald, A Maingot et G de Montigny (Institut de l'élevage), ainsi qu'à tous les éleveurs sans lesquels cette étude n'aurait pas été possible.

RÉFÉRENCES

- Boichard D, Manfredi E, Bonaïti B (1992) Une nouvelle méthode d'évaluation génétique des caprins laitiers. In : *Colloque «Amélioration génétique de l'espèce caprine»*, Niort 28 avril 1992, Chambre d'agriculture des Deux-Sèvres, Vouillé, 1-9
- Boulanger A, Grosclaude F, Mahé MF (1984) Polymorphisme des caséines α_{s1} et α_{s2} de la chèvre (*Capra hircus*). *Genet Sel Evol* 16, 157-176
- 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
- Mahé MF, Grosclaude F (1989) α_{s1} -Cn^D, another allele associated with a decreased synthesis rate at the caprine α_{s1} -casein locus. *Genet Sel Evol* 21, 127-129
- Mahé MF, Grosclaude F (1993) Polymorphism of β -casein in Creole goat of Guadeloupe : evidence for a null allele. *Genet Sel Evol* 25, 403-408
- Manfredi E, Barbieri ME, Bouillon J, Piacère A, Mahé MF, Grosclaude F, Ricordeau G (1993) Effets des variants de la caséine- α_{s1} sur les performances laitières des chèvres. Journées scientifiques et techniques du lait de chèvre, Surgères, 9-10 juin 1993. *Le lait* 73, 5-6, 567
- Sigwald JP, Lequenne D (1991) Résultats de contrôle laitier en élevage caprin : campagne 1990. Institut technique de l'élevage ovin et caprin, Paris, 5-7