

## Lactoprotéines caprines et aptitudes technologiques

# Influence du polymorphisme génétique de la caséine $\alpha_{s1}$ caprine sur les caractéristiques physico-chimiques et technologiques du lait

F Remeuf

Laboratoire de recherche de la chaire de technologie, INRA, INA Paris-Grignon,  
78850 Thiverval-Grignon, France

**Résumé** — Cette étude vise à préciser l'incidence du polymorphisme de la caséine  $\alpha_{s1}$  caprine sur les caractéristiques physico-chimiques des laits, leur aptitude fromagère et leur stabilité thermique. Elle a comporté l'analyse de 153 laits individuels provenant d'animaux homozygotes AA, EE et FF (51 échantillons par type génétique). Les résultats montrent que le génotype a un effet très significatif (AA>EE>FF) sur les teneurs en matière grasse, matière azotée totale, protéine, caséine, ainsi que sur le rapport azote caséique/azote total. Le type de caséine  $\alpha_{s1}$  a une influence limitée sur la fraction minérale, mais en revanche un effet marqué sur les dimensions des micelles de caséine (AA<EE<FF) et, dans une moindre mesure, sur leur degré de minéralisation. Au plan du comportement technologique, des différences importantes sont relevées en ce qui concerne la fermeté maximale du gel présure (AA>EE>FF) et sa vitesse de raffermissement (AA>EE et FF). Des microfabrications fromagères réalisées avec 23 laits de petit mélange montrent que les coefficients de récupération de la matière sèche et de la matière azotée sont significativement inférieurs de 4 à 5% dans les laits FF par rapport aux laits AA. En revanche aucune différence significative de stabilité thermique n'est notée entre les 3 types de lait.

lait de chèvre / caséine  $\alpha_{s1}$  / variant génétique / caractéristique physico-chimique / comportement technologique

**Summary** – Influence of genetic polymorphism of caprine  $\alpha_{s1}$ -casein on physicochemical and technological properties of goat's milk. The present work aimed to study the effect of  $\alpha_{s1}$ -casein genetic variants on physico-chemical characteristics, cheese-making properties, and heat stability of goat's milk. The study was based on an analysis of 153 individual milk samples which were obtained from 3 types of goats homozygous at the  $\alpha_{s1}$ -Cn locus: AA, EE and FF (51 samples of each type). Results showed that genotype had a very significant effect (AA > EE > FF) on fat, total nitrogen, protein and casein content, and on casein number (casein N/total N). Whereas  $\alpha_{s1}$ -casein type had a limited effect on mineral and salt equilibria, it had a marked influence on micellar size (AA < EE and FF) and to a lesser extent on micellar mineralization. As far as technological properties were concerned, the most important differences were observed with rennet gel strength (AA > EE > FF) and gel strengthening rate (AA > EE and FF). Micro-scale cheese-making carried out on 23 small bulk

milks showed that dry matter and nitrogen recovery coefficients were 4 to 5% lower in FF than in AA milks. On the other hand, no difference was found in heat stability between the 3 types of milk.

goat's milk /  $\alpha_{s1}$ -casein / genetic variant / physico-chemical characteristic / technological property

## INTRODUCTION

Le polymorphisme génétique de la caséine  $\alpha_{s1}$  caprine est caractérisé par l'existence de variations quantitatives dans le taux de synthèse de cette caséine qui se répercutent sur la teneur en caséine totale des laits (Boulangier *et al*, 1984). Cet effet quantitatif très marqué, qui n'a pas d'équivalent chez la vache, ainsi que les différences de structure primaire entre les variants (Brignon *et al*, 1989, 1990), conduisent à suspecter l'existence de relations entre ce polymorphisme d'une part, les caractéristiques physico-chimiques des laits (structure micellaire, équilibres sables...) et leur comportement technologique d'autre part.

