Article original

Polymorphisme de la caséine κ de trois races bovines françaises et aptitude à la coagulation

A Delacroix-Buchet¹, D Lefier², V Nuyts-Petit^{1*}

¹ INRA, Station de recherches laitières, 78352 Jouy-en-Josas cedex, France

² INRA, Station de recherches en technologie et analyses du lait, BP 89, 39800 Poligny, France

(Reçu le 11 mai 1992; accepté le 27 octobre 1992)

Résumé — Les études réalisées sur des laits individuels de 3 races bovines traditionnelles exploitées en France (Montbéliarde, Normande et Tarentaise) confirment l'intérêt du polymorphisme de la caséine κ (κ -Cn) sur l'aptitude des laits à la coagulation par la présure. L'homozygote BB contient plus de caséine totale. Il est plus riche en κ -Cn. Il présente un temps de gélification par la présure plus court que l'homozygote AA ou les hétérozygotes AC, BC, AB et surtout une consistance du caillé, à un temps donné, plus ferme liée à un temps de raffermissement plus court. Que l'on réalise des comparaisons entre les génotypes de la κ -Cn pour un même taux de caséine totale ou un temps de gélification ajusté par la quantité de présure, les laits des vaches κ -Cn BB présentent toujours une meilleure aptitude à la coagulation (temps de raffermissement réduit et fermeté des gels accrue) par rapport aux autres vaches. La plus grande richesse en κ -Cn des laits BB explique probablement ce résultat : la taille moyenne de leurs micelles de caséine est moindre ce qui provoque une organisation plus rapide du caillé.

caséine κ bovine / variants génétiques / Montbéliarde / Normande / Tarentaise / coagulation à la présure

Summary — κ -Casein polymorphisms and milk rennet coagulation ability. In an attempt to better understand the influence of κ -casein (κ -Cn) polymorphisms on the cheese-making properties of milk, distinct trials were carried out using 3 different breeds of cows (Montbéliard, Norman, Tarentais) among those commonly used in France for cheese-milk production. Results were similar for all breeds and confirmed the role of κ -Cn polymorphisms on the milk rennet coagulation ability. Milk with a higher casein content was obtained with the κ -Cn B variant compared to other κ -Cn variants. The κ -casein B milk also contained more κ -Cn. Its clotting time was shorter. The most significant difference between κ -Cn variants consisted of the curd firmness. κ -Cn B milk produced a solid curd. Organization of the gel also occurred more rapidly with κ -Cn B milk. For the same casein content or

* Adresse actuelle : INRA, laboratoire d'écologie et physiologie du système digestif, 78352 Jouy-en-Josas Cedex, France

adjusted rennet coagulation time, the higher κ -Cn content of κ -Cn B milk probably explains its better firmness. Indeed, differences seemed to depend mostly on the average size of the casein micelles which was much smaller for κ -Cn B milk, resulting in a faster gel organization.

bovine κ -casein / genetic variant / Montbéliard / Norman / Tarentais / rennet coagulation

INTRODUCTION

Il est bien connu que la plupart des protéines laitières présentent un polymorphisme génétique qui affecte la composition du lait et ses propriétés technologiques. Depuis la découverte par Aschaffenburg et Drewry en 1955 du polymorphisme génétique de la β -lactoglobuline, de nombreuses études ont été menées pour connaître la fréquence des variants génétiques des protéines laitières dans diverses races bovines et déterminer leurs effets sur les caractéristiques de production du lait (Hayes *et al*, 1984; Mc Lean *et al*, 1984; Ng-Kwai-Hang *et al*, 1984) et sur l'aptitude technologique des laits (Feagan *et al*, 1972; Mariani *et al*, 1976; Schaar, 1981 et 1984; Schaar *et al*, 1985). Les résultats ont été présentés de façon exhaustive dans une revue bibliographique de Grosclaude (1988).

Parmi les protéines les plus étudiées se trouve la β -lactoglobuline dont le polymorphisme influe directement sur la concentration en caséine totale du lait, premier facteur responsable des différences d'aptitude à la coagulation entre les laits individuels. La caséine κ (κ -Cn) a également été abondamment étudiée dans la mesure où c'est de son hydrolyse que dépend la première phase de coagulation du lait par la présure (Brulé et Lenoir, 1986).

