

*INRA Prod. Anim.,
1999, 12 (1), 29-38*

G. RICORDEAU, M.-F. MAHÉ,
M.-A. PERSUY*, C. LEROUX*,
V. FRANÇOIS*, Y. AMIGUES**

*INRA Station d'Amélioration
Génétique des Animaux, BP 27,
31326 Castanet-Tolosan Cedex*

** INRA Laboratoire de Génétique biochimique et
de Cytogénétique, 78352 Jouy-en-Josas Cedex*

Fréquences alléliques des caséines chez les chèvres des Pyrénées. Cas particulier de la caséine β nulle

Les chèvres de la race des Pyrénées sont remarquables pour leur rusticité et leur adaptation à l'élevage en montagne dans des conditions difficiles. Leur effectif a fortement régressé ces 50 dernières années, ce qui a nécessité la mise en place d'un programme de sauvegarde par le Conservatoire du Patrimoine Biologique de Midi-Pyrénées et le Conservatoire des Races d'Aquitaine. De 1994 à 1996, le nombre de chèvres inscrites aux inventaires est passé de 680 à 1 800 chèvres dans 93 élevages. Depuis 1992, le Département de Génétique Animale de l'INRA a entrepris une analyse génétique du polymorphisme des caséines dans cette population, comme cela avait été réalisé de façon approfondie dans les principales races caprines françaises.

Les troupeaux de chèvres pyrénéennes sont répartis depuis les Pyrénées-Atlantiques jusqu'à l'Aude, c'est-à-dire essentiellement dans les deux régions d'Aquitaine et de Midi-Pyrénées. Cette population était autrefois assez importante, puisqu'elle comptait 70 000 caprins lors du recensement de 1852

(Demonet 1990), dont 37 000 dans les Landes et en Gironde, 13 000 dans les Basses-Pyrénées devenues depuis Pyrénées-Atlantiques (essentiellement dans les arrondissements de Pau et d'Oloron Ste Marie), 8 000 dans les Hautes-Pyrénées (essentiellement dans les arrondissements d'Argelès-Gazost et de Bagnères de Bigorre), plus de 3 000 en Haute-Garonne dans l'arrondissement de St Gaudens et 8 000 en Ariège (essentiellement dans les arrondissements de St Girons et Foix), sans compter les 34 000 caprins de l'Aude et de l'Hérault. Cette population a diminué après la première guerre mondiale qui a brutalement privé la montagne de beaucoup d'éleveurs valides et compétents. En 1936, Girard comptait encore 50 000 caprins des Pyrénées-Atlantiques à l'Ariège. Mais c'est au cours des 50 dernières années que les effectifs ont fortement régressé, suite à la désertification, à l'élimination des chèvres dans les zones forestières, et à la concurrence des races sélectionnées (Alpine, Saanen) mieux connues des techniciens et des néoruraux qui ont été nombreux à s'installer dans les années 1970 et qui ont contribué indirectement au déclin des populations caprines locales, sauf dans les zones très difficiles.

Résumé

Après quatre années d'observations préliminaires (1992 à 1995), l'analyse du polymorphisme génétique des caséines du lait des chèvres des Pyrénées a été réalisée en 1996, grâce aux prélèvements de lait et de sang effectués dans 45 élevages, sur un effectif de 410 à 862 chèvres et 63 boucs. L'analyse concerne trois des quatre caséines : α S1, α S2 et β . En caséine α S1, l'allèle moyen E est majoritaire, devant les allèles forts (A, B3 et B4), l'allèle faible F et deux allèles nuls, dont l'allèle O2 bien représenté chez les chèvres et les boucs et dont le centre de diffusion peut être localisé. La caséine α S2 compte trois allèles. La caséine β présente deux allèles, dont un allèle nul observé dans 82 % des élevages à une fréquence de 0,11. Au total, 35 à 45 % des chèvres possèdent un mutant déficient, soit en caséine α S1, soit en caséine β , ce qui n'est pas sans conséquence sur la qualité fromagère des laits. Concernant l'allèle nul en caséine β , la population est en équilibre, mais il existe des différences de fréquence entre les secteurs. A terme, la décision à prendre vis-à-vis des mutants déficients dépend de l'orientation des éleveurs : production de chevreaux de boucherie dans les troupeaux à viande de type conservatoire ou amélioration de la qualité fromagère des laits dans les élevages laitiers traditionnels.

Polymorphisme des caséines caprines

Il existe chez les caprins, comme chez les bovins, quatre caséines différentes appelées α S1, β , α S2 et κ , codées par un groupe de quatre locus, situés dans cet ordre sur le même chromosome et étroitement liés (Grosclaude *et al* 1987 et 1994). Ces caséines sont plus ou moins polymorphes, chaque gène s'exprimant par un ou plusieurs allèles.

La caséine α S1 possède de nombreux allèles : des allèles forts, A et B, associés à des taux élevés de caséine α S1, un allèle intermédiaire E associé à un taux moyen, un allèle faible F qui fixe peu de caséine α S1 et deux allèles nuls O1 et O2 (pas de caséine α S1 chez les homozygotes O/O). Chez la chèvre, c'est l'association de deux de ces allèles (l'un provenant du père, l'autre de la mère) qui détermine son génotype (par exemple : A/E ou E/O ou A/B en caséine α S1). On connaît quatre allèles de type B, c'est-à-dire B1, B2, B3 et B4, ces deux derniers ayant été identifiés et caractérisés récemment grâce notamment aux études sur l'ADN des chèvres pyrénéennes (C. Leroux *et al*, communication personnelle).

La caséine β ne présente habituellement pas de polymorphisme (cas des races Alpine, Saanen ou Poitevine où l'on ne connaît que l'allèle A). Cependant, dans plusieurs autres races, chèvres des Pyrénées (présente étude), race Créole de Guadeloupe (Mahé et Grosclaude 1993), race Corse (F. Grosclaude et M.-F. Mahé, communication personnelle), race Garganica (Dall'Olio *et al* 1989), on connaît au moins deux allèles, l'allèle normal A et l'allèle nul O correspondant à une mutation (Persuy *et al* 1996), de sorte qu'on observe trois génotypes : AA = homozygote normal, A/O = hétérozygote β nul, O/O = homozygote β nul.

La caséine α S2 possède 3 allèles A, B et C. La caséine κ n'est pas polymorphe dans les races françaises, mais elle présente au moins deux variants chez certaines chèvres italiennes.