Les données actuellement disponibles confortent effectivement cette présomption. D'après Ciafarone et Addeo (1984), les laits de chèvre ne contenant pas de caséine  $\alpha_{s1}$  coagulent plus vite que ceux qui en sont pourvus. Ambrosoli *et al* (1988) confirment que les laits contenant des taux de caséine  $\alpha_{s1}$  élevés ont un temps de prise plus long que les laits à faible teneur. Plus riches en caséine (23,1 contre 20,2 g/l), les premiers donnent également des gels préure plus fermes (33,9 contre 29,4 unités arbitraires). Des résultats allant dans le même sens ont été obtenus antérieurement au laboratoire (Remeuf, 1988).

Toutefois, ces observations préliminaires ont été faites à partir d'animaux généralement hétérozygotes dont le génotype n'était pas défini de manière précise. D'autre part, on connaît mal les relations

entre le polymorphisme de la caséine  $\alpha_{s1}$  caprine et la structure micellaire, ainsi que son incidence sur le comportement du lait en fabrication fromagère, en particulier sur les rendements.

Des données nouvelles ont été apportées récemment par plusieurs études conduites en France à l'INRA. Ces études ont bénéficié de la mise en place, sous l'impulsion du département de génétique animale, d'un troupeau expérimental d'animaux homozygotes à la station de testage caprin de Moissac (48110 Sainte-Croix-Vallée-Française, France).

Dans ce contexte, le travail expérimental présenté ci-dessous visait à préciser l'incidence du polymorphisme de la caséine  $\alpha_{s1}$  caprine sur les caractéristiques physico-chimiques des laits et sur leur aptitude fromagère.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

À partir d'animaux du troupeau expérimental de Moissac homozygotes pour les variants A, E et F de la caséine  $\alpha_{s1}$ , 3 groupes de chèvres AA, EE et FF ont été constitués ; 153 laits individuels et 23 laits de petit mélange ont été prélevés au cours de 2 périodes de lactation, 1989 et 1990. Les échantillons, parties aliquotes du lait de la traite totale du matin, ont été prélevés régulièrement tout au long des 2 campagnes lactières, les chèvres étant sélectionnées par tirage aléatoire à chaque prélèvement au sein des trois lots (tableau I). Le nombre de prélèvements par chèvre était compris entre 1 et 5. Les laits de mélange ont été constitués par l'assemblage des laits de 4 chèvres sélectionnées aléatoirement dans l'un des 3 groupes. Les échan-

**Tableau I.** Caractéristiques des échantillons de laits analysés.  
*Characteristics of the milk samples analysed.*

Types de laits	Génotype des animaux	Nombre d'échantillons	Nombre de chèvres	Périodes de prélèvement (j de lactation)
Laits individuels	AA	51	22	43-267
	EE	51	17	35-266
	FF	51	17	58-267
Laits de mélange	AA	7	15	71-213
	EE	8	16	51-231
	FF	8	14	75-247

tillons étaient acheminés par messagerie rapide de Moissac à Grignon, leur conservation étant assurée par addition d'azothhydrate de sodium à la dose de 0,4 g/l.

Les analyses réalisées sur les laits individuels ont comporté une caractérisation physico-chimique des fractions protéique et minérale, ainsi qu'une appréciation du comportement vis-à-vis de la présure et de la stabilité thermique.

Sur chaque lait ont été effectués la séparation et le dosage des principales fractions azotées, la détermination de certaines caractéristiques des micelles de caséine (dimensions moyennes, hydratation, degré de minéralisation) ainsi que le dosage des différentes formes de calcium (total, soluble, ionisé) et de phosphore inorganique (total, soluble). Les méthodes utilisées pour l'ensemble de ces déterminations sont décrites dans une publication antérieure (Remeuf *et al*, 1989). La concentration d'urée a été déterminée à l'aide d'un kit enzymatique Boehringer.

En ce qui concerne l'aptitude à la coagulation par la présure, celle-ci a été appréciée au moyen du Formagraph (Foss Electric), d'après le protocole décrit par Mac Mahon et Brown (1982). Les conditions de coagulation étaient les suivantes : température 30°C, emploi de présure liquide Boll à 520 mg de chymosine/l, à une dose équivalente à 27 ml pour 100 kg de lait. Trois paramètres ont été déterminés à partir des enregistrements des cinétiques de coagulation : le temps de prise (min), la vitesse de raffermissement du gel (égale à  $40/K_{20}$  et s'exprimant en mm/min) et la fermeté maximale (écartement maximal des branches de la courbe

en mm). L'aptitude à l'égouttage a été estimée par le degré d'hydratation du caillé présure centrifugé (Remeuf *et al*, 1989).

