

Influence des variants AA et FF de la caséine α_{s1} caprine sur le rendement fromager et les caractéristiques sensorielles des fromages

A Delacroix-Buchet¹, C Degas¹, G Lamberet², L Vassal¹

¹ Station de recherches laitières, Inra, 78352 Jouy-en-Josas cedex ;
² station de technologie laitière, Inra, 78850 Thiverval-Grignon, France

(Reçu le 3 mars 1995 ; accepté le 9 août 1995)

Résumé – Les laits de deux lots de chèvres homozygotes AA ou FF au locus de la caséine α_{s1} ont été comparés en transformation fromagère au cours de deux lactations successives en 1992 et 1993, dans un même troupeau. Les résultats obtenus montrent l'effet très favorable de l'allèle A sur la richesse du lait en protéines, en caséines et en matière grasse. En conséquence, le lait A se caractérise par une meilleure aptitude fromagère que le lait F (rendements fromagers plus élevés, coefficient de récupération en matière sèche supérieur) en technologie traditionnelle type pâte molle (PM) ou en technologie modèle type pâte pressée (PP). La technologie modèle PP permet de mieux discriminer les fromages A des fromages F que la technologie PM en raison d'une meilleure maîtrise de l'égouttage des fromages et de l'absence de flore de surface. Le suivi de la protéolyse permet de montrer, en 1992, et quelle que soit la technologie employée, des différences qualitatives dans la dégradation des caséines (électrophorèses des caséines et profils CLHP des peptides). En 1993, la bonne maîtrise de l'extrait sec des fromages type PP permet de mettre en évidence une intensité globale de la protéolyse (proportion de gros peptides dans l'azote total) plus prononcée, mais non significative, pour les fromages A que pour les fromages F (respectivement 14,4 contre 12,8 % en fin d'affinage). Pour la lipolyse, la principale différence entre les laits A et F réside dans le taux initial d'acides gras libres pendant la période avril-juin. Le phénomène est bien mis en évidence en 1992 (taux environ 2 fois plus élevé pour F que pour A) mais beaucoup moins marqué en 1993 ; il apparaît cependant dans les résultats d'acidité grasse libre des laits (BDI) à la réception et d'activité lipasique sur tributyrine. Les profils des acides gras totaux, pendant la période critique en 1992, montrent très peu de différences entre les fromages A et F ; les écarts les plus forts concernent les acides $C_{16:0}$ (19,6 % pour A et 20,7 % pour F) et $C_{18:0}$ (7,4 % pour A et 6,8 % pour F). L'analyse des caractéristiques rhéologiques et sensorielles met en évidence un effet du variant de la caséine α_{s1} sur la texture (fermeté) et la saveur (« goût chèvre ») des produits. En technologie PM, aucune différence significative de texture n'a été mise en évidence (probablement en raison de la variabilité de l'extrait sec des fromages) mais les fromages F, fabriqués en 1993, présentent un goût « chèvre » significativement plus prononcé. En technologie PP, les fromages A présentent une texture plus ferme que les fromages F mais un goût « chèvre » plus faible. Les différences sont plus marquées en 1992 qu'en 1993. Elles sont maximales à mi-affinage (30 jours). Quelle que soit la technologie, l'augmentation de goût « chèvre » des fromages F fabriqués pendant la période avril-juin coïncide avec l'élévation du taux initial d'acides gras libres de ces fromages.

lait de chèvre / caséine α_{s1} / variant génétique / fromage / rendement / protéolyse / lipolyse / texture / saveur

Summary – Effect of AA and FF caprine α_{s1} -casein variants on cheesemaking. Milk samples of two groups of homozygous goats (AA or FF) for the α_{s1} -casein locus were compared in cheesemaking. Trials were carried out along two successive lactations in 1992 and 1993 in the same herd. Results confirm the highly favourable effect of the allele A on the protein, casein and fat content of milk. Thus, milk A has a better cheesemaking suitability than milk F (higher cheese yield, better dry matter retention in curd) in either traditional (soft curd) cheese technology or model type (pressed curd) cheese technology. The model type technology allows to better discriminate between the cheeses A and F in relation to the better control of the drainage of the cheeses and the absence of surface flora. In 1992, and whatever the cheese technology used, qualitative differences in the casein breakdown appear as shown by the casein electrophoresis and HPLC profiles of the peptides. In 1993, the good control of the dry matter of model type cheeses evidenced for a higher intensity of the proteolysis (although non significant) in the cheese A than in the cheese F (respectively 14.4 vs 12.8 % of long chain peptides in the total nitrogen at the end of the ripening period). For the lipolysis, the main difference between milks A and F lies in the initial content of the free fatty acids during the April-June period. The phenomenon is obvious in 1992 (content of free fatty acids in F twice as in A) but less pronounced in 1993; anyway, it appears in the results of the free fatty acids of the raw milk (BDI) and the lipase activity measured on tributyrine. Profiles of total fatty acids during the critical period in 1992 show little differences between the cheeses A and F; the largest variations affect C_{16:0} (19.6 % for A and 20.7 % for F) and C_{18:0} (7.4 % for A and 6.8 % for F) acids. Studies on rheological and sensory characteristics of cheeses show an effect linked to α_{s1} -casein variants on texture (firmness) and flavour ('goat flavour'). Within the traditional technology trial, no significant difference was evidenced for texture (probably because of the variability of cheeses dry matter), whereas cheeses F, made in 1993, had a significant stronger 'goat flavour'. Within the model type technology trial, cheeses A had a firmer texture than cheeses F but weaker 'goat flavour'. Differences were larger in 1992 than in 1993. They were maximum at the mid-ripening stage (30 days). Increase of 'goat flavour' in both types of cheeses F made in spring coincides with a higher initial content of free fatty acids in these cheeses.

goat milk / α_{s1} -casein / genetic variant / cheese / yield / proteolysis / lipolysis / texture / flavour

INTRODUCTION

L'étude du polymorphisme génétique des caséines caprines a montré que celui de la caséine α_{s1} (α_{s1} -Cn) présente la particularité d'associer à des allèles ou groupe d'allèles, des taux de synthèse très différents (Boulanger et al, 1984). Pour les sept allèles minimum connus, on distingue quatre niveaux de synthèse : fort (allèles A, B et C), moyen (E), faible (D, F) et nul (O). Par ailleurs, il existe une forte corrélation entre la teneur en α_{s1} -Cn et la teneur en caséine totale des laits individuels, les allèles A, B et C ayant un effet favorable (Grosclaude et al, 1987). La différence des taux de α_{s1} -Cn entre un homozygote « fort » et un homozygote « faible » représente environ 6 g/L soit environ 4 g de caséine totale/L,

le coefficient de régression du taux de caséine totale sur le taux de caséine α_{s1} étant d'environ 2/3 (Grosclaude et al, 1994). De manière inattendue, on observe également des différences significatives pour le taux butyreux entre l'allèle A et les allèles E et F (Manfredi et al, 1993 ; Remeuf, 1993 ; Vassal et al, 1994). L'étude de laits individuels de chèvres homozygotes α_{s1} -Cn AA, EE et FF montre des différences dans la composition en acides gras de la matière grasse (Sauvant, résultats non publiés).

Les protéines laitières, particulièrement la caséine, sont, avec la matière grasse, les constituants du lait qui intéressent le plus le fromager car ils sont retenus de façon sélective au cours de la fabrication du fromage. Leur taux influe directement sur le rendement fromager (Ricordeau et

Mocquot, 1967 ; Portmann et al, 1968 ; Maubois et al, 1970). La comparaison des rendements fromagers obtenus en fabrication de fromage type pâte pressée (Pirisi et al, 1994) à partir de laits produits par deux lots de chèvres Alpine ou Alpine x Saanen, l'un à niveau fort, l'autre à niveau faible de synthèse de α_{s1} -Cn, montre des différences pour les rendements bruts de l'ordre de 17 % ($p < 0,01$). En fabrication traditionnelle de fromages du type Pélardon des Cévennes, Vassal et al (1994) ont mis en évidence de nettes différences de rendement fromager corrigé de l'extrait sec : + 7,4 % entre les laits A et E et + 14,8 % entre les laits A et F, les variations saisonnières de rendement suivant celles de la matière fromagère utile (TP + TB).

En 1985, les allèles E et F prédominaient dans les races laitières françaises Alpine et Saanen, ce qui expliquait, en partie, la faiblesse du taux protéique des laits, limitant leur rendement fromager (Grosclaude et al, 1994). Il semblait donc important de s'interroger sur l'opportunité de chercher à augmenter les taux protéiques par la sélection des allèles forts de la caséine α_{s1} . Pour cela, il fallait, en particulier, confirmer les différences de goût et de texture observées avec les fromages fabriqués à partir des laits possédant les allèles forts ou faibles.

Un travail a donc été entrepris en 1992 et 1993, dans le cadre d'un programme pluridisciplinaire sur les « valeur fromagère et valeur nutritive de nouveaux types de lait de chèvres génétiquement différents en caséine α_{s1} » pour compléter les observations de 1989 et 1990 (Vassal et al, 1994). Dans cette étude, des laits de petits mélanges (10 à 15 femelles) provenant de chèvres homozygotes α_{s1} -Cn AA (lait A) et α_{s1} -Cn FF (lait F) ont été comparés.

Afin de préciser d'une manière objective les différences de goût et de texture observées en 1989 et 1990, deux technologies fromagères aboutissant à des caillés différents et donc des textures différentes ont

été mises en œuvre : une technologie traditionnelle type fromage à pâte molle (Pélardon des Cévennes) et une technologie modèle type fromage à pâte pressée non cuite (Saint-Paulin). La première technologie, traditionnelle en France continentale en transformation de lait de chèvre en fromage (coagulation lente, moulage en faisselles d'un caillé acide, salage au sel sec) (Vassal et al, 1994) est utilisée comme référence. La seconde technologie mise en œuvre constitue un modèle expérimental qui se prête mieux à l'étude de l'influence des variants génétiques des caséines : meilleure maîtrise de l'égouttage et simplification de la phase d'affinage par enrobage des fromages dans de la paraffine (absence de développement d'une flore de surface, faible variation de l'extrait sec des fromages au cours de l'affinage). Dans le modèle pâte pressée, les seuls agents d'affinage sont, outre les enzymes du lait, l'agent coagulant (dont le principal substrat, au cours de l'affinage, est la caséine α_{s1}) et les enzymes des levains lactiques.

Les fromages ont été fabriqués et affinés dans l'atelier fromager pilote de la station Inra de Jouy-en-Josas. Pour les deux schémas de fabrication, les aptitudes fromagères des deux laits ont été comparées aux trois principaux stades de lactation des chèvres (début, milieu et fin). En cours d'affinage des fromages, la protéolyse, la lipolyse et les caractéristiques rhéologiques et sensorielles des fromages ont été analysées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Protocole expérimental

Prélèvements des laits et planning des fabrications

Deux lots de laits, dénommés A et F, provenant respectivement de chèvres Alpines homozygotes AA et FF au locus de la caséine α_{s1} , élevées à la station caprine de Moissac (Lozère, France) étaient collectés dans deux récipients

distincts et aussitôt refroidis par immersion dans un bac d'eau glacée. Les récipients de lait, placés dans des caisses isothermes, parvenaient à la station de recherches laitières Inra de Jouy-en-Josas moins de 36 h après la traite des chèvres et la température du lait à l'arrivée était voisine de 4 °C.