En 1992, une pré-étude recensait 238 chèvres dans 25 élevages, dont une partie plus ou moins croisée, sur un effectif total estimé à 5 ou 600 mères (Ménétrier et Nougé 1992). Cette situation critique suscitait la mise en place d'un programme de sauvegarde par le Conservatoire du Patrimoine Biologique Régional de Midi-Pyrénées (CPBR) et le Conservatoire des Races d'Aquitaine. En 1993, Rosset redécouvrait la chèvre du Pays Basque et recensait 246 chèvres dans 21 élevages traditionnels, essentiellement dans la vallée des Aldudes (Massoubre *et al* 1994). Grâce au travail des responsables et des techniciens régionaux (A. Audiot et D. Nougé en Midi-Pyrénées ; R. Ribereau-Gayon, O. Rosset et D. Massoubre en Aquitaine), la situation a évolué favorablement, même si elle reste fragile. Les éleveurs ont amélioré la qualité des animaux grâce à l'achat de boucs de race pure et à l'élimination progressive des chèvres croisées. Les inventaires réalisés depuis 1994 (tableau 1) montrent que les effectifs des chèvres inscrites aux Conservatoires des deux régions ont augmenté régulièrement, passant de 680 en 1994 à 1 800 en 1996, ceux des boucs évo-

luant de 53 à 141 pendant la même période, ce qui correspond à la fois à une augmentation des effectifs par élevage (10 à 21) et à l'adhésion de nouveaux élevages (76 à 93).

D'après Girard (1936), les chèvres des Pyrénées ont des aptitudes particulières. Elles sont rustiques, bien adaptées à l'élevage en montagne et très endurantes aux intempéries. Elles peuvent vivre nuit et jour en plein air, aux plus hautes altitudes, malgré le froid, la neige, les sautes de vent et de températures, en quête d'une nourriture rare et difficilement accessible. Mais cette population ne constitue pas une race homogène sur toute l'étendue de la chaîne des Pyrénées (O. Rosset 1997, non publié). Si l'on se réfère aux 45 troupeaux prélevés (en lait ou en sang) en 1996, on trouve d'ouest en est, des groupes d'élevages plus ou moins isolés, certains traditionnels plus ou moins fermés, d'autres plus récents et ouverts. Ces groupes sont essentiellement localisés dans les arrondissements où l'on observait la plus forte densité de chèvres lors du recensement de 1852, à l'exception des Landes et du Roussillon, régions où la chèvre des Pyrénées est maintenant peu représentée.

Tableau 1. Évolution des effectifs de la race des chèvres des Pyrénées, d'après les inventaires de 1994 à 1996-97 (Conservatoire des races d'Aquitaine et Conservatoire du patrimoine biologique de Midi-Pyrénées).

	Chèvres (nombre d'élevages)			Boucs		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Pays Basque	246 (21)	456 (26)	848 (27)	4	37	51
Béarn	170 (11)	271 (15)	371 (15)	13	14	23
Gironde et Landes	36 (5)	26 (8)	51 (11)	4	7	13
Hautes Pyrénées	180 (28)	331 (28)	400 (27)	25	30	34
Haute-Garonne, Ariège et Aude	48 (11)	77 (12)	133 (13)	7	13	20
Total	680 (76)	1 161 (89)	1 803 (93)	53	101	141

Composition en protéines du lait de chèvre

Le lait de chèvre contient de nombreuses protéines, les six principales étant les caséines α S1, β , α S2 et κ , et deux protéines du lactosérum, la β -lactoglobuline et l' α -lactalbumine. Les caséines, soit 80 % des protéines du lait, représentent la matière première protéique des fromages dans les procédés classiques de fabrication. Les quatre caséines sont organisées sous forme de submicelles, elles-mêmes assemblées en micelles, c'est-à-dire en particules sphériques très fines. La caséine κ joue un rôle primordial, puisqu'elle assure la formation et la stabilité des micelles.

Proportions des quatre caséines en % de la caséine totale

α S1	β	α S2	κ	Référence
(13)	55	(14)	18	Remeuf <i>et al</i> 1989
10 ⁽¹⁾	48	20	22	Martin 1997

⁽¹⁾ 10 % en moyenne, mais de 25 % à 0 % selon les génotypes, c'est-à-dire 25 % quand les deux allèles de la caséine α S1 sont des allèles forts en caséine α S1, et 0 % quand les deux allèles sont des allèles nuls en caséine α S1.

A cette population de chèvres françaises correspond la population de chèvres espagnoles -raza Pirenaica- que l'on retrouve sur un secteur comparable au sud de la chaîne des Pyrénées, d'après les descriptions de Muñoz et Tejon Tejon (1980) et Sierra Al franca (1987). Ces deux populations sont apparemment isolées l'une de l'autre. Toutefois, encore actuellement, il existe quelques échanges de reproducteurs au niveau des Pyrénées-Atlantiques ou de la haute vallée de la Garonne.

1 / Historique des prélèvements et répartition des élevages

Les premiers prélèvements de lait ont commencé en juin 1992 et se sont poursuivis en 1993 et 1994, sous forme de sondages dans 29 élevages du Béarn, des Hautes-Pyrénées et de l'Ariège, grâce au technicien travaillant pour le compte du Conservatoire de Midi-Pyrénées. Ils ont permis de détecter les premières chèvres porteuses de l'allèle caséine β nul, dont la première homozygote 0/0, Genaviewa, du petit troupeau du Musée Massey de Tarbes, née en 1991 de deux parents originaires de deux élevages du secteur Aspe-Pau.

En 1995, nous avons prélevé le lait de 347 chèvres dans 26 élevages, en sollicitant directement les éleveurs, ce qui nous a fourni une première estimation des fréquences alléliques en caséine α S1 et nous a permis de détecter 15 chèvres homozygotes en caséine β nul, dont sept dans un seul élevage où nous avons effectué deux séries de prélèvements de lait (août 1995) pour avoir une idée des caractéristiques physico-chimiques des laits sans et avec caséine β . Mais nous n'avions encore qu'une connaissance incomplète des génotypes de la caséine α S1 et de la caséine β , et uniquement sur les chèvres puisque les typages reposaient sur les analyses de lait. Cependant, depuis 1993, l'allèle caséine β nul faisait l'objet d'études biochimiques et, en 1996, une méthode originale était proposée

par l'un d'entre nous, à partir de l'ADN du sang (support du matériel héréditaire), pour détecter tous les animaux porteurs de cet allèle, homozygotes et hétérozygotes, chèvres et boucs (Persuy *et al* 1996). Cette technique a été mise au point pour un assez grand nombre d'analyses, ce qui nous a ouvert de nouvelles perspectives.

C'est pourquoi nous avons entrepris la présente étude, d'avril à juin 1996, en organisant à la fois des prélèvements de lait et de sang, dans 45 élevages. Les prélèvements de sang ont été réalisés par les vétérinaires, lors de leur passage annuel consacré à la prophylaxie sanitaire et à l'identification des animaux. Les prélèvements de lait ont été effectués à la même période, en grande partie par les éleveurs ou avec l'aide du technicien du CPBR. La détermination des allèles de la caséine α S1 a été plus difficile et a nécessité de nouvelles recherches qui se poursuivent encore actuellement, pour caractériser et identifier tous les allèles.