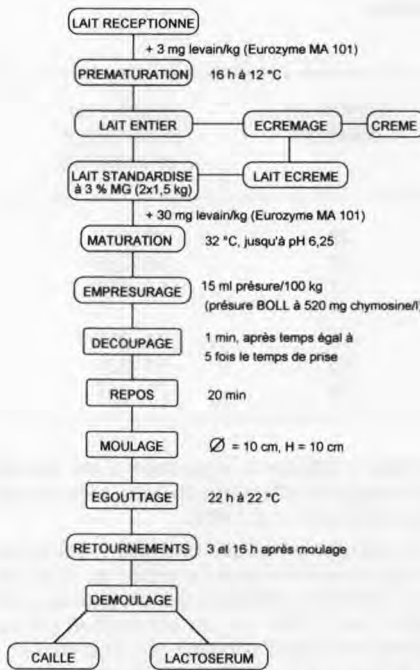
La stabilité thermique des laits a été appréciée par une méthode qui s'inspire du «test subjectif» utilisé par différents auteurs pour le lait de vache (Fox, 1982). Le lait est prélevé par capillarité dans des tubes type hématocrite. Les 2 extrémités sont soudées à la flamme et les capillaires sont plongés dans un bain-marie d'huile thermostaté. En faisant varier la température par intervalles de 2°C autour de 140°C, on cherche à déterminer la température maximale T pour laquelle l'échantillon reste stable pendant 1 min. La «température de coagulation thermique» est alors fixée à  $T + 1^\circ\text{C}$ .

Les laits de mélange ont été utilisés pour la réalisation de microfabrications fromagères à coagulation présure dominante, selon le protocole décrit à la figure 1. Par établissement d'un bilan matière, ces fabrications permettent l'estimation des coefficients de récupération de la matière sèche et de la matière azotée. Afin de les rendre comparables, ces coefficients sont corrigés en ramenant l'extrait sec du caillé à une valeur constante égale à 36%, selon la formule de Maubois et Mocquot (1967).

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Laits individuels

Le tableau II rassemble, pour les différentes caractéristiques mesurées, les va-



**Fig 1.** Schéma des micro-fabrications fromagères.

*Diagram of micro-scale cheese-making.*

leurs moyennes observées pour chaque type de lait et précise la signification statistique des écarts mis en évidence.

### Fraction azotée

L'effet du polymorphisme génétique sur les variables caractérisant la fraction azotée est particulièrement marqué. Les concentrations en matière azotée totale, protéine et caséine diminuent de manière importante lorsqu'on passe des lait AA aux laits EE puis FF. Les différences entre les 3 types de laits sont très significatives, mais les laits AA se distinguent assez nettement des 2 autres. Ainsi, l'écart de concentration en caséine entre les laits AA et FF atteint en moyenne 6 g/l, alors que la différence entre les laits EE et FF s'éta-

blit à un peu plus de 2 g/l. Inversement, les concentrations en azote non protéique et en urée ne sont pas significativement différentes. L'incidence du polymorphisme de la caséine  $\alpha_{s1}$  caprine sur la teneur en protéine des laits a été mise en évidence dans plusieurs travaux antérieurs (Grosclaude et Mahé, 1986 ; Grosclaude *et al*, 1987 ; Ambrosoli *et al*, 1988 ; Remeuf, 1988). Toutefois les écarts obtenus ici entre laits d'animaux homozygotes sont sensiblement amplifiés par rapport à ceux qui ont pu être relevés antérieurement à partir de laits dont les phénotypes étaient hétérogènes.

Parallèlement aux concentrations des composants azotés, il s'avère que le génotype de caséine  $\alpha_{s1}$  a également un effet marqué sur leurs proportions relatives. Ainsi un effet significatif du type génétique est noté sur la proportion d'azote caséique dans l'azote total (AA>EE>FF), lié aux tendances observées pour 2 autres paramètres : la proportion d'azote non protéique dans l'azote total (AA<EE et FF) et le rapport caséine/protéine (AA>FF). De même, le pourcentage de caséine non centrifugeable dans la caséine totale est significativement plus faible dans les laits AA.