À l'heure actuelle, les variants A et B de la κ -Cn semblent universellement répandus chez les bovins. Les substitutions d'acides aminés différenciant ces 2 variants furent localisées, en 1972, par Gros-

claude et son équipe. L'allèle A est dominant mis à part chez les vaches de races Normande et Jersey. L'existence d'un troisième variant de la κ -Cn dénommé C, jusqu'ici difficile à mettre en évidence (Di Stasio et Merlin, 1979; Mariani, 1983) a été confirmée, par isoélectrofocalisation, en race Tarentaise où il est présent à une fréquence égale à 0,09 (Nuyts-Petit, 1991).

Les premiers travaux sur la κ -Cn (Sherbon *et al*, 1967) ont montré une réelle influence des variants génétiques de cette caséine sur les diverses étapes de la transformation fromagère et particulièrement sur la phase de coagulation du lait à la présure. Les conclusions sur l'intérêt des variants de la κ -Cn rassemblent tous les chercheurs. Ils présentent unanimement le variant B comme le plus intéressant pour l'aptitude du lait à la coagulation. L'homozygote BB est associé à une plus forte concentration en protéines totales (Ng-Kwai-Hang *et al*, 1984 et 1986) et en caséines (Mariani *et al*, 1976; Schaar *et al*, 1985; Ng-Kwai-Hang *et al*, 1986). Rahali et Ménard (1991) soulignent le caractère aditif de l'interaction entre les variants génétiques de la β -lactoglobuline et de la κ -Cn. Le génotype BB de la κ -Cn agit en faveur d'une augmentation du taux de cette caséine au détriment du taux de caséine α_{s1} sans que le taux de caséine totale soit modifié (Mc Lean *et al*, 1984).

Le génotype κ -Cn BB présente un temps de coagulation plus court, une fermeté des gels plus élevée due à un grain de caillé plus uniforme et une meilleure ex-

pulsion du lactosérum (Losi *et al*, 1973; Mariani *et al*, 1976). Rahali et Ménard (1991) justifient cette meilleure aptitude à la coagulation par un taux de caséines plus élevé dans les laits κ -Cn BB. Cependant, à taux de caséines identiques, ces mêmes auteurs constatent que l'aptitude à la coagulation reste supérieure en présence du variant B.

Les rendements fromagers sont accrus de façon significative avec la caséine κ -Cn BB par rapport aux caséines κ -Cn AA et κ -Cn AB en fabrication de Parmesan, de Cheddar ou de Camembert (Mariani *et al*, 1976; Morini *et al*, 1979; Marziali et Ng-Kwai-Hang, 1986a; Rahali et Ménard, 1991). Ceci est dû à une meilleure rétention des protéines (Schaar *et al*, 1985; Rahali et Ménard, 1991), une meilleure incorporation de la matière grasse dans le caillé d'où une moindre perte de matière grasse et de protéines dans le lactosérum (Marziali et Ng-Kwai-Hang, 1986b; Rahali et Ménard, 1991).

Trois études menées en 1989 et 1990 par 2 stations de recherches INRA (Poligny et Jouy-en-Josas) ont évalué l'effet du polymorphisme des lactoprotéines bovines sur la composition et les aptitudes fromagères des laits de vaches de races traditionnelles (Bride, 1989; Nuyts-Petit, 1991). À partir des résultats obtenus, nous avons essayé de dégager le rôle particulier du polymorphisme de la κ -Cn, dans l'aptitude à la coagulation de laits individuels de vaches de races Montbéliarde, Normande et Tarentaise.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les protocoles des 3 essais ne sont pas homogènes. Aussi est-il indispensable, dans un premier temps, d'en souligner les différences de conception majeures pour interpréter et comparer les résultats concernant l'effet du polymorphisme de la κ -Cn.

Choix des animaux

Essai I

Vingt-quatre vaches de race Montbéliarde formant 12 couples homozygotes AA ou BB pour la κ -Cn ont été prélevées, 3 fois, de fin avril à fin juin 1989, dans les 3 départements de la Franche-Comté et l'Ain. Parmi ces 12 couples de vaches, 7 étaient des couples intra-père c'est-à-dire que les 2 vaches d'un couple avaient le même père mais l'une possédait le génotype AA pour la κ -Cn et l'autre, le génotype BB (Bride, 1989).

