

Influence de trois haplotypes des caséines α_{s1} , β et κ fréquents en race bovine Normande sur la composition du lait et l'aptitude à la fabrication fromagère

V Nuyts-Petit, A Delacroix-Buchet*, L Vassal

Unité de recherches laitières, Inra, 78352 Jouy-en-Josas cedex, France

(Reçu le 22 janvier 1997; accepté le 6 mai 1997)

Summary — Effect of the three most frequent casein haplotypes occurring in the Norman breed used for cheesemaking. In the Norman cow breed, the influence of three casein haplotypes, α_{s1} -Cn B, β -Cn B et κ -Cn B (BBB), α_{s1} -Cn B, β -Cn A² et κ -Cn A (BA²A) and α_{s1} -Cn C, β -Cn A² et κ -Cn B (CA²B), was compared on the composition of milk and its aptitude for cheese production. The physico-chemical composition of 89 samples (40 BBB, 30 BA²A et 19 CA²B) selected on the basis of genotype, filiation and lactation stage, as well as their behaviour during coagulation with rennet were determined. The same samples were used to make Saint-Paulin type cheese from 6 kg of milk (one milking). The κ -casein proportion was greater in BBB and CA²B milks than in BA²A milk. The micelle size varied conversely with the proportion of κ -casein in total casein and was much greater for milk BA²A (15% more as compared to CA²B milk) than for milk BBB and CA²B. The coagulation ability was higher for milk CA²B than for milk BA²A. The homozygote variant B of κ -casein had a higher coagulation ability than variant A. In manufacture of micro-cheeses with individual milk of same composition, the association κ -Cn B and β -Cn B variants led to an increase in the cheese yield mainly due to a better retention of the amount of fat in the curd of cheese BBB. The microstructure of BBB curd was closer than these of curd BA²A. At the end of the ripening period (45 days), BBB cheeses were firmer, less elastic and more breakable than the other two haplotypes. Neither the cheese composition, nor the degree of proteolysis, nor the pH of the ripened cheeses appeared to be responsible for these texture differences which existed since the coagulation stage.

milk / Norman breed / caseins / haplotypes / cheese / yield / proteolysis / texture / microstructure

Résumé — En race bovine Normande, l'influence de trois haplotypes de caséines : α_{s1} -Cn B, β -Cn B et κ -Cn B (BBB), α_{s1} -Cn B, β -Cn A² et κ -Cn A (BA²A) et α_{s1} -Cn C, β -Cn A² et κ -Cn B (CA²B) a été comparée sur la composition du lait et l'aptitude à la fabrication de fromage. La composition physico-chimique de 89 échantillons (40 BBB, 30 BA²A et 19 CA²B) sélectionnés en fonction du génotype, de la filiation et du stade de lactation des vaches a été déterminée, ainsi que leur comportement

* Correspondance et tirés à part.

au cours de la coagulation par la présure. Les mêmes échantillons ont servi à la fabrication de fromages de type Saint-Paulin à partir de 6 kg de lait (une traite). La proportion de caséine κ est plus forte dans la caséine des laits BBB et CA²B que dans les laits BA²A. Il en résulte une réduction de la taille des micelles (-15 % entre les laits BA²A et CA²B) et une amélioration de l'aptitude à la coagulation par la présure. En microfabrications fromagères avec des laits individuels de composition identique, l'association des variants κ -Cn B et β -Cn B conduit à une augmentation des rendements fromagers, essentiellement due à une meilleure rétention de la matière grasse dans le caillé. La microstructure du caillé BBB est plus serrée que celle des caillés BA²A et CA²B. En fin d'affinage, les fromages BBB sont plus fermes, moins élastiques et plus friables que les autres. Ni la composition, ni le degré de protéolyse, ni le pH des fromages affinés ne sont corrélés à ces différences de texture qui apparaissent dès la coagulation.

lait / vache Normande / caséine / haplotypes / fromage / rendement / protéolyse / texture / microstructure

INTRODUCTION

Durant les 30 dernières années, beaucoup de travaux ont été effectués afin de déterminer la fréquence des génotypes des lactoprotéines dans différentes races (Aschaffenburg, 1968 ; Grosclaude, 1988), d'élucider l'influence du polymorphisme génétique des caséines sur la composition et la production du lait (Hayes et al, 1984 ; Mc Lean et al, 1984 ; Ng Kwai Hang et al, 1984), ainsi que sur l'aptitude à la fabrication fromagère (Feagan et al, 1972 ; Mariani et al, 1976 ; Schaar, 1981, 1984 ; Schaar et al, 1985 ; Pagnaco et al, 1987 ; Rahali et Ménard, 1991). Selon la race bovine, les variants génétiques des caséines sont associés de façon différente et la race Normande présente des combinaisons caractéristiques comportant en particulier une fréquence élevée des variants κ -Cn B et β -Cn B. De nombreuses études ont été consacrées à l'influence des variants des caséines considérées indépendamment les unes des autres sur l'aptitude fromagère du lait. Peu de résultats sont cependant disponibles sur l'influence des associations de variants (haplotypes) qui en raison des liaisons de structure du gène, sont transmises de manière indissociable.

L'objectif du travail est de comparer l'influence des trois principaux haplotypes du groupe des caséines α_{s1} , β et κ , en race

Normande, dont la fréquence est respectivement de 45,3 % pour α_{s1} -CN B, β -Cn B, κ -Cn B (BBB), de 13,6 % pour α_{s1} -CN B, β -Cn A², κ -Cn A (BA²A) et 13,6 % pour α_{s1} -CN C, β -Cn A², κ -Cn B (CA²B) sur la composition du lait, ainsi que sur les caractéristiques de fromages de type Saint-Paulin, fabriqués à partir de ces laits. Le travail réalisé entre 1989 et 1991 a porté sur des laits provenant d'animaux homozygotes pour chacun des allèles considérés, afin de rendre les différences interhaplotypes aussi grandes que possible.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Typage des animaux

Pour rechercher les trois haplotypes souhaités BBB, BA²A et CA²B, les échantillons individuels de lait de 1765 vaches normandes sélectionnées en fonction de leur filiation (parenté) et de la fréquence des haplotypes ont été collectés sur l'ensemble des départements normands au cours du printemps et génotypés. Les vaches étaient toutes des filles de taureaux de même index laitier.

Les laits prélevés au cours d'une traite étaient additionnés de bichromate de potassium (concentration finale 60 ppm) et congelés dans les heures suivant le prélèvement. Le génotype de chaque échantillon de lait, après écrémage par centrifugation à 1500 g pendant 30 min, était identifié par électrophorèse en gel d'amidon à pH 8,6

selon Aschaffenburg et Michalak (1968) et par électrophorèse en gel d'amidon à pH 3,0 selon Peterson et Kopfler (1966).

Parmi les 1765 animaux typés, 512 vaches possédaient les haplotypes recherchés à l'état homozygote, soit respectivement 373, 64 et 75 vaches d'haplotype BBB, BA²A et CA²B. Le nombre d'animaux possédant l'haplotype BBB est cinq fois plus grand que pour les deux autres groupes (BA²A et CA²B). Ceci est lié au fait que tous les taureaux dont étaient issus les animaux analysés étaient hétérozygotes B pour chaque caséine (7 taureaux BBB/BA²A et 9 BBB/CA²B).