Au cours de chacune des deux lactations (1992 et 1993), entre février et octobre de chaque année et pour les deux variants étudiés, des fabrications de fromages ont été réalisées à trois moments qui correspondaient au début, milieu et fin de lactation. Les fabrications ont été répétées deux fois dans tous les cas ce qui amène à un total de 48 fabrications (2 années x 3 périodes x 2 variants x 2 technologies x doubles). L'espacement entre deux collectes de lait associées à une même période était en général d'une semaine. En fait, 54 fabrications au total ont été réalisées entre 1992 et 1993 pour pallier des données manquantes ou des accidents de fabrication (présence de phages) ; 46 de ces fabrications seulement ont été analysées : la dernière fabrication de Pélardons (fin de lactation, 1993) n'a été ni analysée (problème d'acidification), ni répétée (chèvres tarées).

Fabrications fromagères

Préparation des laits

L'objectif était de comparer les deux lots de laits différant par le génotype de la caséine α_{s1} . La préparation du lait était donc modifiée par rapport aux pratiques traditionnelles (transformation de lait cru et entier) pour minimiser l'effet d'autres éléments intrinsèques de variation de la qualité du lait tels que la flore naturelle et le rapport matière grasse/matière azotée totale (MG/MAT). Les laits étaient partiellement écrémés, l'objectif étant d'avoir un rapport MG/MAT voisin de 0,95 pour obtenir des fromages de même gras/sec (G/S) et proche de 45 %. Après standardisation, les laits étaient pasteurisés (72 °C, 18 s), en 1992, pour détruire la flore naturelle du lait et thermisés (63 °C, 18 s), en 1993, pour préserver une part de l'activité de la lipoprotéine-lipase (Chilliard, 1982) tout en limitant le développement de la flore naturelle du lait.

Procédés technologiques

Chaque lot de fromage était fabriqué à partir d'un poids connu de 30 à 40 kg de lait environ, selon deux technologies décrites à la figure 1, pâte

molle type Pélardon des Cévennes (PM) et à la figure 2, pâte pressée non cuite type Saint-Paulin (PP). Les doses d'enzyme coagulante étaient ajustées, d'après les résultats obtenus au Formagraph (Foss Electric, Nanterre, France), pour obtenir des temps de coagulation identiques pour les laits A et F et voisins de 20 min en fabrication type PP.

Les fromages de type PM étaient affinés 15 jours à 12 °C et 72 % d'humidité relative (HR), emballés sous film cellophane puis stockés 15 jours à 4 °C. Les fromages de type PP étaient affinés 8 semaines à 12 °C et 92 % HR.

Outre la température de chauffage du lait, de petites modifications des procédés technologiques ont été apportées en 1993, au vu des résultats de 1992. La hauteur des fromages type PM a été doublée (3 puis 6 cm environ) de manière à augmenter le rapport « cœur/périphérie » pour mieux maîtriser l'extrait sec (ES) des fromages. En 1993, on a substitué un extrait de caillette de chevreau liquide Grandine (Granday, Beaune, France) à la présure de veau (Granday) afin d'augmenter les activités lipasiques dans le fromage.

Analyses

Dès l'arrivée à la laiterie expérimentale de la station de recherches laitières Inra de Jouy-en-Josas, on prélevait après brassage dans chaque récipient de lait, un échantillon pour les analyses physico-chimiques.

Les fromages étaient analysés avant affinage (48 h pour les PM et 24 h pour les PP), à mi-affinage (15 j pour les PM et 30 j pour les PP) et en fin d'affinage (30 j pour les PM et 60 j pour les PP).

Analyses physico-chimiques

La plupart des méthodes employées sont décrites dans l'article de Vassal et al (1994). Des masses volumiques moyennes de 1,031 et 1,029 étaient retenues respectivement pour les laits A et F au regard des résultats obtenus en 1989.

La protéolyse était suivie quantitativement dans les fromages par la mesure de leurs teneurs en azote soluble à pH 4,6 (NS) et en azote soluble dans l'acide phosphotungstique (NSAPT) préparées d'après la méthode de Gripon et al (1975). La proportion dans l'azote total (NT) de petits peptides était estimée par le

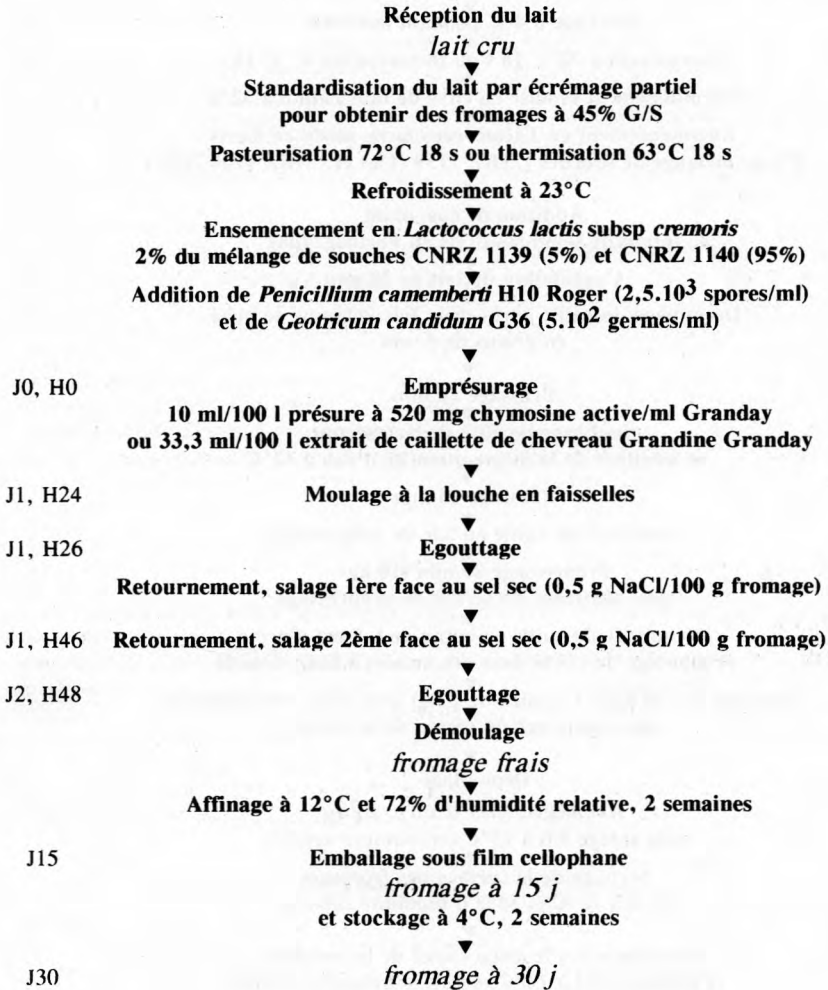


Fig 1. Protocole de fabrication des fromages type pâte molle.
Diagram of soft curd type cheeses processing.

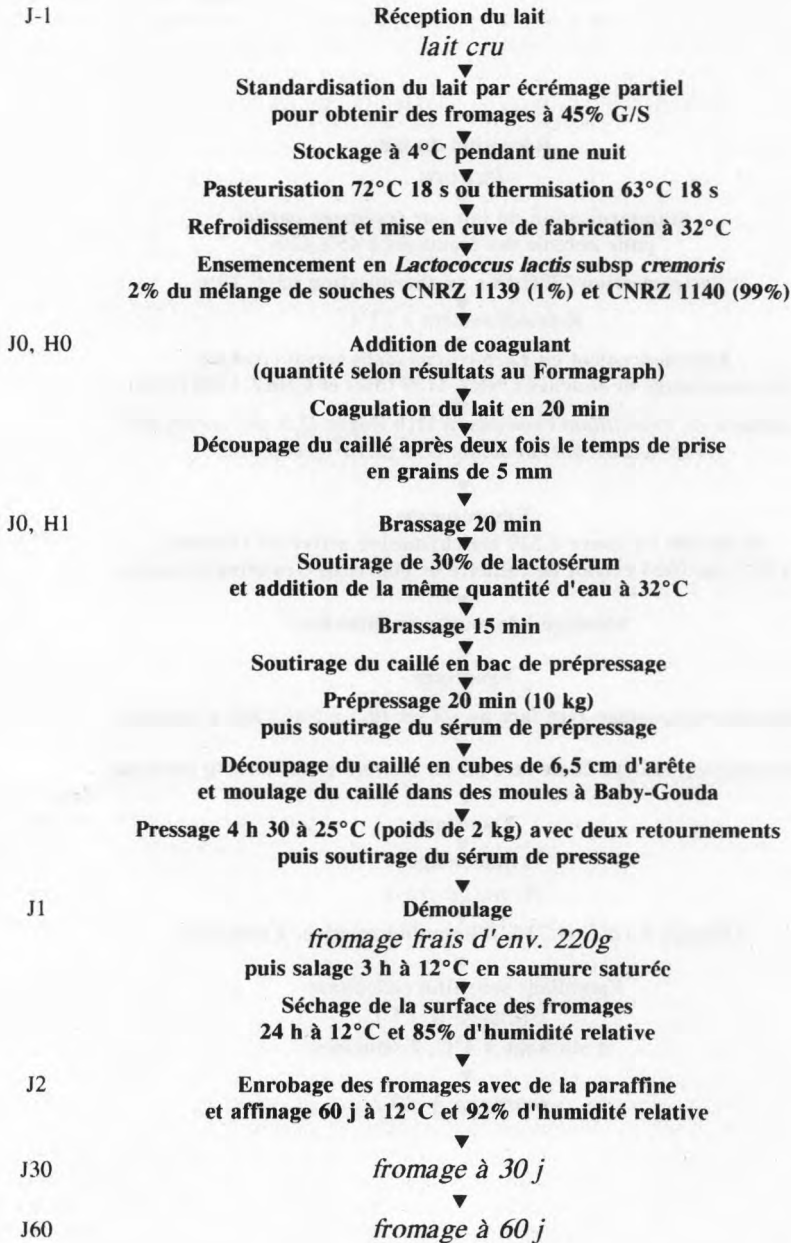


Fig 2. Protocole de fabrication des fromages type pâte pressée.
Diagram of pressed curd type cheeses processing.

rapport NSAPT/NT et celle de gros peptides par le rapport (NS-NSAPT)/NT. L'azote total et l'azote des fractions NS et NSAPT étaient dosés par la méthode Kjeldahl. En 1992, les caséines et les peptides des fromages étaient également analysés. Les caséines et les fractions caséiques étaient séparées par électrophorèse sur gel de polyacrylamide-agarose à pH 8,6 selon la technique de Uriel (1966) modifiée par Gripon et al (1975). La séparation était réalisée pour les fromages, à partir de la fraction insoluble à pH 4,6 conservée lors de la préparation du NS et pour les laits, à partir de la caséine issue de lait emprésuré et non de la caséine isoélectrique car la caséine κ caprine a une mobilité électrophorétique très voisine de celle des caséines β (Assenat, 1967). Les profils peptidiques étaient réalisés par CLHP sur une colonne Waters Delta Pak C18 (300 A, 3,9 x 150 mm, 5 μ m) à l'aide d'un matériel Waters (Milford, États-Unis) composée de deux pompes haute pression (modèles 501 et 510), d'un injecteur automatique Wisp 712, d'un détecteur UV 484 et d'un logiciel de pilotage-acquisition de données Baseline 810. La colonne était thermostatée à 40 °C grâce à un bain d'eau. La séparation était effectuée en 30 min avec un gradient linéaire (0 à 70 % de tampon B) de deux tampons à pH 7 (tampon A = tampon phosphate 0,05 mol/L, tampon B = tampon A 40 % + acétonitrile 60 %, v/v) à un débit constant de 1 mL/min. L'échantillon était préparé à partir de 1 mL de la solution de NS centrifugée à 10 000 g pendant 3 min. 100 μ L de surnageant, filtrés à 0,45 μ m étaient injectés directement en tête de colonne. La détection des peptides se faisait à 214 nm.