Essai II

Quatre-vingt neuf vaches de race Normande possédant un des 3 haplotypes BBB, CA²B ou BA²A codant respectivement pour les caséines α_{s1} , β et κ ont été prélevées une fois dans la période avril à décembre 1990, dans 4 départements de la Normandie, la Sarthe et la Mayenne. Parmi ces vaches, 59 étaient homozygotes BB et les 30 autres homozygotes AA pour la κ -Cn. Les 89 vaches étaient filles de 8 pères différents (Nuyts-Petit, 1991).

Essai III

Soixante vaches de race Tarentaise ont été prélevées, une fois, en avril-mai 1989, dans la région de Chambéry, pour comparer les variants D et A de la caséine α_{s2} , les variants C et A² de la caséine β et les variants C, A et B de la κ -Cn, le reste du génotype demeurant identique dans chaque comparaison. Parmi ces vaches, et pour la κ -Cn, 18 étaient homozygotes AA et 7 BB, 21 étaient hétérozygotes AB, 12 AC et 2 BC (Nuyts-Petit, 1991).

Suivi de la cinétique de coagulation

Le temps de gélification (R), le temps de raffermissement du gel (K20) et la fermeté du gel à un temps donné (A30 ou AD) ont été mesurés au Formagraph (société Foss Electric, Danemark) mais les conditions de mesures différaient d'un essai à l'autre.

Essai I

Les tests ont été réalisés, en triple, à 35°C, sur les laits crus standardisés en matière grasse, avec une dose d'extrait de présure liquide à 700 mg de chymosine active/l (Granday, Beaune) telle que sa concentration dans le lait soit identique à celle utilisée en cuve de fabrication de Gruyère de Comté ceci afin d'obtenir pour tous les laits un temps de gélification voisin de 30 min. La fermeté du gel a été relevée après 5 min de coagulation (AD) et correspondait à la fermeté au décaillage en cuve de fabrication.

Essais II et III

Les tests ont été réalisés, la veille des fabrications, sur les laits individuels écrémés par centrifugation. Les mesures ont été faites, en double, au pH initial des laits, à 32°C et avec une dose d'extrait de présure liquide à 520 mg de chymosine active/l (Granday, Beaune), identique pour chaque lait. La fermeté du gel à 30 min (A30) a été mesurée.

Analyse physico-chimique des laits

– *pH* : mesure directe à l'aide d'un pHmètre à électrode combinée;

– *matière grasse* (MG) : méthode acido-butyrométrique de Gerber (norme AFNOR NF V04-210);

– *azote total* (NT) : dosage par la méthode Kjeldhal selon la norme FIL 20A (1986). La matière azotée totale (MAT) était déterminée en utilisant un coefficient de 6,38 pour l'azote ($MAT = NT \times 6,38$);

– *azote non caséique* (NCN): fractionnement d'après la méthode de Rowland (1938) et dosage par la méthode Kjeldhal.

($NT - NCN$) $\times 6,38$ représente le taux de caséines des laits;

– *fractions caséines* : séparation des caséines (α_s , β , κ) par méthode électrophorétique sur gel de polyacrylamide-agarose (PAGE) à pH 8,6 et détermination de la proportion des différentes caséines par lecture densitométrique (lecteur Vernon) des gels selon la technique d'Uriel (1966) adaptée par Collin *et al* (1987) (essai I)

ou séparation et détermination de la proportion des caséines par méthode chromatographique rapide d'échange d'ions sur un appareillage FPLC (Pharmacia, Suède) selon la technique de Guillou *et al* (1987) (essais II et III);

– *calcium* : dosage complexométrique selon la technique de Pearce (1977) (essai I) ou dosage par spectrométrie d'absorption atomique suivant la technique de Murthy et Rhea (1967) après reprise des cendres du lait dans un tampon spectral (1 g NaCl et 0,2 g KCl/l H₂O distillée) (flamme de protoxyde d'azote-acétylène) (essai III) ou dosage fluorimétrique à l'aide d'un calcimètre Corning 940 (Corning France, Le Vé-sinet) (essai II). La fraction totale était déterminée sur le lait (CaT) et la fraction soluble (CaS) sur un ultrafiltrat de lait écrémé (essais II et III) réalisé par centrifugation à l'aide de cônes Centriflo type CF 25 (Société Amicon, USA) constitués d'une membrane avec un seuil de coupure de 10 000 Da.