Collecte d'échantillons de laits individuels de vaches normandes

Pour étudier la composition physico-chimique des laits, l'aptitude à la coagulation par la présure et réaliser des fromages, il a été nécessaire de trier les animaux typés auparavant. Les animaux ont été sélectionnés en fonction de leur stade de lactation, de leur parenté, de la dispersion géographique des vaches.

Ce tri a été effectué non pas sur les 512 animaux, mais sur 279, car en décembre, après un second contrôle, plus de la moitié des animaux n'étaient pas en lactation ou avaient disparu. Les vaches retenues étaient réparties sur 6 départements (Calvados, Eure, Mayenne, Orne, Sarthe et Seine-Maritime). L'étude a donc été réalisée sur 89 échantillons de laits individuels de vaches normandes. Parmi ces 89 vaches, 40 possédaient l'haplotype BBB, 30 l'haplotype BA²A et 19 l'haplotype CA²B. Le stade moyen de lactation des vaches était respectivement égal à 160, 140 et 120 jours de lactation pour les haplotypes BBB, BA²A et CA²B. L'arrivée des échantillons dans un ordre non contrôlable (dispersion géographique des vaches) n'a pas permis la mise en place d'un plan d'expérience équilibré.

L'état sanitaire des animaux était satisfaisant. En moyenne, le taux de cellules dans les laits prélevés était de 134 000 cellules/mL.

Analyses physico-chimiques des laits individuels et aptitude à la coagulation par la présure

Les laits étaient collectés à la traite du matin, une partie du lait destinée aux analyses physico-

chimiques était conservée à température ambiante dans des flacons additionnés d'azohydrate de sodium (40 mg/L de lait), le reste du lait était placé dans une caisse isotherme remplie de pains réfrigérants. Le tout était transporté sans délai au laboratoire, afin d'arriver en début d'après-midi. La séparation des différents constituants chimiques à doser et les mesures physico-chimiques (pH, Formagraph) étaient effectuées l'après-midi.

Sur les échantillons de lait maintenus à température ambiante pendant leur transport étaient déterminés, à l'arrivée au laboratoire, la matière grasse (MG) par la méthode acido-butyrométrique de Gerber, la matière azotée totale (MAT) par la méthode Kjeldhal et le pH. Puis les échantillons de lait étaient écrémés par centrifugation à 3000 g pendant 20 min à 4 °C et soumis aux déterminations qui suivent. Les paramètres rhéologiques de l'aptitude à la coagulation par la présure (R, temps de gélification en min, K20, temps de raffermissement en min et A30, fermeté du gel 30 min après l'emprésurage en mm) étaient mesurés au Formagraph (Société Foss Electric, Nanterre, France) à une température d'emprésurage de 32 °C avec une dose d'extrait de présure liquide à 520 mg de chymosine active/L (SBI, Beaune, France) diluée à 2,5 % dans un tampon pipérazine hexahydrate (0,025 mol/L) de pH 5,3. Chaque journée de manipulation, des mesures au Formagraph étaient effectuées sur un lait témoin préparé selon la méthode parue au Journal Officiel du 20 mars 1981 et emprésuré avec une solution de présure diluée à 0,5 % afin de vérifier la répétabilité des mesures de l'appareil au cours du temps. La dimension des micelles de caséines (DMO) était déterminée à l'aide d'un analyseur de particules Coulter modèle N4 (Coultronics, Margency, France). Les fractions azotées (azote non caséique (MNCN) et azote non protéique (MNPN)) étaient préparées selon la méthode de Rowland (1938) modifiée par Aschaffenburg et Drewry (1958). La teneur en caséine totale (CNE) des laits était déterminée par simple différence (MAT-MNCN) et la proportion des différentes caséines (α_{s1} , β , κ) par chromatographie d'échange d'ions FPLC sur une colonne monoQ selon la méthode mise au point par Guillou et al (1987). Le calcium total (CaT) était déterminé sur le lait à l'aide d'un calcimètre Corning 940 (Corning, le Vésinet, France), et le calcium soluble (CaS) par la même méthode, sur l'ultrafiltrat obtenu au moyen de cônes Centriflo CF25 (Amicon, Epernon, France) à partir de lait écrémé. Ces résultats étaient utilisés pour la détermina-

tion de la minéralisation calcique des micelles ($MIC = (CaT-CaS) \times 100/CNE$). Le phosphore total (PT) était dosé par colorimétrie (norme FIL 42, 1967) après minéralisation du lait, et le phosphore soluble était déterminé sur l'ultrafiltrat. Les protocoles et méthodes d'analyses des laits étaient semblables à ceux décrits en détail par Delacroix-Buchet et Marie (1994) pour des laits individuels de vaches tarentaises à l'exception de la détermination des proportions des différentes caséines.

Fabrications fromagères

Les fabrications de fromage à pâte pressée de type petit Saint-Paulin (environ 220 g) ont été réalisées sur les 89 échantillons de lait individuel.

Préparation des laits

À l'arrivée à la laiterie, le lait était standardisé par écrémage partiel pour ajuster la teneur en matière grasse, de manière à établir un rapport matière grasse (MG) / matière azotée totale (MAT) voisin de 0,85 permettant d'obtenir des fromages de même gras/sec proche de 45 %. Le lait était ensuite refroidi et conservé à 4 °C jusqu'au lendemain matin. Avant la fabrication du fromage, le lait était pasteurisé (72 °C, 15 s) à l'aide d'un appareil de laboratoire.

Procédés technologiques

Une aliquote de 6 kg de lait pesée exactement, étaitensemencée à 2 % avec un levain de souches de *Lactococcus lactis* subsp *lactis* CNRZ 1075 et CNRZ 1076. Les cultures sur lait étaient mélangées dans le rapport 95/5 (v/v). L'emprésurage était effectué à 32 °C, sans maturation du lait, par addition de présure commerciale Granday (SBI, Beaune, France) à 520 mg/L de chymosine active. La quantité de présure était ajustée en fonction des résultats obtenus au Formagraph afin d'obtenir un temps de coagulation d'environ 20 min. Les doses étaient respectivement pour les laits BBB, BA²A et CA²B de 17,3, 29,5 et 21,1 mL /100 kg de lait. Après une durée de durcissement égale au temps de coagulation, le caillé était découpé en cubes de 5 mm d'arête, puis brassé pendant 15 min avant le soutirage d'une quantité de lactosérum égale à 30 % du volume de lait mis en œuvre. Après addition d'eau à 32 °C en quantité égale à celle de lactosérum

enlevé, le caillé était à nouveau brassé pendant 15 min. La totalité du lactosérum était alors soustraite et le caillé était pressé au fond de la cuve de fabrication pendant 20 min. Il était ensuite réparti dans 3 moules à baby Gouda de 8,75 cm de diamètre. Chaque fromage était pressé par un poids de 2 kg (soit 2,85 Pa/cm²) et subissait deux retournements dans l'après-midi, 3 et 6 heures après l'emprésurage. Le lendemain de la fabrication, un fromage de chaque lot était analysé. Les deux autres fromages étaient salés en saumure saturée pendant 4 heures à 12 °C. Ils étaient enrobés avec de la paraffine puis affinés à 12 °C et 95 % d'humidité relative pendant 45 jours.

