

Objectifs de sélection et stratégie raisonnée de mise en œuvre à l'échelle des populations de brebis laitières françaises

F. BARILLET¹, G. LAGRIFFOUL², P.-G. MARNET³, H. LARROQUE¹,
R. RUPP¹, D. PORTES⁴, F. BOCQUIER⁵, J.-M. ASTRUC²

¹ GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, INPT, INPT-ENV, 31320, Castanet-Tolosan, France

² Institut de l'Élevage, CNBL, 31321, Castanet-Tolosan, France

³ PEGASE, Agrocampus Ouest, INRA, 35590, Saint-Gilles, France

⁴ Domaine de La Fage, INRA, 12250, Saint-Jean et Saint-Paul, France

⁵ SELMET, INRA, CIRAD, Montpellier SupAgro, 34000, Montpellier, France

Courriel : f.barillet.ol@gmail.com

La conception et la mise en œuvre de schémas de sélection, à l'échelle de populations ovines laitières de moyenne et grande taille, avec une gestion raisonnée dans l'espace et dans le temps des objectifs de sélection, est une réalité française valorisée depuis cinq décennies par les éleveurs de cinq races ovines laitières locales. Le milieu d'élevage et donc de sélection présente également des originalités pouvant favoriser une sélection durable.

Dans les années 1950, l'ensemble des acteurs de la production du lait de brebis en France avait identifié le faible potentiel laitier des races de brebis laitières françaises comme l'un des trois facteurs techniques limitants (Lagriffoul *et al* 2016, ce numéro). Ils avaient réussi à mobiliser la recherche agronomique sur cette question, lors de deux journées clés : en mars 1956 à Paris, avec l'acceptation d'un contrôle laitier ovin distinct du « contrôle laitier-beurrer » des bovins, permettant ensuite d'atteindre 13 000 brebis au contrôle laitier en 1960 vs quelques centaines de brebis auparavant ; en juillet 1963 à Millau, avec la décision d'installer une ferme expérimentale de l'INRA au domaine de La Fage (INRA, 30 ans de recherche à La Fage).

Sur le plan génétique, pour maximiser les chances d'aboutir, deux pistes avaient été explorées simultanément dans ces années 1960-70 : le croisement synthétique et la sélection en race pure. La stratégie de croisement a combiné d'entrée de jeu les recherches en fermes et en domaines expérimentaux : Brouessy (près de Paris) jusqu'en 1966 avec les comparaisons Préalpes-Frisonnaises (Ricordeau et Flamant 1969) ; deux fermes privées dans l'Aveyron de 1961 à 1964 avec les comparaisons Lacaune-Sarde (Flamant et Cattin-Vidal 1960) ; puis La Fage à partir de 1963, pour continuer ces comparaisons entre races Lacaune, Frisonne et Sarde (Flamant et Ricordeau 1969), et constituer, de 1967 à 1973, quatre

générations de brebis FSL (respectivement 3/8, 3/8 et 2/8 Frisonne, Sarde et Lacaune) ; enfin synthèse des comparaisons entre brebis Lacaune et FSL à La Fage et croisées FSL × Lacaune dans cinq élevages privés (Coste 1974). Simultanément, la mise au point d'outils de sélection adaptés aux brebis laitières, en particulier le contrôle laitier, les luttes contrôlées, puis l'Insémination Animale (IA) ovine et le haras de béliers, a résulté d'un foisonnement d'innovations et d'initiatives entre recherche et profession, dans cette période 1955-1970 (Lagriffoul *et al* 2016, ce numéro). La conclusion du bilan technico-économique était que le temps nécessaire pour rattraper l'infériorité laitière de la race Lacaune par rapport à la lignée FSL serait comparable à celui nécessaire à la multiplication et diffusion de la FSL à l'échelle d'une population de 500 000 brebis (Coste 1974). Comme le schéma de sélection de la race Lacaune devenait efficace à cette période, la stratégie de sélection en race pure a donc été retenue définitivement par les professionnels dans les années 1970 pour la race Lacaune (Barillet *et al* 2001b). Ultérieurement, ce choix de sélection en race pure a également été adopté par les éleveurs des deux autres bassins : la sélection de chaque race locale, adossée à son fromage d'AOP, dans son bassin de production, avec la race Lacaune et le Roquefort dans le rayon du même nom, les races pyrénéennes Basco-Béarnaise, Manech tête rousse et Manech tête noire

et le fromage Ossau-Iraty, et le Brocciu avec la brebis Corse dans son île.

L'objectif était donc de concevoir et mettre en œuvre un schéma de sélection laitière, à l'échelle de toute une population de brebis exploitée par des milliers d'éleveurs, et non pour quelques éleveurs sélectionneurs, dont l'impact aurait été négligeable pour fournir le lait attendu par la filière (Lagriffoul *et al* 2016). Pour les ovins laitiers, comme pour les autres espèces laitières, la sélection porte sur un caractère, la production laitière, exprimée par les femelles. En conséquence, le testage sur descendance des mâles d'IA, nés d'accouplements raisonnés, constitue l'étape essentielle des schémas de sélection classiques des ruminants laitiers. Les outils habituels de sélection laitière, contrôle laitier et IA, ont été mobilisés. Toutefois, les contraintes de l'espèce ovine ont nécessité d'une part, des adaptations de ces outils et de la stratégie de sélection laitière et, d'autre part, des modalités de réalisation spécifiques à l'espèce ovine (Barillet 1997).

Nous décrivons donc comment a été raisonnée la stratégie de mise en œuvre, dans l'espace et dans le temps, des objectifs de sélection à l'échelle d'une population de brebis laitières, par étapes successives, d'abord pour les caractères laitiers, puis pour les caractères fonctionnels. La situation, les résultats et les perspectives de chacune des cinq races de brebis laitières disposant actuellement

d'un schéma de sélection sont décrits, fruit d'une collaboration pérenne depuis 50 ans entre profession et recherche. Nous verrons que la gestion du bien commun « race locale » par les éleveurs concernés, en charge des organismes de sélection, est indispensable au processus de sélection des populations de brebis laitières (Labatut *et al* 2012). La comparaison avec les bovins laitiers concerne donc les schémas de sélection dits classiques, avant l'ère de la sélection génomique, dont la mise en œuvre effective a débuté en 2015 en ovins laitiers en France (Astruc *et al* 2016, ce numéro).

1 / Conception et optimisation d'un schéma de sélection d'une population de brebis laitières pour les caractères laitiers

1.1 / L'organisation pyramidale de la population

En pratique, des contraintes biologiques et économiques spécifiques à l'espèce ovine imposaient d'adapter les outils de sélection laitière que constituent le contrôle laitier et l'IA (Barillet et Elsen 1979, Flamant et Barillet 1982). En effet, d'une part le coût du contrôle laitier, rapporté à la marge brute par brebis, est 2 à 3 fois plus élevé qu'en vache, du fait de contraintes liées à l'espèce (niveau laitier par femelle, chantier de traite et de contrôle) et, d'autre part, la capacité de diffusion des mâles d'IA est beaucoup plus limitée pour les béliers (semence fraîche) que les taureaux (semence congelée) (Barillet *et al* 1984).

Dans ces conditions, la mise en place d'un schéma de sélection pour une population ovine laitière ne peut se concevoir et s'organiser que dans le cadre d'une gestion pyramidale de la population, en distinguant un noyau d'éleveurs sélectionneurs par opposition aux éleveurs utilisateurs (Barillet *et al* 1986). L'objectif est de concentrer dans ce noyau d'éleveurs sélectionneurs tous les outils requis pour la sélection laitière : Contrôle Laitier Officiel (CLO), luttés contrôlés pour la connaissance des paternités, utilisation de l'IA pour la planification du testage sur descendance et la réalisation des accouplements raisonnés, gestion des béliers nés d'accouplements raisonnés pour la fourniture des béliers d'IA et de Monte Naturelle (MN), à l'aide de l'outil clé que constitue le centre d'élevage de jeunes mâles (Barillet et Elsen 1979), qui regroupe les jeunes béliers, au sevrage à un mois, jusqu'au choix pour le centre d'IA intervenant entre 8 et 15 mois selon la race (figure 1).

Le CLO est donc réservé aux sélectionneurs, tandis que les éleveurs utilisateurs peuvent, s'ils le souhaitent, pratiquer un Contrôle Laitier Simplifié (CLS). Cette gestion pyramidale de la population doit être calibrée pour fournir l'effectif requis de béliers d'IA et de MN, nés d'accouplements raisonnés en CLO, et destinés à approvisionner le centre d'élevage de jeunes mâles pour renouveler le cheptel de béliers d'IA et pour fournir aussi des béliers de MN, directement *via* les élevages sélectionneurs naisseurs ou après passage en centre d'élevage (figure 1). La priorité est l'usage des béliers d'IA dans le noyau de sélection pour la création du progrès génétique, tandis que la diffusion vers les éleveurs utilisateurs combine béliers de MN et béliers d'IA.

Les principaux résultats de diverses études de modélisation des flux de gènes d'un tel schéma de sélection pyramidal, utilisant les données démographiques et les paramètres génétiques de la race Lacaune, réalisés de 1974 à 1988 (Elsen et Mocquot 1974, Barillet et Elsen 1979, Vallerand et Elsen 1979 ; Barillet *et al* 1988), peuvent être résumés ainsi pour les élevages en CLO du noyau de sélection :

- La taille optimale du noyau de sélection doit être comprise entre 15 et 20% de la population à améliorer (capacité de testage nécessaire). Ce pourcentage correspond à celui d'une population de grande taille comme celle de la race Lacaune faisant l'objet des modélisations. Pour des populations de plus petite taille, ce pourcentage doit augmenter jusqu'à 30% pour être à l'optimum du dispositif ;

- Le gain génétique annuel asymptotique, ou régime de croisière, peut être espéré 10 à 15 ans après le démarrage du programme de sélection (figure 2) : c'est le temps nécessaire pour constituer le cheptel de béliers d'IA améliorateurs ;

- Etant donné que les béliers améliorateurs ont une production de semence limitée, ils ne peuvent être autant sélectionnés que les taureaux laitiers, et leur supériorité par rapport aux béliers de testage est plus faible qu'en bovins laitiers. En conséquence, la maximisation technique (gain génétique) et économique (bénéfices actualisés) suppose que 40 à 60% des brebis du noyau de sélection soient support de testage, et que les béliers soient testés sur 30 à 40 filles. Ce pourcentage de 40 à 60% d'IA de testage en ovins laitiers est nettement plus élevé que les 10% d'IA de testage pratiqués en bovins laitiers. En contrepartie d'un tel effort de testage dans le noyau de sélection (CLO), les béliers d'IA élites (pères à béliers) sont utilisés prioritairement en CLO. Un tel schéma de sélection en ovins laitiers suppose donc un cheptel important de béliers d'IA vivants, moyennement connus à l'issue du testage (30 à 40 filles) et à capacité individuelle de diffusion très modérée comparativement aux bovins ;

- Enfin, bien qu'un tel schéma de sélection soit très différent du schéma de sélection classique alors pratiqué en bovins laitiers, à son optimum, il peut fournir un gain génétique annuel comparable, à savoir 0,20 à 0,25 écart-type génétique par an, c'est-à-dire 2 à 2,5%

Figure 1. Gestion pyramidale du schéma de sélection d'une population de brebis laitières, avec les éleveurs du noyau de sélection (en Contrôle Laitier Officiel (CLO)) créateurs des évolutions génétiques de la population, et les éleveurs hors noyau de sélection (en Contrôle Laitier Simplifié (CLS) ou hors contrôle laitier) utilisateurs des évolutions génétiques du noyau de sélection, via les béliers d'IA et de monte naturelle sélectionnés en CLO (Source : Barillet 1997).

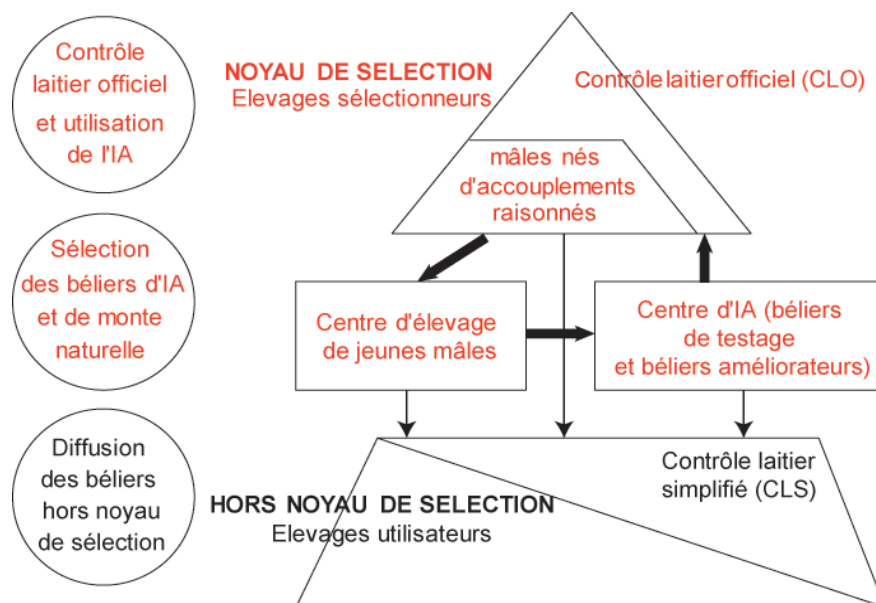
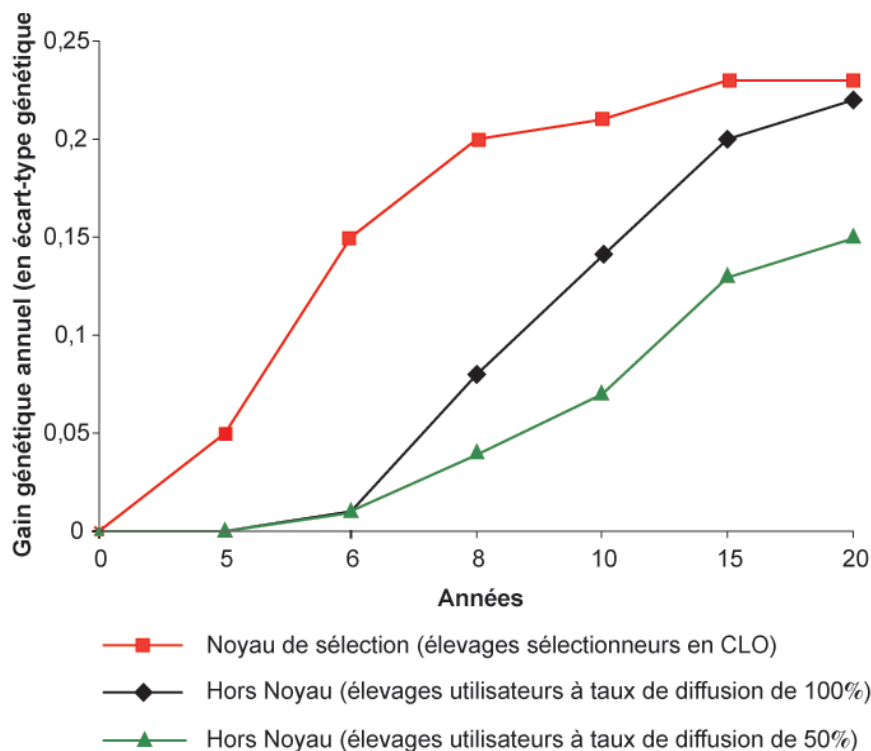


Figure 2. Evolution du progrès génétique annuel dans le noyau (éleveurs sélectionneurs) et hors noyau de sélection (élevages utilisateurs) depuis le démarrage du schéma de sélection (Source : Vallerand et Elsen 1979).



de la moyenne de la population en sélection (figure 2).

Les principaux résultats des mêmes travaux de modélisation, pour les éleveurs utilisateurs, sont les suivants :

- À l'équilibre, en régime de croisière pour les éleveurs utilisateurs, le gain génétique annuel est le même que celui du noyau de sélection (figure 2) ;

- À l'équilibre pour les utilisateurs, il existe un décalage de temps entre le niveau génétique moyen du noyau de sélection et celui de la population de base, fonction du taux de diffusion vers les élevages utilisateurs. Ce taux de diffusion peut être estimé par le pourcentage de béliers utilisés (*via* l'IA et la MN) dans les élevages utilisateurs et issus du noyau de sélection dans lequel ils ont été sélectionnés : ce décalage de temps peut être limité à 5-10 ans pour un taux de diffusion voisin de 100% (figure 2).