– *diamètre moyen des micelles de caséines* : détermination à l'aide d'un analyseur de particules de marque Coulter modèle N4 (Coultronics France, Margency) par mesure du coefficient de diffusion lumineuse laser et calcul d'après la loi de Stokes-Einstein (Lin *et al*, 1971).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les principaux résultats sont présentés dans les tableaux I à III pour chacun des 3 essais mentionnés. Aucune analyse statistique n'a été réalisée car, dans la plupart des essais, le protocole ne le permettait pas: non indépendance des données (mêmes animaux prélevés plusieurs fois) ou multiplicité des facteurs de variation par rapport au nombre d'observations. Une analyse graphique des résultats permet cependant de séparer les effets respectifs des divers génotypes de la κ -Cn.

Composition des laits

Les facteurs de variation de la composition des laits, autres que les facteurs génétiques

Tableau I. Composition chimique et paramètres lactodynamiques des laits individuels de vaches de race Montbéliarde (moyenne et écart type en fonction du génotype de la caséine κ) (essai I).
Chemical composition and lactodynamic parameters of individual cows of the Montbéliard breed (mean $\pm$ SD in relation to κ -casein genotype) (trial I).

Essai I (Montbéliarde) (N = 74)	Génotype de la caséine κ	
	AA (n = 36)	BB (n = 38)
<i>Composition des laits :</i> Moyenne (écart-type)		
pH	6,70 (0,06)	6,74 (0,06)
MAT (g/kg)	35,0 (2,9)	35,4 (2,2)
Caséines (g/kg)	26,9 (2,3)	27,6 (2,5)
Caséines/MAT (%)	76,7 (2,5)	77,7 (3,3)
Caséines α_s (% des caséines)	50,1 (3,0)	48,0 (3,4)
Caséine β (% des caséines)	38,1 (2,7)	37,7 (2,5)
Caséine κ (% des caséines)	11,8 (1,6)	14,3 (2,1)
Calcium total (g/kg)	1,15 (0,07)	1,15 (0,09)
<i>Rhéologie des laits :</i> Moyenne (écart type)		
Quantité de présure (ml/10 l)	1,54 (0,32)	1,47 (0,34)
Temps de Berridge (min)	29,4 (1,2)	29,0 (1,4)
R (min)	32,3 (2,7)	31,1 (3,0)
A décaillage (mm)	3,1 (1,0)	5,5 (2,0)

Tableau II. Composition chimique et paramètres lactodynamiques des laits individuels de vaches de race Normande (moyenne et écart type en fonction du génotype de la caséine κ) (essai II).
Chemical composition and lactodynamic parameters of individual cows of the Norman breed (mean $\pm$ SD in relation to κ -casein genotype) (trial II).

Essai II (Normande) (N = 89)	Génotype de la caséine κ	
	AA (n = 30)	BB (n = 59)
<i>Composition des laits :</i> Moyenne (écart-type)		
pH	6,60 (0,08)	6,62 (0,08)
MAT (g/kg)	35,1 (4,2)	35,4 (3,3)
Caséines (g/kg)	27,0 (3,3)	27,5 (2,4)
Caséine/MAT (%)	76,9 (3,2)	77,8 (2,5)
Caséine α_s (% des caséines)	50,3 (1,5)	47,0 (2,5)
Caséine β (% des caséines)	39,8 (2,9)	37,9 (2,3)
Caséine κ (% des caséines)	9,9 (2,1)	15,0 (2,2)
Diamètre des micelles (nm)	168 (12)	151 (11)
Calcium total (g/kg)	1,20 (0,19)	1,25 (0,16)
Calcium soluble (g/kg)	0,28 (0,07)	0,30 (0,08)
<i>Rhéologie des laits :</i> Moyenne (écart-type)		
R (min)	14,9 (4,8)	9,3 (2,2)
K ₂₀ (min)	9,3 (5,0)	4,5 (1,8)
A ₃₀ (mm)	27,3 (12,9)	47,1 (8,2)

Tableau III. Composition chimique et paramètres lactodynamiques des laits individuels de vaches de race Tarentaise (moyenne et écart type en fonction du génotype de la caséine κ) (essai III).*Chemical composition and lactodynamic parameters of individual cows of the Tarentais breed (mean $\pm$ SD in relation to κ -casein genotype) (trial III).*