Analyses physico-chimiques au cours de la fabrication et sur les fromages

Sur le lait de fabricationensemencé, ont été déterminés la MG par la méthode Gerber, la MAT par la méthode Kjeldhal automatisée, l'extrait sec (ES) par dessiccation à l'étuve à 101 °C pendant 5 heures, le poids et le pH à l'aide d'une électrode combinée Ingold Lot 406. Sur les échantillons de lactosérum prélevés après découpage, au moulage et après 5 heures d'égouttage, les mesures du poids, de l'ES, de la MAT et de la MG ont été effectuées. Dans le but d'apprécier, par différence, les pertes en fines de fromagerie, le lactosérum prélevé au découpage a été centrifugé à 1500 g pendant 30 min, puis filtré sur papier Whatman n° 42 et la teneur en azote du filtrat a été quantifiée. Le poids de fromage frais a été mesuré au démoulage des fromages. À partir de ces données, ont été calculés, le rendement brut (poids de fromage frais (24 h) obtenu à partir de 100 kg de lait) et le rendement corrigé de l'extrait sec moyen des fromages âgés de 24 h suivant la formule de Maubois et Mocquot (1967) ainsi que les coefficients de récupération de l'ES, de la MAT et de la MG du lait dans le fromage d'après les formules de Mietton (1986). Les fromages ont été analysés à 24 h et à 45 jours. Le pH des fromages a été mesuré directement dans la pâte à l'aide de l'électrode combinée à aiguille Ingold type Lot 406. L'ES des fromages a été déterminé par dessiccation à l'étuve à 101 °C pendant 24 heures selon la norme FIL 4A (1982). Le dosage de la matière grasse des fromages à 24 h a été effectué par la méthode butyrométrique de Heiss (1961) modifiée par Pien (1976). La MAT, les fractions azotées (azote soluble à pH 4,6 (NS), azote soluble dans l'acide phosphotungstique à 5 % (NSAPT)) ont été dosées

par la méthode Kjeldhal automatisée, après fractionnement selon la méthode décrite par Gripon et al (1975). Dans les fromages de 45 jours, une analyse qualitative des constituants des fractions insoluble et soluble à pH 4,6 a été réalisée respectivement par séparation électrophorétique en gel PAGE à pH 8,6, de 0,3 g du précipité à pH 4,6 récupéré lors de la préparation du NS, et par séparation chromatographique RP-HPLC sur une colonne Delta-Pak C18, de 200 μ L d'un mélange de la solution de NS et de TCA 4 % (v/v). Les protocoles analytiques sont ceux décrits par Marie et Delacroix-Buchet (1994).

Microstructure et texture

L'observation de la microstructure et de la compacité des fromages a été réalisée sur quelques fromages de chaque haplotype après salage (48 h) et à 45 jours par microscopie électronique à balayage (microscope Hitachi S-450) sur des sections délipidées d'échantillons secs. Pour l'analyse de la texture, des tests rhéologiques et sensoriels ont été réalisés sur tous les fromages âgés de 45 jours. Les tests de compression simple uniaxiale ont été effectués à l'aide d'une machine Instron SA modèle 1102 (Buc, France) et la pente à l'origine (élasticité), la contrainte à la rupture (fermeté), la déformation au point de rupture (cohésion) et la contrainte maximale déterminées lors de chaque test. Les fromages d'une journée de fabrication (3 ou 4 selon la journée) ont été comparés au stade 45 jours lors d'une même séance de dégustation, dans un local spécialement aménagé (AFNOR NF 09 105, 1972). Le jury était composé de 8 à 10 membres auxquels étaient présentées des portions de fromage (15-20 g) codées et les épreuves consistaient à noter sur des échelles structurées (notes de 0 à 4), 3 paramètres de texture : la dureté (0 = mou et 4 = dur), l'élasticité (0 = élastique et 4 = cassant), la structure (0 = onctueux et 4 = granuleux). La préparation des échantillons pour l'observation au microscope et le protocole des tests de compression ou des analyses sensorielles étaient identiques à ceux décrits par Marie et Delacroix-Buchet (1994).

Analyses statistiques

Le traitement statistique des résultats a été effectué à l'aide du logiciel MICROSTAT élaboré en 1984 par l'ITCF (Boigneville, France).

RÉSULTATS

Composition des laits et aptitude à la coagulation

La composition moyenne des laits individuels est présentée dans le tableau I. Le pH moyen des laits est pour les trois haplotypes (BBB, BA²A et CA²B) voisin de 6,61. La MG des laits BBB est supérieure à celle des laits BA²A et CA²B (43,2 g/L contre 40,9 et 40,7 g/L), ce que l'on peut expliquer par le fait que les laits BBB ont été prélevés à un stade moyen de lactation plus avancé que les laits des deux autres haplotypes. La MAT des laits CA²B (36,2 g/kg) est plus élevée que celle des laits BA²A ou BBB (environ 35,0 g/L). Il en est de même pour les teneurs en CNE des laits, l'haplotype CA²B (28,4 g/kg) se détache (+5,3 %) des deux autres (environ 27,0 g/kg pour BBB et BA²A) et de ce fait, les teneurs en CNE et MAT des laits sont fortement corrélées ($r = 0,94$; $p < 0,001$). Les différences interhaplotypes ne sont toutefois pas significatives au plan statistique. La comparaison des valeurs obtenues pour le rapport CNE/MAT (CA²B = 78,6 %, BBB = 77,4 % et BA²A = 77,2 %) ainsi que pour le rapport protéines/MAT (CA²B = 94,5 %, BBB = 94,3 % et BA²A = 94,0 %) ne fait pas apparaître de différence significative entre les trois haplotypes, mais une tendance à obtenir des laits plus riches en caséine avec l'haplotype CA²B. Le diamètre des micelles de caséine des laits BA²A (168 nm) est supérieur de 15 % à celui des laits CA²B (146 nm) et supérieur de 9 % à celui des laits BBB (154 nm). La proportion de caséine κ varie en sens inverse de la taille des micelles ($r = -0,56$; $p < 0,001$), tandis que celle des caséines α_s évolue dans le même sens ($r = 0,42$; $p < 0,001$). Ainsi la proportion de caséine κ pour les laits BA²A est d'environ 10 % alors qu'elle atteint 15 % pour les laits BBB et CA²B, différence très hautement significative ($p < 0,001$). L'augmentation de caséine κ s'accompagne d'une

Tableau I. Caractères chimiques et rhéologiques du lait en race Normande (effet du polymorphisme génétique des caséines).*Chemical and rheological characteristics of milk samples in Norman breed (effect of casein polymorphism).*