### Concentration en matière grasse

L'effet du génotype sur le taux butyreux, avec un écart de 4,3 g/l entre les laits AA et FF, constitue un résultat nouveau et inattendu de cette expérimentation. Il est en accord avec des observations réalisées en fermes, qui conduisent à une différence AA-FF égale à 4,2 g/l (Grosclaude, communication personnelle). Il est relativement surprenant de constater que des variations génétiques affectant une caséine se traduisent par des modifications du taux de matière grasse. L'interprétation de ce phénomène, à laquelle certaines équipes

**Tableau II.** Valeurs moyennes et comparaison statistique des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des laits AA, EE et FF <sup>1</sup>.*Physico-chemical and technological characteristics of AA, EE and FF milks: means and statistical comparison <sup>1</sup>.*

Variables	Types génétiques des laits analysés		
	AA (n=51)	EE (n=51)	FF (n=51)
<b>Fraction azotée</b>			
Matière azotée totale (g/l)	34,4 <sup>a</sup>	30,3 <sup>b</sup>	28,2 <sup>c</sup>
Protéine (g/l)	31,8 <sup>a</sup>	27,6 <sup>b</sup>	25,5 <sup>c</sup>
Caséine (g/l)	26,7 <sup>a</sup>	22,8 <sup>b</sup>	20,7 <sup>c</sup>
Caséine soluble (g/l)	2,28 <sup>a</sup>	2,99 <sup>b</sup>	2,42 <sup>ab</sup>
Azote non protéique (g/l)	0,404 <sup>a</sup>	0,423 <sup>a</sup>	0,417 <sup>a</sup>
Urée (g/l) (n=21)	0,48 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>
Caséine/matière azotée totale (%)	77,8 <sup>a</sup>	75,2 <sup>b</sup>	73,5 <sup>c</sup>
Caséine/protéine (%)	84,2 <sup>a</sup>	82,6 <sup>ab</sup>	81,2 <sup>b</sup>
Azote non protéique/azote total (%)	7,62 <sup>a</sup>	8,98 <sup>b</sup>	9,52 <sup>b</sup>
Caséine soluble/caséine totale (%)	8,38 <sup>a</sup>	13,0 <sup>b</sup>	11,7 <sup>b</sup>
<b>Matière grasse</b>			
Taux butyreux (g/l)	33,5 <sup>a</sup>	31,8 <sup>ab</sup>	29,2 <sup>b</sup>
<b>Fraction minérale</b>			
pH	6,57 <sup>a</sup>	6,61 <sup>b</sup>	6,58 <sup>ab</sup>
Calcium total (mg/l)	1 200 <sup>a</sup>	1 090 <sup>b</sup>	1 050 <sup>b</sup>
Calcium soluble (mg/l)	360 <sup>a</sup>	335 <sup>b</sup>	346 <sup>ab</sup>
Calcium ionisé (mg/l)	137 <sup>a</sup>	122 <sup>a</sup>	128 <sup>a</sup>
Calcium soluble/total (%)	30,2 <sup>a</sup>	30,8 <sup>a</sup>	33,0 <sup>b</sup>
Phosphore inorganique total (mg/l)	678 <sup>a</sup>	678 <sup>a</sup>	669 <sup>a</sup>
Phosphore inorganique soluble (mg/l)	362 <sup>a</sup>	364 <sup>a</sup>	366 <sup>a</sup>
Phosphore inorganique soluble/total (%)	53,2 <sup>a</sup>	53,8 <sup>a</sup>	54,6 <sup>a</sup>
Citrate soluble (g ac. citrique/l)	0,99 <sup>a</sup>	0,98 <sup>a</sup>	1,02 <sup>a</sup>
<b>Caractères des micelles</b>			
Diamètre moyen des micelles (nm)	221 <sup>a</sup>	264 <sup>b</sup>	268 <sup>b</sup>
Hydratation des micelles (g eau/g MS)	1,71 <sup>a</sup>	1,73 <sup>a</sup>	1,74 <sup>a</sup>
Minéralisation calcique (mg Ca/g de caséine)	31,6 <sup>a</sup>	33,4 <sup>b</sup>	34,3 <sup>b</sup>
<b>Paramètres de coagulation</b>			
Temps de prise (min)	15,1 <sup>ab</sup>	16,6 <sup>a</sup>	13,7 <sup>b</sup>
Vitesse de raffermissement du gel (mm/min)	3,56 <sup>a</sup>	2,68 <sup>b</sup>	2,85 <sup>b</sup>
Fermeté maximale du gel (mm)	50,4 <sup>a</sup>	40,5 <sup>b</sup>	37,3 <sup>c</sup>
Humidité du caillé présure centrifugé (g eau/g MS)	1,77 <sup>a</sup>	1,66 <sup>a</sup>	1,71 <sup>a</sup>
<b>Stabilité thermique</b>			
Température de coagulation thermique (°C)	133 <sup>a</sup>	136 <sup>a</sup>	133 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Les chiffres suivis d'une lettre différente sur une même ligne sont significativement différents au seuil 5%.<sup>1</sup> Values followed by a different letter on the same line are significantly different (P = 0.05).