Essai III (Tarentaise) (N = 60)	Génotype de la caséine κ				
	AA (n = 18)	AC (n = 12)	AB (n = 21)	BC (n = 2)	BB (n = 7)
<i>Composition des laits :</i>					
<i>Moyenne (écart type)</i>					
pH	6,69 (0,06)	6,69 (0,05)	6,97 (0,07)	6,62 (0,01)	6,67 (0,09)
MAT (g/kg)	30,0 (3,3)	30,6 (4,1)	31,1 (2,6)	35,6 (0,2)	33,7 (3,2)
Caséines (g/kg)	23,1 (2,7)	23,6 (4,0)	24,7 (2,4)	28,9 (0,3)	26,3 (2,2)
Caséine/MAT (%)	76,9 (3,3)	77,0 (3,8)	79,6 (4,8)	81,2 (1,3)	78,2 (1,8)
Caséine α_s (% des caséines)	50,3 (3,4)	48,7 (3,0)	46,4 (3,8)	50,3 (0,3)	46,9 (4,2)
Caséine β (% des caséines)	42,6 (3,0)	43,3 (2,3)	44,8 (3,4)	42,2 (0,5)	42,8 (4,1)
Caséine κ (% des caséines)	7,0 (1,5)	8,0 (1,4)	8,8 (2,3)	7,5 (0,7)	10,2 (1,7)
Diamètre des micelles (nm)	196 (42)	188 (31)	158 (21)	159 (7)	145 (6)
Calcium total (g/kg)	0,94 (0,13)	0,92 (0,10)	0,95 (0,11)	0,87 (0,01)	1,01 (0,11)
Calcium soluble (g/kg)	0,40 (0,08)	0,38 (0,11)	0,44 (0,11)	0,35 (0,01)	0,42 (0,10)
<i>Rhéologie des laits :</i>					
<i>moyenne (écart type)</i>					
R (min)	13,9 (4,9)	16,6 (6,4)	12,8 (4,3)	14,6 (0,9)	11,5 (4,2)
K ₂₀ (min)	13,6 (5,9)	10,5 (4,1)	8,7 (4,3)	6,3 (0,3)	5,3 (1,0)
A ₃₀ (mm)	24,0 (10,1)	24,3 (12,4)	36,2 (10,7)	39,5 (1,5)	44,0 (6,3)

ques, sont multiples (alimentation, stade physiologique, état sanitaire des animaux...) et les valeurs présentées dans les tableaux ne peuvent en aucun cas être interprétées comme des valeurs représentatives d'un génotype de la κ -Cn au sein d'une des races bovines étudiées.

On peut cependant noter que quelle que soit leur race, les vaches possédant l'allèle B de la κ -Cn et tout particulièrement les vaches homozygotes BB, produisent un lait avec un taux de MAT plus élevé et un taux de caséine totale plus important que les autres vaches. Ce résultat est en accord avec ceux de Mariani *et al* (1976), Ng-Kwai-Hang *et al* (1984, 1986), Schaar *et al* (1985), Rahali et Ménard (1991). La proportion de caséine totale dans la MAT est également plus grande avec le variant B, comme l'ont déjà observé Rahali et Ménard (1991). L'accroissement du taux de caséines des laits avec le variant B de la κ -Cn semble également influencer positivement sur le taux de calcium total des laits ce qui a déjà été signalé par Mariani *et al* (1976).

Les résultats des différents essais montrent que le génotype BB de la κ -Cn est favorable à une augmentation de la proportion de κ -Cn aux dépens de celle de la caséine α_{s1} , et ceci indépendamment du taux de caséines des laits ce que Mc Lean *et al* (1984) ont déjà observé (tableaux I, II et III, fig 1). Les laits κ -Cn BB se distinguent donc des autres laits par une plus grande richesse en κ -Cn.

On sait, d'autre part, que la taille des micelles de caséines est étroitement liée aux proportions relatives des caséines α_s , β et κ et que les plus petites micelles renferment les plus fortes proportions de κ -Cn (Mc Gann *et al*, 1980; Dalgleish *et al*, 1981; Ford et Grandison, 1986). En étudiant les micelles de caséines, Morini *et al* (1975) ont trouvé que les micelles de caséines des laits BB pour la κ -Cn présentaient une plus grande homogénéité de

Fig 1. Taux de caséines et pourcentage de caséine κ dans la caséine totale de laits individuels (effet du génotype de la caséine κ pour 3 races de vaches).