Ces 45 élevages sont représentatifs de la population pyrénéenne, depuis le Pays Basque jusqu'à Ax-les-Thermes en Ariège. Ils ont été retenus d'après l'inventaire 1994 d'O. Rosset pour l'Aquitaine et l'inventaire 1995 de D. Nougé pour Midi-Pyrénées, parmi les élevages possédant au moins cinq chèvres et accessibles pendant la période des prises de sang. D'ouest en est, nous avons considéré six groupes d'éleveurs, d'après leurs pratiques et surtout l'origine des animaux (souches locales ou non ; tableau 2).

Dans la vallée des Aldudes, il s'agissait de la première campagne de prélèvements, aussi avons-nous limité les prélèvements de sang à deux élevages sur les huit prélevés en lait. Dans les autres secteurs, 31 élevages ont fourni à la fois des échantillons de sang et de lait, et six n'ont fourni que des échantillons de sang (un dans le groupe 3, trois dans le groupe 5, deux dans le groupe 6). Les prises de sang ont été effectuées sur toutes les chèvres et tous les boucs présents lors du passage du vétérinaire, alors que les prélèvements de lait ont été limités aux chèvres ayant mis bas avant la mi-avril et allaitant encore leurs che-

Tableau 2. Répartition des six groupes d'éleveurs, d'ouest en est (45 élevages).

<p>1 - Vallée des Aldudes, dans le Pays-Basque, de Banca à Urepel. Il s'agit de huit élevages traditionnels d'origine locale qui constituent une population peu sélectionnée et fermée, même s'il y a des contacts avec les troupeaux espagnols sur les estives frontalières (Massoubre <i>et al</i> 1994).</p>
<p>2 - Secteur d'Arette-Lourdios Ichère (Barétous). Comprend cinq élevages traditionnels qui sont des troupeaux souches. Sur la commune d'Arette, la traite est abandonnée et les chèvres partent à la montagne après la vente des chevreaux pour y rester jusqu'en février. Dans le bassin de Lourdios, on associe traite et pâturage en montagne pour les chèvres, mais aussi pour les vaches de race Béarnaise qui "résistent" encore à l'invasion des races bovines spécialisées (Bertocchio 1989). D'après Massoubre <i>et al</i> (1994), les troupeaux d'Arette comprenaient des chèvres à grandes cornes en lyre semblables à celles des chèvres du Rove : c'était la "variété d'Arette". Il y a une vingtaine d'années, un éleveur d'Arette aurait acheté des reproducteurs en Espagne, ce qui lui aurait permis d'obtenir de belles chèvres avec des "cornes de boucs" réputées sur plusieurs vallées et de vendre des boucs à plusieurs élevages du secteur (Droniou, communication personnelle).</p>
<p>3 - Secteur Vallée d'Aspe-région de Pau-Aquitaine : sept élevages. Ce secteur comprend trois élevages en vallée d'Aspe (Bedous, Osse, Accous), deux élevages isolés près de Pau, un élevage transhumant hivernant au nord de Pau et estivant à Ferrières (chèvres d'origine Pays Basque, Soulor et Aquitaine) et le troupeau de la ferme conservatoire de Leyssart en Aquitaine. Ce dernier a récupéré des chèvres provenant des troupeaux des Landes (dont certains ont joué un rôle essentiel dans le maintien de la race : élevages Droniou et de l'écomusée de Marquèze à Sabres) ou originaires du Béarn (région de Pau et d'Arette). Il diffuse des reproducteurs en Béarn, Hautes-Pyrénées et Ariège.</p>
<p>4 - Secteur d'Arbéost-Ferrières au pied du col du Soulor. Comprend trois élevages traditionnels qui font la traite. Autrefois, dans cette zone, la race pyrénéenne prenait le nom de "race Béarnaise", souche laitière et fromagère qui fournissait les chèvres ambulantes des grandes villes (cf. enquête de Tucoo-Chala (1978) sur les chevriers Béarnais à Paris de 1870 à 1918, cité par Passal 1990). Massoubre <i>et al</i> (1994) remarquent que ce secteur, administrativement dans les Hautes-Pyrénées, fait partie de la vallée d'Ossau sur le plan géographique et pastoral.</p>
<p>5 - La Bigorre. Les onze élevages sont répartis au sud de la ligne Lourdes-Tarbes-Lannemezan jusqu'aux hautes vallées du Gave de Pau (Gèdre) et de la Neste d'Aure (Fabian-Aragnoet). Ils sont composés de chèvres locales et d'animaux provenant du Béarn. Ce sont des troupeaux en voie de formation ou d'amélioration (six récents créés après 1984 et cinq anciens). Ce secteur possède au moins trois souches : une souche laitière qui n'est plus traitée dans la région d'Argeles-Gazost et deux souches viande, la souche des Baronnie (de Bagnères de Bigorre à Capvern) et celle de la vallée d'Aure (d'après D. Nougé, communication personnelle).</p>
<p>6 - Secteur de Nistos et de l'Ariège (Comminges, Couserans et Pays de Foix). Comprend onze élevages, dont trois traditionnels à Nistos (sous groupe isolé qui se renouvelle localement à partir de reproducteurs achetés à Nistos et à Mazères de Neste) et huit à l'est de la Garonne (six récents et deux anciens) localisés à l'intérieur du triangle St Béat-Pamiers-Ax les Thermes, à l'exception d'un élevage de l'Aude, au sud de la Montagne Noire. Ce secteur représente au moins deux souches viande : Nistos et Ariège (D. Nougé, communication personnelle).</p>

Les animaux porteurs de l'allèle nul en caséine β sont détectés à partir de l'ADN sanguin, en appliquant une méthode originale de l'INRA.

vreaux, ce qui explique le déficit des typages lait par rapport aux typages ADN.

Analyses

Les échantillons de laits congelés ont été analysés par électrophorèse au Laboratoire INRA de Génétique Biochimique et Cytogénétique de Jouy-en-Josas, pour typer les caséines $\alpha S1$ et $\alpha S2$ et repérer les chèvres sans caséine β (M.-F. Mahé). Les échantillons de sang frais ont été traités à Labogena, pour extraction de l'ADN, en vue des différents typages grâce à des techniques mises récemment au point à Jouy-en-Josas : typage des allèles de caséine $\alpha S1$ à l'aide de marqueurs ADN, les microsatellites (C. Leroux, V. François et Y. Amigues) ; méthode PCR pour identifier les porteurs de l'allèle caséine β nul (M.-A. Persuy).

La détermination des allèles de la caséine $\alpha S1$ a été limitée à un sous-ensemble de 410 chèvres prélevées en lait et en sang dans 29 élevages. Les allèles de caséine $\alpha S2$ ont été identifiés sur les 695 chèvres prélevées en

lait. L'allèle nul en caséine β a été identifié sur 925 animaux (862 chèvres et 63 boucs) ayant fait l'objet d'un prélèvement de sang et localisés dans 39 élevages d'un effectif moyen de 22 chèvres (de 4 à 92).