Variables	Moyenne (\pm écart type)						Test F P ^(a)
	Haplotypes						
	BBB (n = 40)		BA ² A (n = 30)		CA ² B (n = 19)		
pH	6,61	(0,08)	6,60	(0,08)	6,62	(0,07)	NS
Matière grasse (g/L)	43,2	(5,9)	40,9	(8,2)	40,7	(7,6)	NS
MAT (g/kg)	35,0	(2,9)	35,1	(4,3)	36,2	(3,8)	NS
Caséine totale (g/kg)	27,1	(2,1)	27,0	(3,3)	28,4	(2,9)	NS
Caséine α_s (% caséines)	46,3 ^B	(2,1)	50,3 ^A	(1,5)	48,6 ^{AB}	(2,5)	***
Caséine β (% caséines)	38,6 ^{AB}	(1,8)	39,8 ^A	(2,9)	36,4 ^B	(2,5)	***
Caséine κ (% caséines)	15,1 ^A	(2,0)	9,9 ^B	(2,1)	15,0 ^A	(2,5)	***
MIC ⁽¹⁾ (g/kg)	35,0	(5,3)	33,9	(5,6)	32,9	(3,9)	NS
DMO (nm)	154 ^B	(12)	168 ^A	(12)	146 ^B	(8)	***
R (min)	8,7 ^B	(1,9)	14,9 ^A	(4,8)	10,6 ^B	(2,1)	***
K20 (min)	4,4 ^B	(1,2)	9,3 ^A	(5,0)	4,6 ^B	(1,2)	***
A30 (mm)	46,2 ^A	(8,6)	27,3 ^B	(12,9)	49,1 ^A	(6,9)	***

(1) MIC = (CaT - CaS) \times 100/CNE.

(a) P : Seuil de signification d'après le modèle à un facteur (« haplotype »). NS : non significatif ; *** p < 0,001.

diminution de la proportion de caséine α_s . Peu de différences sont observées entre les trois haplotypes pour les fractions azotées solubles du lait : la teneur en matière azotée non protéique est en moyenne de 2 g/kg quel que soit le type de lait. Les teneurs en CaT et en CaS des laits CA²B (1,26 g/kg, 0,32 g/kg) ne sont que légèrement plus élevées en comparaison de celles des laits BBB et BA²A (respectivement : 1,24 g/kg, 0,30 g/kg et 1,20 g/kg, 0,28 g/kg). Compte-tenu des écarts dans les teneurs en CNE, il en résulte que la minéralisation calcique (MIC) des laits BBB (35,0 %) est un peu plus élevée que celle des laits BA²A (33,9 %) mais surtout CA²B (32,0 %) sans que ces différences soient significatives. Les valeurs de PT et PS sont équivalentes pour les trois haplotypes et respectivement voisines en moyenne de 0,91 g/kg et 0,37 g/kg.

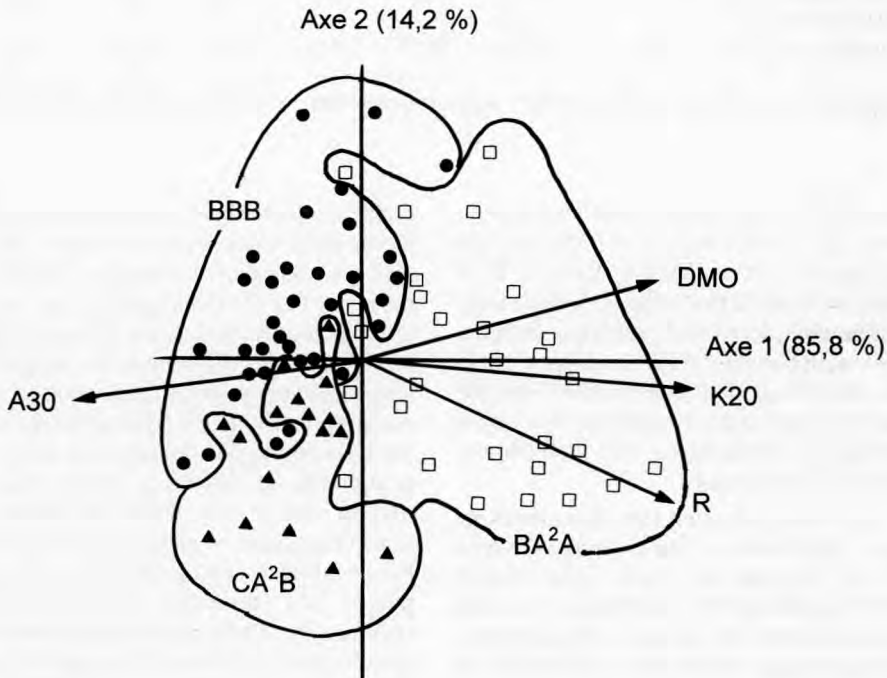
Les laits BA²A ont un temps de coagulation (R) (14,9 min) plus long que les laits CA²B (10,6 min) et BBB (8,7 min). Le temps de raffermissement (K20) est également plus long pour les laits BA²A (9,3 min) et au moins double de celui des laits CA²B (4,6 min) ou BBB (4,4 min). Ce sont aussi les laits BA²A qui donnent les caillés les plus mous (A30 = 27,3 mm contre 49,1 mm pour CA²B et 46,2 mm pour BBB). Toutes ces différences sont très hautement significatives (p < 0,001). Il apparaît donc, bien qu'il s'agisse de comparaisons entre haplotypes, une prépondérance de relation entre l'allèle de la κ -Cn et l'aptitude à la coagulation des laits, les laits κ -Cn BB (BBB et CA²B) présentant de meilleurs paramètres de coagulation que les laits possédant le génotype κ -Cn AA (BA²A). La DMO est corrélée avec les variables de la coagula-

tion ($p < 0,001$), positivement avec R ($r = +0,45$) et K20 ($r = +0,59$) et négativement avec A30 ($r = -0,67$). Les variables de coagulation sont également bien corrélées entre elles ($p < 0,001$) : R dans le même sens que K20 ($r = +0,67$) et R et K20 inversement à A30 (respectivement $r = -0,79$ et $r = -0,77$). Une analyse factorielle discriminante (AFD) de l'ensemble des laits, réalisée à partir des 4 variables décrivant le mieux l'aptitude à la coagulation (R, K20, A30 et DMO) permet de classer les laits des trois haplotypes avec un pourcentage de bien classés proche de 80 %. En effet, la projection simultanée de l'ensemble des laits dans le premier plan factoriel (représentant

90 % de l'inertie) montre bien (fig 1) que les trois haplotypes forment des groupes distincts et qu'en particulier, les haplotypes BBB et surtout CA²B produisent des caillés plus fermes dans la mesure où, ils se caractérisent par des temps (R et K20) plus courts et une structure micellaire (DMO) plus favorable à la formation d'un réseau dense.

Composition des caillés de 24 heures et rendements fromagers

L'analyse de la composition des caillés de 24 heures ne fait ressortir aucune différence significative entre les trois haplotypes



Pourcentage d'individus bien classés : 78,7 %

Fig 1. Analyse factorielle discriminante montrant l'effet du polymorphisme génétique des caséines sur la coagulation des laits par la présure.

Factorial discriminant analysis showing the effect of casein polymorphism on milk rennet coagulation.