Casein content and percent of κ -casein in whole casein of individual milk samples (effect of the κ -casein genotype in 3 breeds of dairy cows).

taille et un diamètre moyen plus faible que celles des laits κ -Cn AA. Les résultats des essais II et III synthétisent l'ensemble de ces résultats (fig 2).

Aptitude fromagère

Coagulation

L'action du variant de la κ -Cn semble plus forte sur la fermeté du gel que sur le

temps de gélification des laits emprésurés. Ce résultat concorde avec celui de Schaar (1984). Les laits de génotype BB pour la κ -Cn présentent un temps de gélification plus court et une consistance du caillé plus ferme liée à un temps de raffermissement du gel plus court (tableaux II et III). Dans la race Tarentaise, le variant C de la κ -Cn semble associé à des temps de gélification nettement plus longs que ceux des autres variants mais à des temps de raffermissement intermédiaires entre ceux des variants A et B (comparaison du génotype AC aux génotypes AA et AB, et comparaison du génotype BC aux génotypes AB et BB). La fermeté du gel semble quant à elle très comparable entre les génotypes AA et AC ou AB et BC. De ce fait, nous n'avons pas distingué dans les figs 3, 4 et 5, les génotypes AA et AC ou AB et BC lorsqu'il s'agissait d'étudier la fermeté des gels.

Si l'on ajuste les temps de coagulation des laits AA et BB, à la même valeur, en augmentant la dose de présure dans les laits des vaches homozygotes AA (essai I), la fermeté des caillés obtenus avec le variant B est toujours très supérieure à celle des caillés obtenus avec le variant A (tableau I). Cet accroissement de la fermeté du caillé provient certainement, en partie, d'une augmentation du taux de caséine totale avec le variant B par rapport au variant A, ce qu'ont montré Jakob et Puhon (1986). Cependant, à même taux de caséine totale, les caillés formés à partir des laits possédant le variant B de la κ -Cn sont toujours plus fermes que les autres caillés (fig 3) ce que Rahali et Ménard (1991) ont également observé.

Nous avons vérifié précédemment que le diamètre moyen des micelles de caséines des laits de génotype κ -Cn BB est inférieur à celui des laits κ -Cn AA et par ailleurs, des études de microscopie électronique ont montré que les micelles de petites tailles fusionnent plus étroitement

Fig 2. Pourcentage de caséine κ dans la caséine totale et diamètre moyen (DMO) des micelles de caséines de laits individuels (effet du génotype de la caséine κ pour 2 races de vaches).

Percent of κ -casein in whole casein and mean size diameter (DMO) of casein micelles of individual milk samples (effect of the κ -casein genotype in 2 breeds of dairy cows).

Fig 3. Taux de caséines de laits individuels et fermeté des gels (effet du génotype de la caséine κ pour 3 races de vaches).

Casein content of individual milk samples and firmness of the curd (effect of the κ -casein genotype in 3 breeds of dairy cows).

Fig 4. Diamètre moyen (DMO) des micelles de caséines de laits individuels et fermeté des gels (effet du génotype de la caséine κ pour 2 races de vaches).

Mean size diameter (DMO) of casein micelles from individual milk samples and firmness of the curd (effect of the κ -casein genotype in 2 breeds of dairy cows).

entre elles que celles de grande taille (Remeuf *et al*, 1989) et enfin, que la fermeté des caillés est corrélée négativement avec le diamètre moyen des micelles de caséines (Niki et Arima, 1984; Remeuf *et al*, 1989). L'essai II confirme parfaitement ces derniers points, l'essai III aussi mais dans une moindre mesure puisque les

Fig 5. Taux de caséine κ et fermeté des gels de laits individuels (effet du génotype de la caséine κ pour 3 races de vaches).

κ -Casein content and curd firmness of individual milk samples (effect of the κ -casein genotype in 3 breeds of dairy cows).

vaches homozygotes BB y étaient peu nombreuses (tableaux II et III, fig 4).

Ainsi, les résultats des essais I et II mettent en évidence, qu'au sein d'une race, on sépare facilement les vaches homozygotes BB des vaches homozygotes AA pour la κ -Cn : les premières produisent des laits qui donnent, après emprésurage, des caillés plus fermes parce que leur taux de κ -Cn est plus grand que celui des secondes (fig 5), ce qui a une influence directe sur la taille des micelles de caséines formées (taille réduite). Ceci est également vrai dans l'essai III.