1.2 / Rationnaliser dans le temps les objectifs de sélection laitière

Dans la phase de démarrage du schéma de sélection, on choisit délibérément de limiter l'objectif de sélection à la seule *Quantité de Lait* (QL), dans le but de réduire au maximum le coût du phénotypage, pour atteindre le plus rapidement possible 15 à 20% de brebis en

CLO (tableau 1). Une telle simplification de l'objectif initial de sélection est justifiée par un progrès génétique annuel négligeable à faible pour la QL, de sorte que le niveau génétique moyen pour la richesse du lait (TB et TP) demeure quasi stable. Il est également essentiel de privilégier le développement de l'IA en CLO dans cette phase de démarrage.

Puis intervient le régime de croisière pour la QL, qui peut se traduire par un gain génétique annuel pour la QL de 2 à 2,5% de la moyenne du noyau de sélection, si le schéma de sélection est proche de l'optimum (Barillet et Elsen 1979), avec un taux de testage de 50 à 60% en CLO et des béliers testés sur 30 à 40 filles. Pendant cette dizaine d'années (tableau 1), il devient alors important d'optimiser la diffusion vers les élevages utilisateurs, *via* les béliers d'IA et surtout les béliers de MN fils de béliers d'IA, pour minimiser le décalage de temps entre éleveurs en CLO et éleveurs utilisateurs (figure 2).

En régime de croisière, la simplification de l'objectif de sélection (QL seule) n'est pas acceptable trop longtemps, étant donné l'opposition génétique marquée entre QL et composition chimique du lait (TB et TP). Un nouveau démarrage devient nécessaire (tableau 1), avec la mise en place du contrôle laitier qualitatif (prises d'échantillons de lait)

permettant la maîtrise génétique des quantités et taux de matière grasse et de protéine du lait (QMG, QMP, TB et TP respectivement), qui sont les vrais critères fromagers de sélection.

1.3 / Le nécessaire allègement du CLO

La rationalisation dans le temps des objectifs du CLO est nécessaire mais pas suffisante. L'allègement du CLO doit intervenir dès la phase de démarrage et s'amplifier encore plus lors de la prise en compte des taux (TB et TP) quelque 20 ans après (tableau 1), faute de quoi le phénotypage de tous les caractères laitiers ne pourra pas être mise en œuvre à l'échelle de tout le noyau de sélection.

Sur le plan international, le contrôle laitier de référence correspond au contrôle de la production journalière (traites du soir et du matin) selon une périodicité mensuelle (codifié A₄ selon la nomenclature internationale de l'ICAR, cf. encadré 1) : il induit une perte de précision limitée à 2-3% comparativement à la mesure vraie qui correspondrait à un contrôle laitier journalier des deux traites quotidiennes. Si on veut diminuer le coût de ce contrôle de référence A₄ deux stratégies sont possibles en supprimant dans les deux cas la moitié des contrôles : soit garder le contrôle des deux traites journalières et passer à un rythme bimensuel, soit garder le rythme mensuel et ne contrôler que l'une des deux traites journalières. C'est la deuxième stratégie qui est la plus précise, car les corrélations entre contrôles laitiers mensuels sont plus faibles que les corrélations entre traites du soir et du matin d'un même contrôle (Barillet et al 1987). Le contrôle mensuel alterné matin et soir AT₄ est ainsi utilisé en bovins et caprins laitiers, quand on veut en diminuer le coût. En ovins laitiers, un contrôle original d'une seule des 2 traites mensuelles a été conçu en 1970 par Flamant et Poutous (1970) : il s'agit du contrôle mensuel d'une seule des deux traites journalières ajustée par l'information du lait produit par le troupeau (tank) sur les deux traites du jour, codifié maintenant AC par l'ICAR. Il est généralisé en CLO des ovins laitiers en France depuis 1977. On verra que l'absence d'obligation d'alternance d'un mois sur l'autre est mise à profit pour alléger le contrôle laitier qualitatif des brebis (tableau 2).

Le contrôle qualitatif à partir du contrôle laitier AC, qui supposerait des prises d'échantillons de lait pour toutes les brebis à chaque contrôle mensuel de la traite contrôlée, serait beaucoup trop coûteux pour envisager sa mise en œuvre à l'échelle du CLO. Pour concevoir l'allègement possible, un contrôle de référence

Tableau 1. Niveau d'organisation et évolution dans le temps du schéma de sélection de chaque race de brebis laitières françaises (Sources : Idele, INRA et CNBL 2015).

Phases	Caractères inclus dans l'ISOL ⁽¹⁾	Races		
		Lacaune	ROLP ⁽²⁾	Corse
Conception des outils		1955-1965		
Démarrage (lait)	QL	1965-1975	1975-1987	1995-2005
Croisière (lait)	QL	1975-1985	1987-2000	2005-
Démarrage (taux)	QMG, QMP	1985-1992	2000-2008	
Croisière (taux)	QMG, QMP, TB, TP	1992-2005	2008-2016	
Démarrage (fonctionnel)	QMG, QMP, TB, TP, CCS, morpho ⁽³⁾	2005-2010	2016-	
Croisière (fonctionnel)	QMG, QMP, TB, TP, CCS, morpho ⁽³⁾	2010-		

⁽¹⁾ plus sélection pour la résistance à la tremblante (gène PrP, à partir de 1998 ou 2001 selon la race).

⁽²⁾ ROLP = Races Ovines Laitières des Pyrénées.

⁽³⁾ morphologie mammaire externe.

Tableau 2. Précision et héritabilité des caractères laitiers, mesurés par le contrôle laitier AC pour la Quantité de Lait (QL) et par le Contrôle Laitier Qualitatif Ponctuel (CLQP) pour les taux (TB et TP) et les CCS du lait, comparativement au contrôle laitier A₄ de référence (Sources : Barillet 1985, Barillet et al 2001a, Rupp et al 2003, Astruc et Barillet 2004).

Caractère et mesure	Comparaison avec le contrôle A ₄ de référence		
	Perte de précision (%)	Héritabilité	Corrélation génétique avec la mesure A ₄
QL en contrôle AC	1-2	0,30 similaire A ₄	0,99
TB en CLQP	15-20	0,35 à 0,40 inférieure A ₄	0,96
TP en CLQP	10-15	0,45 à 0,50 inférieure A ₄	0,99
LSCS (CCS) en CLQP	2-3	0,14 similaire A ₄	0,98

Contrôle A₄ = contrôle laitier de la production journalière (traites du soir et du matin) selon une périodicité mensuelle.

Encadré 1. L' « International Committee for Animal Recording (ICAR) ».

Le groupe technique ovins laitiers de l'ICAR, créé en 1988, a toujours été présidé par La France, ce qui a permis de promouvoir au plan international la stratégie et les options décrites dans le présent article depuis le premier règlement international en 1992 (ICAR 1992), jusqu'à la dernière mise à jour (ICAR 2014). En Contrôle Laitier Officiel (CLO), réalisé chez les éleveurs sélectionneurs (figure 1), seul le contrôle laitier de la Quantité de Lait (QL) est obligatoire, le contrôle qualitatif (TB et TP) ou des cellules somatiques (CCS) étant optionnels, en fonction du niveau d'avancement de la sélection laitière de la population concernée. L'ICAR recommande d'alléger le CLO des brebis, en faisant la promotion du contrôle AC (QL) et du Contrôle Laitier Qualitatif Ponctuel (CLQP) (TB, TP et CCS). Le contrôle AC est devenu une nomenclature ICAR pour le terme C au même titre que le terme T pour le contrôle laitier mensuel alterné par exemple, codifié contrôle AT₄.

Le Contrôle Laitier Simplifié (CLS) est décrit avec la nomenclature ICAR D. Appliqué chez les éleveurs utilisateurs (figure 1), le CLS à la française ne comporte que 2 à 4 contrôles de la QL par élevage et par an (vs un contrôle mensuel de la QL pour le CLO en AC₄), suffisants pour classer les brebis par groupes intra-troupeau, afin de gérer renouvellement et réforme dans l'élevage utilisateur en CLS (Cottier 1972), qui s'approvisionne par ailleurs en béliers sélectionnés dans le CLO (cf. § 1.1).

Le CLQP du CLO fournit des phénotypes dédiés à la sélection (élevages du noyau de sélection), dont la valorisation à des fins d'appui technique pour les TB et TP du troupeau demande des précautions (primipares ou deux premières lactations à la traite du matin pendant une partie de la lactation). Une méthode d'appui technique utilisant l'information des TB et TP du lait du tank, sachant la structure du troupeau (âges et stades moyens de lactation des brebis contribuant au lait du tank) et la conduite alimentaire, a donc été développée en conséquence (Frayssé et al 1996). Cette démarche valorise les informations du tank et résultats de reproduction disponibles, que l'élevage soit en CLO, CLS ou uniquement en appui technique.

A₄ pour la QL et les taux (TB, TP) a donc été mis en place à titre expérimental de 1979 à 1981 dans 10% des élevages du noyau de sélection Lacaune. Nous disposons ainsi des résultats de référence (méthode A₄) pour les cinq caractères laitiers à la période de traite exclusive (après le sevrage des agneaux) : les Quantités de Lait (QL), de Matière Grasse (QMG) et de Matière Protéique (QMP), et les Taux Butyreux (TB) et de Protéines (TP). En termes fromagers, TB+TP et TB/TP du lait sont des bons prédicteurs du rendement fromager et du gras sur sec du fromage étant donné que le lait est valorisé cru et entier pour les fromages d'AOP de brebis, tandis que QMG+QMP du lait prédit la quantité de fromage (Barillet *et al* 1998). Il a ainsi été possible de concevoir un contrôle laitier qualitatif ponctuel (CLQP) du TB et du TP tirant partie à la fois de la saisonnalité de la production et du déterminisme génétique du TB et du TP : au moins deux échantillons de lait, si possible trois, sont prélevés mensuellement à la traite du matin parmi les quatre premiers contrôles laitiers mensuels de chaque brebis en première lactation, ou mieux lors de ses deux premières lactations (Barillet 1985). Par rapport au contrôle de référence A₄, on ne prélève ainsi que 15% (première lactation) à 30% (deux premières lactations) des échantillons de lait pour le TB et le TP d'une

brebis comparativement aux échantillons qui auraient été prélevés pendant toute sa carrière. Les prélèvements sont réalisés à la traite du matin, car plus précis pour le TB, ce qui suppose de pratiquer pour la quantité de lait un contrôle mensuel AC systématiquement à la traite du matin. Il s'agit donc d'un phénotype nettement sous-estimé pour le TB (à savoir gérer en appui technique), ce qui ne pose pas de problème sur le plan génétique, car cela est pris en compte efficacement dans l'effet élevage \times contrôle. Un tel allègement est génétiquement possible et efficace pour les taux (TB ou TP), car les corrélations génétiques entre mesures mensuelles et mesures à la lactation sont très élevées (entre 0,9 et 1), signifiant que ce caractère (TB ou TP) reste le même au cours de la lactation, de même qu'entre lactations. S'il ne modifie pas la nature du caractère, le nombre de mesures (prélèvements de lait) de chaque taux modifie son héritabilité (tableau 2), qui augmente de 0,3 pour une mesure mensuelle, à 0,4-0,5 avec le contrôle qualitatif ponctuel, et 0,5-0,6 à la lactation pour le protocole A₄ (Barillet 1985). *In fine*, l'héritabilité des TB ou TP en CLQP étant égale à supérieure à celle de la QL à la lactation (0,30), une telle précision des taux est compatible avec le testage sur descendance des béliers sur 30 à 40 filles, calibré pour l'héritabilité de la QL (0,30).

1.4 / Paramètres génétiques des caractères laitiers

Globalement les paramètres génétiques entre les cinq caractères par lactation (à la traite exclusive en brebis) sont comparables dans les trois espèces laitières (Barillet et Boichard 1987, Boichard et Bonaiti 1987, Boichard *et al* 1989, Sanna *et al* 1997). Les quantités sont génétiquement assez variables (CV_g de 10 à 15%) et moyennement héritables ($h^2 = 0,25$ à $0,30$). Les taux sont plus héritables (de l'ordre de 0,50 à 0,60 avec le contrôle A₄, ou de l'ordre de 0,40 à 0,50 avec le CLQP en ovin), mais relativement peu variables (CV_g de l'ordre de 8% pour le TB et 5% pour le TP), avec une corrélation génétique entre eux comprise entre 0,5 et 0,7. La sélection des taux est donc potentiellement plus facile que celle des quantités, mais elle donne des progrès relatifs plus réduits. La QL et les taux sont en opposition, avec des corrélations génétiques négatives de l'ordre de - 0,3 pour le TB et - 0,5 pour le TP. Les corrélations entre quantités sont fortes, de l'ordre de 0,7 à 0,8 entre QL et QMG, et d'environ 0,9 entre QL et QMP. Les corrélations entre quantités de matière et taux sont proches de zéro. Elles sont cependant positives entre QMG et TB (de l'ordre de 0,2 à 0,3) et légèrement négatives entre

QMP et TP (- 0,1). Ces résultats s'expliquent essentiellement par l'opposition lait – taux et la variabilité plus faible du TP que du TB (Barillet et Boichard 1987). Pour la QL, les paramètres sont relativement stables entre lactations. La corrélation génétique entre lactations est supérieure à 0,9 entre lactations de rang supérieur à 1. Elle est un peu moins élevée entre première lactation et les suivantes, tout en restant compatible avec une indexation de la QL comme un même caractère avec répétitions entre lactations.

1.5 / Nouvel objectif de sélection laitière et deuxième démarrage du schéma de sélection

Une nouvelle phase de démarrage permet le passage progressif à une sélection de la quantité de matière sèche utile du lait (QMG et QMP) à la place de la Quantité de Lait (QL) : avec un Index de Synthèse Ovin Lait (ISOL) du type $ISOL = a \text{ QMG} + b \text{ QMP}$ (tableau 1), on vise dans un premier temps à limiter la baisse génétique annuelle des taux (TB et TP), tout en augmentant la quantité de fromage (QMG et QMP). Au bout de 5 à 7 ans, le schéma de sélection atteint un nouveau régime de croisière, de sorte qu'il est alors possible de durcir la sélection en faveur des taux avec un ISOL de type $a \text{ QMG} + b \text{ QMP} + c \text{ TB} + d \text{ TP}$ (tableau 1), pour obtenir un gain génétique annuel à la fois sur la quantité de fromage et le rendement fromager. A noter que, pour le premier index de synthèse $ISOL = a \text{ QMP} + b \text{ QMP}$, étant donné les corrélations génétiques très élevées entre les deux matières et la différence de variabilité génétique en faveur de la QMG, le choix des paramètres a et b est très robuste quant aux conséquences sur les gains génétiques respectifs de la QMG et de la QMP, dès lors que $b > a > 0$ (Barillet et Bonaiti 1992). En revanche, pour le deuxième index de synthèse $ISOL = a \text{ QMG} + b \text{ QMP} + c \text{ TB} + d \text{ TP}$, le choix des paramètres c et d n'est plus robuste et doit être adapté à la valorisation du lait (en fromage en brebis) et son paiement, car il affecte directement la balance entre les gains sur les matières QL, QMG et QMP (quantité de fromage) et les gains génétiques sur les taux TB, TP (rendement fromager) et leur rapport TB/TP (gras sur sec du fromage).

La prise en compte du CLQP induit des conséquences génétiques importantes sur la construction de l'index de synthèse ISOL. Ce CLQP couplé au contrôle AC en CLO permet donc de fournir des index des reproducteurs calculés à partir de toutes les lactations pour la QL et des index QMG, QMP, TB et TP calculés uniquement à partir des deux premières

lactations (race Lacaune) ou de la première lactation (races des Pyrénées) en CLQP. Les caractères principaux correspondent maintenant aux QMG et QMP du lait à la place de la QL. Sachant que chaque taux (TB et TP) du lait correspond au même caractère exprimé au cours de la lactation ou entre lactations avec plus ou moins de précision selon le nombre d'échantillons de lait réalisés par brebis (principe du CLQP), il est important de remplacer les index principaux QMG et QMP de ISOL calculés uniquement à partir de la ou des deux premières lactations par des équivalents index QMG et QMP toutes lactations (Barillet 1985) : ces derniers sont construits à partir des index QL toutes lactations et des index TB et TP assimilables à des index toutes lactations, en appliquant la linéarisation des produits (Kendall et Stuart 1958). Cette linéarisation est réalisée et remise à jour à partir des informations économiques issues des tanks des troupeaux (paiement du lait) permettant de calculer, à l'élevage et par strate d'éleveurs CLO (sélectionneurs) vs CLS (utilisateurs), la production laitière QL et les taux TB et TP par élevage et par campagne (figures 3 et 4).