s'intéressent actuellement, se situe probablement à l'interface génétique/physiologie.

### Fraction minérale

L'influence du type de caséine  $\alpha_{S1}$  sur la fraction minérale apparaît plus limitée que pour la fraction azotée. La concentration en calcium total est significativement plus élevée dans les laits AA que dans les laits EE ou FF. Cet effet devrait avoir une incidence favorable sur le comportement technologique des laits AA car la concentration en calcium du lait est un paramètre déterminant de son aptitude à la coagulation enzymatique (Lenoir et Schneid, 1987). Une différence, faible mais significative, est par ailleurs relevée dans la répartition du calcium entre les phases soluble et colloïdale, les laits FF ayant un rapport calcium soluble/calcium total plus élevé que les autres laits. En revanche, le type de caséine est sans incidence sur les concentrations de calcium ionisé, de phosphore inorganique sous ses 2 formes, et de citrate soluble. Enfin, les pH moyens des 3 types de lait sont très proches, bien qu'un écart significatif de 0,04 unité apparaisse entre les laits AA et EE.

### Caractéristiques micellaires

Les dimensions des micelles de caséine sont nettement influencées par le type de variant : les laits AA contiennent des micelles dont le diamètre est en moyenne plus faible que les laits EE et FF (221 nm contre 264 nm et 268 nm respectivement). Ce résultat confirme, en accentuant les différences, les observations faites antérieurement sur des laits d'animaux hétérozygotes (Remeuf, 1988). Il s'agit également d'une caractéristique susceptible de favoriser l'aptitude fromagère des laits AA car il a été montré que la taille des micelles de

caséine est corrélée négativement avec la fermeté du gel présure (Niki et Arima, 1984 ; Remeuf *et al*, 1991).

Les 3 types de lait se distinguent par le degré de minéralisation calcique des micelles (rapport calcium colloïdal/caséine totale), légèrement plus élevé dans les laits contenant les variants E et F. En accord avec des observations antérieures (Remeuf, 1988), cet effet d'ampleur limitée est *a priori* plutôt favorable aux laits contenant les variants «faibles». On peut considérer en effet que la minéralisation des micelles reflète la quantité de phosphate de calcium micellaire, dont le rôle est essentiel dans le processus de coagulation enzymatique (Lenoir et Schneid, 1987). En revanche, en ce qui concerne le degré d'hydratation des micelles, aucune différence n'est relevée entre les 3 types de lait.