2 / Résultats

2.1 / Fréquences alléliques chez les chèvres

Caséine $\alpha S1$: 410 chèvres (tableau 3a)

L'allèle E est dominant (0,57) avec une variation de 0,51 à 0,63 suivant les secteurs, devant les allèles B, A, F et O. L'allèle A est plus fréquent dans les quatre secteurs situés à l'est, surtout en Bigorre (0,25) et dans le Soulor. Parmi les allèles B, on trouve uniquement B3 et B4, identifiés en 1997. L'allèle B3 est absent dans les élevages du Soulor et rare en Bigorre, alors que B4 a une fréquence élevée dans le Soulor et le secteur Aspe-Pau-

Aquitaine. L'allèle F est assez fréquent dans les Aldudes, le Barétous et le secteur de Nistos-Ariège, alors qu'il est rare dans les autres secteurs, surtout dans le Soulor. L'allèle nul existe sous 2 formes, O1 et O2 : O1 est rare et se trouve seulement dans trois élevages, dont l'un a utilisé dans le passé un bouc Alpin et a vendu des chèvres aux deux autres ; O2 a une fréquence moyenne de 0,05 mais il est surtout présent dans le secteur d'Arette-Lourdios à la fréquence de 0,09. En fait, si l'on analyse plus en détail les résultats des cinq élevages de ce secteur, on constate que l'allèle O2 est présent uniquement dans les quatre élevages qui ont utilisé des boucs de même origine pour obtenir des cornes "en lyre", alors qu'il est absent dans le 5^{ème} élevage qui préfère les chèvres sans cornes. Sa fréquence atteint même 0,38, soit 61 % de chèvres porteuses sur un effectif de 28, dans un des quatre élevages. Ce noyau constitue le centre de diffusion de cet allèle O2 qui a migré dans les groupes 3, 4, 5 et 6, grâce notamment à plusieurs boucs et chèvres homozygotes O2/O2 et leurs produits. Comme cet allèle ne semble pas exister dans la population presque sauvage de la vallée des Aldudes et qu'il est relativement rare dans le Soulor, berceau de la race Béarnaise, on peut supposer qu'il n'existait pas dans la population ancienne. Il a pu être introduit, il y a une vingtaine d'années, avec quelques fondateurs d'origine espagnole possédant ce type particulier de cornage, mais il peut aussi avoir d'autres origines, puisqu'il a été découvert sur une chèvre locale de type Alpin en Lozère (J. Bouillon 1990, communication personnelle).

Caséine α S2 : 695 chèvres (tableau 3b)

L'allèle A est majoritaire (0,82), devant l'allèle C (0,15), l'allèle B étant rare ou absent, sauf dans les Aldudes (0,08).

Caséine β : 862 chèvres (tableau 4a, figure 1)

L'allèle A est majoritaire. L'allèle β nul est présent dans 82 % des élevages à une fréquence moyenne de 0,11. Il existe dans tous les groupes, mais à des fréquences variables : faible dans les deux élevages des Aldudes et les cinq élevages d'Arette-Lourdios, plus élevée dans les groupes 3, 4 et 5 (Aspe-Pau-Aquitaine, Soulor et Bigorre) avec un maximum de 0,35 dans deux élevages (l'un ancien du Soulor, l'autre récent en Bigorre), et assez faible dans le groupe 6 de Nistos-Ariège où sept élevages sur onze n'ont aucune chèvre β nul.

Sur les 862 chèvres, on compte 17 homozygotes β nul, ce qui donne une fréquence calculée de 0,14, non significativement différente de la fréquence observée de 0,11 sur l'ensemble des chèvres, ce qui indique que la population est en équilibre.

Ensemble des caséines

Les élevages d'Arette-Lourdios (groupe 2) et ceux du Soulor (groupe 4) sont des élevages traditionnels, implantés de longue date et considérés comme les "troupeaux souches" du Béarn. Or, entre ces deux secteurs, on constate des différences significatives des fréquences pour tous les allèles des caséines α S1, α S2 et β , comme si ces deux groupes constituaient encore deux variétés d'une même population, avec d'un côté les chèvres de la "variété d'Arette" et de l'autre les chèvres de "race Béarnaise" selon la dénomination de Massoubre *et al* (1994). Par ailleurs, les élevages d'Arette-Lourdios ont des fréquences voisines de celles des chèvres des Aldudes, sauf en ce qui concerne l'allèle α S1-O2, alors que les chèvres du groupe 3 (Aspe-Pau-Aquitaine) ont des fréquences

Le centre de diffusion de l'allèle nul en caséine α S1 de type O2 se trouve dans un des cinq élevages du Barétous, où l'on observe 61 % de chèvres porteuses.

Tableau 3. Fréquences alléliques des caséines α S1 et α S2 chez les chèvres, et α S1 chez les boucs.

a / Caséine α S1 (410 chèvres et 63 boucs)

Secteur	1 Aldudes	2 Arette Lourdios	3 Aspe Pau-Aquitaine	4 Soulor	5 Bigorre	6 Nistos Ariège	Total chèvres	Boucs
Allèles								
A	0,03	0,06	0,12	0,17	0,25	0,13	0,12	0,10
B	0,25	0,13	0,29	0,29	0,14	0,08	0,20	0,17
dont - B3	0,12	0,10	0,08	-	0,01	0,03	0,06	0,04
- B4	0,12	0,04	0,21	0,29	0,13	0,04	0,14	0,13
E	0,63	0,62	0,53	0,51	0,51	0,63	0,57	0,60
F	0,09	0,09	0,03	< 0,01	0,03	0,12	0,06	0,05
O1	-	< 0,01	-	-	0,03	0,03	0,01	-
O2	-	0,09	0,04	0,02	0,04	0,01	0,05	0,09

b / Caséine α S2 (695 chèvres)

Secteur	1 Aldudes	2 Arette-Lourdios	3 Aspe Pau-Aquitaine	4 Soulor	5 Bigorre	6 Nistos-Ariège	Total chèvres
Allèles							
A	0,79	0,93	0,77	0,66	0,85	0,91	0,82
B	0,08	0,01	0,02	-	-	0,01	0,03
C	0,13	0,06	0,21	0,34	0,15	0,08	0,15

Tableau 4. Fréquences alléliques (q) en caséine β nul, par secteur, d'ouest en est.

a / Chèvres

Groupe	Secteur (nb d'élevages)	n	q
1	Vallée des Aldudes (2)	57	0,04
2	Arette-Lourdios (5)	162	0,03
3	Aspe-Pau -Aquitaine (7)	227	0,14
4	Soulor (3)	137	0,16
5	La Bigorre (11)	122	0,16
6	Nistos et Ariège (11)	157	0,07
	Total (39)	862	0,11 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ q = 0,11 correspond à 21 % de chèvres porteuses de l'allèle β nul

b / Boucs

Secteur	n	q
Le Béarn (groupes 2 et 3)	28	0,11
Hautes-Pyrénées et Ariège	35	0,13
Total	63	0,12 ⁽²⁾

⁽²⁾ q = 0,12 correspond à 23 % de boucs porteurs de l'allèle β nul

La fréquence des allèles en caséine α S1 et caséine β est comparable chez les 63 boucs et les 862 chèvres, avec cependant un allèle nul en moins chez les mâles.

intermédiaires à celles des groupes 2 et 4 pour presque tous les allèles des caséines α S1 et α S2.