1.6 / La sélection laitière de la race Lacaune

La décennie 1955-1965, foisonnante d'innovations et d'initiatives de la profession et de la recherche, permet le démarrage effectif en 1965 avec les premiers résultats d'index sur descendance de quelques béliers. *La décennie 1965-1975 de démarrage de la sélection sur la QL* (tableau 1) connaît un évènement remarquable avec le dédoublement en deux ans du noyau de sélection Lacaune, suite à la création d'Ovistest en 1972. Ainsi, dès la fin de la décennie 1970, le noyau de sélection Lacaune est constitué de deux entités de même taille avec 150 sélectionneurs par Entreprise de Sélection (ES), le Service Elevage de la Confédération Générale de Roquefort et la coopérative Ovistest. L'UPRA Lacaune est le parlement de la race permettant d'harmoniser les schémas de sélection des deux ES, utilisant le même index de synthèse ovin lait (ISOL) adopté de concert (tableau 1). *Pendant la période 1975-1985 du régime de croisière pour la QL* (tableau 1), l'augmentation de la taille du noyau de sélection (20% de la population) et la progression spectaculaire de l'IA (80% en CLO) ont porté la capacité de testage à 400 béliers par an. C'est également dans cette période que le CLS se développe fortement, avec un taux de diffusion du CLO vers le CLS voisin de 100% (quelque 2 000 béliers nés d'accouplement raisonnés en CLO chaque année et 30% d'IA en CLS). En accord avec les modélisations (partie 1.1), le gain phénotypique annuel pour la QL est

Figure 3. Evolution phénotypique en race Lacaune de la Quantité annuelle de Lait (QL) par brebis (information des tanks) des élevages sélectionneurs en CLO et des élevages utilisateurs en CLS, pendant la phase de démarrage du schéma de sélection (1965-1980), puis en régime de croisière à partir de 1980 (Source : base de données SIEOL, volet appui technique).

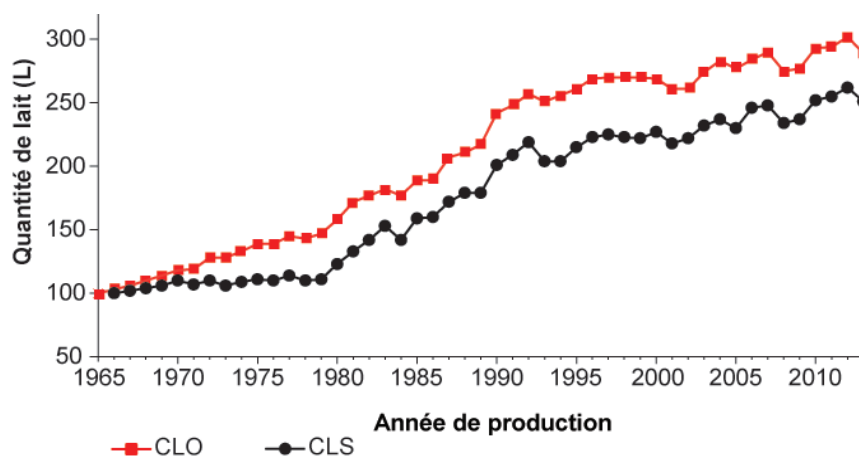
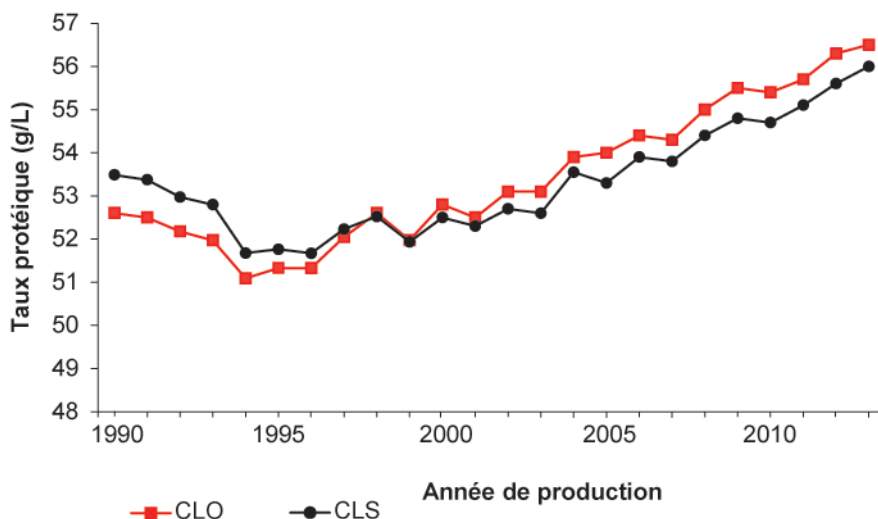


Figure 4. Evolution phénotypique en race Lacaune du Taux Protéique annuel (TP) des laits de tank des élevages sélectionneurs en Contrôle Laitier Officiel (CLO) et des élevages utilisateurs en Contrôle Laitier Simplifié (CLS) de 1990 à 2013 (Source : base de données SIEOL, volet appui technique).



identique en CLO et CLS à partir de la décennie 1980 (figure 3). La différence de moyennes de production laitière de 30-40 litres entre CLO et CLS correspond à un écart de 5-6 ans, reflet d'un taux de diffusion proche de 100%. Il est probable par ailleurs que l'écart de niveau génétique moyen entre CLO et CLS est inférieur au décalage phénotypique constaté de 5-6 ans, si on fait l'hypothèse d'effets du milieu plus favorables en CLO qu'en CLS (gradient de technicité des éleveurs).

La phase de démarrage de la sélection pour la richesse du lait (TB et TP) intervient en 1985, avec la mise en place du CLQP des primipares Lacaune (Barillet 1985), et le début de la sélection sur la quantité de matière sèche utile du lait (tableau 1). Le niveau génétique des béliers d'IA nés de 1986 à 1992 se stabilise alors pour le TB et le TP (résultats

non présentés). Le régime de croisière pour la richesse du lait (TB et TP) débute à partir de 1992 avec la pratique du CLQP appliquée aux deux premières lactations et à l'incorporation du TP dans l'index de synthèse ISOL (tableaux 1 et 3). Le gain génétique annuel est désormais de 5,7 litres pour la QL et de 0,16 et 0,12 g/L respectivement pour le TB et le TP (tableau 4). L'évolution phénotypique des taux des laits des tanks du CLO vs CLS, présentée pour le TP en race Lacaune (figure 4), permet d'observer sa stabilisation dans les années 1990-1998, le croisement des TP du CLO et CLS en 1998, suivi ensuite d'un gain phénotypique identique en CLO et CLS, avec un décalage de temps en faveur du CLO, deuxième illustration de la gestion pyramidale de la population et du taux de diffusion de 100% du CLO vers le CLS pour le TP du lait maintenant (figure

4), à l'instar de ce qui s'était passé dans la décennie précédente pour la QL (figure 3). Ces résultats confirment pleinement les modélisations de la partie 1.1 et fournissent une autre information pratique : s'il avait fallu 10 à 15 ans pour atteindre le premier régime de croisière pour la QL, le régime de croisière du deuxième démarrage pour les taux (TB et TP) peut être atteint plus rapidement au bout de 5 à 7 ans, à condition que les nouveaux phénotypes des taux soient disponibles dès le début du deuxième démarrage. Il ne s'agit plus en effet de constituer un cheptel de béliers d'IA améliorateurs, mais de le renouveler avec un nouvel ISOL (tableau 3).

La stratégie de rationaliser dans l'espace (gestion pyramidale) et dans le temps (phases successives) les objectifs de sélection laitière a effectivement permis de transformer en quatre décennies la brebis Lacaune en une brebis à la fois à potentiel laitier et taux de matière utile du lait élevés, à l'échelle d'une population de grande taille, qui a augmenté de 450 000 à 750 000 brebis pendant ce même laps de temps.

1.7 / La sélection laitière des races ovines laitières des Pyrénées

La phase de démarrage réelle des schémas de sélection des races ovines laitières des Pyrénées (ROLP) a débuté en 1975 avec la création de la CIOP, coopérative d'insémination ovine des Pyrénées (tableau 1), quand le cheptel comprenait 230 000 brebis laitières. Le régime de croisière pour la sélection de la QL débute en 1987, en couplant CLO et IA, au moment où le CLO représente 15% de la population des ROLP et le taux d'IA en CLO 30%. La progression de la taille des noyaux de sélection (20% en 1995) et du taux d'IA en CLO (50% en 1995) va permettre de tripler la capacité de testage, avec 140 béliers d'IA par an au milieu des années 90, pour atteindre 230 béliers par an début 2000. Si le cheptel de brebis des ROLP progresse de 230 000 à 400 000 brebis pendant cette période, la dynamique est très différente entre les trois races, avec une population constante en race Basco-Béarnaise (BB), une diminution continue de la population en race Manech Tête Noire (MTN) et une forte progression de la population en race Manech Tête Rousse (MTR). Ainsi en 2008, au début du régime de croisière pour la richesse du lait, la population MTR est une population de taille moyenne, avec 265 000 brebis dont 29% en CLO permettant le testage de 150 béliers d'IA par an ; la population BB constante et de plus petite taille compte 80 000 brebis, dont 30% en CLO autorisant le testage de 50 béliers d'IA par an ; et la population MTN est en diminution continue, actuellement 80 000 brebis,

Tableau 3. Poids relatifs des caractères laitiers et des caractères fonctionnels, exprimés en unités d'écart-type génétique, dans l'index de synthèse ovin lait (ISOL), selon la race de brebis laitières et la période (Sources : Idele, INRA et CNBL 2015).

Races	Index de synthèse ovin lait (ISOL)	Poids relatifs des caractères (pivot 1 pour QMP)							
		Caractères laitiers					Caractères fonctionnels		
		QL	QMG	QMP	TB	TP	CCS	Morphologie mammaire	
Lacaune	1965	1							
	1987		0,72	1					
	1992		0,74	1		0,58			
	2005		0,74	1	0,22	0,22	1,09	1,09	
Corse	1995	1							
Manech tête rousse ⁽¹⁾	1985	1							
	2000		0,66	1					
	2011		0,68	1	0,34	0,41			
	2016		0,68	1	0,34	0,42	0,18	-	
Manech tête noire ⁽¹⁾	1985	1							
	2000		0,67	1					
	2011		0,67	1	0,24	0,31			
	2016		0,67	1	0,26	0,30	0,09	-	
Basco-Béarnaise ⁽¹⁾	1985	1							
	2000		0,72	1					
	2011		0,71	1	0,31	0,36			
	2016		0,74	1	0,31	0,36	0,15	-	

⁽¹⁾ ROLP : démarrage de la sélection des CCS en 2016 ; de la morphologie mammaire en 2018 ou 2019.

Tableau 4. Gain génétique annuel selon la race de brebis laitières et la période (Sources : Idele, INRA et CNBL 2015).

Races	Période	Sexe (effectif)	Progrès génétique annuel (Δg / an)				
			QL (L)	TB (g/L)	TP (g/L)	CCS (σ_g ⁽¹⁾)	Global (σ_g ⁽¹⁾)
Lacaune	1980-1990	♂ (3560)	7,3				
	1985-2005	♂ (8272)	5,7	0,16	0,12		
		♀ (438325)	5,7	0,15	0,13		
	2005-2015	♂ (4706)	3,8	0,21	0,16	0,07	
		♀ (429066)	4,0	0,20	0,16	0,05	
2008-2015	♂ (3326)	4,1	0,17	0,16	0,09	0,23	
Corse	1995-2015	♂ (480)	1,5				
		♀ (70518)	1,3				0,10
Manech tête rousse	1990-2000	♂ (951)	4,5				
	2000-2015	♂ (2303)	3,2	0,07	0,02		
		♀ (203768)	3,5	-0,08	-0,04		
2010-2015	♀ (87238)	2,8	0,16	0,05		0,17	
Manech tête noire	1990-2000	♂ (236)	3,1				
	2000-2015	♂ (454)	2,6	-0,14	-0,14		
		♀ (35045)	2,6	-0,10	-0,10		
2010-2015	♀ (8988)	2,2	0,04	-0,01		0,11	
Basco-Béarnaise	1990-2000	♂ (216)	3,2				
	2000-2015	♂ (714)	3,2	0,00	-0,03		
		♀ (62704)	3,1	-0,04	-0,07		
2010-2015	♀ (22380)	2,9	0,11	0,00		0,16	

⁽¹⁾ σ_g = écart-type génétique.

dont seulement 16% en CLO permettant le testage de 30 béliers d'IA par an.

Dans la période 1990-2000 de régime de croisière pour la QL (tableau 1), le gain génétique annuel pour les béliers d'IA était de 3,1, 3,2 et 4,5 litres par an, respectivement en races MTN, BB et MTR (tableau 4). Depuis 2000, avec le démarrage de la sélection pour la richesse du lait (tableau 1), le gain génétique annuel pour la QL des brebis est de 2,6, 3,1 et 3,5 litres respectivement en races MTN, BB et MTR. Le gain phénotypique des brebis pour la QL est quasi le double, du fait de l'amélioration simultanée de leur potentiel laitier et des effets (conduite) d'élevage (résultats non présentés) en CLO. La réussite de la sélection laitière garantit donc le maintien des races locales Basco-Béarnaise et Manech dans les Pyrénées.

Logiquement le démarrage de la sélection pour la richesse du lait des ROLP aurait dû intervenir au milieu des années 1990 : le CLQP en primipares avait effectivement été mis en place en 1990 dans 1/10 des 350 éleveurs en CLO des ROLP, afin de valider sa pertinence, sans passer par une phase expérimentale initiale de contrôle expérimental A₄ très coûteuse. Après validation, l'objectif était la montée en puissance du CLQP. Mais celle-ci a dû être différée jusqu'en 2000 pour les races BB et MTN, et même 2002 en race MTR, à cause d'une autre priorité qui était devenue encore plus importante, et risquait de remettre en cause la stratégie de sélection des races locales dans leur bassin respectif de production, particulièrement pour la race MTR : il s'agissait de la tremblante ovine, qui fait l'objet de la partie 2.1.

Le démarrage réel de la sélection des taux en ROLP débute donc en 2000, sur la base du CLQP en primipares (tableau 1), avec un nouvel ISOL sur la quantité de matière sèche utile de lait de 2000 à 2008 ; et le régime de croisière sur les taux à partir de 2008 avec des poids significatifs des TB et TP modulés selon la race (tableaux 1 et 3). Pour la période 2000-2015, on observe effectivement une stabilisation du niveau génétique du TB et du TP pour les béliers comme les brebis du CLO en races BB et MTR (tableau 4). Pour la période récente 2010-2015 et pour les brebis en CLO des trois races, on commence à constater une amélioration génétique annuelle pour les taux, plus marquée en race MTR (0,16 et 0,05 respectivement pour le TB et le TP) qu'en races BB ou MTN (tableau 4), en accord avec les poids respectifs accordés aux TB et TP dans l'ISOL de chacune des 3 races depuis 2011 (tableau 3). L'ensemble de ces résultats valide l'efficacité du CLQP en ROLP pour améliorer la quantité et le taux de matière

sèche utile du lait, à l'instar des résultats homologues disponibles en race Lacaune depuis la décennie 1990. La maîtrise génétique de la résistance à la tremblante des ROLP maintenant acquise après 20 ans de travail, l'arrivée en régime de croisière pour les taux des ROLP à partir de 2008 conforte la stratégie de sélection des races locales de brebis laitières françaises dans leur bassin respectif de production.