### Aptitude à la coagulation par la présure

Des différences très significatives entre les 3 géotypes sont mises en évidence dans le comportement des laits vis-à-vis de la présure. Les écarts les plus importants sont ceux relatifs à la fermeté maximale du gel (AA>EE>FF) et à sa vitesse de raffermissement (AA>EE et FF). L'incidence du géotype sur la fermeté du gel présure est en accord avec les données antérieures (Ambrosoli *et al*, 1988 ; Remeuf, 1988). On sait également que ce paramètre est corrélé positivement avec la vitesse de raffermissement du gel (Remeuf *et al*, 1989), ce qui est cohérent avec la tendance observée pour celle-ci. En revanche, la corrélation positive entre le taux de caséine  $\alpha_{S1}$  et le temps de prise, signalée par Ciafalone et Addeo (1984), Ambrosoli *et al* (1988) et Remeuf *et al* (1989) n'est pas confirmée ici. On relève en effet que les laits EE présentent en moyenne un temps de prise significativement plus long que les laits FF, les laits AA se situant en position

intermédiaire. En ce qui concerne l'aptitude à l'égouttage, aucune différence n'est mise en évidence entre les 3 types de laits.

L'aptitude à la coagulation par la présure des laits AA, sensiblement meilleure que celle des laits EE et FF résulte de leurs propriétés physico-chimiques spécifiques : richesse en caséine et en calcium, micelles de petite dimension. Il est intéressant de souligner qu'en ce qui concerne ces critères, les caractéristiques des laits AA se rapprochent de celle du lait de vache dont l'aptitude à la coagulation enzymatique est en moyenne nettement supérieure à celle du lait de chèvre (Remeuf *et al*, 1989).

### Stabilité thermique

La température de coagulation thermique des laits analysés se situe en moyenne à 134°C. Ce résultat reflète la non-stabilité du lait de chèvre vis-à-vis des traitements UHT, largement signalée dans la littérature (*eg* Fox et Hoynes, 1976 ; Zadow *et al*, 1983). Le type génétique n'a pas d'effet sur la température de coagulation thermique, les valeurs étant statistiquement identiques pour les trois types de laits. Ces résultats montrent donc qu'aucun des 3

variants étudiés ne présente, par rapport aux autres, un avantage particulier au plan de la stabilité vis-à-vis des traitements à haute température.

### Laits de mélange

L'incidence du polymorphisme génétique de la caséine  $\alpha_{s1}$  caprine sur la composition des laits et sur leur aptitude à la coagulation par la présure a des répercussions sur leur comportement fromager comme le confirment les essais de micro-fabrications (tableau III). Ainsi, les coefficients de récupération de la matière sèche et de la matière azotée sont significativement inférieurs de 4 à 5% dans les laits de type F par rapport aux laits de type A. Ces résultats s'expliquent principalement par le rapport caséine/matière azotée totale sensiblement plus faible dans les laits de type F (73,5% contre 77,8%). En outre, le gel présure moins ferme obtenu avec les laits à faible teneur en caséine  $\alpha_{s1}$  est un facteur de dégradation du rendement fromager car il favorise les pertes de matière sèche sous forme de fines dans le lactosérum lors du travail du caillé.

**Tableau III.** Valeurs moyennes des coefficients de récupération des matières sèche et azotée observées en microfabrication fromagère.

*Average values of nitrogen and dry matter recovery coefficients in micro-scale cheese-making.*

Types de laits	Coefficients de récupération de la matière sèche	Coefficients de récupération de la matière azotée
AA (n = 7)	53,7 <sup>a</sup>	74,9 <sup>a</sup>
EE (n = 8)	51,2 <sup>b</sup>	73,2 <sup>ab</sup>
FF (n = 8)	49,7 <sup>b</sup>	69,8 <sup>b</sup>

Les chiffres suivis d'une lettre différente sur une même ligne sont significativement différents au seuil de 5%.  
*Values followed by a different letter on the same line are significantly different (P = 0.05).*