2.2 / Fréquences alléliques chez les boucs

Caséine α S1 (tableau 3a)

L'allèle E est le plus fréquent (0,60), devant les allèles B, A, O et F. Ces fréquences sont voisines de celles observées sur le sous-ensemble des chèvres, avec toutefois l'absence de l'allèle nul O1 et une fréquence plus éle-

vée de l'allèle nul O2 (0,09 chez les boucs vs 0,05 chez les chèvres).

Caséine β nul (tableau 4b)

Aucun bouc n'a été prélevé dans la vallée des Aldudes, mais cet allèle a été détecté chez un des trois boucs originaires de ce secteur. Parmi les 37 élevages prélevés à l'est de la vallée des Aldudes, neuf n'ont pas présenté de boucs, de sorte que les typages portent sur 63 boucs dans 28 élevages, soit une moyenne de 2 à 3 boucs par élevage dont 1 à 2 sont réellement utilisés. Sur cet effectif, on compte 13 hétérozygotes β A/O et un homozygote β nul, soit une fréquence de 0,12, légèrement supérieure à celle observée sur l'ensemble des chèvres et du même ordre que la fréquence calculée (0,13).

A partir des produits typés dans les élevages enregistrant les généalogies, c'est-à-dire essentiellement en Béarn, on peut estimer *a posteriori* le génotype caséine β de 13 boucs réformés. Sur cet effectif, on compte trois hétérozygotes et un homozygote β nul, le bouc Sultan né en 1990. Comme il était noir et bien conformé, donc très convoité, Sultan a été utilisé successivement par deux éleveurs du groupe 3 pendant trois ans et par un éleveur du groupe 2 la dernière année en 1993. Avec 10 produits présents en 1996, tous porteurs de l'allèle caséine β nul, nous pouvons considérer Sultan comme le premier homozygote identifié en Béarn. Ce fondateur a eu deux fils et deux petits-fils (dont un porteur de l'allèle β nul) utilisés chez trois éleveurs du groupe 3.

2.3 / Circulation des reproducteurs

D'après l'inventaire des chèvres et boucs présents en 1996 et leurs origines déclarées, nous avons une estimation des ventes entre groupes (152) et intra-groupes (74 ; tableau 5).

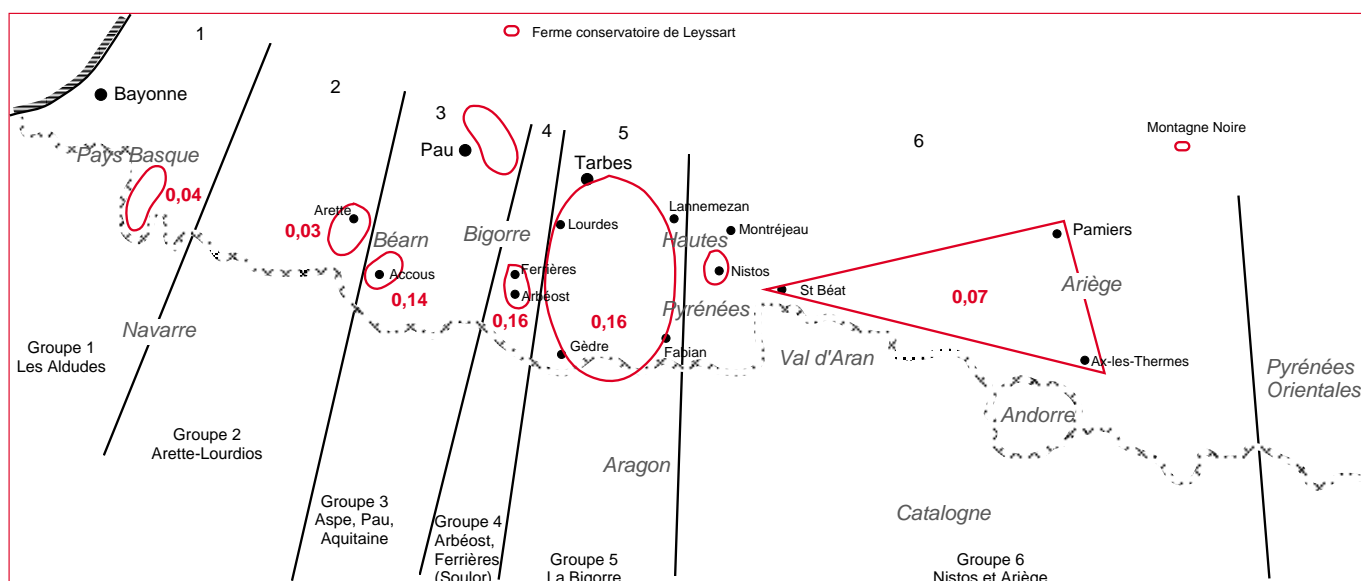
Figure 1. Répartition des six groupes d'élevages et fréquence moyenne de l'allèle caséine β nul.

Tableau 5. Circulation des reproducteurs : 226 chèvres et boucs, dont 152 entre groupes et 74 intra-groupes. Les 226 animaux déclarés représentent 24 % des chèvres et boucs typés

	Groupe acheteur					
	2 Arette Lourdios	3 Aspe Pau-Aquitaine	4 Soulor	5 Bigorre	6 Nistos Ariège	Total
Groupe vendeur						
1 - Les Aduldes	probable	24		2		26 (17 %)
2 - Arette-Lourdios	15 ⁽¹⁾	23		1	17	41 (27 %)
3 - Aspe-Pau-Aquitaine		39	4	24	4	32 (21 %)
4 - Soulor		15	1	20	16	51 (34 %)
5 - La Bigorre				11	2	2 (1 %)
6 - Nistos et Ariège					8	
Total		62 (41 %)	4 (2 %)	47 (31 %)	39 (26 %)	152

⁽¹⁾ Dans le passé, il y aurait eu introduction de quelques reproducteurs originaires d'Espagne.

Échanges entre groupes

Tous les groupes d'éleveurs ont acheté des reproducteurs, sauf le groupe 2 (Arette-Lourdios) et les trois élevages de Nistos du groupe 6. Parmi les acheteurs, 41 % appartiennent au groupe 3 et 57 % aux groupes 5 et 6, ce qui a permis une augmentation des effectifs dans les Hautes-Pyrénées et en Ariège, et probablement, l'élimination des "croisées". Tous les groupes ont vendu des reproducteurs, sauf le groupe 6. Hormis les Aduldes, les principaux groupes vendeurs sont le 4 (Soulor), le 2 (Arette-Lourdios) et le 3 (Aspe-Pau-Aquitaine), soit 82 % pour ces trois groupes. On vérifie également que les élevages traditionnels d'Arette-Lourdios et du Soulor (groupes 2 et 4) représentent bien les "élevages naisseurs" ou le "berceau de race", puisqu'ils achètent peu de reproducteurs en dehors de leur groupe (sauf quelques boucs et chèvres achetés au Pays Basque), alors qu'ils en vendent beaucoup dans les autres groupes (61 % des ventes).