Tableau II. Composition et rendements en fromage frais à 24 heures (effet du polymorphisme génétique des caséines).*Fresh cheese composition and cheese yields at 24 h (effect of casein polymorphism).*

Variables	Moyenne (\pm écart type)						Test F <i>p</i> ^(a)
	BBB (n = 40)		Haplotypes BA ² A (n = 30)		CA ² B (n = 19)		
pH	5,05	(0,05)	5,07	(0,07)	5,08	(0,05)	NS
Extrait sec (g/100 g)	48,3	(1,6)	48,2	(1,8)	48,8	(1,3)	NS
MAT (g/100 g)	22,0	(2,6)	22,6	(1,0)	22,5	(2,7)	NS
Gras/sec (%)	44,8	(1,4)	44,1	(3,2)	45,4	(1,8)	NS
Extrait sec du fromage dégraissé (g/100 g)	34,2	(1,6)	34,3	(1,5)	34,2	(1,2)	NS
Rendement brut (%)	11,8	(1,1)	11,4	(1,6)	11,9	(1,0)	NS
Rendement corrigé (%)	11,8	(1,2)	11,4	(1,8)	12,1	(1,3)	NS
Récupération de la matière azotée (%)	71,3	(8,6)	70,4	(5,1)	72,3	(11,0)	NS
Récupération de la matière grasse (%)	84,7 ^A	(4,4)	78,0 ^B	(8,6)	83,2 ^A	(4,8)	***

(a) P : Seuil de signification d'après le modèle à un facteur (« haplotype »). NS : non significatif ; *** $p < 0,001$.

(tableau II). Les caillés BBB sont légèrement plus acides de 0,02 et 0,03 unité pH par rapport aux caillés BA²A et CA²B. Si l'extrait sec (ES) des caillés CA²B est légèrement plus élevé (+0,5 point) que celui des caillés BBB ou BA²A, les teneurs en extrait sec du fromage dégraissé (ESFD) – qui traduisent l'aptitude à l'égouttage des caillés pendant la fabrication – sont équivalentes pour les 3 haplotypes.

Les rendements en fromage bruts sont plus faibles avec les fromages BA²A (11,4 kg/100 kg lait) que CA²B (11,9 kg/100 kg lait). La différence s'accroît légèrement si l'on raisonne en rendements corrigés. Ceci résulte de la différence de teneur en caséine totale et de la moins bonne aptitude à la coagulation des laits BA²A (κ -Cn AA) par rapport aux laits CA²B (κ -Cn BB) qui se traduit par une plus faible rétention de la matière grasse dans les fromages (78 contre 84 % en moyenne ; $p < 0,001$). En effet, la quantité de matière

grasse qui passe dans le lactosérum est plus élevée dans les cuves de fabrication BA²A (6,2 g/L) que dans les autres (3,8 g/L en moyenne) et les fromages BA²A ont un gras/sec plus faible que les fromages BBB ou CA²B. Si les différences des moyennes interhaplotypes pour les rendements ne sont pas significatives, la tendance est très nette sur l'ensemble des données. En effet, on peut établir des équations donnant le rendement corrigé en fonction des teneurs en matière grasse et en matières protéiques du lait de fabrication pour chaque haplotype à partir des données expérimentales (tableau III). Ces équations permettent de calculer que la différence de rendement corrigé entre un lait BBB et un lait BA²A, de richesse en matière grasse et en matières protéiques égale aux teneurs moyennes de l'essai (TB = 29,5 g/L et MP = 34,0 g/kg) est égale à 5,4 % alors que les différences BBB-CA²B et CA²B-BA²A sont égales respectivement à 3,2 et 2,0 %.

Tableau III. Relation entre le taux butyreux (TB), la matière protéique (MP) des laits de cuve et le rendement fromager (effet du polymorphisme génétique des caséines).*Relationship between milk fat content, milk protein content and cheese yield (effect of casein polymorphism).*

Haplotypes	Équations	r^2	TB = 29,5 g/L MP = 34,0 g/kg
	Rendements calculés (R) (kg/100 kg de lait)		
BBB	R = 0,1521 TB + 0,2618 MP - 1,4307	0,89	R = 11,96
BA ² A	R = 0,1803 TB + 0,2523 MP - 2,5492	0,86	R = 11,35
CA ² B	R = 0,2385 TB + 0,0927 MP + 1,3923	0,80	R = 11,58

Tableau IV. Composition et texture des fromages à 45 jours d'affinage (effet du polymorphisme génétique des caséines).*Composition and texture of cheeses at 45 days of ripening (effect of casein polymorphism).*

Variables	Moyenne (± écart type)						Test F p ^(a)
	Haplotypes						
	BBB (n = 40)		BA ² A (n = 30)		CA ² B (n = 19)		
pH	5,20	(0,09)	5,19	(0,08)	5,18	(0,08)	NS
Extrait sec (g/100 g)	53,2	(1,8)	53,2	(1,9)	53,6	(1,6)	NS
MAT (g/100 g)	23,7	(0,9)	23,5	(1,4)	23,7	(1,0)	NS
NS/NT (%)	15,1 ^{AB}	(2,0)	16,1 ^A	(1,9)	14,2 ^B	(2,0)	**
NSAPT/NT (%)	3,7	(0,6)	3,8	(0,6)	3,8	(0,6)	NS
Pente à l'origine	0,59 ^A	(0,27)	0,44 ^B	(0,23)	0,47 ^{AB}	(0,18)	*
Contrainte maximale (kPa)	229	(68)	217	(78)	243	(87)	NS
Déformation à la rupture (%)	41,8	(9,6)	44,4	(10,6)	45,0	(8,9)	NS
Contrainte à la rupture (kPa)	49	(15)	45	(18)	51	(22)	NS
Cassant/élastique (/4)	1,94 ^A	(0,60)	1,61 ^B	(0,52)	1,79 ^{AB}	(0,35)	*
Dur (/4)	2,03	(0,66)	1,66	(0,72)	1,96	(0,56)	0,07
Onctueux/granuleux (/4)	1,77 ^A	(0,52)	1,45 ^B	(0,49)	1,51 ^{AB}	(0,43)	*

^a p : Seuil de signification d'après le modèle à 1 facteur (« haplotype »). NS : p > 0,10 ; * p < 0,05 ; ** p < 0,01.**Composition et texture des fromages de 45 jours**

En cours d'affinage, la composition globale de tous les fromages évolue de façon simi-

laire, si bien qu'aucune différence significative n'est à nouveau observée dans le pH ou l'ES des fromages des trois haplotypes qui sont, à 45 jours, respectivement voisin de 5,2 et 53,3 g/100 g (tableau IV). L'analyse

de la matière azotée des fromages fait par contre ressortir une protéolyse primaire plus importante dans les fromages BA²A que dans les fromages BBB et surtout CA²B ($p < 0,01$). En effet, la proportion d'azote soluble dans l'azote total (NS/NT) des fromages BA²A (16,1 %) est supérieure à celle des fromages BBB (15,1 %) et CA²B (14,2 %) alors que les proportions d'azote soluble dans l'acide phosphotungstique (NSAPT/NT) – qui témoignent de l'activité aminopeptidasique des bactéries lactiques – sont identiques pour les trois haplotypes. Les diagrammes électrophorétiques de la fraction insoluble à pH 4,6 (fig 2) révèlent essentiellement des différences dans les composés de dégradation de la caséine β

qui semblent moins nombreux avec les fromages fabriqués à partir des laits β -CN B (bandes « a » et « d » inexistantes) comparés aux fromages β -CN A². Les profils peptidiques obtenus par HPLC des fractions solubles dans le TCA 2 % ne présentent par contre aucune différence majeure entre fromages pour les trois haplotypes.