Pour les laits de 1993, le dosage des acides gras libres du lait (AGL) était effectué par la méthode BDI modifiée par Chazal et al (1984) et l'activité lipasique était mesurée sur tributyrine d'après la méthode de Castberg et al (1975). Pour tous les fromages, le titrage selon le document FIL E 288 (1987) de l'acidité grasse était réalisé sur la matière grasse (MG) séparée par centrifugation à 3000 g et à 50-55 °C après acidification des fromages par H₂SO₄ à pH < 2 et broyage avec un poids égal de sable. Les résultats sont exprimés en μ mol d'AGL/g de MG ou en % de lipolyse (% d'AGL par rapport aux acides gras (AG) totaux de la MG, en prenant une masse moléculaire moyenne des AG de 220 Da). Pour les fromages fabriqués en milieu de lactation, des profils des AG majeurs des triglycérides et des AGL ont été réalisés par chro-

matographie en phase gazeuse. Les AG totaux étaient estérifiés par du trifluorure de bore (BF₃) à 14 % dans le butanol (Sigma) 30 min à 90 °C puis séparés sur une colonne DB Wax JW (Folsom, États-Unis) (longueur 30 m, diamètre interne 0,32 mm, épaisseur de film 0,5 μ m), à l'aide d'un chromatographe Varian (Palo Alto, États-Unis) équipé d'un injecteur automatique « on column » 8035 et d'un logiciel d'acquisition et de traitement des données Winner (Spectra-Physics, Les Ulis, France). Le gaz vecteur était l'hydrogène à débit constant de 1,5 mL/min. La colonne était programmée en gradient de température 2 °C/min de 30 °C à 60 °C puis 5 °C/min jusqu'à 230 °C. L'injecteur était maintenu à 20 °C pendant 1 min après injection puis réchauffé à 150 °C en 1 min. Les AGL fixés sur résine puis estérifiés selon la méthode de Needs et al (1983) modifiée pour obtenir des esters butyliques (élimination du méthanol sous vide en fin de fixation et butylation par le BF₃-butanol) étaient chromatographiés comme les AG totaux.

Rhéologie

La fermeté des fromages type PM était mesurée par pénétrométrie selon Vassal et al (1986). Pour chaque échantillon de fromage, trois mesures étaient effectuées sous chacune des faces et trois mesures dans la partie centrale.

Pour les fromages type PP, des tests de compression simple uniaxiale étaient effectués. Au centre des fromages déparaffinés, une carotte cylindrique de 24 mm de diamètre était découpée à l'emporte-pièce, sur toute la hauteur du fromage. La hauteur du cylindre était ajustée à 20 mm par une découpe symétrique des deux bases du cylindre. L'éprouvette de fromage était maintenue 1 h à 20 °C, à l'abri de la dessiccation dans un pèse-filtre, avant la réalisation du test. L'éprouvette de fromage était comprimée, entre une plaque fixée à une traverse mobile descendant à 25 mm/min, et la face supérieure d'une cellule de mesure. La contrainte subie par l'échantillon était transmise à un enregistreur. Le test se poursuivait jusqu'à un niveau de compression de 80 % susceptible d'entraîner la rupture de l'éprouvette. Par lot de fabrications, un test était réalisé sur deux fromages issus de la même cuve. À partir des courbes de compression, quatre paramètres rhéologiques étaient définis : la pente de la courbe à l'origine déterminée dans la partie linéaire de la courbe et qui

représente l'élasticité du fromage, la contrainte à la rupture considérée comme une mesure de la dureté de la pâte, la déformation d'après Cauchy au point de rupture (%) qui s'assimile à l'état de cohésion de la pâte et la contrainte maximale.

Les tests (pénétrométrie ou compression) étaient réalisés, à mi-affinage et en fin d'affinage des fromages, à l'aide d'une machine universelle de traction compression Instron SA modèle 1102 (Buc, France) installée dans un local climatisé à 20 °C.

Analyse sensorielle

Pour les fromages type PM comme pour les fromages type PP, les caractères sensoriels étaient analysés, à mi-affinage et en fin d'affinage, par la notation sur une échelle structurée de 0 à 5 (0 = caractère non reconnu et 5 = caractère très intense) de descripteurs de texture et de flaveur définis à partir des observations effectuées par le jury en 1989 et 1990, et adaptés à chaque technologie mise en œuvre. Les tests de dégustation avaient lieu dans un local spécialement aménagé (Afnor, 1972). Les deux échantillons fabriqués le même jour, codés avec un numéro à 3 chiffres étaient présentés aux dégustateurs en compagnie d'un fromage témoin de la flaveur « chèvre ». En 1992, il s'agissait d'un type « Kiri au chèvre » (fromageries Bel) et en 1993 d'un « fromage frais 100 % chèvre » fabriqué à la Station de recherches laitières pour les PM ou d'un type « tomme de chèvre du Poitou à 45 % de MG » affinée en Haute-Savoie (fromagerie des Afforêts) pour les PP. Les dégustateurs disposaient de pain de mie et d'eau pour se rincer la bouche entre chaque échantillon. Le jury était, en moyenne, composé de 12 membres entraînés.

Analyses statistiques

Le traitement statistique des résultats a été effectué à l'aide du logiciel Microstat (ITCF, Boigneville, France) version 5 (1991). Pour l'analyse sensorielle, chaque fromage s'est vu attribuer une note correspondant à la moyenne des notes du jury. Chaque moyenne est intégrée dans l'étude statistique au même titre qu'une autre valeur analytique. La donnée manquante (répétition de la fabrication type PM en fin de lactation 1993) a été estimée, dans les analyses de variance à deux facteurs (génotype et stade de

lactation), par la méthode de Yates (1933) décrite par Cochran et Cox (1957).

RÉSULTATS

Laits

Les résultats moyens pour chacune des deux lactations sont présentés dans le tableau I.

Les laits A sont non seulement plus riches en matières azotées totales (+ 4,4 g/kg), en protéines (Prot) (+ 4,5 g/kg) et en caséine totale (Cne) (+ 4,3 g/kg) que les laits F mais également, pour une même teneur en protéine ils contiennent plus de caséine totale (+ 2 points environ) ($p < 0,001$). Les valeurs des différences moyennes, entre génotypes, sont identiques en 1992 et 1993. Les laits A sont plus riches en matière grasse (MG) (+ 3,0 g/kg) que les laits F. Le rapport MG/Prot des laits A n'est pas sensiblement inférieur à celui des laits F.

La composition des laits évolue significativement au cours de la lactation. En milieu de lactation, les teneurs en Prot et en MG et les rapports MG/Prot et MG/Cne enregistrent des minima alors que le rapport Cne/Prot est maximum (résultats non illustrés).

D'après les observations 1993, la teneur en AGL des laits A crus varie de 2 à 4 $\mu\text{mol/g}$ MG au cours de la lactation (fig 3a). Celle des laits F est toujours plus élevée, particulièrement dans la période avril-juin ; elle se situe alors dans une fourchette de 5 à 9 $\mu\text{mol/g}$ MG. L'activité lipasique est identique pour les deux types de lait en début et fin de lactation (fig 3b) mais en moyenne près de 3 fois plus élevée dans les laits F pendant la période avril-juin ($p < 0,001$). Ainsi, pendant cette période, l'activité lipasique et l'acidité grasse évoluent parallèlement, ce qui n'est pas le cas en mars et septembre-octobre : l'activité lipasique est plus faible en mars qu'en fin de lactation alors que l'acidité grasse tend en revanche, à être plus faible en fin de lactation qu'en début.

Tableau I. Composition des laits (effet des variants de la caséine α_{S1} caprine).
Milk composition (effect of α_{S1} -casein variants).

Variables	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b
	1992			1993		
Génotype	α_{S1} AA (n = 12)	α_{S1} FF (n = 12)		α_{S1} AA (n = 12)	α_{S1} FF (n = 12)	
pH lait entier	6,61 (0,04)	6,67 (0,04)	**	6,58 (0,06)	6,61 (0,05)	NS
Extrait sec (g/100 g)	11,97 (0,26)	11,27 (0,40)	***	12,06 (0,53)	11,10 (0,34)	***
Matière grasse (g/kg)	32,8 (2,0)	29,8 (1,9)	**	35,2 (4,0)	32,1 (2,2)	*
Acidité matière grasse (μ mol AGL/g MG)				3,21 (0,23)	4,71 (0,85)	***
Activité lipasique (nmol C ₄ /mL/min)				41,8 (18,1)	72,0 (21,4)	***
Matière azotée totale (g/kg)	36,76 (1,11)	32,39 (0,87)	***	36,48 (1,78)	32,10 (1,63)	***
Azote non protéique (% MAT)	7,05 (0,51)	8,40 (0,38)	***	7,18 (0,52)	7,80 (0,75)	***
Protéines (g/kg)	34,19 (1,09)	29,68 (0,84)	***	33,86 (1,80)	29,27 (1,70)	***
Caséines (g/kg)	28,63 (0,78)	24,27 (0,63)	***	28,36 (1,59)	24,03 (1,55)	***
Caséine/protéine (%)	83,8 (0,95)	81,8 (1,90)	**	83,8 (0,82)	82,1 (0,94)	***
Matière grasse/protéine (%)	0,96 (0,05)	1,00 (0,05)	0,06	1,04 (0,08)	1,10 (0,05)	0,08

^a D'après modèle d'analyse de variance à deux facteurs (génotype x stade de lactation). ^b p : seuil de probabilité ; NS : $p > 0,10$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$.

^a According to a model of analysis of variance with two factors (genotype x lactation stage). ^b P: significance levels; NS: $P > 0.10$; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$.

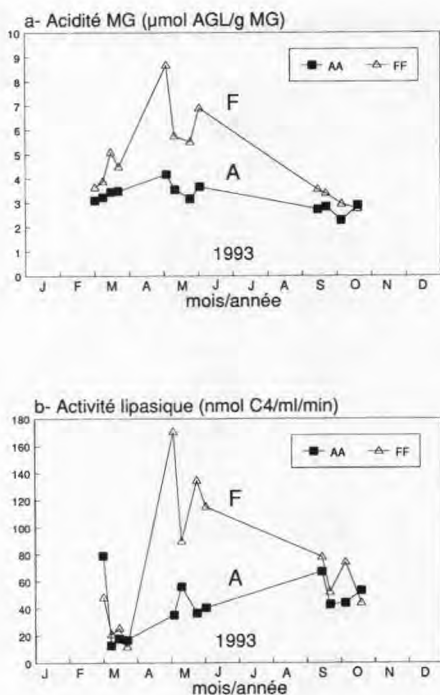


Fig 3. Variations saisonnières de l'acidité grasse (a) et de l'activité lipasique (b) du lait cru en 1993 (influence des variants de la caséine α_{s1} caprine). *Seasonal variations of FFA content (a) and lipolytic activity (b) of raw milk in 1993 (effect of α_{s1} -casein variants).*

Fromages

Rendements et caractéristiques globales des fromages

Les rendements fromagers obtenus avec les laits A sont très significativement supérieurs à ceux obtenus avec les laits F en technologie PM ou PP (tableau II). En moyenne, le poids de fromage frais obtenu à partir de 100 kg de lait est 16 % plus élevé avec le lait A. L'augmentation de rendement liée à la plus grande richesse du lait A est encore renforcée par une meilleure rétention de la matière sèche et tout spécialement de la matière azotée dans le fromage : 78,9 % contre 72,9 % pour les PM

et 73,4 % contre 68,5 % pour les PP. Le rendement en fromage frais ramené à un même extrait sec des fromages A et F (31 % en 1992 ou 37 % en 1993 pour les PM et 49 % en 1992 et 1993 pour les PP) est également plus élevé pour les laits A. La différence avec les laits F atteint 20 % en 1992 pour les PP (rendements corrigés : 11,5 contre 9,5 ; $p < 0,001$). L'évolution saisonnière du rendement enregistré des minima en milieu de lactation comme la matière fromagère utile (TB + TP) des laits de fabrication.