1.8 / La sélection laitière de la race Corse

Jusqu'en 1992, les béliers étaient sélectionnés sur ascendance maternelle (mères à béliers) et paternelle, à condition que les éleveurs en CLO n'utilisent que des béliers de MN issus du centre d'élevage en absence de lutte contrôlée en MN. Après des essais fructueux en 1992-93, l'utilisation de l'IA s'est développée pour atteindre aujourd'hui 40% d'un noyau de sélection de 16 000 brebis détenues par 50 éleveurs en CLO, soit 19% de brebis en CLO pour une population de 83 000 brebis chez 390 éleveurs. La capacité de testage annuelle d'environ 30 béliers sur la QL permet en régime de croisière pour la QL (tableau 1) un gain génétique annuel substantiel de 1,5 litre par an, soit 0,10 écart-type génétique par an (tableau 4). En outre, le centre d'élevage de jeunes béliers, de grande taille (400 jeunes béliers), permet d'approvisionner à la fois le centre d'IA et 2/3 des éleveurs utilisateurs en béliers de MN fils de béliers d'IA améliorateurs. La maîtrise à la fois des conditions d'élevage et génétique du port des cornes des béliers mis à la vente contribue au succès bien installé maintenant depuis 15 ans de la sélection de la brebis Corse. A notre connaissance, cette situation est unique pour les races locales de brebis laitières des îles méditerranéennes, d'autant que la sélection pour la résistance à la tremblante a aussi été mise en œuvre pour la race Corse comme pour l'ensemble des races ovines françaises en sélection.

1.9 / La gouvernance de chaque race locale

Le schéma de sélection Lacaune débute dans les années 1960, ceux des ROLP 15 ans plus tard, et celui de la race Corse dans les années 1990. La dynamique d'un groupe d'éleveurs qui décide de gérer sa race locale est donc indispensable à la mise en place du processus de sélection collective. Chaque race locale constitue un bien commun géré de façon patrimoniale, ce qui nécessite un consensus entre les éleveurs autour d'un même projet : la pérennité et la gestion de la population en question (Labatut *et al* 2012). La coopération entre éleveurs suppose donc la définition et l'acceptation de règles collectives de gouvernance du schéma de sélection : des objectifs de sélection par-

tagés, la définition et gestion des outils de sélection, la qualification et usage des reproducteurs, à la fois pour les éleveurs sélectionneurs et utilisateurs.

En race Lacaune, le projet commun de sélection de la race locale, adopté dans les années 1970, a toujours été validé depuis par l'ensemble des organismes d'éleveurs concernés (les 2 ES et l'OS Lacaune), de l'évolution au fil des décennies de l'ISOL partagé, jusqu'au passage concerté à la Sélection Génomique (SG) en 2015 (Astruc *et al* 2016, ce numéro). La création en 1972 d'une deuxième ES était essentiellement le reflet d'une divergence entre éleveurs sélectionneurs sur le niveau d'intégration dans la gestion des béliers d'IA et de MN du noyau de sélection : dans cette deuxième ES, tous les béliers nés d'accouplements raisonnés en CLO appartiennent à cette ES et intègrent le Centre d'Élevage (CE), qu'ils soient destinés au centre d'IA (CIA) ou futurs béliers de MN. L'autre ES Lacaune, promotrice à l'époque d'une gestion mixte des béliers sélectionnés dans le CLO, a revu en 2015 sa politique en la matière avec ses éleveurs sélectionneurs, pour entrer le nombre de jeunes mâles en CE nécessaires pour exercer la pression de SG requise (Astruc *et al* 2016, ce numéro). *In fine*, l'existence de deux ES repliquant la même sélection avec la même efficacité est à la fois une richesse et une sécurité pour l'OS Lacaune, et donc pour les éleveurs de race Lacaune (lait).

Les éleveurs des ROLP se sont organisés dans les années 1970-80 pour créer leurs organismes de sélection (le CDEO, la CIOP et l'OS des ROLP), en un même lieu à Ordiarp, pour un projet faisant consensus : la défense du bien commun constitué par les trois ROLP contre l'utilisation de la race exogène Lacaune en Pyrénées. Mais l'évolution génétique différentielle entre les trois ROLP (tableau 4), inhérente au déclin continu de la population MTN, a été et est source de tensions et de controverses en race MTN : remise en cause (non fondée), dans les années 1990, des connaissances génétiques sur la résistance à la tremblante ; contestation *via* une organisation d'éleveurs en opposition (Buru Beltza) du schéma de sélection MTN et des pondérations accordées respectivement à l'ISOL et au standard de la race, pour qualifier les reproducteurs (Labatut *et al* 2012). La tentative de rapprochement en cours entre les éleveurs du noyau de sélection MTN de l'OS des ROLP et les éleveurs de l'Association Buru Beltza, pour relancer le noyau de sélection MTN en déclin, est donc déterminante pour l'avenir de la race MTN. Aboutissement des mesures existantes de lutte contre la tremblante classique (PNAGRTc et police sanitaire), le projet consensuel porté

nationalement par la profession ovine d'inventaire annuel des béliers reproducteurs (et de leur génotype PrP) dans tous les élevages ovins français s'est mis en place à partir de 2011 (Sidani *et al* 2013) : il permet ainsi de constater, dans les Pyrénées Atlantiques, la bonne diffusion des béliers nés et sélectionnés dans les noyaux de sélection vers les élevages utilisateurs des ROLP, y compris en race MTN. La diffusion effective vers les élevages utilisateurs mérite donc d'être prise en compte, alors que le processus de relance du consensus entre éleveurs MTN est en cours. Enfin, l'investissement réalisé pour le passage à la SG en 2017, conjointement pour les trois ROLP (Astruc *et al* 2016), avec la redéfinition en cours des relations contractuelles entre sélectionneurs et OS des ROLP pour la gestion des jeunes béliers génotypés, constitue un choix fort au service du bien commun des trois ROLP.

En Corse, la stabilité du schéma de sélection de la race locale, géré par les éleveurs fédérés au sein de l'OS Corse, intervient dans les années 1990, avec les essais fructueux d'introduction de l'IA dans le noyau de sélection. Pour faire face aux critiques concernant le port des cornes des jeunes béliers issus du schéma de sélection, la démarche réussie de formalisation d'une grille de pointage du port de cornes des béliers a débouché sur la maîtrise conjointe des conditions d'élevage et de sélection en CE du cornage des jeunes béliers : le CE de grande taille permet ainsi d'approvisionner 2/3 des éleveurs de la population de brebis corses en béliers de MN sélectionnés dans le noyau de sélection depuis maintenant 10 ans.

Dans tous les cas, le fait déterminant dans la mise en place de schémas de sélection, à l'échelle des cinq populations de races locales de brebis laitières françaises, a correspondu et correspond à la volonté de gestion par les éleveurs du bien commun que constitue la race locale dans son territoire. Les choix de gouvernance des organimes de sélection (actuellement ES et OS) et des outils de sélection doivent donc être revisités par les éleveurs, co-gestionnaires de ce bien commun, avec les évolutions techniques, réglementaires et économiques qui interviennent au fil du temps. La période actuelle est riche en la matière, en ne citant que le futur règlement zootechnique européen (texte officiel en 2016) et l'entrée des brebis laitières en France dans l'ère de la SG (Astruc *et al* 2016).

2 / La sélection de caractères fonctionnels pour les races françaises de brebis laitières

La rationalisation dans l'espace et dans le temps des objectifs de sélection

est synonyme de mesure des phénotypes uniquement s'ils sont nécessaires à la sélection ou à la gestion du troupeau : quand une population de brebis laitières arrive au régime de croisière pour les caractères laitiers (tableau 1), les seuls phénotypes disponibles correspondent donc aux cinq caractères laitiers (QL, QMG, QMP, TB, TP) et aux informations individuelles de reproduction (lutte et bulletin d'IA, date d'agnelage, mode de reproduction et nombre d'agneaux nés) nécessaires à la gestion des généalogies et de la réussite de la reproduction dans l'élevage, en particulier de l'IA en semence fraîche et les retours en MN.

Autrement dit, quand la population atteint son régime de croisière laitier, les évolutions génétiques sous l'effet de la sélection laitière ne peuvent être appréciées que pour les caractères de reproduction. Dans ces conditions, comment aborder la question de l'ensemble des autres caractères qu'il serait souhaitable de prendre en compte en CLO en vue de leur sélection ou de leur monitoring ?

Etant donné que la prise en compte de nouveaux caractères se posait en premier pour la race Lacaune, dotée du schéma de sélection le plus ancien (tableau 1), une stratégie de recherche fondée sur la création de lignées divergentes de brebis, procréées à partir des béliers d'IA des deux entreprises de sélection Lacaune et élevées au domaine INRA de La Fage, a été mise en œuvre à partir de 1989 pour faire face aux questions : lignées divergentes pour la QL de 1989 à 2002 (Barillet *et al* 2001b) ; puis lignées divergentes pour les comptages de cellules somatiques (CCS) du lait depuis 2003 (Rupp *et al* 2009). Cette stratégie a pu être mise en œuvre grâce à la contribution essentielle des responsables des deux ES Lacaune amenés à garder des béliers détériorateurs destinés à faire un nombre très limité d'IA uniquement au domaine de La Fage.

Mais, dans cette même décennie 1990, il a fallu répondre aussi à un nouvel objectif de sélection qui était devenu prioritaire pour la filière ovine, et qui aurait pu remettre en cause la stratégie de sélection de chaque race locale ovine laitière française dans son bassin de production : il s'agit de la résistance à la tremblante.

2.1 / La sélection pour la résistance à la tremblante

Ce nouvel objectif de sélection non prévu s'est imposé aux ovins laitiers en France dès 1993 à cause de la crise de « la vache folle » qui avait remis sur le devant de la scène la tremblante ovine. La situation épidémiologique en

race Lacaune correspondait plutôt à des formes sporadiques (quelques animaux touchés dans les troupeaux atteints), tandis qu'elle était décrite depuis une trentaine d'années avec des épisodes enzootiques en Pyrénées-Atlantiques, et une prévalence particulièrement élevée dans les années 1990 : 60% des élevages français déclarés atteints de tremblante étaient localisés dans ce département et 90% d'entre eux avec des ovins de race Manech tête rousse (Calavas *et al* 2002).

Compte-tenu des enjeux, dès 1994, un dispositif de recherche et développement a été mis en place en ovins laitiers (Barillet *et al* 2004) : il a permis rapidement de connaître les fréquences alléliques initiales au gène PrP pour les races ovines laitières françaises, principalement bi-alléliques ARQ et ARR, avec une faible fréquence de l'allèle VRQ, et une fréquence initiale de l'allèle résistant ARR variant de 16% en race MTR à 60% en race Lacaune (lait). L'étude de cas-témoin en races Lacaune et MTR, l'absence de porteurs sains en MTR, et l'absence d'association génétique au niveau racial entre le génotype PrP et les caractères laitiers (Barillet *et al* 2002) sont venus conforter les connaissances initiales sur l'intérêt du gène majeur PrP (Hunter *et al* 1996), en accord avec les autres publications de l'époque sur ce sujet. La notion de résistance universelle des ovins ARR/ARR à la tremblante s'est ainsi peu à peu imposée, sans que l'on sache encore alors que cela concernait les souches de la tremblante classique et de l'Encéphalopathie Spongiforme Bovine (ESB), la tremblante atypique n'ayant été détectée pour la première fois en Norvège qu'en 1998 et confirmée internationalement qu'en 2003 (Benestad *et al* 2003).

La stratégie d'utiliser la génétique, fondée sur l'utilisation du gène majeur PrP, pour éradiquer la tremblante ovine (classique et ESB) a alors émergé peu à peu : dans le cadre du projet ovins laitiers français, une expérimentation fondée sur l'utilisation de béliers d'IA ARR/ARR dans 3 élevages MTR en CLO en situation de tremblante enzootique, débutée en 1995, a commencé à fournir des résultats convaincants en 1999 (Minery *et al* 2002). La stratégie génétique apparaissait donc comme une alternative pertinente à l'abattage total de tels troupeaux en situation enzootique, qui posait des problèmes de repeuplement en brebis de qualité de la race locale, ici la race MTR. La poursuite de l'expérimentation, autorisée à titre dérogatoire par les autorités sanitaires, à condition que tout éleveur volontaire des Pyrénées Atlantiques puisse en bénéficier, a imposé la conception du projet dit « projet 64 » en 1999 (Barillet *et al* 1999). Un cheptel de béliers d'IA ARR/ARR dit « sanitaire » a été

créé en 1999 à partir des cinq béliers d'IA résistants alors présents au CIA d'Ordriarp, qui étaient trop peu nombreux pour répondre directement aux besoins de tout le département. Ce cheptel « sanitaire » de béliers d'IA était destiné à être utilisé dès 2000, sans obligation de testage, dans tous les élevages en situation enzootique inclus dans l'expérimentation génétique. L'idée était de disposer transitoirement et immédiatement d'un cheptel « sanitaire », afin de se donner du temps pour réaliser une sélection conjointe du cheptel classique dit « génétique » de béliers d'IA de la race MTR, pour la QL et l'allèle ARR du gène PrP, dans le respect des règles de gestion de la variabilité génétique du noyau de sélection.

Le projet 64 a concerné au total 34 troupeaux enzootiques volontaires (Minery *et al* 2002), suivis pendant une décennie grâce à deux contrats de recherche européens successifs (« *sheeprion* », puis « *scrapiefreesh sheep* ») coordonnés par l'INRA. Les résultats sont probants : pour éradiquer totalement la tremblante classique en deux à quatre ans dans ces élevages à forte incidence initiale, il est indispensable d'éliminer rapidement les brebis de génotypes sensibles et de saturer à 100% le renouvellement à partir de béliers ARR/ARR (pas d'effet de seuil) (Minery *et al* 2002, Corbière *et al* 2007 et 2008). Les principaux facteurs de risque individuels et environnementaux associés à la contamination par l'agent de la tremblante classique du mouton ont été étudiés à l'aide de modèles d'analyse de survie prenant en compte l'existence d'une fraction non à risque (Corbière *et al* 2007), confirmant le rôle déterminant du génotype au gène PrP sur le risque de contamination et sur les durées d'incubation ; et suggérant de plus que la contamination par l'agent infectieux a principalement lieu en période néonatale. Ces résultats ont vraisemblablement contribué à l'évolution de la police sanitaire de la tremblante classique sur les plans français et européen.

Cette gestion conjointe de deux cheptels « sanitaire » et « génétique » de béliers d'IA de la race MTR a atteint ses objectifs : les IA avec le cheptel sanitaire ont culminé à 22 000 en 2002 dans les élevages atteints de tremblante. Le cheptel « sanitaire » de béliers d'IA a été remplacé peu à peu par le cheptel classique « dit génétique », au fur et à mesure que sa résistance à la tremblante s'est accrue, grâce à la mise en œuvre du Programme National d'Amélioration Génétique pour la Résistance à la Tremblante (PNAGRT) du Ministère de l'Agriculture, qui a débuté en 2001 (Palhière *et al* 2002). Actuellement en ovins laitiers, les béliers d'IA des cinq races de brebis laitières en sélection sont homozygote ARR/ARR (Sidani *et al* 2013).

La réactivité de l'ensemble des partenaires concernés, dans cette décennie 1990, a permis de maintenir le projet de sélection de chaque race locale de brebis laitières dans son bassin de production, alors que la réponse immédiate, souvent suggérée par ailleurs, aurait été de repeupler les élevages MTR en situation enzootique avec des reproducteurs de la race Lacaune initialement nettement plus résistante à la tremblante. On comprend aussi pourquoi le démarrage réel de la sélection pour la composition du lait (TB et TP) a dû être différé jusqu'en 2002 en ROLP (partie 2.4), à cause de ce nouvel objectif de sélection prioritaire (sécurité alimentaire du consommateur), la résistance à la tremblante classique et à l'ESB, qui s'était imposé dans les années 1990.

2.2 / Les résultats des lignées Lacaune divergentes laitières

Le principe est de constituer deux lignées pseudo-divergentes sur la quantité de matière sèche utile du lait (ISOL Lacaune de cette période, tableau 1), à partir des meilleurs et plus mauvais béliers Lacaune d'IA choisis sur cet ISOL à l'issue du testage, dans le but de procréer au domaine INRA de La Fage, une lignée laitière Basse (issue des plus mauvais béliers d'IA sur cet ISOL) et une lignée laitière Haute (issue des meilleurs béliers d'IA sur cet ISOL). Au fil des générations, les accouplements sont pratiqués intra lignée Basse et Haute. Dès la deuxième ou troisième génération, l'écart génétique asymptotique entre lignées Basse et Haute est atteint pour la QL (Colleau *et al* 1996), correspondant à l'écart moyen entre la valeur génétique des deux groupes de béliers d'IA, les plus mauvais et les meilleurs du noyau de sélection Lacaune. Puis cet écart génétique moyen entre brebis des lignées Basse et Haute se maintient au fil des générations (ici de la 3^{ème} à la 6^{ème}), alors que la moyenne génétique des deux lignées Basse et Haute augmente au fil des générations au rythme du gain génétique annuel du noyau de sélection (tableau 4) : il s'agit donc de lignées pseudo-divergentes Haute et Basse sur la QL, à même taux (TB et TP), étant donné que l'ISOL utilisé était la quantité de matière sèche utile du lait (tableau 1).