## CONCLUSION

Ces résultats montrent clairement l'incidence marquée du polymorphisme génétique de la caséine  $\alpha_{s1}$  sur les caractères physico-chimiques et sur le comportement fromager des laits de chèvre. Ils mettent en évidence l'intérêt que pourrait présenter une sélection des animaux sur la base du type de variant de caséine  $\alpha_{s1}$ . En effet, les laits contenant le variant A présentent des caractéristiques qui leur confèrent une valeur fromagère *a priori* supérieure aux autres laits. Toutefois ces conclusions concernent uniquement l'aspect quantitatif de la transformation fromagère et il conviendra de vérifier que les caractères favorables des laits contenant les variants à fort taux de synthèse de caséine  $\alpha_{s1}$  ne s'accompagnent pas d'effets indésirables sur les qualités organoleptiques des produits, sur d'autres composants de la qualité technologique, ou sur l'animal lui-même.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'un financement par le ministère de la Recherche et de la Technologie, dans le cadre d'un programme de recherche pluridisciplinaire sur l'application des biotechnologies à l'amélioration génétique de la qualité fromagère des laits bovins et caprins, et placé sous la responsabilité scientifique de F Grosclaude. Il n'aurait pas pu être mené à bien sans l'assistance technique de A Normand et MT Le Tilly, que nous remercions pour leur précieux concours.

Nos remerciements vont également à JP Bouillon, directeur de la station caprine de Moissac, pour l'organisation efficace du prélèvement et de l'envoi des échantillons.

## RÉFÉRENCES

- Ambrosoli R, Di Stasio L, Mazzoco P (1988) Content of  $\alpha_{s1}$ -casein and coagulation properties in goat milk. *J Dairy Sci* 71, 24-28
- Boulanger A, Grosclaude F, Mahé MF (1984) Polymorphisme des caséines  $\alpha_{s1}$  et  $\alpha_{s2}$  de la chèvre. *Génét Sél Evol* 16, 157-176
- Brignon G, Mahé MF, Grosclaude F, Ribadeau-Dumas B (1989) Sequence of caprine  $\alpha_{s1}$ -casein and characterization of those of its genetic variants which are synthesized at a high level,  $\alpha_{s1}$ -Cn A, B and C. *Protein Seq Data Anal* 2, 181-188
- Brignon G, Mahé MF, Ribadeau-Dumas B, Mercier JC, Grosclaude F (1990) Two of the three genetic variants of goat  $\alpha_{s1}$ -casein which are synthesized at a reduced level have an internal deletion possibly due to altered RNA splicing. *Eur J Biochem* 193, 237-241
- Ciafarone N, Addeo F (1984) Composizione della caseina e proprietà del latte di capra. *Vergaro* 11, 17-24
- Fox PF (1982) Heat induced coagulation of milk. In: *Developments in Dairy Chemistry-1* (Fox PF, ed) Applied Science Publishers, London
- Fox PF, Hoynes MCT (1976) Heat stability characteristics of ovine, caprine and equine milks. *J Dairy Res* 43, 433-442
- Grosclaude F, Mahé MF (1986) Polymorphisme des caséines du lait de chèvre. *11<sup>es</sup> Journées Rech Ovine et Caprine*, Paris
- Grosclaude F, Mahé MF, Brignon G, Di Stasio L, Jeunet R (1987) A mendelian polymorphism underlying quantitative variations of goat  $\alpha_{s1}$ -casein. *Genet Set Evol* 19, 399-412
- Lenoir J, Schneid N (1987) L'aptitude du lait à la coagulation par la présure. In: *Le fromage*, (Eck A, ed), 2e éd, Tec et Doc, Paris, 139-150
- Mc Mahon DJ, Brown RJ (1982) Evaluation of Formagraph for comparing rennet solutions. *J Dairy Sci* 65, 1639-1642
- Maubois JL, Mocquot G (1967) Comment ramener à la même teneur en substance sèche des fabrications de fromages en vue de comparer les rendements respectifs du lait en fromage. *Rev Lait Fr* 239, 15-18
- Niki R, Arima S (1984) Effects of size of casein micelle on firmness of rennet curd. *Jpn J Zotech Sci* 55, 409-415
- Remeuf F (1988) Lait de chèvre : étude sur le polymorphisme génétique de la caséine  $\alpha_{s1}$ . *Bull Tech Ovin Caprin* 20, 35-38
- Remeuf F, Lenoir J, Duby C (1989) Étude des relations entre les caractéristiques physico-chimiques 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 physico-chimiques des laits et leur aptitude fromagère. *Lait* 71, 397-421

Zadow JG, Hardham JF, Kokak HR, Mayes JJ (1983) The stability of goat's milk to UHT processing. *Aust J Dairy Technol* 38, 20-23