La composition globale des fromages A n'est pas significativement différente de celle des fromages F avant, pendant et en fin d'affinage (tableau III pour les PM et tableau IV pour les PP). En particulier, aucune différence systématique de vitesse d'égouttage, ni de séchage au cours de l'affinage n'est observée en fabrication de fromage à PM. En 1992, les fromages A type PP sont un peu plus égouttés à travail égal en cuve de fabrication que les fromages F (extrait sec du fromage dégraissé 36,5 % contre 33,8 %). En 1993, les rapports MG/Prot des laits (tableau I) ont permis de réaliser des fromages avec des gras/sec (G/S) de 45 % ce qui n'est pas le cas en 1992 (G/S moyen des fromages 42 %). Cependant, pour la technologie PM, le passage d'un lait pasteurisé à un lait thermisé a accéléré la vitesse d'égouttage des caillés, augmentant d'autant l'extrait sec (tableau III) et diminuant les rendements en 1993 par rapport à 1992 (tableau II). Ce résultat a été vérifié sur deux fabrications complémentaires réalisées à partir du même lait de chèvre pasteurisé ou thermisé.

Protéolyse

Les fractions azotées (gros et petits peptides) augmentent pour les deux génotypes au cours de l'affinage. L'intensité globale de la protéolyse mesurée par le rapport NS/NT était plus importante en fin d'affinage pour les fromages type PM que pour

Tableau II. Rendements fromagers en frais (effet des variants de la caséine α_{S1} caprine).
Young cheese yields (effect of α_{S1} -casein variants).

Variables	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b
	1992			1993		
Année	1992			1993		
Génotype	α_{S1} AA	α_{S1} FF		α_{S1} AA	α_{S1} FF	
<i>Pâtes molles</i>	(n = 6)	(n = 6)		(n = 5)	(n = 5)	
Coefficient de récupération en matière azotée (%)	77,2 (2,9)	75,5 (3,6)	NS	80,5 (3,1)	70,2 (1,8)	*
Coefficient de récupération en matière sèche (%)	59,9 (1,4)	55,8 (3,6)	0,09	60,6 (3,4)	51,6 (0,8)	*
Rendement corrigé (%)	22,1 (0,68)	19,5 (1,85)	*	17,8 (0,64)	15,7 (0,22)	**
<i>Pâtes pressées</i>						
Coefficient de récupération en matière azotée (%)	(n = 6) 73,1	(n = 6) 66,3	NS	(n = 6) 73,7	(n = 6) 70,6	NS
Coefficient de récupération en matière sèche (%)	(2,0) 48,1	(6,2) 41,6	***	(3,5) 46,0	(1,0) 42,3	*
Rendement corrigé (%)	(1,0) 11,5	(1,2) 9,5	***	(0,7) 10,9	(2,4) 9,4	**
	(0,18)	(0,32)		(0,53)	(0,21)	

^a D'après modèle d'analyse de variance à deux facteurs (génotype x stade de lactation). ^b p : seuil de probabilité ; NS : p > 0,10 ; * : p < 0,05 ; ** : p < 0,01 ; *** : p < 0,001.

^a According to a model of analysis of variance with two factors (genotype x lactation stage). ^b P : significance levels; NS: P > 0.10; * : P < 0.05; ** : P < 0.01; ***: P < 0.001.

les fromages type PP, respectivement 40,7 et 31,3 % contre 23,3 et 19,6 %. La différence interannuelle élevée pour les fromages type PM est à mettre en relation avec l'ES moyen des fromages qui est beaucoup plus élevé en 1993 qu'en 1992 (respectivement 48,4 contre 43,7 %). En technologie type PM, l'augmentation de NS est plus élevée pour les fromages A que pour les fromages F. Le surcroît représente, selon le stade d'affinage et l'année considérée de 2 % à 10 % des valeurs enregistrées de F mais n'atteint un seuil significatif que pour la proportion de gros peptides dans l'azote total en fin d'affinage (30 j), en 1992 (27,4 % contre 25,4 %, p < 0,05). En technologie PP, aucune différence n'est observée, en 1992, entre génotypes dans l'évolution des fractions azo-

tées au cours de l'affinage des fromages. En 1993, par contre, les fromages A type PP sont plus protéolysés que les fromages F à tous les stades d'affinage. La différence, quoique non significative porte, sur la proportion de NS/NT (20,4 % contre 18,8 % en fin d'affinage) et plus spécifiquement sur la proportion de gros peptides dans l'azote total (14,4 % contre 12,8 % en fin d'affinage) (figures 4a et 4b). La proportion de NSAPT/NT est identique dans les fromages A et F et ceci pour les deux technologies étudiées.

Au plan qualitatif, les électrophorèses des caséines et les profils CLHP de la fraction soluble à pH 4,6, réalisés sur les fromages fabriqués en 1992 permettent d'affirmer que la nature et le nombre des produits de dégradation des caséines diffèrent dans

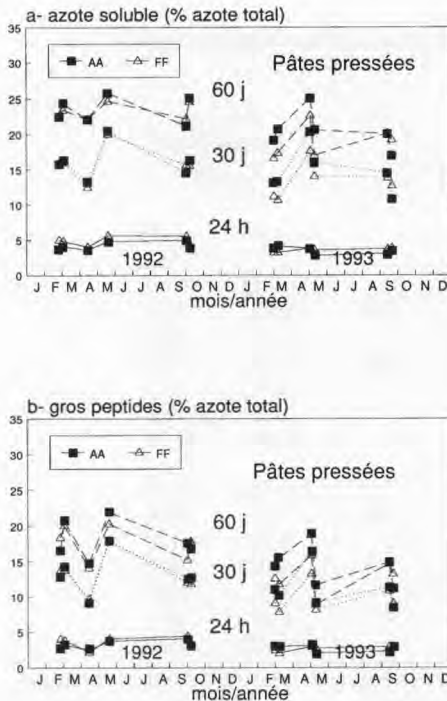


Fig 4. Variations saisonnières du rapport NS/NT (%) (a) et du rapport (NS-NSAPT)/NT (%) (b) des fromages type pâte pressée en 1992 et 1993 (influence des variants de la caséine α_{s1} caprine).

Seasonal variations of pH 4.6 soluble nitrogen (a) and long chain peptides (b) expressed as percent of total nitrogen in pressed curd type cheeses made in 1992 and 1993 (effect of α_{s1} -casein variants).

les fromages A et F. Les figures 5 et 6 illustrent ce résultat pour des fromages type PP. Faute de pouvoir identifier une majorité de bandes électrophorétiques et de pics de chromatographie, il n'est pas possible d'aller plus avant dans l'interprétation des résultats.

En 1993, les fromages fabriqués avec des laits de milieu de lactation sont plus protéolysés que les fromages fabriqués avec des laits de début ou de fin de lactation. La différence est significative

($p < 0,05$) pour le rapport NSAPT/NS pendant et en fin d'affinage.

Lipolyse

Acidité de la matière grasse des fromages

La principale différence entre les fromages A et F réside dans l'acidité grasse des caillés à 48 h en technologie PM et à 24 h en technologie PP. Les valeurs moyennes pour les deux années, rapportées dans le tableau V, sont plus élevées pour les fromages F que pour les fromages A mais la différence n'est significative ($p < 0,01$) qu'en 1992 et pour la technologie PP. Cependant, cette différence n'est due qu'à l'écart important entre A et F au printemps (fig 7). L'acidité grasse fluctue entre 2 et 10 μmol d'AGL/g de MG pour les fromages A ; celle des fromages F, identique en début et fin de lactation, présente un maximum de 28 μmol dans la période de fin mars à début juin 1992 et de 16 μmol dans la période de mai à juin 1993.

Au cours de l'affinage, la lipolyse reste inférieure à 1 % en technologie PP (tableau V), l'acidité grasse des fromages demeure parallèle à l'acidité initiale et la différence entre les deux variants se maintient globalement. Des différences interannuelles peuvent être relevées : d'une part, les moyennes annuelles à 30 j et 60 j d'affinage sont plus élevées en 1993 qu'en 1992 pour les fromages A et peu différentes pour les fromages F ; d'autre part, l'augmentation d'acidité grasse entre 24 h et 30 j est plus forte en 1993 qu'en 1992, pour les deux variants, ce qui pourrait résulter de l'effet de la thermisation du lait préservant partiellement l'activité de la lipoprotéine-lipase (LPL). En technologie PM, la lipolyse atteint 3 et 6 % à respectivement 15 et 30 j d'affinage (tableau V) : le taux initial d'AGL des caillés à 48 h devient négligeable devant la lipolyse due à l'affinage. L'évolution de cette lipolyse est différente en 1992 et 1993 selon les stades

Tableau III. Composition des fromages type pâte molle à 48 h ou après 30 jours d'affinage (effet des variants de la caséine α_{S1} caprine).Composition of soft curd type cheeses after 48 h or 30 days ripening (effect of α_{S1} -casein variants).

Variables	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b
	Année			Année		
	1992			1993		
Génotype	α_{S1} AA (n = 6)	α_{S1} FF (n = 6)		α_{S1} AA (n = 5)	α_{S1} FF (n = 5)	
<i>Fromage à 48 heures</i>						
pH	4,27 (0,05)	4,30 (0,06)	NS	4,39 (0,01)	4,45 (0,07)	NS
Extrait sec (g/100 g)	31,15 (0,84)	31,79 (1,49)	NS	36,76 (1,06)	37,77 (0,42)	NS
Matière grasse (g/100 g)	13,2 (0,78)	14,0 (0,98)	NS	17,1 (0,00)	17,2 (0,32)	NS
Gras sec %	42,5 (1,4)	44,0 (1,3)	NS	46,5 (1,2)	46,6 (1,0)	NS
Extrait sec du fromage dégraissé (%)	20,7 (0,4)	21,0 (0,7)	NS	23,8 (1,1)	24,9 (0,6)	NS
Azote total (g N/100 g)	3,03 (0,09)	3,07 (0,11)	NS	3,69 (0,09)	3,64 (0,02)	NS
<i>Fromage à 30 jours</i>						
pH	5,46 (0,22)	5,53 (0,40)	NS	5,32 (0,03)	5,16 (0,06)	*
Extrait sec (g/100 g)	42,58 (0,87)	44,72 (2,36)	NS	48,12 (0,46)	48,63 (2,50)	NS
Matière grasse (g/100 g)	19,1 (0,18)	20,9 (0,45)	***	22,9 (0,47)	24,3 (1,19)	NS
Gras/sec (%)	44,9 (0,9)	46,8 (2,1)	NS	47,6 (1,5)	49,9 (0,2)	0,08
Extrait sec du fromage dégraissé (%)	29,0 (1,0)	30,2 (2,7)	NS	32,7 (1,0)	32,2 (2,2)	NS
Azote total (g N/100 g)	4,50 (0,03)	4,57 (0,12)	NS	5,30 (0,29)	5,06 (0,14)	NS

^a D'après modèle d'analyse de variance à deux facteurs (génotype x stade de lactation). ^b p : seuil de probabilité ; NS : p > 0,10 ; * : p < 0,05 ; ** : p < 0,01 ; *** : p < 0,001.

^a According to a model of analysis of variance with two factors (genotype x lactation stage). ^b P : significance levels; NS: P > 0.10; *: P < 0.05; **: P < 0.01; ***: P < 0.001.

de lactation, mais elle ne révèle pas de différences systématiques entre les deux variants.