Les paramètres de texture montrent des différences plus marquées entre les 3 haplotypes. La pente à l'origine de la courbe de compression – qui exprime la fermeté et l'élasticité des produits – est significativement ($p < 0,05$) plus élevée (+25 %) pour les fromages BBB que celle des deux autres types de fromages. L'analyse sensorielle confirme les observations rhéologiques. La

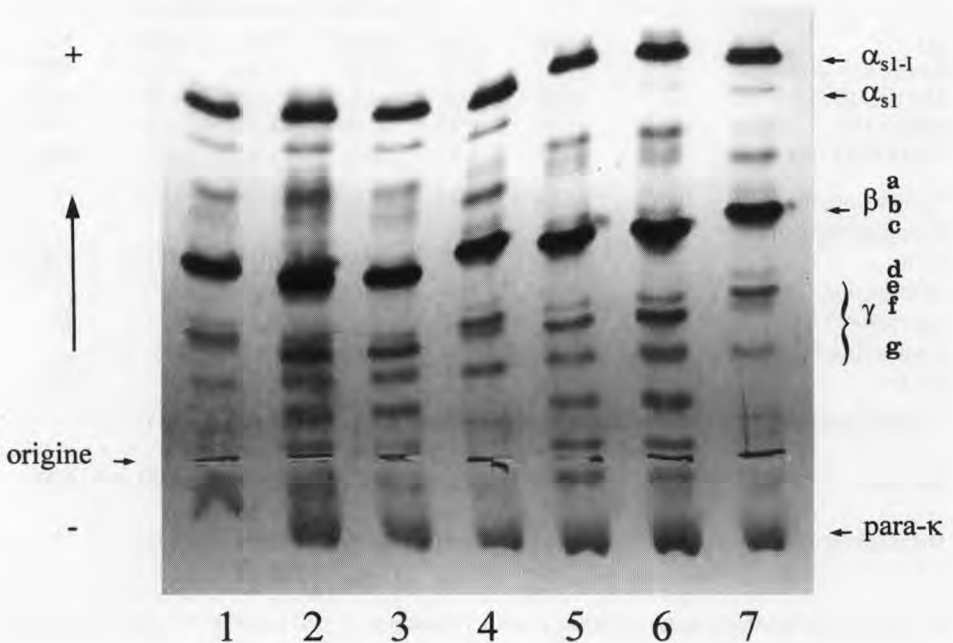


Fig 2. Analyse électrophorétique (PAGE pH 8,6) d'échantillons de fromages à 45 jours d'affinage (effet du polymorphisme génétique des caséines). 1 : BA²A ; 2, 3, 5, 6 : BBB ; 4, 7 : CA²B. 1 à 4 : fabrication n°10 ; 5 à 7 : fabrication n°14. a à g : produits d'hydrolyse.

Electrophoretic analysis (PAGE pH 8.6) of cheese samples at 45 days of ripening (effect of casein polymorphism). 1 : BA²A ; 2, 3, 5, 6 : BBB ; 4, 7 : CA²B. 1 to 4 : cheesemaking n°10 ; 5 to 7 = cheesemaking n°14. a to g : hydrolysis products.

corrélation entre la pente à l'origine et le caractère « cassant » des fromages est positive ($r = +0,56$; $p < 0,001$). La pâte des fromages BBB est jugée plus cassante (moins élastique) ($p < 0,05$) que celle des fromages CA²B ou BA²A. Lors des tests de compression, les fromages BBB présentent tous (une seule exception) un seuil de rupture alors que 15 % des fromages BA²A n'en présentent pas. La déformation à la rupture est un peu plus faible pour les fromages BBB (42 %) que pour les autres fromages (45 %) : ils sont donc un peu plus friables ce qui peut être associé à leur caractère plus « granuleux » (1,8/4 contre 1,5/4; $p < 0,05$) ($r = -0,41$ entre la déformation à la rupture et le caractère granuleux; $p < 0,001$). Les fromages BA²A sont un peu moins fermes que les fromages CA²B ou BBB : les valeurs des tests rhéologiques et sensoriels (contrainte à la rupture, pente à l'origine et note « dure ») sont cohérentes sur ce point ($r = +0,62$ entre la pente à l'origine et la note « dure »; $p < 0,001$). Ce sont aussi les fromages qui présentent le rapport NS/NT le plus élevé. Il apparaît donc que les fromages BBB se distinguent des autres fromages par une pâte plus ferme, moins élastique et de moindre cohésion (granuleuse et friable). Or ni les paramètres de composition mesurés dans l'étude, ni le pH des fromages de 45 jours ne peuvent expliquer cette différence de texture. Seule la contrainte à la rupture et le rapport de l'humidité par g de caséine (rapport considéré comme un estimateur du gonflement des micelles de caséine du fromage) présentent une liaison négative ($n = 81$; $r = -0,504$; $p < 0,001$). La relation ne semble pas linéaire et les valeurs moyennes du rapport humidité par g de caséine sont voisines de 2,3 quel que soit l'haplotype. L'examen par microscopie électronique à balayage des fromages BBB et BA²A permet d'observer la taille des cavités laissées libres par les globules gras et l'eau éliminés au moment de la préparation des échantillons : celles-ci sont plus grandes dans les caillés (prélevés après salage) BA²A

que BBB (Photos 1 et 2, grandissement 1800 X; fig 3). Après 45 jours d'affinage, le réseau protéique des fromages BBB apparaît plus compact et plus homogène que celui des fromages BA²A (Photos 3 et 4, grandissement 400 X; fig 3).

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Sur le plan physico-chimique, la teneur en caséine κ et la dimension moyenne des micelles de caséines des laits, qui présentent un rapport inverse, constituent les différences essentielles entre les laits CA²B, BBB et BA²A. Les laits BA²A (κ -Cn A), les plus pauvres en caséine κ – du fait conjointement de la plus faible teneur en caséine et de la plus faible proportion de caséine κ dans les caséines – possèdent des micelles de caséines de grande taille alors qu'à l'inverse les laits κ -Cn B notamment CA²B possèdent les plus petites micelles. Les laits BBB, un peu moins riches en teneur en caséine κ que les laits CA²B possèdent des micelles de taille intermédiaire. Ces résultats sont en parfait accord avec l'ensemble des publications sur la relation entre la caséine κ et ses principaux variants génétiques (variants A et B) et la dimension moyenne des micelles de caséines (Rose et Colvin, 1966; Morini et al, 1975; Mc Gann et al, 1980; Dagleish et al, 1981; Davies et Law, 1983; Mc Lean et al, 1984; Grandison et al, 1985; Ford et Grandison, 1986). Les laits des différents haplotypes se différencient aussi par leur aptitude à la coagulation par la présure et les résultats obtenus confirment pour les haplotypes les travaux sur les variants des caséines κ et β . Ainsi, il apparaît clairement que l'effet favorable associé au variant B de la caséine κ sur le temps de coagulation et le raffermissement du gel est renforcé par celui de la caséine β (Mariani et Leoni, 1985; Pagnacco et Caroli, 1987). A travers les haplotypes, on retrouve également l'effet positif de la réduction de taille des micelles de caséine sur la