Les groupes 3 et 4 diffusent leurs reproducteurs, essentiellement grâce à cinq éleveurs (un traditionnel et quatre de type conservatoire) chez lesquels la fréquence allélique en caséine β nul des chèvres est de 0,21. Ces élevages constituent les centres de diffusion de l'allèle β nul. Parmi eux, vu son effectif et sa réputation, l'un des élevages du Soulor a la contribution la plus importante, puisqu'avec 37 animaux et plus de 45 produits vendus (38 chèvres et 7 boucs) les reproducteurs de cette origine représentent 9 % de l'effectif total typé et au moins 26 % de l'effectif des porteurs de l'allèle caséine β nul.

Échanges intra-groupes

Les échanges intra-groupes représentent 53 % pour le groupe 3 (Aspe-Pau-Aquitaine) et de 11 à 20 % pour chacun des groupes 2, 5 et 6. Les sept élevages du groupe 3 sont donc bien connectés.

3 / Discussion

3.1 / Allèles nuls en caséine α S1 et β : conséquences sur l'aptitude fromagère des laits

Le polymorphisme des caséines chez les chèvres des Pyrénées est différent de celui observé dans les races Alpine et Saanen (Grosclaude *et al* 1994, Ricordeau *et al* 1995) et des Poitevines (Ricordeau *et al* 1996). Concernant les deux principales caséines du lait, les chèvres des Pyrénées ont deux originalités : une fréquence élevée des allèles faibles et nuls en caséine α S1 (0,12 au total pour les allèles F, O1 et surtout O2) et la présence de l'allèle β nul à une fréquence de 0,11. Cela signifie globalement que 35 à 45 % des chèvres possèdent un mutant déficient, soit en caséine α S1, soit en caséine β , ce qui n'est pas sans conséquence sur les qualités fromagères des laits. Si l'on connaît assez bien maintenant les effets défavorables des allèles faibles ou nuls en caséine α S1 sur la richesse en protéines vraies et protéines coagulables, la qualité du caillé, les caractéristiques physico-chimiques des laits (cf notamment Grosclaude *et al* 1994, Barbieri *et al* 1995, Delacroix-Buchet *et al* 1996, Pierre *et al* 1995 et 1998, Chanut *et al* 1997), on connaît encore insuffisamment les effets de l'allèle nul en caséine β . Avec le lait de vache, Colin *et al* (1992) ont montré que la teneur et le pourcentage de caséine β sont en corrélation positive avec le rendement en fromage frais. On sait aussi que l'enrichissement artificiel du lait en caséine β modifie ses qualités fromagères en augmentant la fermeté du caillé. Inversement, les laits de chèvre sans caséine β ont une faible aptitude à la coagulation, c'est-à-dire un temps de prise plus long et des caillés plus mous et plus fragiles par rapport aux laits témoins (Chianese *et al* 1993). A partir des analyses effectuées en 1995 et 1998 et d'après les résultats du contrôle laitier simplifié obtenus dans

Au total, 35 à 45 % des chèvres possèdent un mutant déficient, soit en caséine α S1, soit en caséine β , ce qui n'est pas sans conséquence sur la qualité fromagère des laits.

sept élevages en 1995, 1997 et 1998, nous avons constaté que les laits produits par les chèvres homozygotes ou hétérozygotes β nul sont moins riches en protéines, mais beaucoup moins qu'on ne pouvait le supposer, sachant que la caséine β représente de 48 à 55 % de la caséine totale dans un lait normal, du fait que l'allèle caséine β nul est toujours associé à un allèle fort (de type B) en caséine α S1, et qu'il y a vraisemblablement compensation par les autres caséines. En revanche, les laits possédant l'allèle caséine β nul ont une proportion plus faible de protéines coagulables et une répartition différente des caséines, avec plus de caséines α S2 et κ , et surtout plus de caséine α S1 (F. Remeuf *et al* et G. Brignon *et al*, non publié).

Il peut paraître assez curieux de constater que c'est dans les élevages laitiers fromagers traditionnels que l'on trouve la proportion la plus importante de chèvres porteuses d'allèles nuls en caséine α S1 (Arette-Lourdios) ou en caséine β (Soulor). Cela s'explique probablement par le fait que ces éleveurs mélangent le lait de chèvre au lait de vache, de sorte qu'ils ne peuvent apprécier l'aptitude fromagère du lait de leur troupeau. Toutefois, dans le Soulor notamment, les éleveurs fromagers reconnaissent que le lait de chèvre est plus fragile et supporte mal le transport, de sorte que le fromage doit être fait là où a lieu la traite.

3.2 / Les élevages des secteurs Aspe-Pau-Aquitaine et du Soulor constituent le centre de diffusion de l'allèle β nul qui a migré vers l'Est

L'allèle β nul est présent du Pays Basque au Pays de Foix, mais avec des variations importantes entre secteurs. Sa fréquence est faible dans la vallée des Aldudes, comme dans les cinq élevages d'Arette-Lourdios qui sont tous des élevages traditionnels, assurant eux-mêmes leur renouvellement et échangeant des boucs avec les élevages voisins. Au contraire, sa fréquence est élevée dans les élevages "conservatoire" d'Aspe-Pau-Aquitaine qui achètent régulièrement de nouveaux reproducteurs (chèvres et boucs) pour avoir un échantillon des différentes souches. Chez ces éleveurs, bien connectés génétiquement, la dérive génétique est probablement le résultat de l'utilisation de quelques boucs porteurs et de leurs fils, phénomène illustré par la famille du bouc Sultan, homozygote β nul. En revanche, il est plus difficile d'expliquer la fréquence élevée obtenue dans un élevage traditionnel du Soulor avec 50 % de chèvres porteuses. Dans le passé, des boucs porteurs ont probablement été introduits, mais il y a eu aussi une forte dérive génétique intra-troupeau. En effet, c'est l'excédent de chèvres homozygotes β nul dans cet élevage qui explique le déséquilibre entre les deux fréquences alléliques : la fréquence observée de 0,11 et la fréquence calculée de 0,14. Puisqu'il s'agit de chèvres traites et soumises à des conditions de milieu difficiles, on peut supposer que les porteuses β nul ont la possibilité de donner plus de lait, ce qui leur donnerait un avantage sélectif, mais ce n'est là qu'une hypothèse.

Comme les élevages des secteurs 3 et 4 vendent leurs reproducteurs essentiellement dans les secteurs situés à l'est, on comprend pourquoi la fréquence en caséine β nul est de 0,16 en Bigorre et seulement de 0,07 dans le secteur de Nistos-Ariège où de nombreux élevages isolés de type traditionnel ont échappé à la vague de migration de cet allèle. En Bigorre, beaucoup d'éleveurs privilégient les achats de chèvres au renouvellement intra-troupeau, probablement pour améliorer plus rapidement le caractère "race pure" de leurs animaux, d'où une augmentation des chèvres porteuses en caséine β nul. En Ariège, cet allèle devait cependant être présent dans les souches locales, puisque deux éleveurs ont récupéré des chèvres et des boucs porteurs de quatre élevages de la région non inscrits à l'inventaire. On vérifie également, dans un troupeau créé récemment avec des reproducteurs de toutes origines (43 chèvres et 7 boucs de 14 élevages), que la fréquence en caséine β nul est de 0,13, c'est-à-dire voisine de celle de l'ensemble de la population.