Profils des acides gras

Les pourcentages molaires moyens des acides gras majeurs totaux, par variant et

par année, sont rapportés dans le tableau VIa. Les écarts entre variants sont faibles, le plus important portant sur l'acide palmitique (C_{16:0}) F > A de 0,9 point en 1992 et seulement de 0,6 point en 1993, tandis que A > F pour les acides stéarique (C_{18:0}) (0,5 point) et caprylique (C_{8:0})

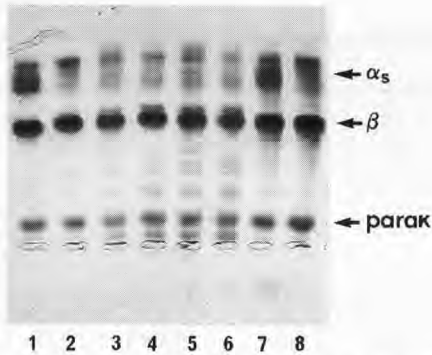


Fig 5. Analyse électrophorétique (PAGE pH 8,6) de deux échantillons de fromages type pâte pressée à trois stades d'affinage et des laits ayant servi aux fabrications. 1) Fromage A à 24 h, 2) fromage F à 24 h, 3) fromage A à 30 jours, 4) fromage F à 30 jours, 5) fromage A à 60 jours, 6) fromage F à 60 jours, 7) lait A et 8) lait F.

Electrophoretic patterns (PAGE pH 8.6) associated with two pressed curd type cheeses sampled at three stages of the ripening process. Lane 1, A cheese at 24 h; lane 2, F cheese at 24 h; lane 3, A cheese at 30 days; lane 4, F cheese at 30 days; lane 5, A cheese at 60 days; lane 6, F cheese at 60 days; lane 7, A milk; and lane 8, F milk.

(0,4 point) en 1992 et pour les acides $C_{18:0}$ (0,4 point) et oléique ($C_{18:1}$) (0,6 point) en 1993.

Les profils d'acides gras libres majeurs ont été déterminés sur deux fabrications de la période mai-juin, pour chacune des années aux stades 24 h et 60 j pour les fromages type PP et au stade 15 j pour les fromages type PM. Les moyennes des pourcentages molaires par rapport à la somme des acides, par variant sur les deux années, sont rapportées dans le tableau VIb. Dans les caillés, l'amplitude de variation est importante pour les acides $C_{4:0}$ (8,5 à 16,5 %), $C_{10:0}$ (10,9 à 18,4 %) et $C_{18:1}$ (16,1 à 25,3 %), mais en moyenne les écarts entre les variants restent relativement faibles : le plus grand est de 2 points pour le $C_{10:0}$ (A < F), tandis qu'il atteint 3,7 points entre les deux années (92 < 93)

pour cet acide. Les différences entre les deux variants s'atténuent au cours de l'affinage en technologie PP ; les écarts constatés pour certains acides, $C_{4:0}$, $C_{10:0}$, $C_{18:1}$ et, dans une moindre mesure, $C_{6:0}$ et $C_{8:0}$ ne dépendent que d'une valeur exceptionnelle. En technologie PM, de forts écarts entre variants ont été notés pour les acides $C_{12:0}$, $C_{14:0}$, $C_{16:0}$ (A < F) et surtout $C_{18:1}$ (A > F), mais la libération préférentielle des trois acides saturés au détriment de l'acide oléique ($C_{18:1}$) uniquement dans les

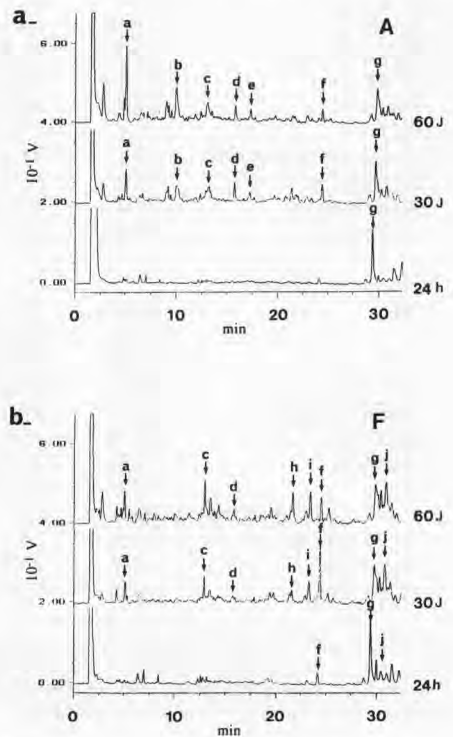


Fig 6. Profils d'élué CLHP de la fraction azotée soluble à pH 4,6, de fromages type pâte pressée à trois stades d'affinage. **a)** Fromage A et **b)** fromage F (conditions d'analyses décrites dans le texte).

HPLC profiles yielded by soluble nitrogen fractions at pH 4.6 from pressed curd type cheeses sampled at three stages of the ripening process. a, cheese A and b, cheese F (analysis conditions described in the text).

Tableau IV. Composition des fromages type pâte pressée à 24 h ou après 30 jours d'affinage (effet des variants de la caséine α_{S1} caprine).Composition of pressed curd type cheeses after 24 h or 30 days ripening (effect of α_{S1} -casein variants).

Variables	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b
	1992			1993		
Génotype	α_{S1} AA (n = 6)	α_{S1} FF (n = 6)		α_{S1} AA (n = 6)	α_{S1} FF (n = 6)	
<i>Fromage à 24 heures</i>						
pH	5,21 (0,17)	5,17 (0,14)	NS	5,11 (0,11)	5,12 (0,09)	NS
Extrait sec (g/100 g)	49,95 (0,43)	47,02 (0,35)	***	49,24 (2,14)	48,95 (0,73)	NS
Matière grasse (g/100 g)	21,1 (1,43)	19,9 (0,85)	NS	22,1 (0,82)	22,1 (0,35)	NS
Gras/sec (%)	42,3 (3,2)	42,4 (2,0)	NS	45,0 (3,8)	45,1 (0,4)	NS
Extrait sec du fromage dégraissé (%)	36,5 (1,6)	33,8 (1,0)	*	34,9 (3,4)	34,5 (0,7)	NS
Azote total (g N/100 g)	3,72 (0,08)	3,41 (0,26)	0,07	3,76 (0,11)	3,69 (0,08)	NS
<i>Fromage à 30 jours</i>						
pH	5,31 (0,03)	5,42 (0,04)	**	5,31 (0,03)	5,37 (0,03)	*
Extrait sec (g/100 g)	53,27 (0,69)	51,30 (0,67)	**	53,12 (1,01)	51,48 (0,70)	*
Matière grasse (g/100 g)	22,8 (0,45)	21,5 (1,09)	0,08	23,1 (0,91)	22,4 (0,86)	NS
Gras/sec (%)	42,9 (1,3)	42,0 (1,6)	NS	43,4 (1,5)	43,4 (1,1)	NS
Extrait sec du fromage dégraissé (%)	39,6 (1,2)	37,9 (0,3)	*	39,0 (1,2)	37,5 (0,4)	*
Azote total (g N/100 g)	3,89 (0,07)	3,78 (0,07)	0,08	3,96 (0,09)	3,80 (0,06)	*

^a D'après modèle d'analyse de variance à deux facteurs (génotype x stade de lactation). ^b p : seuil de probabilité ; NS : $p > 0,10$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$.

^a According to a model of analysis of variance with two factors (genotype x lactation stage). ^b P : significance levels; NS: $P > 0.10$; * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$; *** : $P < 0.001$.

fromages F de la 5^e fabrication explique à elle seule l'essentiel de ces différences.

Texture

En technologie type PM, hormis le caractère « friable » plus marqué des fromages F âgés de 30 jours, la texture des

fromages A ne diffère pas significativement de celle des fromages F, après 15 jours ou 30 jours d'affinage, compte tenu de l'écart type élevé des variables mesurées (tableaux VII et VIII). Une grande partie de la variabilité est due aux variations saisonnières elles-mêmes liées aux variations de

composition des fromages (humidité, teneur en azote total, intensité de la protéolyse). Ainsi, les fromages de fin de lactation de la campagne 1992, beaucoup plus humides (+ 5 points), moins riches en azote total ($p < 0,05$) et ayant par conséquent un extrait sec du fromage dégraissé plus faible ($p < 0,05$) sont aussi plus mous. En revanche, les fromages fabriqués en 1993 plus secs qu'en 1992 (50 % contre 45 % en moyenne) sont aussi plus fermes. En 1993, l'écart type de l'ES des fromages était beaucoup plus faible qu'en 1992, et les variations de fermeté des fromages sont davantage liées à des variations de l'intensité de la protéolyse des fromages. Ainsi, les fromages de fin de lactation beaucoup moins protéolysés sont aussi plus fermes que les fromages fabriqués en début de

campagne laitière 1993. À 30 j, la fermeté (mesure instrumentale) en zone externe des fromages est corrélée ($p < 0,05$) à la fermeté notée par le jury de dégustation ($r = 0,56$, $n = 12$ en 1992 et $r = 0,70$, $n = 10$ en 1993). Par ailleurs, la fermeté (mesure instrumentale) en zone interne des fromages est quant à elle inversement corrélée ($p < 0,05$) au caractère coulant noté par le jury de dégustation ($r = -0,68$, $n = 12$ en 1992 et $r = -0,70$, $n = 10$ en 1993).

Les fromages fabriqués avec la technologie type PP, s'avèrent être un modèle plus satisfaisant pour l'étude de la texture quoique les variations saisonnières amènent, là encore, à un écart type important des paramètres mesurés, notamment en 1993. La fermeté des fromages A (mesurée par la contrainte à la rupture lors des tests de compression ou par la note de

Tableau V. Lipolyse des fromages avant, à mi et en fin d'affinage (effet des variants de la caséine α_{s1} caprine).

Lipolysis in the cheeses prior to, at mid and at completed ripening (effect of α_{s1} -casein variants).

Variables	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b
	1992			1993		
Année						
Génotype	α_{s1} AA	α_{s1} FF		α_{s1} AA	α_{s1} FF	
<i>Pâtes molles</i>	(n = 6)	(n = 6)		(n = 5)	(n = 5)	
Fromage à 48 heures	6,75 (1,42)	9,63 (3,81)	NS	6,20 (1,42)	11,33 (1,02)	**
Fromage à 15 jours	133,5 (31,3)	149,0 (40,0)	NS	166,7 (14,0)	157,3 (18,1)	NS
Fromage à 30 jours	265,9 (16,9)	272,0 (44,7)	NS	299,7 (12,6)	280,3 (16,5)	NS
				(n = 6)	(n = 6)	
<i>Pâtes pressées</i>	(n = 6)	(n = 6)				
Fromage à 24 heures	6,22 (0,36)	12,42 (2,90)	**	7,97 (0,30)	9,58 (2,43)	NS
Fromage à 30 jours	10,40 (1,64)	16,97 (2,38)	**	14,04 (2,96)	18,62 (3,79)	NS
Fromage à 60 jours	13,93 (2,99)	23,70 (1,33)	**	17,65 (2,20)	21,72 (4,27)	NS

^a D'après modèle d'analyse de variance à deux facteurs (génotype x stade de lactation). ^b p : seuil de probabilité ; NS : $p > 0,10$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$.

^a According to a model of analysis of variance with two factors (genotype x lactation stage). ^b P : significance levels ; NS : $P > 0.10$; * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$; *** : $P < 0.001$.

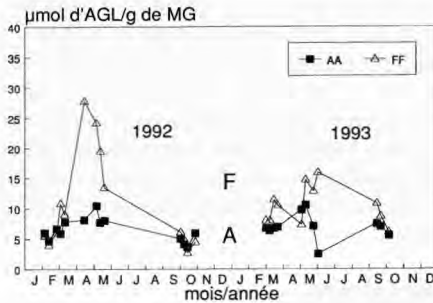


Fig 7. Variations saisonnières de l'acidité grasse de l'ensemble des fromages avant affinage en 1992 et 1993 (influence des variants de la caséine α_{s1} caprine).