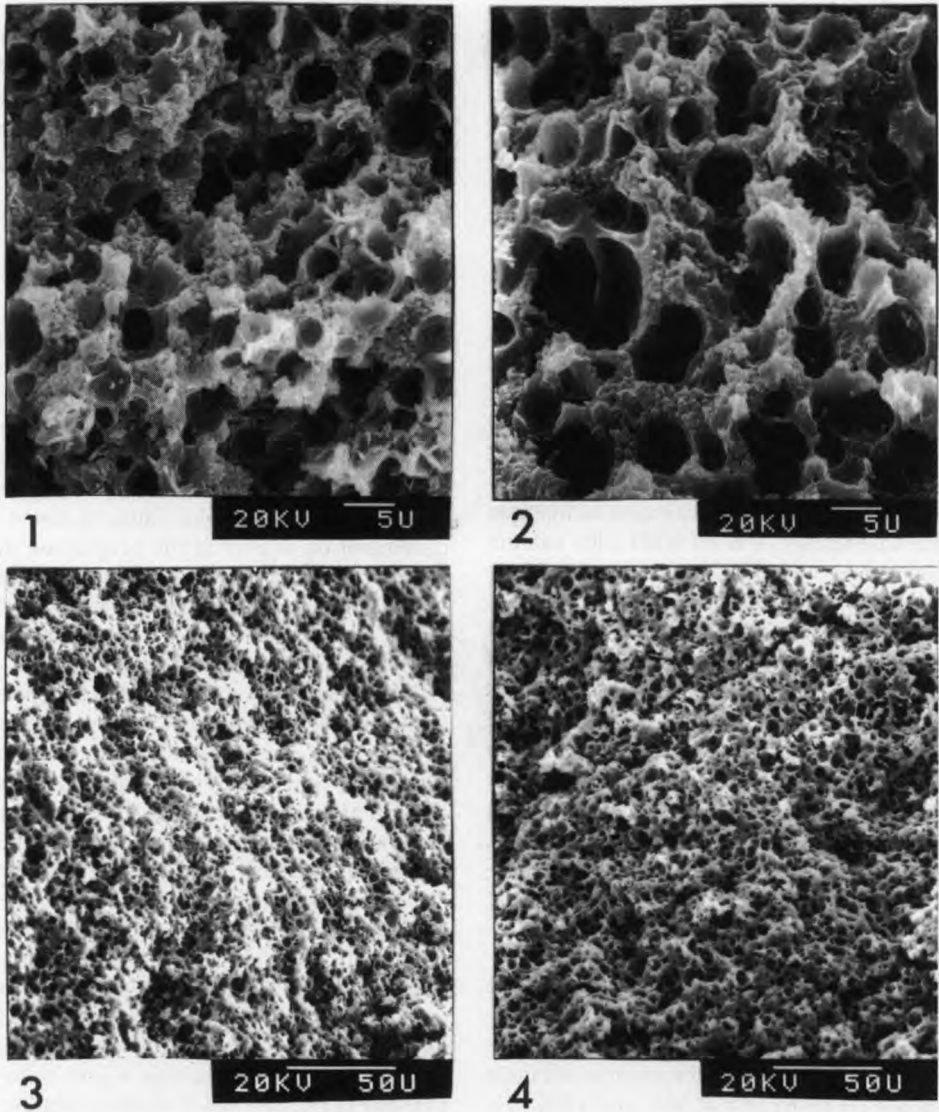


Fig 3. Étude par microscopie électronique de la structure d'échantillons de fromages (effet du polymorphisme génétique des caséines). Fromages à 48 heures d'affinage ; barre d'échelle : 5 µm : 1) BBB et 2) BA²A. Fromages à 45 jours d'affinage ; barre d'échelle : 50 µm : 3) BBB et 4) BA²A.

Electron microscopy study of the structure of cheese samples (effect of casein polymorphism). Cheeses at 48 h, scale bar : 5 µm : 1) BBB and 2) BA²A. Cheeses at 45 days of ripening, scale bar : 50 µm : 3) BBB and 4) BA²A.

fermeté des gels (Niki et Arima, 1984 ; Remeuf et al, 1989). Ce phénomène explique que les laits CA²B donnent les gels les plus fermes, plus aptes que les autres laits à retenir la matière grasse et les protéines au moment du découpage ce qui se traduit par de meilleurs rendements fromagers. Nos observations, quant aux propriétés fromagères des laits, concordent avec les résultats des travaux de Mariani et al (1976), Morini et al (1979), Schaar et al (1985), Marziali et Ng-Kwai-Hang (1986a et b), Rahali et Ménard (1991) qui montraient qu'en fabrication de Parmesan, de cheddar ou de camembert, on obtenait de meilleurs rendements fromagers avec le variant B de la caséine κ . Pour les fromages âgés de 45 jours, l'aspect le plus marquant est la différence de texture entre les fromages des trois haplotypes alors que leur pH et leur composition globale (extrait sec, gras/sec, azote total) ne diffèrent pas en moyenne à l'exception de la proportion de NS/NT un peu plus élevée des fromages BA²A qui pourrait participer à leur moindre fermeté (Creamer et Olson, 1982). Les différences dans les valeurs du rapport NS/NT sont liées à l'action de la présure, principal agent de la protéolyse primaire des fromages à pâte pressée non cuite (Visser, 1977) dont les doses ajustées de manière à obtenir des temps de prise voisins lors des fabrications fromagères étaient de ce fait beaucoup plus grandes pour les laits BA²A que pour les laits CA²B ou BBB. Il reste que des différences dans la structure du réseau de caséines pourraient aussi être à l'origine des différences de texture mesurées. Ainsi la taille des globules gras et les propriétés de la membrane globulaire qui se lie plus ou moins fortement au réseau de caséines peuvent influencer sur la structure du réseau. Des phénomènes de cette nature ont été mis en évidence par Xiong et Kinsella (1991) sur des caillés acides. Par ailleurs, on sait que les tailles de globules gras sont largement héréditaires (Mulder et Walstra, 1974) et nous avons pu observer sur quelques vaches

issues du même père que la taille des globules gras des laits BA²A semble en moyenne plus grande que celle des laits BBB (résultats non présentés). Ces derniers résultats sont cependant à considérer avec précaution, des examens plus approfondis sur un plus grand nombre d'échantillons seraient nécessaires avant de généraliser ces données.