De 1989 à 2001, ont été procréées au domaine INRA de La Fage 2 311 brebis, 786 et 1 525 respectivement pour les lignées Basse et Haute ; et 6 598 lactations ont été contrôlées pendant ces 13 années (6 générations), 2 194 et 4 404 respectivement pour les brebis des lignées Basse et Haute. L'écart asymptotique de niveau génétique moyen pour la QL entre lignée Basse et Haute était de 60 litres de lait, soit 2 écart-types géné-

tiques ou 10 ans de sélection laitière dans le noyau de sélection Lacaune (tableau 4).

Au tout début, ces lignées ont permis de valider l'efficacité de la sélection des taux TB et TP dans le CLO à partir du CLQP, en conduisant initialement des recherches sur les aptitudes fromagères des laits (Pellegrini *et al* 1997).

L'objet principal de ces lignées divergentes Haute et Basse pour la QL était la mesure de phénotypes non disponibles en CLO pour vérifier s'il existait des différences significatives entre brebis des deux lignées, qui seraient donc imputables à la sélection laitière, du fait de corrélations génétiques significatives (favorables ou défavorables) entre ces autres phénotypes et la QL. Des différences génétiques entre lignées Haute et Basse pour d'autres caractères que la QL pourraient également résulter de réponses dites de robustesse ou de plasticité (Sauvant et Martin 2010, Blanc *et al* 2010), si on admet qu'une sélection laitière réalisée avec des contraintes ou facteurs d'élevage limitants pourrait induire indirectement une évolution génétique pour d'autres caractères impliqués dans cette réponse de robustesse ou de flexibilité.

Les principaux phénotypes mesurés concernaient : la croissance des jeunes, le format (poids) et note d'état corporel pendant toute la carrière des brebis ; la reproduction des brebis (mode de reproduction, fertilité et prolificité) ; l'efficacité alimentaire en lactation avec la mesure de ses composantes, dont l'ingestion individuelle de la ration avec des portillons électroniques développés par l'INRA et les réserves corporelles estimées par la méthode de l'eau lourde (Bocquier *et al* 1999) ; les caractères fonctionnels de la sphère mammaire incluant la santé de la mamelle, sa morphologie externe, la facilité et la vitesse de traite mécanique mesurée à l'aide d'éprouvettes électroniques développées par l'INRA pour les brebis (Guillouet *et al* 1990).

Les principaux résultats, résumés dans le tableau 5, sont les suivants :

i) A même composition chimique du lait (TB et TP), une QL supérieure attendue d'environ 30% pour les brebis de la lignée Haute, conforme aux 60 litres de différence génétique entre lignée Haute et Basse ; pas de différences pour les résultats de reproduction, fertilité et prolificité (résultats non présentés) ;

ii) Pas de différence pour la croissance des agnelles avec le potentiel laitier, en accord avec une corrélation génétique nulle entre croissance des agneaux mâles en centre d'élevage de jeunes mâles et

QL de leurs filles (Barillet *et al* 1988), pour cette race mixte Lacaune, à bonne aptitude de croissance des jeunes et format assez élevé des brebis. Cette absence de relation entre format des brebis et potentiel laitier est en accord avec la littérature bovine laitière sur ce sujet (Veerkamp 1998) ;

iii) Des différences significatives pour les composantes de l'efficacité alimentaire en lactation (Marie *et al* 2002) : A même format (poids vif), la capacité d'ingestion et l'aptitude à mobiliser les réserves corporelles augmente avec le potentiel laitier (tableau 5), de sorte que l'efficacité alimentaire brute est très significativement supérieure pour les brebis de la lignée Haute versus lignée Basse. Le résultat le moins attendu concerne l'augmentation génétique de la capacité d'ingestion des brebis Lacaune de 6 à 8%, à même format, en 10 ans de sélection laitière. Celui-ci est confirmé indirectement par la comparaison

Lacaune-Manchega, réalisée à la même période à l'université de Barcelone, pointant, à même format, une capacité d'ingestion significativement accrue de 29% pour la race Lacaune vs Manchega, en relation avec la production laitière supérieure de 89% de la race Lacaune (Marie *et al* 2002) ;

iv) Les caractères fonctionnels de la sphère mammaire incluent la résistance aux mammites et l'aptitude à la traite mécanique. L'incidence des mammites cliniques par lactation est beaucoup plus faible en ovins laitiers (en général inférieure à 5%) qu'en systèmes bovins laitiers européens ou nord-américains (20 à 40%), alors que l'incidence des mammites sub-cliniques, résultant surtout de contaminations entre femelles en salle de traite, est comparable dans les deux espèces (20 à 40%) (Bergonier *et al* 2003 ; Berthelot *et al* 2006). Pour les brebis des lignées Haute et Basse, le pourcentage de mammites cliniques et chroniques

était de 5,3%, sans différence significative entre les deux lignées (tableau 5), tandis que, pour une moyenne de 359 000 cellules par mL, le risque de mammites sub-cliniques était diminué de 42% pour les brebis de la lignée Basse versus Haute (Barillet *et al* 2001a), en accord avec l'antagonisme bien documenté en bovins laitiers entre potentiel laitier et résistance aux mammites (Rupp et Boichard 2003). L'aptitude à la traite mécanique inclut deux composantes, d'une part la vitesse de traite en relation avec la morphologie interne du trayon (Marnet et McKusick 2001) et, d'autre part, la facilité de traite à la machine influencée par la morphologie externe de la mamelle. En outre, les ovins laitiers sont caractérisés par une proportion de lait citernal par rapport au lait alvéolaire beaucoup plus élevée qu'en bovins laitiers (en moyenne 60% contre 20%). En conséquence, l'aptitude à la traite mécanique des brebis dépend vraisemblablement plus des gènes conditionnant leur morphologie mammaire que

Tableau 5. Différences entre les brebis Lacaune de deux lignées divergentes pour le LAIT pour une série de caractères zootechniques mesurés au domaine INRA de La Fage dans la décennie 1990 (Sources : Marie *et al* 1998, Marie *et al* 2002, Barillet *et al* 2001, Marie-Etancelin *et al* 2006).

Caractères	Lignées divergentes pour le LAIT (10 ans de sélection laitière en race Lacaune)		Différence (%)
	Basse	Haute	
Poids vifs (kg) des agnelles			
- Naissance	3,85	3,90	NS
- 30 jours	12,8	13,0	NS
- 90 jours	26,4	27,1	NS
Poids vifs (kg) des brebis en lactation 2			
- Mise bas	70,6	72,1	NS
- Sevrage	71,6	72,3	NS
- Mise à l'herbe	72,6	72,7	NS
Efficacité alimentaire en lactation 1			
- Période 1 (46 jours de stade moyen)			
Lait standard (L/j)	1,38	1,65	+ 20***
ENlait (Mcal/j)	1,64	1,97	+ 20***
Ingestion (kg MS/j)	2,02	2,15	+ 6*
Poids vif (kg)	63,9	64,3	NS
Δ poids vif (g/j)	62	65	NS
Δ lipides corporels (g/j)	37	50	- 35**
Δ énergie corporelle (Mcal/j)	0,41	0,16	- 60*
Efficacité alimentaire brute (EAB)	0,32	0,37	+16***
- Période 2 (74 jours de stade moyen)			
Lait standard (L/j)	1,22	1,52	+ 25***
ENlait (Mcal/j)	1,46	1,82	+ 25***
Ingestion (kg MS/j)	2,02	2,18	+ 8*
Poids vif (kg)	64,9	66,1	NS
Δ poids vif (g/j)	61	43	NS
Δ lipides corporels (g/j)	50	23	- 54**
Δ énergie corporelle (Mcal/j)	0,51	0,24	- 53**
Efficacité alimentaire brute (EAB)	0,28	0,33	+ 18***
Santé de la mamelle			
- Odds ratio de mammites cliniques	1,13	1,00	NS
- Odds ratio de mammites subcliniques	0,58	1,00	**
Vitesse de traite			
- Temps de latence (s)	27,7	25,1	- 10***
- Débit maximum (mL/s)	11,1	13,1	+ 17***
Morphologie externe de la mamelle			
- Angle du trayon	6,2	6,5	- 5**
- Plancher-jarret	6,7	6,3	- 6**

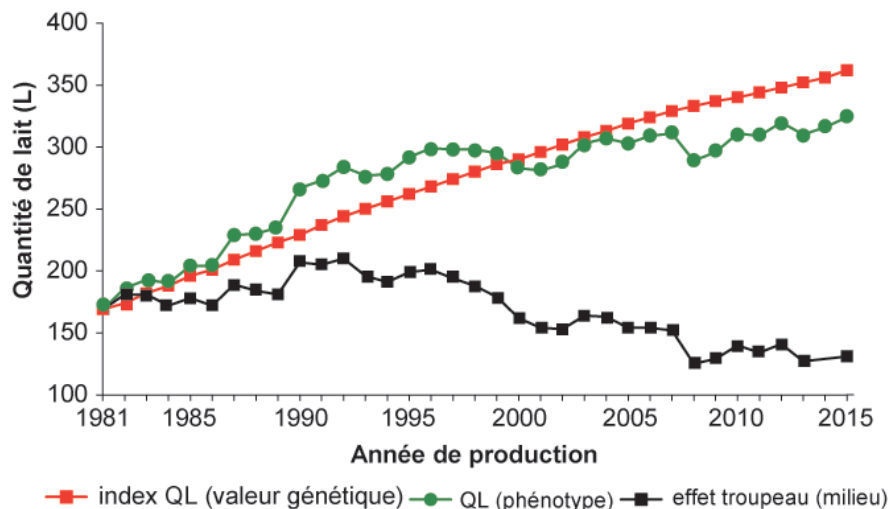
des gènes régulant la décharge d'ocytocine pendant la traite (Bruckmaier 2001, Marnet et McKusick 2001). Les résultats des lignées divergentes laitières révèlent, avec l'accroissement du niveau laitier, une amélioration génétique significative de la vitesse de traite et une dégradation de la morphologie externe de la mamelle (Marie *et al* 1998), confirmée par l'estimation des paramètres génétiques de cinétiques de traite mesurées à La Fage : la corrélation génétique entre QL et vitesse de traite, très légèrement favorable en bovins (0,10) est clairement favorable (0,46) en brebis laitières Lacaune (Marie-Etancelin *et al* 2006).

Les conclusions des résultats génétiques des lignées divergentes laitières étaient donc claires à la fin de cette décennie 1990 : en race Lacaune, il fallait maintenant sélectionner les caractères fonctionnels de la sphère mammaire qui se dégradent sous l'effet de la sélection laitière, à savoir la santé de la mamelle (CCS pour la résistance aux mammites) et la morphologie externe de la mamelle (pointages de la mamelle pour la facilité de traite mécanique). Et il y avait aussi le résultat génétique favorable et très intéressant concernant les composantes de l'efficacité alimentaire que les éleveurs de la race Lacaune exploitent maintenant depuis 20 ans.

2.3 / Les conséquences génétiques d'un milieu de sélection original en brebis laitières et son exploitation par les éleveurs de race Lacaune

Le constat intéressant était donc, à même format, l'amélioration génétique de la capacité d'ingestion de la brebis Lacaune avec le potentiel laitier (tableau 5). Comment expliquer un tel résultat ? Les travaux sur l'alimentation des brebis laitières, relancés à la demande professionnelle à la fin des années 1980, intègrent un fait majeur sur le plan génétique : l'alimentation est conduite à l'échelle du troupeau, sans ajustement individualisé des apports aux besoins nutritionnels. Rapidement ces travaux ont en effet débouché sur une tactique d'alimentation de tout le troupeau prenant comme cible les brebis à 110% de la moyenne du troupeau (Bocquier *et al* 1995). Il s'agit à l'évidence d'un milieu de sélection original, puisque les meilleures laitières, que sont les mères à béliers, sont sélectionnées pour la QL dans un milieu compétitif défavorable au plan nutritionnel. Ce milieu nutritionnel à contrainte est *a priori* intéressant pour induire une réponse biologique originale en termes de robustesse ou plus vraisemblablement de plasticité (Blanc *et al* 2010, Sauvart et Martin 2010). C'est effectivement ce qui se passe, et cela fournit donc un exemple réel de réponse

Figure 5. Evolutions phénotypique, génétique et de l'effet troupeau en race Lacaune de 1981 à 2015, pour la quantité de lait à la traite (QL), exprimée en équivalent lactation adulte par brebis, pour les élevages du noyau de sélection (CLO) (Sources : Idele, INRA et CNBL 2015).



Evolution de la QL par brebis de 2000 à 2015 en CLO :

Gain phénotypique annuel (ΔP annuel) : 2,2 litres

Gain génétique annuel (ΔG annuel) : 4,6 litres

génétique durable : les meilleures laitières Lacaune présentent une capacité supérieure à mobiliser leurs réserves corporelles, ce qui est classique, mais également, à même format, une capacité d'ingestion supérieure (tableau 5), ce qui n'était pas prévisible ou attendu. Cette plasticité accrue, imputable à une meilleure capacité d'ingestion, est détectable en seulement 10 ans de sélection laitière de la race Lacaune ; et elle est spectaculaire dans la comparaison Lacaune-Manchega (Marie *et al* 2002).

Ce milieu de sélection original est actuellement maintenu depuis plus de deux décennies par les éleveurs Lacaune. De plus, cette amélioration génétique de plasticité est mise à profit de façon originale et identique par les éleveurs en CLO et CLS de la race Lacaune. Le succès de la sélection laitière a débouché sur un système de référence de production en fromage de Roquefort au début des années 1990 : les éleveurs ont majoritairement fait le choix de caler la production de leur troupeau sur leur droit à produire. Ils ont bridé volontairement l'expression du potentiel laitier des brebis, avec, de 2000 à 2015, un gain phénotypique de 2,2 litres par an pour la QL, pour un gain génétique annuel de 4,6 litres par an, en faisant délibérément baisser les effets élevage (figure 5). Les contraintes nutritionnelles ont donc été maintenues et même renforcées. Dans ce contexte de maîtrise de la production, où la QL par brebis en CLO n'a augmenté volontairement que de 260 à 300 litres dans les 20 dernières années (figure 3), les éleveurs de race Lacaune ayant privilégié la diminution du coût des intrants,

dans le but de préserver la marge sur coût alimentaire par brebis présente : celle-ci a en effet augmenté de 18% de 1990 à 2012, aussi bien en CLO qu'en CLS, en diminuant les achats d'aliments et en privilégiant la valorisation des fourrages et céréales produites sur l'exploitation, rendue possible grâce à l'amélioration de l'efficacité alimentaire des brebis (Lagriffoul *et al* 2014 et 2016). Ce choix de systèmes d'élevage plus autonomes et donc de milieu de sélection à contrainte, qui privilégie l'amélioration génétique de caractères fonctionnels (ici la capacité d'ingestion des brebis) plutôt que celle des caractères (laitiers) de production, a même été traduit dans la révision de 2001 de l'AOC Roquefort en termes d'autonomie alimentaire : au moins 80% de l'alimentation des brebis Lacaune doit être produite sur l'exploitation.

Il est vraisemblable que les présentes conclusions s'appliquent également aux autres races de brebis laitières françaises, aux conduites d'élevage gérées au troupeau tout comme en race Lacaune. Il existe aussi des contraintes de gestions territoriales, comme la transhumance en ROLP, susceptibles d'induire des réponses génétiques de plasticité, en situation de sélection laitière dans de tels systèmes d'élevage, qui mériteraient d'être explorés.