CONCLUSION

Les résultats montrent que le génotype de la κ -Cn a un effet majeur sur le temps de coagulation du lait par la présure et surtout sur la cinétique de raffermissement des caillés formés ceci quelle que soit la race, tous les autres facteurs de variation étant par ailleurs confondus (génotype des caséines associées, alimentation, âge et stade physiologique d'animaux sains...). L'homozygote BB apparaît unanimement comme le plus intéressant. L'hétérozygote se situe, pour les différents points analysés, à un niveau intermédiaire par rapport à l'homozygote AA qui présente un effet négatif. Dans la race Tarentaise, le variant C de la κ -Cn semble uniquement se différencier du variant A par des temps de gélification supérieurs. Si on ajuste les doses de présure pour obtenir des temps de coagulation comparables entre les différents génotypes de la κ -Cn, la fermeté des caillés obtenus à un temps donné est toujours beaucoup plus grande pour l'homozygote B. Ce résultat signifie que lorsqu'on veut découper les caillés à une fermeté prédéterminée, les temps technologiques sont augmentés de façon non négligeable si l'on travaille avec des laits de vaches homozygotes AA pour la κ -Cn.

RÉFÉRENCES

- AFNOR (1971) *Lait. Détermination de la teneur en matière grasse. Méthode acidobutyrométrique*. Norme NF V04-210
- Aschaffenburg R, Drewry J (1955) Occurrence of different β -lactoglobulins in cow's milk. *Nature* 180, 376-378
- Bride V (1989) Influence du polymorphisme génétique de la caséine κ sur l'aptitude fromagère des laits de vaches Montbéliardes. Mémoire fin études. ENSFA, Rennes
- Brulé G, Lenoir J (1986) La coagulation du lait. In : *Le fromage* (Eck A, ed) Lavoisier, Paris
- Collin JC, Berdagué JL, Dognin-Bergeret M, Grappin R (1987) Affinage et qualité du Gruyère de Comté. IV. étude de la protéolyse. *Lait* 67, 299-318
- Dalgleish DG, Brinkhuis J, Payens TJ (1981) The coagulation of differently sized casein micelles by rennet. *Eur J Biochem* 19, 257-261
- Di Stasio L, Merlin P (1979) Polimorfismo biochimici del latte nelle razze bovine Grigio Alpina. *Riv Zootec Vet* 2, 64-67
- Feagan JT, Bailey LF, Hehir AF, Mc Lean DM, Ellis NJS (1972) Coagulation of milk proteins: effect of genetic variants of milk proteins on rennet coagulation and heat stability of normal milk. *Aust J Dairy Technol* 27, 129-134
- FIL (1986) *Lait. Détermination de la teneur en azote (méthode Kjeldhal)*. Norme 20A
- Ford GD, Grandison AS (1986) Effect of size of casein micelles on coagulation properties of skim milk. *J Dairy Sci* 53, 129-133
- Grosclaude F (1988) Le polymorphisme génétique des principales lactoprotéines bovines. *INRA Prod Anim* 1, 5-17
- Grosclaude F, Mahé MF, Mercier JC, Ribadeau-Dumas B (1972) Localisation des substitutions d'acides aminés différenciant les variants A et B de la caséine κ bovine. *Ann Génét Sél Anim* 4, 515-521
- Guillou H, Miranda G, Pelissier JP (1987) Analyse quantitative des caséines dans le lait de vache par chromatographie liquide rapide d'échange d'ions (FPLC). *Lait* 67, 135-148
- Hayes JF, Ng-Kwai-Hang KF, Moxley JE (1984) Heritability of milk casein and genetic and phenotypic correlations with production traits. *J Dairy Sci* 67, 841-846
- Jakob E, Puhani Z (1986) Die Bedeutung der genetischen Varianten des κ -Kaseins für die Labfähigkeit der Milch. *Dtsch Molk Ztg* 107, 833-834; 839-840; 842
- Lin SHC, Dewan RK, Bloomfield VA, Morr CV (1971) Inelastic light-scattering study of the size distribution of bovine milk casein micelles. *Biochemistry* 10, 4788-4793
- Losi G, Capella P, Castagnetti GB, Grazia I, Zambonelli C, Mariani P, Russo V (1973) Influenza delle varianti genetiche della caseina κ sulla formazione e sulle caratteristiche della cagliata. *Sci Tecnol Alim* 3, 373-376
- Mariani P (1983) Sulla presenza di una terza κ -caseina nel latte di vacche di razza bruna. *Sci Tec Latt-Casearia* 34, 174-181
- Mariani P, Losi G, Russo V, Castagnetti GB, Grazia L, Morini D, Fossa E (1976) Prove di caseificazione con latte caratterizzato dalle varianti A e B della κ -caseina nella produzione del formaggio Parmigiano-Reggiano. *Sci Tec Latt-Casearia* 27, 208-227
- Marziali AS, Ng-Kwai-Hang KF (1986a) Relationships between milk protein polymorphism and cheese yielding capacity. *J Dairy Sci* 69, 1193-1201
- Marziali AS, Ng-Kwai-Hang KF (1986b) Effects of milk composition and genetic polymorphism on cheese composition. *J Dairy Sci* 69, 2533-2542
- Mc Gann TCA, Donnelly W J, Kearney RD, Buchheim W (1980) Composition and size distribution of bovine casein micelles. *Biochim Biophys Acta* 630, 261-270
- Mc Lean DM, Graham ERB, Ponzoni RW, Mc Kenzie HA (1984) Effects of milk protein genetic variants on milk yield and composition. *J Dairy Res* 51, 531-546
- Morini D, Losi G, Castagnetti B, Benevelli M, Resmini P, Volonteri G (1975) L'influenza delle varianti genetiche della κ -caseina sulla dimensione delle micelle caseiniche. *Sci Tec Latt-Casearia* 26, 437-444
- Morini D, Losi G, Castagnetti GB, Mariani P (1979) Prove di caseificazione con latte caratterizzato dalla varianti A e B della κ -caseina: rilievi sul formaggio stagionato. *Sci Tec Latt-Casearia* 30, 243-262
- Murthy GK, Rhea U (1967) Determination of the major cations in milk by atomic absorption spectrophotometry. *J Dairy Sci* 50, 313-317