Seasonal variations of FFA content in all cheeses before ripening in 1992 and 1993 (effect of α_{s1} -casein variants).

dureté du jury de dégustation) est, en moyenne, plus importante que celle des fromages F mais la différence n'est pas significative (tableaux VII et VIII). En 1993, et en fin de lactation, les fromages des deux génotypes sont significativement ($p < 0,01$) plus fermes qu'en début et milieu de lactation ce qui est à lier à un extrait sec du fromage dégraissé plus élevé en fin de campagne laitière (figures 8a et 8b). Les différences de fermeté mentionnées sont toutes plus marquées à mi-affinage des fromages (30 j) qu'en fin d'affinage (60 j).

Flaveur

En technologie PM, l'analyse sensorielle des fromages montre, qu'en moyenne, les notes de goût « chèvre » des fromages F sont souvent plus intenses que celles des fromages A (fig 9a). L'amplitude de la différence est plus importante en 1993 qu'en 1992 et atteint un seuil presque significatif pour les fromages âgés de 30 j (2,17/5 contre 2,73/5, $p < 0,06$) (tableau VIII).

Même si le caractère « chèvre » des fromages type PP est moins marqué (notes plus faibles) que celui des fromages type PM, les fromages F ont un goût « chèvre »

significativement supérieur à celui des fromages A âgés de 30 j (respectivement 1,9/5 et 1,3/5 en 1992 ou 1993 ; $p < 0,05$) (fig 9b). À 60 j, les résultats diffèrent en 1992 et 1993 : la flaveur « chèvre » des fromages F est soit plus élevée que celle des fromages A, soit identique. À 60 j, les fromages F se caractérisent aussi par un goût moins piquant et plus fruité que les fromages A. La différence est significative ($p < 0,05$) en 1992. Les fromages F ont également une odeur et une saveur plus intenses que les fromages A.

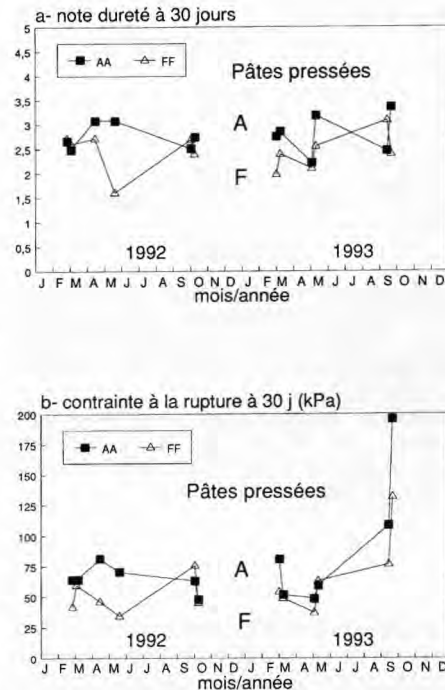


Fig 8. Variations saisonnières de la fermeté pour des fromages type pâte pressée à 30 jours d'affinage en 1992 et 1993. **a.** Évaluation sensorielle et **b.** Mesure instrumentale (influence des variants de la caséine α_{s1} caprine). *Seasonal variations of firmness in pressed curd type cheeses after 30 days ripening in 1992 and 1993. a. Sensory evaluation. b. Instrumental determination (effect of α_{s1} -casein variants).*

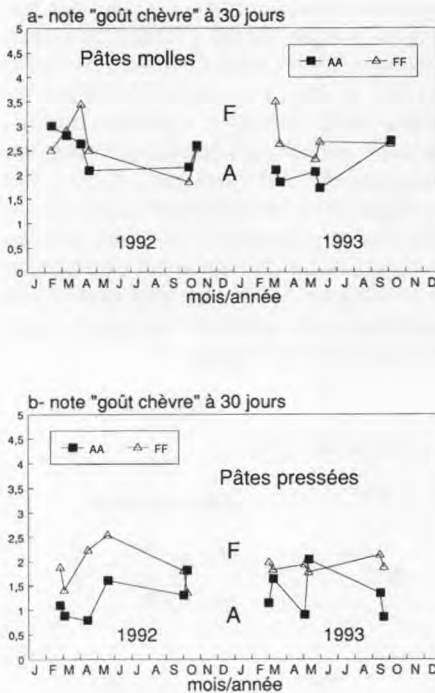


Fig 9. Variations saisonnières de la flaveur chèvre pour les fromages après 30 jours d'affinage en 1992 et 1993. **a.** Pâtes molles, **b.** Pâtes pressées (influence des variants de la caséine α_{s1} caprine).

Seasonal variations of goat cheese flavour in the cheeses after 30 days ripening in 1992 and 1993. a. Soft curd. b. Pressed curd (effect of α_{s1} -casein variants).

La flaveur des fromages type PP évolue au cours de la lactation. La note « chèvre » maximale a été rencontrée pour les fromages âgés de 60 j, fabriqués en 1992 en milieu de lactation, et cette valeur est étroitement corrélée à l'acidité grasse des fromages ($r = +0,825$; $p < 0,01$). En 1993, les fromages type PP, âgés de 60 j, fabriqués en milieu de lactation, sont moins acides ($p < 0,05$) et présentent une pointe d'amer-tume ($p < 0,05$). Ce dernier résultat est corrélié avec une augmentation de l'azote

soluble des fromages fabriqués à cette période de la lactation ($r = 0,645$; $p < 0,05$).

Quelle que soit la technologie mise en œuvre, le caractère « chèvre » plus marqué des fromages F fabriqués en milieu de lactation (période avril-mai) coïncide avec l'augmentation de l'acidité grasse initiale. Ce phénomène est particulièrement net en 1992.

DISCUSSION

L'allèle fort (A) a un effet très favorable sur la richesse du lait en protéines et matière grasse et sur l'aptitude fromagère des laits (rendements fromagers plus élevés, coefficients de récupération en MS et en azote supérieurs quelle que soit la technologie employée). Les résultats obtenus lors des lactations 1992 et 1993 sont globalement

Tableau VI. Profil des acides gras totaux et libres des fromages (effet des variants de la caséine α_{s1} caprine). **a.** Acides gras totaux *Total and free fatty acids in cheeses (effect of α_{s1} -casein variants).* (Total fatty acids) ($n = 6$)*

Année	1992		1993	
	AA	FF	AA	FF
C4:0	7,1	7,4	10,1	10,2
C6:0	5,9	5,9	7,3	7,3
C8:0	6,7	6,3	6,2	6,1
C10:0	18,1	18,0	15,7	16,1
C10:1	0,4	0,4	0,3	0,4
C12:0	6,4	6,1	5,3	5,3
C14:0	10,1	10,6	9,3	9,6
C15:0	0,8	0,8	0,7	0,7
C16:0	19,6	20,5	18,3	18,9
C16:1	0,5	0,4	0,6	0,6
C17:0	0,5	0,5	0,5	0,4
C18:0	6,7	6,0	6,8	6,4
C18:1	14,4	14,3	15,5	15,0
C18:2	2,3	2,3	2,8	2,5
C18:3	0,5	0,5	0,6	0,5

* Valeurs moyennes des pourcentages molaires de six fabrications (24 h) sur toute la lactation.

Mean molar ratios (percents) in curds from six cheese-makings over whole lactation periods.

Tableau VI. b - Acides gras libres (Free fatty acids) (n = 4) **.

Affinage Variant	Pâte pressée				Pâte molle	
	24 h		60 j		15 j	
	AA	FF	AA	FF	AA	FF
C4:0	12,5	10,6	9,3	11,4	5,2	4,6
C6:0	1,1	0,9	2,4	1,8	0,8	0,6
C8:0	2,5	3,0	4,6	3,4	1,8	1,9
C10:0	13,1	15,1	14,8	14,2	9,2	10,1
C10:1	1,2	0,8	0,9	0,9	0,5	0,3
C12:0	6,4	6,3	6,2	5,9	4,6	5,8
C14:0	8,0	8,3	9,3	9,1	7,9	10,4
C15:0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	1,0
C16:0	20,3	19,8	19,4	19,8	18,7	21,8
C16:1	1,0	0,9	0,7	0,9	1,1	1,1
C17:0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
C18:0	7,3	6,3	6,1	5,8	6,6	5,9
C18:1	20,3	21,6	19,6	20,4	34,2	28,6
C18:2	3,9	3,8	4,3	4,0	6,6	6,2
C18:3	1,1	1,2	1,1	1,0	1,4	1,3

** Valeurs moyennes des pourcentages molaires de quatre fabrications des périodes avril-juin 92 et mai-juin 93, années confondues, aux temps de 24 h et 60 j en technologie pâte pressée, de 15 j en technologie pâte molle.

Mean molar ratios (percents) in 24 h- and 60-day-old pressed curd cheeses and in 15-day-old soft curd cheeses, from four cheesemakings in April-June 92 and May-June 93 periods, both years blended.

en accord avec ceux obtenus en 1989 et 1990 sur des laits provenant du même troupeau (Vassal et al, 1994). Les taux butyreux et azotés moyens sont plus élevés et les différences entre génotypes A et F un peu moins prononcées (en valeur relative) ce qui s'explique probablement par l'évolution interannuelle de la composition des lots de chèvres (individus et numéro moyen de lactation). Comme Vassal et al (1994), nous observons qu'à rapport TB/TP du lait égal, la meilleure rétention de la fraction azotée dans le fromage contribue à abaisser le G/S des fromages A par rapport aux fromages F. Ce phénomène est particulièrement net en 1993 où le rapport TB/TP des laits était bien maîtrisé. Les observations faites sur le comportement fromager des laits A et F rejoignent celles de Pirisi et al (1994) pour des laits de chèvres à fort ou faible taux de synthèse en caséine α_{s1} .

Il existe peu de différence d'intensité de protéolyse entre des fromages type PP « chèvre » et des fromages fabriqués en suivant exactement la même technologie à partir de lait de vache (Castaneda et al, 1990). La valeur du rapport NS/NT, dont la production est le fait de la chymosine (Exterkate, 1987), est d'environ 16 % à 30 j et de 23 % à 60 j pour tous ces fromages. Ce résultat suggère, contrairement à notre attente (Vassal et al, 1994), que les différences de structure de la caséine α_{s1} caprine par rapport à la caséine α_{s1} bovine (Brignon et al, 1989) ont peu d'incidence sur le potentiel d'hydrolyse de cette protéine par la chymosine. En 1993, le niveau global de protéolyse (NS et gros peptides) des fromages A type PP est un peu supérieur à celui des fromages F. Comme les fromages A et F ne diffèrent ni par la quantité probable de chymosine retenue dans le caillé (pH très voisins au découpage), ni

par l'ES des fromages avant saumurage (et donc, la teneur en sel des fromages), ni par le pH en cours d'affinage, on peut légitimement penser que la présence dans les fromages A d'une plus grande quantité de caséine α_{s1} , substrat privilégié de la chymosine, enzyme la plus active dans ces fromages (Creamer, 1970 ; Visser et de Groot-Mostert, 1977 ; Mulvihill et Fox, 1979, Exterkate et Alting, 1995) conduit à une protéolyse un peu plus intense, d'autant que la différence ne porte que sur la proportion de gros peptides donc sur la protéolyse primaire des caséines pour laquelle la contribution des protéases des levains mésophiles est négligeable (Exterkate et al, 1987). On peut également imaginer que

des différences éventuelles de conformation des caséines α_{s1} A et F (le variant F se caractérise par une délétion de 37 résidus dont 6 phosphosérines) (Brignon et al, 1990) puissent conduire à des différences dans la cinétique d'hydrolyse de la caséine α_{s1} comme c'est le cas pour le variant C de la caséine β bovine (Marie et Delacroix-Buchet, 1994).