2.4 / La sélection pour les caractères fonctionnels de la sphère mammaire

Le bilan des lignées divergentes laitières était clair : la priorité en race Lacaune, à la fin des années 1990, était

de prendre en compte dans l'index de synthèse ISOL les caractères fonctionnels de la sphère mammaire qui se dégradent sous l'effet de la sélection laitière (CCS et morphologie mammaire, cf partie 2.2). Le problème principal concernait en fait les CCS : le CLQP, conçu pour la sélection du TB et du TP (Barillet, 1985), était-il pertinent pour la mesure des CCS ? Cette question avait été identifiée dès le milieu des années 1990 : un contrôle laitier expérimental de référence A₄ a donc à nouveau été réalisé de 1994 à 1997, dans une partie des élevages en CLO Lacaune, pour y répondre. Le phénotype CCS usuel est le score cellulaire par lactation (LSCS), calculé de la façon suivante (Wiggans et Shook 1987) : *i*) transformation logarithmique (base 2) des CCS mensuels en scores de cellules somatiques (SCS) pour normalisation ; *ii*) ajustement des SCS pour le stade de lactation ; *iii*) calcul du phénotype par lactation (LSCS) comme la moyenne pondérée de chaque SCS mensuel (ensemble des contrôles de la brebis en contrôle de référence A₄) par brebis et par lactation.

La question pratique posée était de savoir quel était l'impact sur la variable d'indexation (LSCS) de la pratique du CLQP, en moyenne trois échantillons par brebis et par lactation, utilisé depuis 1985 pour le TB et TP, par rapport au contrôle de référence A₄ (échantillons de lait mensuels pendant toute la lactation pour dosage des CCS) ? La réponse est présentée dans le tableau 2 : la perte de précision du LSCS résultant d'un CLQP est faible (2 à 3%), de sorte que l'héritabilité est comparable à celle de la mesure du LSCS en contrôle de référence A₄ (0,14), et que la corrélation génétique avec la mesure A₄ est quasiment de 1 (0,98). Le CLQP est donc également opérationnel pour la sélection des CCS (Barillet *et al* 2001a, Rupp *et al* 2003, Astruc et Barillet 2004).

En conséquence, à partir de 1999 en CLO Lacaune, le CLQP pour les deux premières lactations concerne à la fois la mesure de TB et TP ainsi que des CCS du lait. De plus, 3 des 4 postes de pointage pratiqués sur les lignées divergentes de La Fage (angle du trayon, sillon et plancher-jarret) ont été retenus comme pointages de la morphologie externe de la mamelle en primipares Lacaune par l'OS Lacaune, à partir de la campagne 2000. Ces nouveaux phénotypes ont permis d'estimer les paramètres génétiques entre caractères laitiers, CCS et pointage de la morphologie externe des primipares Lacaune (tableau 6) : l'héritabilité du LSCS est modérée (0,15), alors qu'elle varie entre 0,26 et 0,35 selon les postes de morphologie externe de la mamelle. Les corrélations génétiques entre les quantités de lait ou de matière et le LSCS sont modérément positives, donc antagonistes (0,15 à 0,22), tandis qu'elles sont nulles à nettement défavorables avec les postes de morphologie mammaire (0,00 à - 0,39), le plancher-jarret (qui décrit le décrochement de la mamelle) étant le plus opposé à la QL. Enfin, les corrélations génétiques entre LSCS et postes de la morphologie mammaires sont légèrement favorables entre elles (Barillet 2007).

Ces résultats sont cohérents à la fois avec les paramètres génétiques homologues en bovins laitiers (Rupp et Boichard, 2003) et avec les tendances observées avec les lignées divergentes laitières (partie 2.2). La bibliographie ovine confirme également l'antagonisme génétique entre QL et morphologie mammaire externe (- 0,10 à - 0,55) (de la Fuente *et al* 1996, Fernandez *et al* 1997, Serrano *et al* 2002, Legarra et Ugarte 2005, Marie-Etancelin *et al* 2005, Casu *et al* 2006). La littérature ovine mentionne une héritabilité du LSCS comprise entre 0,11 et 0,18 en

cohérence avec celle du tableau 6 ; mais des résultats contradictoires concernant les relations génétiques entre QL et LSCS, soit légèrement favorables (- 0,08 à - 0,29) (El-Saied *et al* 1999, Othmane *et al* 2002, Serrano *et al* 2003, Hamann *et al* 2004, Legarra et Ugarte 2005), soit modérément antagonistes (Mavrogenis *et al* 1999, Barillet *et al* 2001a, Rupp *et al* 2003, Barillet 2007, Riggio *et al* 2007, Barillet *et al* 2008). L'ensemble des résultats français disponibles aussi bien pour les lignées Lacaune divergentes laitières que pour les paramètres génétiques en race Lacaune (Barillet *et al* 2001a, Rupp *et al* 2003, Barillet 2007) ou en race MTR (Barillet *et al* 2008) indiquent un antagonisme génétique entre QL et santé de la mamelle (LSCS). Pour conforter et accompagner l'introduction des caractères fonctionnels de la sphère mammaire dans l'ISOL, les lignées divergentes laitières à la Fage ont été remplacées à partir de 2003 sur le même principe de leur procréation (partie 2.2) par des lignées pseudo-divergentes sur les CCS à même potentiel laitier (Rupp *et al* 2009). L'écart asymptotique de valeurs génétiques moyennes pour le LSCS entre brebis Lacaune de la lignée CCS+ et de la lignée CCS- est de 3 écarts-types génétiques, soit 30 ans d'évolution génétique attendue en CLO en race Lacaune au vu du nouvel index ISOL adopté en 2005 dans cette race (tableau 7, ci-après). Les résultats disponibles sont les suivants : à même niveau laitier, pour les trois premières lactations, les CCS des brebis de la lignée CCS- sont égaux à 279 000 vs 1 209 000 pour celles de la lignée CCS+, correspondant à plus du double de la moyenne géométrique des CCS entre les lignées CCS- et CCS+ (Rupp *et al* 2009, Allain *et al* 2010). De plus, respectivement pour la lignée CCS- vs lignée CCS+, le pourcentage de mammites cliniques est de 1,5 vs 7% ; d'abcès mammaires

Tableau 6. Paramètres génétiques de la race Lacaune en première lactation (121 283 brebis de 2001 à 2004) pour les caractères laitiers et les caractères fonctionnels de la sphère mammaire (CCS pour la santé de la mamelle et morphologie externe de la mamelle) (Source : Barillet 2007).

Héritabilités sur la diagonale, corrélations génétiques au-dessus et phénotypiques au-dessous.

Caractères et abréviations	QL	QMG	QMP	TB	TP	LSCS	AT	SIL	PLJ
QL	0,32	0,77	0,88	- 0,43	- 0,48	0,15	- 0,05	0,00	- 0,37
QMG	0,83	0,26	0,82	0,25	- 0,12	0,21	- 0,11	- 0,08	- 0,34
QMP	0,93	0,85	0,28	- 0,18	- 0,01	0,22	- 0,07	- 0,04	- 0,39
TB	- 0,20	0,35	- 0,06	0,41	0,57	0,07	- 0,06	- 0,10	0,09
TP	- 0,35	- 0,12	0,01	0,40	0,51	0,08	- 0,01	- 0,07	0,07
LSCS (CCS)	- 0,14	- 0,08	- 0,06	0,10	0,24	0,15	- 0,12	- 0,21	- 0,32
AT (angle trayon)	- 0,03	- 0,05	- 0,03	- 0,03	0,00	- 0,04	0,35	0,34	0,31
SIL (sillon)	0,07	0,04	0,06	- 0,04	- 0,04	- 0,10	0,20	0,32	0,18
PLJ (plancher-jarret)	- 0,26	- 0,24	- 0,27	0,02	0,02	- 0,09	0,14	0,11	0,26

QL : Quantité de Lait ; QMG : Quantité de Matière Grasse ; QMP : Quantité de Matière Protéique ; TP : Taux Butyreux ; TP : Taux Protéique ; LSCS : Score cellulaire par lactation.

Tableau 7. Gain génétique asymptotique en 10 ans en race Lacaune selon l'index de synthèse ISOL utilisé (Source : Barillet, 2007).

Caractères	ISOL 1992		ISOL 2005	
	Gain génétique (mesure du caractère)	En écart-type génétique (σ_g)	Gain génétique (mesure du caractère)	En écart-type génétique (σ_g)
Caractères laitiers				
QL (L)	61	1,9	39	1,2
QMG (kg)	4,2	2,2	2,8	1,5
QMP (kg)	3,4	2,2	2,1	1,4
TB (g/L)	1,2	0,3	1,0	0,2
TP (g/L)	1,3	0,5	0,5	0,2
Santé de la mamelle				
CCS (LSCS)	0,38	0,7	- 0,54	- 1,0
Morphologie mammaire				
AT	- 0,22	- 0,4	0,43	0,7
SIL	- 0,18	- 0,3	0,58	0,9
PLJ	- 0,32	- 1,0	0,12	0,4

de 9 vs 36% ; de laits à bactériologies positives de 23 vs 46% ; de laits à bactériologies positives à la mise-bas de 22 vs 54% ; d'infections persistantes de 9,4 vs 38,7% (Allain *et al* 2010). Ces différences de bactériologies positives des laits correspondent à des risques relatifs significativement supérieurs de 3,3 et 7 fois respectivement pendant toute la lactation ou à la mise-bas. Ces résultats nettement plus favorables pour la résistance aux mammites des brebis de la lignée CCS- vs lignée CCS+, obtenus à partir des index CCS en fermes pour le choix des béliers des deux lignées, valident donc l'efficacité de la sélection pour la santé de la mamelle, fondée sur le CLQP des CCS dans le noyau de sélection en CLO.

En 2005, les éleveurs de race Lacaune ont fait le choix racial d'accorder des poids équivalents aux caractères laitiers et aux caractères fonctionnels de la sphère mammaire, correspondant aux CCS pour la santé de la mamelle et à la morphologie externe de la mamelle (angle des trayons, sillon et plancher-jarret) pour la facilité de traite mécanique (tableaux 1 et 3). Ce troisième démarrage du schéma de sélection Lacaune a été géré avec une transition de 3 années, de 2005 à 2007, en augmentant en 3 campagnes le poids accordé aux caractères fonctionnels, lors du renouvellement du cheptel de béliers d'IA élites. En conséquence pour ce troisième démarrage, les réponses génétiques attendues pour les caractères fonctionnels inclus dans l'ISOL Lacaune à partir de 2005 (tableau 3) sont fortes et d'environ un écart-type génétique de gain en 10 ans (CCS et morphologie mammaire) au même titre que la QL (tableau 7), soit une sélection équilibrée entre les caractères laitiers et les caractères fonctionnels de la sphère mammaire inclus

dans l'ISOL (Barillet 2007). En outre, le nouveau régime de croisière est attendu plus rapidement en 3 à 5 ans, dès la fin du renouvellement du cheptel de béliers élites sur ce nouvel ISOL en 2007. C'est effectivement ce qui se passe, avec un gain génétique annuel sur les CCS proche du régime de croisière dès la période 2008-2015 (tableau 4). Dans le milieu des années 1990, le travail de prophylaxie mis en œuvre avait permis une baisse des CCS annuels des laits des tanks de quelque 900 000 à 500 000 cL par mL, avec une situation plus favorable d'environ 50 000 cL par mL pour les tanks en CLO versus CLS (Lagriffoul *et al* 2016). Depuis 2008, on observe un accroissement de l'écart favorable en CLO (cumul de la prophylaxie et de la génétique) qui avoisine maintenant 100 000 cL par mL. Quand le régime de croisière sera atteint aussi en CLS vers 2018, on devrait observer, sous hypothèse d'une prophylaxie comparable, une baisse des CCS des tanks imputable à l'amélioration génétique comparable en CLO et CLS en race Lacaune.

En ROLP, le phénotype CCS est disponible en CLQP en primipares au même titre que TB et TP depuis 2002. Avec le durcissement de la sélection sur les taux intervenu en 2008 (tableaux 1 et 3) les réponses génétiques favorables pour les taux sont observées depuis 2010 (partie 1.7 et tableau 4). En 2016, les CCS seront introduits dans l'ISOL des ROLP avec un poids modéré (tableaux 1 et 3) dans le but de freiner, voire d'enrayer la dégradation génétique des CCS, tout en préservant pour l'instant globalement la trajectoire de 2008 pour les caractères laitiers. Il serait souhaitable que simultanément le travail de prophylaxie des CCS débute en ROLP, à l'instar de celui conduit en race Lacaune dans les années

2000, faute de quoi l'effet de la génétique ne sera pas perceptible, étant donné que le niveau des CCS des tanks des éleveurs livreurs en ROLP avoisine actuellement 900 000 cellules par mL (Lagriffoul *et al* 2016). Après des essais en 2013 et 2014, il y a montée en puissance dans les noyaux de sélection des ROLP du pointage des mamelles (5 postes, dont 1 concernant la longueur du trayon), avec des gammes d'héritabilités et corrélations génétiques avec la QL attendues (Astruc, communication personnelle). L'objectif est de déboucher sur des index ISOL des ROLP incluant vers 2018 à la fois les caractères laitiers et les caractères fonctionnels CCS et morphologie mammaire externe, avec des poids modulés pour chaque ROLP comme depuis 2008 (tableaux 1 et 3).

3 / Autres objectifs de sélection pour les races françaises de brebis laitières

Nous abordons maintenant les autres objectifs de sélection possibles en brebis laitières, en distinguant ceux correspondant à des phénotypes disponibles en CLO de ceux qui supposent la mise en place de nouvelles mesures en CLO ou de surveillance en domaine expérimental. Mais nous commençons par l'analyse des multiples aptitudes fonctionnelles de la mamelle des brebis laitières.

3.1 / Aptitude à la monotraite et autres aptitudes fonctionnelles de la mamelle des brebis laitières

La lactation des brebis laitières est habituellement exploitée de façon originale comparativement aux bovins laitiers,

avec une période initiale d'allaitement d'environ un mois, suivie de la période de traite exclusive après le sevrage des agneaux jusqu'au tarissement physiologique ou pas (arrêt de la collecte des laiteries). La période d'allaitement peut devenir mixte (allaitement et une traite par jour) quand la race devient bonne laitière, ce qui augmente le niveau du pic de lactation qui intervient pendant cette première période (Bocquier *et al* 1998). On doit donc distinguer l'aptitude à la tétée et l'aptitude à la traite. On sait depuis longtemps que l'aptitude à la traite manuelle et l'aptitude à la traite mécanique correspondent à des caractères en partie distincts (Casu *et al* 1989). Dans l'optique de la généralisation de la traite mécanique (Lagriffoul *et al* 2016), oublions pour simplifier l'aptitude à la traite manuelle. Ne restent donc que l'aptitude à la tétée et l'aptitude à la traite mécanique, conditionnées toutes deux par la morphologie de la mamelle. La position du trayon, jugée à la fois par son angle avec la verticale vu de l'arrière de la brebis et par sa position (à l'arrière, dans le plan vertical ou en avant) dans un plan vertical du côté de la brebis, conditionne l'aptitude à la tétée, l'agneau recherchant latéralement le trayon de l'hémi-mamelle de sa mère. Si l'angle du trayon est noté de 1 (à la verticale en plancher de la mamelle) à 9 (angle de 90 degrés avec la verticale), en fait la notation minimale ne débute qu'à 3 ou 4 selon la race (au moins 20 à 30 degrés) jusqu'à 9 (90 degrés), pour une moyenne en général de 5 ou 6, en rapport avec l'accès latéral de l'agneau à la mamelle. L'aptitude à la traite mécanique comprend elle deux composantes, d'une part la vitesse de traite en relation avec la morphologie interne du trayon (Marnet et McKusick 2001), d'autre part la facilité de traite influencée par la morphologie de la mamelle, en particulier sa taille (qui augmente avec le potentiel laitier) et la qualité de sa suspension, ainsi que l'angle et la taille du trayon (pose des faisceaux trayeurs).