- Ng-Kwai-Hang KF, Hayes JF, Moxley JE, Monardes HG (1984) Association of genetic variants of casein and milk serum proteins with milk, fat and protein production by dairy cattle. *J Dairy Sci* 67, 835-840
- Ng-Kwai-Hang KF, Hayes JF, Moxley JE, Monardes HG (1986) Relationships between milk protein polymorphism and major milk constituents in Holstein-Friesian cows. *J Dairy Sci* 69, 22-26
- Niki R, Arima S (1984) Effects of size of casein micelle on firmness of rennet curd. *Jpn J Zootech Sci* 55, 409-415
- Nuyts-Petit V (1991) Influence des variants génétiques des caséines bovines sur l'aptitude fromagère du lait de vaches de races traditionnelles. Thèse, Univ Compiègne
- Pearce KN (1977) The complexometric determination of calcium in dairy products. *N Z J Dairy Sci Technol* 12, 113-115
- Rahali V, Ménard JL (1991) Influence des variants génétiques de la β -lactoglobuline et de la κ -caséine sur la composition du lait et son aptitude fromagère. *Lait* 71, 275-297
- Remeuf F, Lenoir J, Duby C (1989) Etude des relations entre les caractéristiques physico-chimiques des laits de chèvre et leur aptitude à la coagulation par la présure. *Lait* 69, 499-518
- Rowland SJ (1938) The determination of the nitrogen distribution in milk. *J Dairy Res* 9, 42-46
- Schaar J (1981) Casein stability and cheesemaking properties of milk: effects of handling, mastitis and genetic variation. Dep Anim Breed Genet, Swedish Univ Agric Sci, Rep 52
- Schaar J (1984) Effects of κ -casein genetics variants and lactation number on the renneting properties of individual milks. *J Dairy Res* 51, 397-406
- Schaar J, Hansson B, Pettersson HE (1985) Effects of genetic variants of κ -casein and β -lactoglobulin on cheesemaking. *J Dairy Res* 52, 429-437
- Sherbon JW, Ledford RA, Regenstein J, Thompson MP (1967) Variants of milk proteins and their possible relation to milk properties. *J Dairy Sci* 50, 951-958
- Uriel J (1966) Méthode d'électrophorèse dans des gels d'acrylamide-agarose. *Bull Soc Chim Biol* 48, 969-982