Dans les résultats relatifs à la phase grasse, le fait le plus marquant est l'augmentation de l'acidité grasse des caillés F dans la période printemps-début de l'été. En technologie PP, la différence entre génotypes s'est maintenue au cours de l'affinage car la lipolyse microbienne y est faible. Ce n'est pas le cas en technolo-

Tableau VII. Caractéristiques rhéologiques des fromages après 30 jours d'affinage (effet des variants de la caséine α_{s1} caprine).

Rheological characteristics of the cheeses after 30 days ripening (effect of α_{s1} -casein variants).

Variables	Moyenne (\pm écart type) ^a		p^b	Moyenne (\pm écart type) ^a		p^b
	1992			1993		
Année	1992			1993		
Génotype	α_{s1} AA	α_{s1} FF		α_{s1} AA	α_{s1} FF	
<i>Pâtes molles</i>	(n = 6)	(n = 6)		(n = 5)	(n = 5)	
Fermeté zone externe (mJ)	2,7 (1,0)	3,5 (0,8)	NS	2,5 (1,0)	3,7 (1,5)	NS
Fermeté zone interne (mJ)	3,4 (1,2)	3,8 (0,9)	NS	9,0 (0,7)	10,3 (3,2)	NS
<i>Pâtes pressées</i>	(n = 6)	(n = 6)		(n = 6)	(n = 6)	
Pente à l'origine	0,59 (0,07)	0,52 (0,08)	NS	0,62 (0,23)	0,57 (0,14)	NS
Déformation à la rupture (%)	43,3 (3,1)	41,2 (3,1)	NS	46,4 (5,8)	44,6 (3,2)	NS
Contrainte à la rupture (kPa)	65 (6)	50 (12)	0,08	91 (29)	69 (19)	NS
Contrainte maximale (kPa)	239 (23)	210 (16)	0,09	234 (56)	217 (42)	NS

^a D'après modèle d'analyse de variance à deux facteurs (génotype x stade de lactation). ^b p : seuil de probabilité ; NS : $p > 0,10$.

^a According to a model of analysis of variance with two factors (genotype x lactation stage). ^b P: significance levels; NS: $P > 0.10$.

Tableau VIII. Caractéristiques sensorielles (goût et texture) des fromages après 30 jours d'affinage (effet des variants de la caséine α_{s1} caprine).
Sensory characteristics (taste and texture) of the cheeses after 30 days ripening (effect of α_{s1} -casein variants).

Variables	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b	Moyenne (\pm écart type) ^a		p ^b
	1992			1993		
Année						
Génotype	α_{s1} AA	α_{s1} FF		α_{s1} AA	α_{s1} FF	
<i>Pâtes molles</i>	(n = 6)	(n = 6)		(n = 5)	(n = 5)	
Goût chèvre	2,54 (0,22)	2,63 (0,40)	NS	2,17 (0,13)	2,73 (0,30)	0,06
Goût piquant	2,08 (0,41)	2,14 (0,28)	NS	1,45 (0,24)	1,73 (0,15)	0,20
Goût souffré	0,84 (0,12)	1,14 (0,28)	0,10	1,19 (0,05)	1,37 (0,26)	NS
Friabilité de la pâte	2,66 (0,11)	2,63 (0,04)	NS	2,55 (0,05)	2,88 (0,17)	*
<i>Pâtes pressées</i>	(n = 6)	(n = 6)		(n = 6)	(n = 6)	
Goût chèvre	1,25 (0,31)	1,88 (0,23)	*	1,33 (0,41)	1,93 (0,11)	*
Dureté	2,76 (0,09)	2,45 (0,36)	0,17	2,80 (0,41)	2,41 (0,29)	0,20
Intensité d'odeur	1,20 (0,30)	1,49 (0,29)	NS	1,25 (0,08)	1,60 (0,09)	**

^a D'après modèle d'analyse de variance à deux facteurs (génotype x stade de lactation). ^b p : seuil de probabilité ; NS : $p > 0,10$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$.

^a According to a model of analysis of variance with two factors (genotype x lactation stage). ^b P : significance levels; NS: $P > 0.10$; * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$.

gie PM car l'activité hydrolytique de la flore fongique, *Geotrichum candidum* et *Penicillium camemberti*, peut y être importante (Choisy et al, 1987). Les AGL des caillés frais sont globalement ceux du lait mis en œuvre pour la fabrication, à l'exception d'une perte partielle dans le sérum d'acides hydrosolubles, principalement l'acide butyrique (C_{4.0}). Ainsi, la lipolyse dans les laits F pourrait avoir été plus forte en 1992 qu'en 1993 car l'acidité grasse des caillés F est plus forte en 1992. Mais les causes précises de la variation de la lipolyse dans les laits F n'ont pas été éclaircies. La lipoprotéine lipase (LPL) est normalement l'agent principal de l'augmentation de la te-

neur en AGL des laits et la corrélation LPL/AGL des laits est forte chez la chèvre du fait qu'une grande proportion de l'enzyme est associée aux globules gras (Chilliard, 1982). Mais, comme dans le lait de vache, son action sur les triglycérides est fortement freinée. L'augmentation de lipolyse au printemps pourrait résulter de plusieurs facteurs qui tous pourraient être liés au stade de lactation : augmentation de la teneur en LPL, augmentation de la teneur en activateurs (d'origine sanguine) ou diminution de celle des inhibiteurs, moindre protection des globules gras par une membrane qui serait plus fragile, présence d'une autre lipase sécrétée par la mamelle

ou provenant des cellules somatiques du lait (Chilliard et Lamberet, 1984). La constatation de l'augmentation de l'activité lipasique ne permet pas de conclure. D'une part, les activités lipasiques tout au long de la lactation correspondent aux valeurs les plus basses de début et de fin de lactation rapportées dans la littérature, même en tenant compte du fait que l'activité mesurée sur tributyrine n'est égale qu'à la moitié de l'activité lipoprotéine lipasique mesurée sur substrat activé (Egelrud et Olivecrona, 1973) ; d'autre part, l'augmentation pour le variant F est d'amplitude plus faible et de durée plus courte que les plateaux habituellement constatés (eg, Chilliard, 1982). Le lait de chèvre pourrait contenir plus ou moins d'un inhibiteur de la LPL car un mélange lait de vache/lait de chèvre s'est traduit par un abaissement de l'activité sur tributyrine de la LPL du lait de vache (résultats non présentés).

Les différences de niveau de lipolyse entre variants ne se traduisent pas, dans la période de printemps, par des différences systématiques importantes dans les profils d'AGL majeurs, aussi bien dans les caillés qu'au cours de l'affinage. Mais dans tous les cas, les profils d'AGL sont très différents de ceux des acides gras totaux même en technologie PP, malgré l'absence de sélectivité de la LPL au regard des acides libérés (Morley et al, 1974). Les proportions des acides caproïque ($C_{6:0}$), caprylique ($C_{8:0}$) et caprique ($C_{10:0}$) sont 3, 2 et 1,3 fois plus faibles, celles des acides insaturés en C_{18} plus élevées. En technologie PP, les différences entre caillé de 24 h et fromage de 60 j sont faibles. Enfin, entre les deux technologies, les profils d'AG diffèrent par des pourcentages d'acides courts et moyens (C_4 au C_{10}) plus faibles dans les PM qui contiennent, en contrepartie, des proportions encore plus fortes d'acides insaturés. L'acide butyrique ($C_{4:0}$) libre des fromages type PP est en proportion plus forte que dans les triglycérides, celui des fromages type PM en proportion plus fai-

ble. Les résultats relatifs à l'acide caprique ($C_{10:0}$) ont montré que sa teneur dans les AGL ne dépendait pas de celle dans les AG totaux car, pour les deux variants simultanément, les pourcentages dans les AGL étaient plus élevés en 1993 qu'en 1992, alors que le phénomène inverse (1992 > 1993) a été constaté dans les AG totaux. Cette différence entre les deux années ne semble pas imputable à la présence de la lipase prégastrique de chevreau dans l'extrait de caillette : cette enzyme, spécifique des AG courts, l'est surtout de l'acide butyrique ($C_{4:0}$) (Lamberet, résultats non publiés) ; or les proportions de cet acide dans les fromages PP sont plus fortes en 1992 qu'en 1993, alors que celles des acides $C_{6:0}$ à $C_{10:0}$ sont effectivement plus élevées en 1993 qu'en 1992.

La texture suit principalement l'évolution de la composition physico-chimique des fromages, ce qui explique les différences observées entre années et entre stades de lactation. C'est particulièrement net en technologie PM car l'égouttage des fromages et l'évolution de l'ES en cours d'affinage sont souvent difficiles à maîtriser dans des fabrications à petite échelle. Les fromages fabriqués en 1990 (Vassal et al, 1994) étaient en moyenne plus fermes car moins humides que les fromages fabriqués en 1992. Vassal et al (1994) ont montré que les fromages A étaient plus fermes que les fromages F. Ce résultat s'expliquait par un plus faible G/S des fromages A. Nos résultats vont dans le même sens. L'analyse sensorielle des fromages fabriqués en 1992 et 1993 a été réalisée parallèlement à Jouy et à Nantes (Heil et Dumont, 1993). Pour les fromages type PP, les résultats obtenus par les deux jurys sont similaires : les fromages A sont jugés plus fermes que les fromages F à 30 j et à 60 j. Creamer et Olson (1982) décrivent la microstructure du fromage comme un réseau de molécules de caséines dont le ramollissement au cours de l'affinage serait lié à l'hydrolyse de la caséine α_{s1} par la chymosine. Les fro-

gages A sont proportionnellement plus riches en caséine α_{S1} , mais l'intensité de protéolyse est peu différente entre les fromages A et F. La proportion de caséine α_{S1} intacte pourrait peut-être expliquer les différences de texture observées.

Le caractère « goût chèvre » des fromages F est plus marqué que celui des fromages A ce qui confirme les résultats des premiers essais (Vassal et al, 1994). Même si la note attribuée au « goût chèvre » est en moyenne plus faible pour les fromages type PP, c'est avec cette technologie que l'on discrimine le mieux les fromages F des fromages A. Comme le rappellent Heil et Dumont (1993), les fromages à PM sont beaucoup plus lipolysés en raison du développement des moisissures de la flore de surface (*Penicillium* et *Geotrichum*) et l'excès d'AGL à chaîne moyenne contribuerait probablement à masquer la flaveur « chèvre » spécifique. La contribution de la matière grasse à la flaveur (Korvald, 1958 ; Fyksen et Steinsholt 1974 ; Bakkene et Steinsholt 1975 ; Bjorke et Castberg, 1976 ; Astrup et al, 1985) est bien montrée par la corrélation entre la concentration initiale en AGL des fromages ou du lait et le « goût chèvre ». Mais si la lipolyse apparaît effectivement nécessaire, son niveau ne semble pas capable à lui seul de conditionner le développement de la flaveur, pas plus que les quantités des acides gras courts et moyens majeurs, $C_{6:0}$, $C_{8:0}$ et $C_{10:0}$ présents en plus fortes proportions dans les laits de chèvre ou de brebis que dans le lait de vache. Les pourcentages de ces acides sont presque identiques dans les triglycérides des laits A et F. Ainsi, selon Astrup et al (1985), la flaveur « chèvre » n'est pas liée aux proportions de ces acides mais bien plutôt à la teneur en $C_{16:0}$ libre et plus encore estérifié. Cet acide est pour moitié environ synthétisé dans la cellule mammaire comme les acides gras moyens et pour moitié prélevé du sang grâce à l'intervention de la LPL et la quantité de cette enzyme dans le lait pourrait dépendre de

sa plus ou moins grande mobilisation au niveau des capillaires sanguins pour le prélèvement des acides gras à longue chaîne (Chilliard, 1982). Dans la présente étude, les laits F ont montré globalement un taux de $C_{16:0}$ légèrement supérieur à celui des laits A, avec cependant une différence plus marquée en fin de lactation qu'en début ou milieu. L'ensemble de ces observations ne permet pas de dégager une relation simple et directe de cause à effet entre les différents éléments. Des acides gras mineurs doivent être pris en compte. Les résultats montrent que certains, comme le $C_{10:1}$ dans les caillés ou fromages PP, peuvent être en plus fortes proportions (près de 1 %) parmi les AGL que dans les triglycérides (0,3 %). L'attention s'est portée sur trois acides, avec une chaîne principale en C_8 , dont les seuils de flaveur sont parmi les plus faibles connus pour ces composés (Brennand et al, 1989). L'acide 4-éthyl octanoïque semble actuellement le plus spécifique de la flaveur « chèvre » (Sugiyama et al, 1981 ; Ha et Lindsay, 1991).