Considérons maintenant la sélection pour la QL réalisée depuis 50 ans en race Lacaune (partie 1.6). Cette sélection laitière a été réalisée en situation de traite mécanique, sans sélection conjointe de la morphologie mammaire externe pendant 40 ans (1965-2005). La traite mécanique, en système Casse, a été conçue selon des temps moyens, d'entrée-sortie, pose et dépose des faisceaux trayeurs, par lots de 12 brebis, typiquement sans ajustement individuel du temps de traite. Cette non individualisation des conditions de traite et donc de sélection a augmenté au fil du temps en race Lacaune, depuis la suppression du massage intermédiaire et de la repasse machine ou manuelle dans les années 1970, jusqu'au décrochage automatique

actuel des faisceaux trayeurs selon une temporisation gérée au troupeau (Lagriffoul *et al* 2016). En conséquence, on est passé d'une cadence de 100 brebis (années 1970) à 400 brebis Lacaune traites aujourd'hui par personne et par heure. Comme pour l'alimentation (partie 2.3), les meilleures laitières sont donc sélectionnées dans un milieu (de traite) contraignant. En conséquence, la sélection de la QL s'est accompagnée d'une réponse génétique indirecte favorable sur la première composante de l'aptitude à la traite mécanique, à savoir la vitesse de traite (tableau 5) : les brebis de la lignée Haute se traitent plus vite, car la pression intramammaire s'accroît avec la QL, mais aussi probablement car les sphincters des trayons évoluent vers une moindre résistance à l'ouverture, ce qui est défavorable à la santé de la mamelle (Marnet *et al* 1999). Sous l'effet de la sélection laitière, le volume de la mamelle s'est accru ; mais, en absence de sélection conjointe de la morphologie externe de la mamelle, cette dernière s'est dégradée : moins bonne suspension de la mamelle (sillon et plancher-jarret) et tendance à la remontée de l'angle des trayons vers l'horizontal. Ce décrochement de la mamelle constitue un facteur de risque de réforme prématurée, à cause des difficultés de traite à la machine et de l'augmentation du risque de mammites qu'il peut engendrer. Les lignées divergentes laitières (tableau 5) et les paramètres génétiques (tableau 6) attestent de cet antagonisme entre QL et morphologie externe de la mamelle, qui n'a pas été maîtrisé génétiquement avant 2005 en race Lacaune (tableau 1).

Cette évolution défavorable de la morphologie externe de la mamelle s'est accompagnée d'une évolution simultanée importante de la morphologie interne de la mamelle, en particulier de la taille de la citerne, et en conséquence de la répartition du lait dans la glande mammaire, favorable à l'aptitude à la monotraite (Hassoun *et al* 2016, ce numéro) : avec 80% de lait citernal, aussi bien pour les primipares que les multipares, la brebis Lacaune contemporaine présente maintenant une bonne aptitude à la monotraite, comparable à celle de la brebis Sarde, ce qui n'était pas le cas il y a 40 ans (Aussibal 1977).

Pendant la période de traite exclusive (après le sevrage des agneaux), la traite biquotidienne est usuelle pour les races de brebis laitières françaises. Mais la pratique de la monotraite existe depuis longtemps par exemple en Sardaigne (race Sarde), ou a été testée récemment en race Corse et en race Lacaune (Hassoun *et al* 2016). Quelles sont les relations entre aptitude à la traite mécanique, sous-entendu de fait en bitraite quotidienne telle que décrite ci-dessus,

et aptitude à la monotraite ? Les essais de monotraite, conduits en race Lacaune à La Fage de 2010 à 2013 (Hassoun *et al* 2016), fournissent des éléments de réponse. Dans ces essais, le premier mois d'allaitement et de traite était suivi de 15 jours de bitraite exclusive, entre le 35^{ème} et le 50^{ème} jour de lactation, avant le début de la période de monotraite de 4 à 6 mois (selon la parité) jusqu'au tarissement des brebis (Hassoun *et al* 2016, partie 2.4, ce numéro). Chaque brebis était donc son propre témoin, avec sa période de référence bitraite de 15 jours dans le deuxième mois de lactation, permettant de calculer la perte laitière individuelle instantanée des 15 premiers jours de monotraite et la perte laitière individuelle totale de toute la période de monotraite. Les résultats des corrélations phénotypiques sont comparables pour les primipares et multipares :

i) des corrélations significativement positives (0,60 à 0,75 selon la parité) entre la production laitière de référence bitraite et la production laitière de toute la période de monotraite;

ii) des corrélations d'environ 0,60 entre la production laitière de toute la période de monotraite et la perte individuelle instantanée ou la perte totale;

iii) des corrélations nulles entre la référence individuelle bitraite et la perte individuelle instantanée ou totale imputable à la monotraite.

Autrement dit, ce sont les meilleures laitières en bitraite qui produisent aussi le plus de lait en situation de monotraite ; les facteurs initiaux ou cumulatifs d'adaptation à la monotraite pèsent autant dans le résultat de la production laitière de toute la période de monotraite ; enfin ces facteurs initiaux ou cumulatifs d'adaptation à la monotraite sont à rechercher en dehors du potentiel laitier en bitraite. Il ne s'agit certes que de corrélations phénotypiques pour des brebis Lacaune contemporaines. Et ces résultats phénotypiques sont cohérents avec les résultats génétiques d'une expérimentation en brebis Sarde conduite au début des années 1970 : absence d'interaction bélier × nombre de traites journalières pour les 1 058 lactations de rang 1 à 3 de filles de 68 béliers Sarde, réparties à parité et au hasard en 2 groupes, l'un trait 2 fois et l'autre trait 1 fois par jour (Casu *et al* 1977).

Pour les deux races, Lacaune contemporaine et Sarde, ce sont donc les meilleures laitières en bitraite, qui produisent aussi le plus de lait en monotraite, du fait de la grande taille de leur citerne et en conséquence d'une fraction très élevée de lait citernal (quelque 80%) quelle que soit la parité (Hassoun *et al* 2016).

Mais dans les 2 cas, il s'agit de la résultante d'une sélection laitière efficace (contemporaine ou sur plusieurs siècles) sans sélection conjointe de la suspension de la mamelle pendant le même laps de temps, contrairement aux bovins laitiers particulièrement en race Holstein. A partir du moment où la sélection de la morphologie externe de la mamelle est engagée, par exemple depuis 2005 en race Lacaune avec un poids important (tableaux 1, 3, 7), pour améliorer l'aptitude à la traite mécanique (sous-entendu en bitraite) et également de fait l'aptitude à la tétée (angle et position du trayon), la bonne aptitude actuelle à la monotraite de la brebis Lacaune contemporaine évoluera-t-elle ou pas ? Un suivi dans le temps des relations entre morphologie externe de la mamelle (pointage et photographies numériques) et morphologie interne, en particulier de la surface citernale par échographies des primipares (bien mesurée avec les sondes disponibles) est donc nécessaire, par exemple en domaine expérimental comme La Fage, car l'aptitude à la monotraite est à l'évidence un caractère qui a socialement de l'avenir (Hassoun *et al* 2016).

Enfin, la réponse génétique indirecte favorable pour la vitesse de traite, effectivement constatée en race Lacaune (partie 2.2), devrait aussi ralentir du fait de la sélection pour la résistance aux mammites (CCS) et de la morphologie externe de la mamelle agissant en synergie entre elles (tableau 6) et de façon antagoniste avec la vitesse de traite (Allain *et al* 2010). La disponibilité de compteurs électroniques portables, agréés par l'ICAR pour les ovins laitiers, serait un plus pour vérifier ce point en fermes en CLO et pas uniquement à La Fage avec les éprouvettes électroniques INRA (Guillouet *et al* 1990), voire pour intégrer directement la vitesse de traite dans l'ISOL avec un poids adéquat, si nécessaire, par rapport à l'équilibre actuel.

3.2 / Autres phénotypes de brebis laitières disponibles en Contrôle Laitier Officiel (CLO)

De 20 à 30% des recettes des éleveurs proviennent de la vente des agneaux de lait (race Corse et ROLP) ou des agneaux engraisés (race Lacaune). *La prolificité des brebis laitières* est donc un caractère à prendre en compte. L'héritabilité de la prolificité est très faible (environ 0,05) et sa corrélation génétique avec la QL nulle à faiblement positive (0,00 à 0,20) (Barillet *et al* 1988, Kominakis *et al* 1998, Ligda *et al* 2000, Haman *et al* 2004). En considérant la prolificité sur oestrus induit ou naturel comme deux caractères différents, leurs héritabilités sont estimées respectivement à 0,04 et

0,08 en race Lacaune, à 0,02 et 0,07 en race MTR, et leurs corrélations génétiques en premières mises bas ou toutes mises bas respectivement à 0,75 et 0,47 en race Lacaune, 0,99 et 0,88 en race MTR (Baelden *et al* 2005). En conséquence, sans ou avec prise en compte de la prolificité avec son poids économique réel dans l'index de synthèse ISOL, le résultat génétique est le même : maintien à gain génétique très faible pour la prolificité (Barillet *et al* 1988, Baelden *et al* 2005). Dans les conditions économiques françaises, inclure la prolificité dans l'ISOL est donc inutile. En revanche, il est recommandé de calculer des index de prolificité, à titre de vérification lors du choix des béliers élites sur ISOL, pour éviter tout risque de dérive génétique de la prolificité.

L'analyse de 678 168 inséminations animales de 2001 à 2005 en race Lacaune (lait) et ROLP a fourni des héritabilités de *la fertilité des brebis laitières à l'IA* comprises entre 0,040 et 0,075 selon la race ; et des héritabilités de *la fertilité des béliers d'IA* entre 0,001 et 0,005 (David *et al* 2008). Ces résultats confirment que l'amélioration génétique de ces caractères selon une approche polygénique classique serait difficile. Les bons résultats de fertilité à l'IA des brebis Lacaune en CLO (85% des brebis étant inséminées) n'incitent pas par ailleurs à inclure la fertilité à l'IA des brebis dans ISOL.

L'analyse des *caractères de production de semence* de 51 107 et 11 839 éjaculats respectivement en race Lacaune et MTR (volume, concentration, nombre de spermatozoïdes et motilité) fournit, dans l'ordre de ces quatre caractères, des héritabilités, pour les agneaux Lacaune de 0,18, 0,27, 0,17 et 0,07, pour les agneaux MTR de 0,33, 0,18, 0,19 et 0,14, pour les béliers adultes Lacaune de 0,26, 0,25, 0,19, 0,13, et pour les béliers adultes MTR de 0,25, 0,12, 0,14 et 0,04 (David *et al* 2007). Les corrélations génétiques entre production de semence en agneaux et béliers adultes, pour ces quatre caractères dans le même ordre, sont estimées à 0,76, 0,51, 0,52 et 0,81 en race Lacaune, 0,90, 0,89, 0,81 et 0,14 en race MTR (David *et al* 2007). La sélection de ces caractères de production de semence est donc envisageable. L'un des facteurs déterminants de la rentabilité de la sélection génomique en ovins laitiers passe par la réduction du cheptel de béliers d'IA en sélection génomique vs sélection classique (Astruc *et al* 2016). A l'étape clé de la pression de sélection génomique sur ISOL, réalisée intra-familles élites (gestion de la variabilité génétique) pour le choix des béliers d'IA sur ISOL génomique, la prise en compte d'index génomiques des caractères de production de semence de

ces jeunes béliers candidats permettrait une sélection sur leur production de semence en agneaux et adultes.

La sélection laitière classique induit une augmentation du pic de lactation (qui intervient dans le premier mois d'allaitement en brebis) et de *la persistance laitière*, ce qui se traduit par une augmentation de la durée de traite avec le niveau laitier, comme vérifié en ovins laitiers dans les quatre dernières décennies. En revanche, la relation phénotypique entre QL et persistance laitière est négative. Une sélection conjointe de la QL et de la persistance laitière pourrait donc favoriser l'expression de courbes de lactation plus plates, avec des brebis plus faciles à conduire et un meilleur étalement de la production laitière de cette espèce saisonnée. On peut classer les mesures de persistance en quatre groupes plus ou moins élaborés (Gengler 1996, Leclerc 2008). L'héritabilité des critères de persistance, en moyenne de 0,15, varie en fait de 0,10 pour les moins bons à 0,20 pour les meilleurs critères ; de même que leur corrélation génétique avec la QL, de positive (0,30 à 0,40) pour les moins bons, à nulle pour les meilleurs critères de persistance, situation recherchée pour dissocier au mieux la sélection de la QL de celle de la persistance laitière.

L'évaluation génétique de *la longévité fonctionnelle* dans chacune des cinq races constitue une approche globale intéressante pour apprécier la durabilité de la sélection pratiquée dans chaque population, *via* l'estimation de l'évolution génétique de cette longévité fonctionnelle pour la population en question. Cela suppose de mettre en œuvre une évaluation génétique fiable ayant recours aux modèles d'analyse de survie (Ducrocq et Sölkner 1994, Ducrocq 2005). Compte-tenu des systèmes d'élevage des brebis laitières en France, le choix d'une variable de présence de type « nombre de jours en traite depuis la première mise-bas jusqu'à un âge donné » est certainement plus pertinent que la durée de présence classique en jours utilisée en bovins laitiers (Buisson, communication personnelle). En sélection polygénique classique, l'information de la longévité fonctionnelle des béliers serait très limitée au moment de la connaissance du premier index ISOL sur descendance, empêchant leur utilisation, sauf mise en œuvre de prédictors précoces comme en bovins laitiers (Ducrocq *et al* 2001). En revanche, en sélection génomique (Astruc *et al* 2016), l'utilisation d'index génomiques pour les jeunes béliers au moment du choix des béliers d'IA est envisageable, sous réserve d'index de longévité assez précis des ancêtres de ces béliers présents dans la population de référence.

Ces deux derniers caractères, persistance laitière et longévité fonctionnelle, pourraient apporter des réponses aux demandes d'objectifs de sélection concernant la robustesse des animaux, exprimées par les responsables des schémas de sélection ovins laitiers.

3.3 / Nouveaux phénotypes pour de nouveaux objectifs de sélection possibles en races ovines laitières françaises

Le programme national de recherche PhénoFinlait a permis de caractériser la composition fine des laits des vaches, chèvres ou brebis en acides gras et protéines, à l'aide des spectres dans le moyen infrarouge (MIR), utilisés pour prédire le TB et le TP du lait (Gelé *et al* 2014). Pour le lait de brebis, 15 équations d'estimation des teneurs en Acides Gras (AG) très précises sont disponibles, correspondant aux AG présents en concentration moyenne ou élevée dans le lait ; pour les lactoprotéines, les équations disponibles pour les caséines sont plus précises que pour les protéines solubles. Les potentialités de sélection, ainsi que les liaisons génétiques à considérer pour la composition fine des laits de brebis, sont maintenant identifiées (Boichard *et al* 2014).

Le rôle stratégique du centre d'élevage de jeunes béliers, déjà décrit pour le schéma de sélection classique (partie 1.1), pourrait être renforcé en situation de sélection génomique, avec les possibilités de mise en œuvre de nouveaux phénotypes mesurables en centre d'élevage sur les jeunes mâles, susceptibles de déboucher sur des indexations génomiques de ces nouveaux phénotypes utilisables en sélection, au moment de la mise en œuvre dans cette même période de la sélection génomique sur les caractères femelles inclus dans l'ISOL pour le choix des béliers d'IA. Un travail spécifique a ainsi été développé en race Lacaune pour la sélection sur des caractères de standard racial et de morphologie fonctionnelle des jeunes mâles (ligne de dos, épaule, membre, jarret et pâturon) (Astruc, communication personnelle). Depuis plusieurs années, en ROLP, un programme de recherche et développement a été mis en œuvre, aboutissant à la possibilité de sélection pour la résistance aux strongles gastro-intestinaux, grâce à la mise au point d'un protocole d'infestations expérimentales des jeunes béliers des ROLP en centre d'élevage avec le nématode hématophage *Haemonchus contortus* (Jacquiet *et al* 2011). Il a été vérifié que ce protocole est compatible avec la future carrière de béliers d'IA des jeunes candidats ainsi sélectionnés.

Conclusion

Le choix de la sélection en race pure de chaque race locale de brebis laitières française, avec son fromage d'AOP dans son terroir de production, a été effectivement adopté dès la décennie 1970 en race Lacaune, 15 ans plus tard en ROLP, et dans les années 1990 en race Corse. Il s'agit bien d'un choix des éleveurs, copropriétaires du bien commun que représentent ces races locales. Les éleveurs sont donc les maîtres d'œuvre des programmes de sélection, *via* les organismes de sélection qu'ils dirigent avec leurs responsables techniques et équipes de salariés (cf. encadré 2). Les choix techniques et décisions financières inhérentes à la mise en œuvre de schémas de sélection supposent donc un consensus entre éleveurs sur leur projet de gestion du bien commun. L'existence d'organismes de sélection gérés par les éleveurs a été favorisée par l'engagement de la puissance publique française en ce domaine, avec la loi sur l'Élevage de 1966, qui s'est appliquée pendant 44 ans jusqu'en 2010. En tout état de cause, il est certain que l'existence d'organismes de sélection gérés par les éleveurs est une condition nécessaire à une collaboration pertinente et fructueuse dans ce domaine entre profession et recherche, permettant la mise en place de schémas de sélection à l'échelle des populations concernées.