La répartition des variants des caséines et de leurs associations est très différente selon les races. La race Normande se distingue en particulier d'autres races laitières par une fréquence élevée des variants κ -Cn B et β -Cn B. On peut donc penser que les fromages fabriqués avec du lait de vaches Normandes sont différents de ceux qui sont fabriqués selon la même technologie avec du lait de vaches d'autres races. Des essais réalisés avec des laits de mélange de vaches de même haplotype transformés dans des conditions fromagères plus proches de celles pratiquées en Normandie seraient nécessaires pour valider les résultats de notre étude. Il serait alors intéressant d'explicitier par des analyses plus fines des laits et des fromages (en particulier : minéralisation, structure de la matière grasse et lipolyse) les différences observées de qualité des fromages mais aussi d'évaluer, par l'analyse sensorielle, les aspects gustatifs.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'AIP « Qualité des laits » financée par l'Inra. Nous remercions B Bonaiti (Inra de Jouy-en-Josas) pour l'étude de filiation qui a conduit à la sélection des animaux intéressant notre étude, P Gaillon de l'Institut de l'Élevage, les agents nationaux du Contrôle laitier en Normandie Y Desvaux, N Lamblet et D Quelin pour l'organisation et la supervision de la collecte des laits ainsi que MF Mahé (Inra de Jouy-en-Josas) pour sa précieuse collaboration lors des génotypages des vaches. Nous remercions également nos collègues de l'Inra de Jouy-en-Josas, J Chaudron pour le transport des laits, G Pitel pour les fabrications fromagères, C Le Gallo, E Theveu et

R Legouar pour leur contribution aux analyses des fromages, M Rousseau, pour les observations au microscope électronique et l'interprétation des clichés photographiques.

REFERENCES

- AFNOR (1972) Guide pour l'implantation d'un local destiné aux analyses sensorielles. Norme NF V09-105
- Aschaffenburg R (1968) Genetic variants of milk proteins, their breed distribution. *J Dairy Res* 35, 447-460
- Aschaffenburg R, Drewry J (1958) New procedure for the routine determination of the various non casein proteins of the milk. *XV Int Dairy Congr* 3, 1631-1637
- Aschaffenburg R, Michalak W (1968) Simultaneous phenotyping procedure for milk proteins. *J Dairy Sci* 51, 1849-1850
- Creamer LK, Olson NF (1982) Rheological evaluation of maturing Cheddar cheese. *J Food Sci* 47, 632-636, 646
- Dalgleish DG, Brinkhuis J, Payens TJ (1981) The coagulation of differently sized casein micelles by rennet. *Eur J Biochem* 19, 257-261
- Davies DT, Law AJR (1983) Variation in the protein composition of bovine casein micelles and serum casein in relation to micellar size and milk temperature. *J Dairy Res* 50, 67-75
- Delacroix-Buchet A, Marie C (1994) Comparaison des variants A et C de la caséine β des laits de vaches Tarentaises en modèle fromager de type beaufort. I- aptitudes fromagères et rendements en frais. *Lait* 74, 343-360
- Feagan JT, Barley LF, Hehir AF, Mc Lean DM, Ellis NJS (1972) Coagulation of milk proteins. 1- Effect of genetic variants of milk proteins on rennet coagulation and heat stability of normal milk. *Aust J Dairy Technol* 27, 129-134
- FIL (1967) Détermination de la teneur en phosphore du lait. Norme 42
- FIL (1982) Fromages et fromages fondus. Détermination de l'extrait sec total, méthode de référence. Norme 4A
- Ford GD, Grandison AS (1984) Effects of size of casein micelles on coagulation properties of skim milk. *J Dairy Sci* 53, 129-133
- Grandison AS, Anderson M, Ford GD, Newell L (1985) Interrelationships between the diet fed to cows, composition and properties of milk and composition and quality of Cheshire cheese from farmhouse manufacturers. *J Dairy Res* 52, 587-593
- Gripon JC, Desmazeaud MJ, Le Bars D, Bergère JL (1975) Etude du rôle des microorganismes et des enzymes au cours de la maturation des fromages. II- Influence de la présure commerciale. *Lait* 55, 502-513
- Grosclaude F (1988) Le polymorphisme génétique des principales lactoprotéines bovines. *INRA Prod Anim* 1, 171-177
- Guillou H, Miranda G, Pélissier 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
- Heiss E (1961) Essai de dosage de la matière grasse dans le fromage par des méthodes rapides. *Dtsch Molk Ztg* 82, 67-70
- Mariani P, Leoni M (1985) Il tempo di coagulazione del latte in rapporto alle varianti genetiche delle caseine β et κ . *Ann Fac Med Vet Parma* 5, 185-195
- Mariani P, Losi G, Russo V, Castagnetti GB, Grazia L, Morini D, Fossa E (1976) Cheesemaking tests made with milk characterized by variants A and B of κ -casein in the production of Parmigiano Reggiano cheese. *Sci Tec Latt-Casearia* 27, 208-227
- Marie C, Delacroix-Buchet A (1994) Comparaison des variants A et C de la caséine β des laits de vaches Tarentaises en modèle fromager de type beaufort. II- Protéolyse et qualité des fromages. *Lait* 74, 443-459
- Marziali AS, Ng-Kwai-Hang KF (1986a) Relationships between milk protein polymorphism and cheeses yielding capacity. *J Dairy Sci* 69, 1193-1201
- Marziali AS, Ng-Kwai-Hang KF (1986b) Effects of milk polymorphism on cheese composition. *J Dairy Sci* 69, 2355-2542
- 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
- Mc Gann TCA, Donnelly WJ, 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 (1984) Effects of milk protein genetic variants on milk yield and composition. *J Dairy Res* 51, 531-546
- Mietton B (1986) Les rendements en fromagerie. Eléments de méthodologie pour une meilleure détermination et utilisation des données. *Rev ENIL* 104, 6-16
- Morini D, Losi G, Castagnetti GB, Benevelli M, Resmini P, Volonterio 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 della varianti A e B della κ -caseina : rilievi sul formaggio stagionato. *Sci Tec Latt-Casearia* 30, 243-262
- Mulder H, Walstra P (1974) The milk fat globule (Emulsion Science as applied to milk products and comparable foods). *Technical communication n°4 of the Commonwealth Bureau of Science and Technology*.
- 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
- Niki R, Arima S (1984) Effects of size of casein micelle on firmness of rennet curd. *Jpn J Zootech Sci* 55, 409-415
- Pagnacco G, Caroli A (1987) Effect of casein and b-lactoglobulin genotypes on renneting properties of milk. *J Dairy Res* 54, 479-485
- Peterson RF, Kopfler FC (1966) Detection of new types of b-casein by polyacrylamide gel electrophoresis at acid pH : a proposed nomenclature. *Biochem Biophys Res Commun* 22, 388-392
- Pien J (1976) Détermination du taux de matière grasse des fromages. *Tech Lait* 878, 15-17
- 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) 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
- Rose D, Colvin JR (1966) Appearance and size of micelles from bovine milk. *J Dairy Sci* 49, 1091-1097
- 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. Departement of Animal Breeding and Genetics, Swedish University of Agricultural Sciences, Report 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, Petterson HE (1985) Effects of genetic variants of κ -casein and β -lactoglobulin on cheesemaking. *J Dairy Res* 52, 429-437
- Visser FMW (1977) Contribution of enzymes from rennet, starter bacteria and milk to proteolysis and flavour development in Gouda cheese. 3- Protein breakdown : analysis of the soluble nitrogen and amino acid nitrogen fraction. *Neth Milk Dairy J* 31, 210-239
- Xiong YL, Kinsella JE (1991) Influence of fat globule membrane composition and fat type on the rheological properties of milk based composite gels. *Milchwissenschaft* 46, 150-182, 207-212