3.3 / Perspectives de la population en termes de variabilité génétique et d'objectif

L'existence à l'intérieur du berceau de race, le Béarn jusqu'au Soulor, de sous-ensembles plus ou moins fermés et distants génétiquement, ainsi que la structure hiérarchique de la population (les sélectionneurs à l'ouest, les utilisateurs à l'est), tendent à réduire la variabilité génétique et à créer des déséquilibres alléliques, d'autant plus que les éleveurs choisissent leurs boucs selon l'origine, la couleur, le type de cornage... Nous sommes donc assez loin de la situation recommandée pour les populations de petit effectif, dans lesquelles chaque élevage reçoit et fournit des boucs, sans préférence dans le choix des origines et en renouvelant rapidement un nombre de boucs aussi élevé que possible. Mais la population des chèvres pyrénéennes est très dispersée dans des vallées cloisonnées, avec des systèmes d'élevage différents, aussi doit-elle être gérée en tenant compte des contraintes locales ou régionales. Vu la situation actuelle, on peut estimer l'effectif de la base de conservation à 740 chèvres et 41 boucs utilisés effectivement chaque année, ce qui représente un effectif génétique de l'ordre de 150. L'élargissement de cette base se fera progressivement lorsque les élevages des Hautes-Pyrénées et de l'Ariège auront atteint un effectif stable et seront presque tous capables de fournir des boucs reconnus de race pure.

La fréquence des échanges de reproducteurs montre que la maîtrise de la consanguinité est une préoccupation forte des éleveurs. Cette maîtrise est essentielle à long terme. Elle peut s'obtenir, d'abord en élevant suffisamment de boucs et en équilibrant la taille des descendance, ensuite en évitant les accouplements entre animaux apparentés, c'est-à-dire entre animaux possédant au moins un ascendant commun parmi leurs pères, grands-pères paternels et grands-pères maternels, comme cela se fait dans les races sélec-

Si le nombre des élevages laitiers augmente, l'amélioration de la qualité fromagère des laits deviendra un objectif souhaitable et il sera alors utile de contrôler le génotype caséine des jeunes boucs.

tionnées. Même sans contrôle des luttes, la tenue d'un carnet de chèvrerie (dans tous les élevages) indiquant les boucs utilisés chaque année et la naissance des produits, permettrait de déterminer le ou les pères possibles, donc de gérer correctement le choix des boucs pour éviter les accouplements "interdits", ce qui revient à raisonner avec un groupe de deux ou trois pères pour un produit, au lieu d'un seul père. La prise en considération des fréquences alléliques en quelques locus peut aussi améliorer l'efficacité de ces approches (Chevalet et Rochambeau 1986).

A court et moyen terme, la question des mutants défectifs dépend de l'orientation des éleveurs. Si l'objectif principal reste la conservation (avec la production de chevreaux de boucherie comme sous-produit), la situation peut rester ce qu'elle est. En revanche, si le nombre et l'effectif des élevages laitiers augmente (20 % actuellement), l'amélioration de la qualité fromagère des laits deviendra un objectif souhaitable et il sera alors utile d'envisager un contrôle du génotype caséines des mères à boucs ou des jeunes boucs. A ce moment là, on en saura probablement plus sur les qualités technologiques, nutritionnelles et pharmacologiques des laits sans caséine β et sans caséine $\alpha S1$, de sorte qu'il sera possible de conseiller valablement les éleveurs sur les perspectives et les orientations à long terme. Mais cela suppose aussi un minimum d'effort et de concertation pour constituer des lots de chèvres homozygotes, afin de réaliser les recherches nécessaires.

Conclusions

Cette étude est une contribution importante à la connaissance de la race des "chèvres des Pyrénées", dans la mesure où elle précise le polymorphisme génétique des caséines et permet, notamment, une bonne estimation des fréquences alléliques qui pourront servir de référence, dans les années à venir, pour suivre l'évolution de cette population presque oubliée il y a une dizaine d'années. Mais il ne s'agit encore que d'une première étape. Il reste à approfondir les liaisons entre caséines, à expliquer les polymorphismes et à étudier leurs effets sur les aptitudes technologiques et nutritionnelles des laits.

Cette étude est aussi un bon exemple pour comprendre le fonctionnement d'une petite population - reste d'une population beaucoup plus importante - étirée sur plus de 300 km, avec des secteurs isolés ou cloisonnés, des troupeaux souches (laitiers ou à viande)

appartenant à des éleveurs traditionnels à côté de troupeaux plus récents de type "amateur" ou conservatoire. Elle illustre le phénomène de dérive génétique consécutif à l'utilisation d'un nombre limité de boucs, provenant d'un petit nombre d'élevages, sélectionnés sur certains critères de mode (patron de coloration ou type de cornage). Ainsi certains allèles sont favorisés alors que d'autres tendent à disparaître. Par ailleurs, le cas de l'allèle caséine $\alpha S1$ nul O2 est un exemple de migration d'un allèle qui n'existait probablement pas dans la population fondatrice, sinon cet allèle serait présent dans tous les secteurs.

Le polymorphisme particulier des caséines dans la population des chèvres des Pyrénées traduit, comme on l'a vu, une aptitude fromagère des laits assez peu favorable, même si de nombreux éleveurs traditionnels continuent à traire et à produire du fromage fermier, presque toujours mixte et affiné localement. Mais ces chèvres ont également une fonction essentielle dans l'utilisation des parcours d'altitude et accidentés où elles sont mieux adaptées que les vaches ou les brebis laitières qui utilisent les étages inférieurs. De sorte que si demain, nous étions capables de détecter des gènes majeurs de résistance au froid ou au parasitisme, nous aurions plus de chances de les trouver dans cette race que dans les autres sélectionnées essentiellement sur les performances laitières dans des systèmes intensifs d'élevage. Pour toutes ces raisons, les chèvres des Pyrénées méritent notre attention.

Remerciements

Cette étude n'aurait jamais été réalisée sans les initiatives de F. Grosclaude qui a piloté l'équipe INRA, dégagé les moyens nécessaires et animé parallèlement les recherches fondamentales sur les caséines caprines de différentes races, dont la chèvre des Pyrénées.