CONCLUSIONS

L'ensemble des données recueillies confirme l'intérêt que pourrait présenter une sélection du cheptel caprin sur la base du type de variant de la caséine α_{S1} en vue de l'amélioration du rendement fromager. Si l'on considère que la fréquence des variants à taux élevé de protéines ne dépasse pas dans nos races laitières caprines 15 à 20 % (Grosclaude et al, 1987), il existe, par conséquent, une marge de sélection importante en faveur de ces variants, donc des possibilités d'amélioration substantielles du taux protéique par la voie génétique.

Cependant la mesure de l'acidité grasse, la séparation chromatographique des acides gras des fromages, la séparation électrophorétique des caséines et la séparation chromatographique des peptides par CLHP indiquent qu'il existe des différences dans le déroulement de la lipolyse et de la

protéolyse entre les fromages A et F. L'interprétation de ces observations est délicate compte-tenu de l'absence de références dans la littérature et de la complexité des phénomènes en jeu. Le modèle expérimental représenté par les fromages type PP permet de distinguer les fromages A des fromages F mieux que le modèle traditionnel (PM) grâce à une meilleure maîtrise de l'égouttage et des transformations inhérentes à l'affinage. Les différences portent sur la protéolyse, la lipolyse, la texture et la saveur des fromages. Elles sont généralement plus affirmées à mi-affinage pour les fromages fabriqués en milieu de lactation.

Il faudrait identifier ce qui, dans la lipolyse, (nature des acides gras du lait, fixation des lipases, libération des acides gras) est responsable de la saveur chèvre, élucider le rôle éventuel des peptides dans cette saveur, et déterminer pourquoi l'acidité grasse des fromages F est toujours supérieure à celle des fromages A. En d'autres termes, préciser l'éventuelle influence du variant génétique sur le phénomène de lipolyse.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide financière du ministère de la Recherche et de la Technologie dans le cadre d'un programme de recherche pluridisciplinaire Agrobio intitulé « valeur fromagère et valeur nutritive de nouveaux types de lait de chèvres génétiquement différents en caséine α_{s1} » et placé sous la responsabilité scientifique de G Ricordeau.

Nous remercions très vivement G Pitel pour la fabrication et l'affinage des fromages, R Tache et R Le Gouar pour la réalisation soignée des analyses ainsi que C Lohier, C Lacassagne et H Serhan pour leur participation à ce travail.

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

RÉFÉRENCES

- AFNOR (1972) Guide pour l'implantation d'un local destiné aux analyses sensorielles. Norme NF V09-105
- Astrup HN, Steine TA, Robstad AM (1985) Taste, free fatty acids and fatty acids content in goat milk. *Acta Agric Scand* 35, 315-320
- Assenat L (1967) Contribution à l'étude d'une méthode d'identification des laits et fromages au moyen de l'électrophorèse sur gel de polyacrylamide. *Lait* 47, 393-414
- Bakkene G, Steinholt K (1975) Milk of high and low flavour intensity for the manufacture of goats' milk mysost (33 + fat in DM). *Meieriposten* 64, 45-55
- Bjorke K, Castberg HB (1976) Lipolytic activity in goats' milk. *Nordeuropaisk Mejeri-Tidsskrift* 42, 296-304
- Boulanger A, Grosclaude F, Mahé MF (1984) Polymorphisme des caséines α_{s1} et α_{s2} de la chèvre (*Capra hircus*). *Génét Sél Évol* 16, 157-176
- Brennan CP, Ha JK, Lindsay RC (1989) Aroma properties and thresholds of some branched-chain and other minor volatile fatty acids occurring in milkfat and meat lipids. *J Sensory Stud* 4, 105-120
- Brignon G, Mahé MF, Grosclaude F, Ribadeau-Dumas B (1989) Sequence of caprine α_{s1} -casein and characterization of those of its genetic variants which are synthesized at a high level, α_{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 α_{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
- Castaneda R, Vassal L, Gripon JC, Rousseau M (1990) Accelerated ripening of a Saint-Paulin cheese variant by addition of heat-shocked lactobacillus suspensions. *Neth Milk Dairy J* 44, 49-62
- Castberg HB, Solberg P, Egelrud T (1975) Tributyrat as substrate for the determination of lipase activity in milk. *J Dairy Res* 42, 247-253
- Chazal MP, Chartier P, Chilliard Y, Flechet J, Bauchard D, Dubois F, Meyer M (1984) Dosage des acides gras libres du lait par la méthode BDI. *Cah Tech INRA* 6, 17-27
- Chilliard Y (1982) Variations physiologiques des activités lipasiques et de la lipolyse spontanée dans les laits de vache, de chèvre et de femme : revue bibliographique. *Lait* 62, 126-154
- Chilliard Y, Lamberet G (1984) La lipolyse dans le lait : les différents types, mécanismes, facteurs de variation, signification pratique. *Lait* 64, 544-578
- Choisy C, Desmazeaud M, Gripon JC, Lamberet G, Lenoir J, Tourneur C (1987) Les phénomènes microbiologiques et enzymatiques et la biochimie de l'affinage. In : *Le Fromage* (Eck A, ed), 2^e edn, Lavoisier, Paris, 62-100
- Cochran WG, Cox GM (1957) Notes on the statistical analysis of the results 3.7 Missing data. In : *Experimental Designs* 2e edn. John Wiley & Sons, Inc, New York, 80-82
- Creamer LK (1970) Protein breakdown in Gouda cheese. *N Z J Dairy Sci Technol* 5, 152-154
- Creamer LK, Olson NF (1982) Rheological evaluation of maturing Cheddar cheese. *J Food Sci* 47, 631-636

- Egelrud T, Olivecrona T (1973) Purified bovine milk (lipoprotein) lipase: activity against lipid substrates in the absence of exogenous serum factors. *Biochim Biophys Acta* 306, 115-127
- Exterkate FA (1987) On the possibility of accelerating the ripening of Gouda cheese: a comment. *Neth Milk Dairy J* 41, 189-194
- Exterkate FA, Alting AC (1995) The role of starter peptidases in the initial proteolytic events leading to amino acids in Gouda cheese. *Int Dairy J* 5, 15-28
- Exterkate FA, de Veer GJCM, Stadhouders J (1987) Acceleration of the ripening process of Gouda cheese by using heat-treated mixed strain starter cells. *Neth Milk Dairy J* 41, 307-320
- FIL (1987) Groupe E39 « Free fatty acids milk and milk products » E doc 288
- Fykken S, Steinholt K (1974) Strong or weak flavour in goats' milk for making white goats' milk cheese. *Meieriposten* 63, 615-620 ; 639-649
- Gripion JC, Desmazeaud MJ, Le Bars D, Bergère JL (1975) Étude 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, Mahé MF, Brignon G, Di Stasio L, Jeunet R (1987) A mendelian polymorphism underlying quantitative variations of goat α_{s1} -casein. *Génét Sél Évol* 19, 399-412
- Grosclaude F, Ricordeau G, Martin P, Remeuf F, Vassal L, Bouillon J (1994) Du gène au fromage : le polymorphisme de la caséine α_{s1} caprine, ses effets, son évolution. *INRA Prod Anim* 7, 3-19
- Ha JK, Lindsay RC (1991) Volatile branched-chain fatty acids and phenolic compounds in aged Italian cheese flavors. *J Food Sci* 56, 1241-1247
- Heil F, Dumont JP (1993) Caractéristiques organoleptiques de fromages de chèvre fabriqués à partir de laits contenant des variants génétiques différents de la caséine α_{s1} . *Lait* 73, 559-565
- Korvald T (1958) Flavour compounds in goat milk and goat cheese. I- Occurrence of the flavour in the different fractions of the milk. *Meieriposten* 47, 175-179 ; 183-187 ; 209-212
- Manfredi E, Barbieri ME, Bouillon J, Piacère A, Mahé MF, Grosclaude F, Ricordeau G (1993) Effet des variants de la caséine α_{s1} sur les performances laitières de chèvres. *Lait* 73, 567-572
- Maubois JL, Ricordeau G, Mocquot G (1970) Étude des rendements en fromagerie de camembert et de Saint-Paulin. *Lait* 50, 351-373
- 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
- Morley NH, Kuksis A, Buchnea D (1974) Hydrolysis of synthetic triacylglycerols by pancreatic and lipoprotein lipase. *Lipids* 9, 481-488
- Mulvihill DM, Fox PF (1979) Proteolytic specificity of chymosin on bovine α_{s1} -casein. *J Dairy Res* 46, 641-651
- Needs E, Ford G, Owen J, Tuckley B, Anderson M (1983) A method for the quantitative determination of individual free fatty acids in milk by ion exchange resin adsorption and gas liquid chromatography. *J Dairy Res* 50, 321-329
- Pirisi A, Colin O, Laurent F, Scher J, Parmentier M (1994) Comparison of milk composition, cheese-making properties and textural characteristics of the cheese from two groups of goats with a high or low rate of α_{s1} -casein synthesis. *Int Dairy J* 4, 329-345
- Portmann A, Pierre A, Vedrenne P (1968) Relation entre teneur en matière grasse et azotée du lait de chèvre et rendement en fromage. *Rev Lait Fr* 251, 97-101
- Remeuf F (1993) Influence du polymorphisme génétique de la caséine α_{s1} caprine sur les caractéristiques physico-chimiques et technologiques du lait. *Lait* 73, 549-557
- Ricordeau G, Mocquot G (1967) Influence des variations saisonnières de la composition du lait de chèvre sur le rendement en fromage. Conséquences pratiques pour la sélection. *Ann Zootech* 16, 165-181
- Sugiyama T, Sasada H, Masaki J, Yamashita K (1981) Unusual fatty acids with specific odor from mature male goat. *Agric Biol Chem* 45, 2655-2658
- Uriel J (1966) Méthode d'électrophorèse dans des gels d'acrylamide-agarose. *Bull Soc Chim Biol* 48, 969-982
- Vassal L, Monnet V, Le Bars D, Roux C, Gripion JC (1986) Relation entre le pH, la composition chimique et la texture des fromages de type camembert. *Lait* 66, 341-351
- Vassal L, Delacroix-Buchet A, Bouillon J (1994) Influence des variants AA, EE et FF de la caséine α_{s1} caprine sur le rendement fromager et les caractéristiques sensorielles de fromages traditionnels : premières observations. *Lait* 74, 89-103
- Visser FMW, de Groot-Mostert AEA (1977) Contribution of enzymes from rennet, starter bacteria and milk to proteolysis and flavour development in Gouda cheese. 4. Protein breakdown : a gel electrophoretic study. *Neth Milk Dairy J* 31, 247-264
- Yates F (1933) The analysis of replicated experiments when the field results are incomplete. *Emp J Exp Agric* 1, 129-142