Nous remercions les responsables et techniciens des deux conservatoires de Midi-Pyrénées et d'Aquitaine, tout particulièrement Annick Audiot qui a été au point de départ de cette approche et qui nous a apporté son concours pendant toute la durée de l'étude, Didier Nougé et Dominique Massoubre qui ont participé aux prélèvements depuis 1992, ainsi que Bernard Ménétrier qui a toujours répondu favorablement à nos sollicitations. Nous remercions vivement tous les éleveurs qui ont accepté, plusieurs années de suite, de participer aux prélèvements et de nous fournir des informations sur les origines de leurs animaux. C'est aussi pour eux que nous avons voulu mener à bien cette première étape. Ce travail doit beaucoup à la participation des vétérinaires de cinq départements que nous avons sollicités, avec l'appui du Professeur Roland Darré (École Nationale Vétérinaire de Toulouse), et qui ont été précieux pour identifier les animaux et effectuer les prélèvements sanguins dans des conditions souvent difficiles : nous les remercions également.

Références

- Barbieri M.E., Manfredi E., Elsen J.M., Ricordeau G., Bouillon J., Grosclaude F., Mahé M.F., Bibé B., 1995. Effet du locus de la caséine $\alpha S1$ sur les performances laitières et les paramètres génétiques des chèvres Alpine. *Genet. Sel. Évol.*, 27, 437-450.
- Bertocchio F., 1989. L'évaluation d'une race bovine à très petit effectif. L'exemple de la race Béarnaise. Thèse INRA-INP de Toulouse.
- Chevalet C., Rochambeau H. de, 1986. Variabilité génétique et contrôle des souches non-consanguines. *Sci. Tech. Anim. Lab.*, 11, 251-257.
- Chanat E., Leroux C., Martin P., Ollivier-Bousquet M., 1997. Perturbation du transit intracellulaire des protéines de lait en liaison avec le polymorphisme existant au locus $\alpha S1$ -cas caprin. *Renc. Rech. Ruminants*, 4, 365.

- Chianese L., Garro G., Nicolai M.A., Mauriello R., Ferranti P., Pizzano R., Cappuccio U., Laezza P., Addeo F., Ramunno L., Rando A., Rubino R., 1993. The nature of β -casein heterogeneity in caprine milk. *Lait*, 73, 533-547.
- Colin O., Laurent F., Vignon B., 1992. Variations du rendement fromager en pâte molle. Relations avec la composition du lait et les paramètres de la coagulation. *Lait*, 72, 307-319.
- Dall'Olio S., Davoli R., Russo V., 1989. Una mova variante di β -caseina caprina. *Sci. Tec. Latt Casearia*, 40, 24-28.
- Delacroix-Buchet A., Degas C., Lamberet G., Vassal L., 1996. Influence des variants AA et FF de la caséine α S1 caprine sur le rendement fromager et les caractéristiques sensorielles des fromages. *Lait*, 76, 217-241.
- Demonet M., 1990. Tableau de l'Agriculture Française au milieu du 19^{ème} siècle. L'enquête de 1852. Eds. de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris.
- Girard O., 1936. Les races laitières de l'Ariège. *Ann. de la Fédération Pyrénéenne d'Économie Montagnarde*. Tome V, 143-170.
- Grosclaude F., Mahé M.F., Brignon G., Di Stasio L., Jeunet R., 1987. A Mendelian polymorphism underlying quantitative variations of goat α S1-casein. *Génét. Sel. Evol.*, 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.
- Mahé M.F., Grosclaude F., 1993. Polymorphism of β -casein in the Créole goat of Guadeloupe: evidence for a null allele. *Genet. Sel. Evol.*, 25, 403-408.
- Martin P., 1997. La composition protéique du lait de chèvre : ses particularités. In : Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre, Les Colloques n°81. Éditions INRA, Paris.
- Massoubre D., Rosset O., Ribereau-Gayon R., 1994. La race des chèvres des Pyrénées en Aquitaine. État de la population en Aquitaine en 1993 et 1994. Association pour la sauvegarde et l'étude des races domestiques menacées, Conseil Régional d'Aquitaine, 39 p.
- Ménétrier B., Nougé D., 1992. La chèvre pyrénéenne. Pré étude. Nature et Vie Bigorre. Musée Massey de Tarbes et Conservatoire du Patrimoine Biologique Régional de Midi-Pyrénées.
- Munoz C.E., Tejon Tejon D., 1980. Catalogos de razas autoctonas españolas. I. Especies ovina y caprina. Ministère de l'Agriculture, 187-189.
- Passal J.N., 1990. Au XIX^{ème} siècle : les chevriers Béarnais à Paris. *La chèvre*, 176, 44-46.
- Persuy M.A., Printz C., Medrano J.F., Mercier J.C., 1996. One mutation might be responsible for the absence of β -casein in two breeds of goats. *Animal Genetics* 27 (suppl. 2), 87-100.
- Pierre A., Michel F., Le Graet Y., 1995. Variation in size of goat milk casein micelles related to casein genotype. *Lait*, 75, 489-502.
- Pierre A., Michel F., Le Graet Y., Zahoute L., 1998. Casein micelle size in relation with casein composition and α S1, α S2, β and κ casein contents in goat milk. *Lait*, 78, 591-605.
- 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.
- Ricordeau G., Piacère A., Manfredi E., Amigues Y., 1995. Fréquences alléliques de la caséine α S1 chez les boucs d'insémination de race Alpine et Saanen de 1975 à 1994. *INRA Prod. Anim.*, 8, 259-264.
- Ricordeau G., Mahé M.F., Amigues Y., Grosclaude F., Manfredi E., 1996. Fréquence des allèles de la caséine α S1 en race Poitevine. *Anim. Genetic Ressources Infor.*, 17, 103-108.
- Sierra Al franca I., 1987. In razas aragonesas de ganado. Ed. Diputacion General de Aragon, 1a ed. déc. 1987.

Abstract

Allele frequencies of casein loci in "Pyrénées" goats: the particular case of the null allele for the β casein

After 4 years of preliminary observations (1992-1995), the genetic polymorphisms of caseins of "Pyrénées" goats was analyzed in 1996, using blood and milk samples from 862 females and 63 males spread in 45 herds. Three of the 4 main caseins were studied: α S1, α S2 and β . For the α S1 casein, the intermediate allele E is predominant, more frequent than the "strong" alleles (A, B3 and B4), the "weak" allele F and 2 null alleles. Within the null alleles, the O2 allele is rather frequent in the sampled males and females and its geographic origin may be located. The β casein has 2 alleles: the null allele was found in 82 % of herds at a 0.11 frequency. About 40 % of females have a mutant

defective allele, either at the α S1 locus or at the β locus, with important consequences on milk quality for cheese production. For the null allele of the β casein, the population is at the equilibrium but different frequencies exist among groups. In perspective, the selection decision on mutant defective alleles depends on the orientation of the breeders : kid production for meat in the herds under genetic conservation policies or improvement of milk quality for cheese production in the traditional dairy herds.

Ricordeau G., Mahé M.-F., Persuy M.-A., Leroux C., François V., Amigues Y., 1999. Fréquences alléliques des caséines chez les chèvres des Pyrénées. Cas particulier de la caséine β nulle. *INRA Prod. Anim.*, 12, 29-38.