La stratégie de mise en œuvre des objectifs de sélection, avec sa gestion dans l'espace (gestion pyramidale de la population) et dans le temps (démarrages et régimes de croisières successifs), est bien établie, pour les trois premières phases : démarrage initial uniquement pour la QL, puis deuxième et troisième démarrages respectivement pour les taux (TB et TP), puis les CCS et la morphologie mammaire, avec la nécessité d'alléger le CLO induisant la conception d'un protocole de contrôle laitier inédit (le CLQP des taux et des CCS). Cette

démarche est validée par le fait qu'elle a été répliquée avec succès pour chacune des cinq races locales concernées, dès que les éleveurs intéressés étaient prêts à la mettre en œuvre. Ainsi en 2015, les cinq races de brebis laitières françaises disposent d'un noyau de sélection de taille requise, 16 à 32% de la population à améliorer, utilisant largement l'insémination animale, 40 à 85% des brebis du CLO selon la race : chaque schéma de sélection dégage un gain génétique annuel significatif, compris entre 0,10 et 0,23 écart-type génétique, plus ou moins proche de son optimum possible, en rapport avec son ancienneté, son niveau d'organisation et la taille de sa population (tableaux 4 et 8). Il s'agit d'une situation remarquable à l'échelle internationale (Astruc 2014). En CLO, la production laitière à la traite exclusive avoisine désormais 140 litres en 180 jours de traite pour la brebis Corse, 160 litres en 150 jours pour la race Manech tête noire, 190 à 210 litres en 160 jours respectivement en races Basco-Béarnaise et Manech tête rousse, et 300 litres en 170 jours de traite exclusive en race Lacaune. On mesure le chemin parcouru quand on se souvient de la production laitière, 60 à 80 litres, des brebis laitières en CLO dans les années 1960 (Lagriffoul *et al* 2016). Cette démarche ne garantit toutefois pas la pérennité du dispositif en cas de déclin d'une population, comme actuellement en race MTN : la situation suppose alors de chercher à comprendre les controverses qu'elle suscite autour de la génétique (Labatut *et al* 2012), pour relancer des démarches revisitant le consensus de la gouvernance du bien commun, avec en conséquence la mise en œuvre, comme actuellement, d'actions techniques, susceptibles de favoriser l'adhésion de nouveaux éleveurs au noyau de sélection MTN.

Cette stratégie raisonnée de mise en œuvre progressive des objectifs de sélection est confortée, quand il est possible de conduire des approches complémentaires et simultanées, amélioration génétique en fermes et expérimentations en

Encadré 2. Les partenaires professionnels.

Le chemin parcouru depuis 50 ans concernant l'amélioration génétique des races de brebis laitières françaises est le fruit d'une collaboration pérenne entre profession et recherche. La profession est organisée actuellement au sein des ES et OS concernées gérées par les éleveurs : CDEO, Ovitest, Service Elevage de la Confédération Générale de Roquefort, OS Lacaune, OS Brebis Corse, OS des Races Ovines Laitières des Pyrénées, avec ses responsables techniques compétents et dynamiques, P. Boulenc, F. Fidelle, G. Frégeat, B. Giral-Viala, P. Guibert, F. Pichereau, C. Soulas, P. Teinturier. La profession est fédérée au sein du Comité National Brebis Laitières, animé par G. Lagriffoul (Institut de l'Élevage), avec le service global intégrant à la fois la génétique (J.M. Astruc et D. Buisson) et l'appui technique (E. Morin) dans le système d'information ovins laitiers du logiciel SIEOL gérant les phénotypes individuels des brebis et béliers en CLO et CLS, et les données technico-économiques au troupeau permettant de documenter en particulier l'effet élevage.

Tableau 8. Importance des schémas de sélection classiques des ovins laitiers en France en 2014 (Sources : Idele, INRA et CNBL 2015).

Races	Taille de la population ♀	Noyau de sélection ♀ (%)	Nombre de béliers d'IA en testage par an	Nombre total de béliers aux CIA	Nombre total d'IA dans la population (% dans le noyau)	Caractères ⁽²⁾ dans ISOL + gène PrP (gain génétique annuel en σ_g)
Lacaune ⁽¹⁾	890 000	172 462 (19%)	440 ♂	1 400 ♂	407 000 (85%)	Lait, TB, TP, CCS, mamelle (0,23 σ_g)
Corse	83 000	15 944 (19%)	30 ♂	150 ♂	6 600 (40%)	Lait (0,10 σ_g)
Manech tête rousse	274 000	80 260 (29%)	150 ♂	600 ♂	62 000 (60%)	Lait, TB, TP (0,17 σ_g)
Manech tête noire	80 000	12 438 (16%)	30 ♂	175 ♂	6 300 (45%)	Lait, TB, TP (0,11 σ_g)
Basco-Béarnaise	80 000	24 386 (32%)	50 ♂	200 ♂	15 000 (55%)	Lait, TB, TP (0,16 σ_g)

(1) Somme des 2 entreprises de sélection (ES) de la race Lacaune.

(2) TP = Taux Protéique, TB = Taux Butyreux, CCS = Comptage de Cellules Somatiques, mamelle = morphologie mammaire.

domaine expérimental, pour être en mesure d'aborder l'ensemble des caractères dont les phénotypes ne sont pas alors disponibles dans le CLO du fait de cette mise en œuvre par étapes successives : les lignées divergentes pour le lait, puis pour les CCS, procréées au domaine INRA de La Fage, à partir de béliers d'IA de la population en sélection concernée, en constituent une illustration.

Cette stratégie, bien établie dans l'espace et dans le temps, ne doit toutefois pas brider la capacité à sortir de ces sentiers balisés, si s'impose l'obligation de prendre en compte un nouvel objectif de sélection indispensable et non prévu, qui pourrait sinon remettre en cause le choix initial de sélection de chaque race locale dans son bassin de production : la décennie 1990 et la résistance à la tremblante en constituent un bon exemple. La réactivité, l'imagination et l'adaptabilité de chaque partenaire, profession et recherche, sont alors indispensables pour faire face à de telles situations imprévues.

Le milieu d'élevage et donc de sélection, quand il est géré au troupeau et pas individuellement à la femelle, est susceptible d'induire des réponses biologiques originales en termes de robustesse ou de plasticité, donc de sélection durable. Un tel milieu de sélection, dans lequel les meilleures laitières se trouvent de fait dans un milieu défavorable, existe effectivement et a pu être mis en évidence en brebis laitières Lacaune, pour l'alimentation et la traite qui sont gérées au troupeau avec la brebis moyenne comme cible : les conséquences géné-

tiques sur l'amélioration de la capacité d'ingestion à même format, et de la vitesse de traite, avec le potentiel laitier, fournissent des exemples réels de réponse génétique durable, effectivement valorisées par les éleveurs depuis plus de deux décennies. La gestion au troupeau et non à la femelle peut donc être très intéressante pour une sélection de la plasticité des races locales dans leur milieu d'élevage respectif, quand elle présente des contraintes pour les meilleures brebis du troupeau. L'arrivée de nouveaux outils dits d'élevage de précision (Bocquier *et al* 2014) doit donc être raisonnée à la fois en termes technico-économiques et génétiques, pour maintenir de tels milieux de sélection intéressants pour l'expression de réponses génétiques durables. On peut prendre l'exemple de l'arrivée actuelle en brebis laitières des Dispositifs Automatisés de distribution de Concentrés (DAC) en salle de traite, couplés à l'identification individuelle des brebis par boucles électroniques : la bonne stratégie à mettre en œuvre (au moins en CLO) consiste à ajuster cette distribution de concentrés non pas individuellement mais en 3 ou 4 lots, dont le meilleur lot encore en partie contraint pour ses besoins nutritionnels, pour maintenir une réponse génétique d'amélioration de la capacité d'ingestion des fourrages avec le potentiel laitier.

Enfin, si les trois premières étapes de démarrage de chaque schéma de sélection en brebis laitières sont maintenant bien décrites (QL, puis taux, puis CCS et morphologie mammaire), sans oublier simultanément la sélection pour la

résistance à la tremblante, les nouveaux objectifs de sélection à intégrer dans l'ISOL vont certainement maintenant se diversifier, selon les situations d'élevage de chacune des cinq races locales de brebis laitières françaises, l'ancienneté et l'efficacité de son schéma de sélection. Divers nouveaux objectifs de sélection sont effectivement identifiés et/ou à l'étude en brebis laitières : persistance laitière, longévité, composition fine des laits, résistance aux strongles gastro-intestinaux, production de semence des béliers d'IA. En cas de pratique de la monotraite quotidienne, appliquée pendant tout ou partie de la période de traite exclusive, par une fraction des éleveurs du noyau de sélection de la race concernée, le critère de sélection laitière opérationnel resterait la production laitière à la traite exclusive pour tous les éleveurs en CLO : celui-ci incorporerait plus ou moins d'aptitude à la monotraite selon la proportion d'éleveurs en CLO pratiquant la monotraite quotidienne. Cette approche, combinant simplement sélection du potentiel laitier et aptitude à la monotraite, est parfaitement fondée, sachant les résultats décrits en fin de la partie 3.1. En tout état de cause, la mise en œuvre de la sélection génomique depuis 2015 en brebis laitières (Astruc *et al* 2016) offre des opportunités pour ajouter de nouveaux objectifs de sélection à ceux déjà inclus dans l'ISOL, dont les poids pourraient être revus à la baisse, pour faire de la place à ces nouveaux caractères : le passage à la SG offre en effet l'opportunité d'un nouveau démarrage de chaque schéma de sélection, conformément aux décisions que prendront les éleveurs.

Références

- Allain C., Aurel M.R., Pailler F., Portes D., Menras J.M., Carrière F., Cluzel F., Duvallon O., Pena-Arnaud B., Caillaud H., Marie-Etancelin C., Arhainx J., Dion S., Bergonier D., Focuras G., Rupp R., 2010. La cinétique d'émission du lait et l'anatomie de la mamelle sont associées à la résistance aux mammites : résultats d'une sélection divergente de brebis sur les comptages de cellules somatiques. *Renc. Rech. Rum.*, 17, 447-450.
- Astruc J.M., 2014. Milk recording ICAR 2014 surveys on sheep, <http://www.icar.org/survey/pages/tables.php>
- Astruc J.M., Barillet F., 2004. Current challenge for milk recording in dairy sheep and goats: the simplification of milk sampling design for chemical composition and somatic cell counts of milk. In: Proc. 34th Biennial Session Int. Committee Anim. Recording (ICAR), 113, Sousse, Tunisia, EAAP Publication, 315-322.
- Astruc J.M., Baloche G., Buisson D., Lavatut J., Lagriffoul G., Larroque H., Robert-Granié C., Legarra A., Barillet F., 2016. La sélection génomique des ovins laitiers en France. In : Brebis laitières en France : 50 ans de recherche et développement. Barillet F., Hassoun P., Astruc J.M., Lagriffoul G., Morin E. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 29, 41-56.
- Aussibal, G., 1977. Effets de la suppression d'une traite en fin de lactation chez la brebis laitière. Rapport BTS A EPA La Roque, 32p.
- Baelden M., Astruc J.M., Poivey J.P., Robert-Granié C., Bodin L., Bouix J., Barillet F., 2005. Etude de la relation génétique entre la prolificité et la production laitière en ovins laitiers. *Renc. Rech. Rum.*, 12, 153-156.
- Barillet F., 1985. Amélioration génétique de la composition du lait des brebis : l'exemple de la race Lacaune. Thèse de Docteur-Ingénieur, INA Paris-Grignon, Paris, France, 144p.
- Barillet F., 1997. Genetics of milk production in « The Genetics of Sheep », CAB International, Piper L., Ruvinsky A. (Eds). 20, 539-564.
- Barillet F., 2007. Genetic improvement for dairy production in sheep and goats. *Livest. Prod. Sci.*, 70, 60-75.
- Barillet F., Elsen J.M., 1979. Optimisation de l'utilisation de l'insémination artificielle dans les schémas de sélection des ovins. *Journ. Rech. Ovine et Caprine*, 186-204, ITOVIC-SPEOC, Paris, France.
- Barillet F., Boichard D., 1987. Studies on dairy production of milking ewes. I. Estimates of genetic parameters for total milk composition and yield. *Genet. Sel. Evol.*, 19, 459-474.
- Barillet F., Bonaïti B., 1992. Les objectifs et les critères de sélection : La production laitière des ruminants traits. In : Numéro hors série, Génétique quantitative. Bibé B., Bonaïti B., Elsen J.M., Guérin G., Mallard J., Minvielle F., de Mondini L., Mulsant P., De Rochambeau H., Farce M.H. (Eds). INRA Prod Anim, 117-122.
- Barillet F., Courot M., Frebling J., Legault C., 1984. Intérêts comparés, zootechniques et économiques, de la reproduction en insémination artificielle ou en monte naturelle selon l'espèce, le type de production, la taille du troupeau, le mode de conduite. In : Colloque INRA, Elsen J.M., Failleu J.L. (Eds). INRA, Versailles, France, 29, 97-111.
- Barillet F., Elsen J.M., Roussely M., 1986. Optimization of a selection scheme for milk composition and yield in milking ewes; example of the Lacaune breed. Proc. 3rd World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Dickerson G.E., Johnson R.K. (Eds). University of Nebraska, Lincoln, 11, 658-664.
- Barillet F., Boichard D., Bouloc N., Gabina D., Piacère A., Roussely M., Digwald J.P., 1987. Précision et mise en œuvre dans les espèces ovines et caprines de méthodes simplifiées de contrôle laitier adaptées à leur finalité. 38^{ème} Réunion annuelle de la FEZ, Lisbonne, Portugal.
- Barillet F., Elsen J.M., Roussely M., Belloc J.P., Briois M., Casu S., Carta R., Poivey J.P., 1988. Sélection lait-viande en brebis laitières. 3rd World Congr. Sheep Beef Cattle Breed., INRA, Paris, France, 2, 469-490.
- Barillet F., Astruc J.M., Bocquier F., Jacquin M., Fraysse G., Lagriffoul G., Marie C., Pellegrini O., Remeuf F., 1998. Influence des facteurs de production sur la composition chimique du lait valorisé en fromage : le cas du lait de brebis. Proc. Int. Symp. Basis Quality Typical Medit. Anim. Products. EAAP Publication, 90, 128-144.
- Barillet F., Elsen J.M., Arranz J.M., Soulas C., Vial-Novella C., Astruc J.M., Andreoletti O., Schelcher F., Laphiz N., Grenouillat D., 1999. Projet d'étude de diverses modalités d'éradication de la tremblante dans des élevages de brebis laitières des Pyrénées-Atlantiques, 26p.
- Barillet F., Rupp R., Mignon-Grasteau S., Astruc J.M., Jacquin M., 2001a. Genetic analysis for mastitis resistance and milk somatic cell score in French Lacaune dairy sheep. *Genet. Sel. Evol.*, 33, 297-415.
- Barillet F., Marie C., Jacquin M., Lagriffoul G., Astruc J.M., 2001b. The French Lacaune dairy sheep breed: use in France and abroad in the last 40 years. *Livest. Prod. Sci.*, 71, 17-29.
- Barillet F., Andreoletti O., Palhière I., Aguerre X., Arranz J.M., Minery S., Soulas C., Belloc J.P., Briois M., Fregeat G., Teinturier P., Amigues Y., Astruc J.M., Boscher M.Y., Schelcher F., 2002. Breeding for scrapie resistance using PrP genotyping in the French dairy sheep breeds. In: Proc. Seventh World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, France, CD-ROM communication 13-20.
- Barillet F., Palhière I., Astruc J.M., Brochard M., Baelden M., Aguerre X., Fidelle F., Arranz J.M., Belloc J.P., Briois M., Fregeat G., Soulas C., Andreoletti O., Corbière F., Schelcher F., 2004. Le programme français d'éradication de la tremblante du cheptel ovin fondé sur l'utilisation de la génétique. In : Numéro hors série, Encéphalopathies spongiformes transmissibles animales. Ducrot C., Charley-Poullain J., Aynaud J.M. (Eds). INRA Prod. Anim., 87-100.
- Barillet F., Astruc J.M., Lagriffoul G., Aguerre X., Bonaïti B., 2008. Selecting milk composition and mastitis resistance by using a part lactation sampling design in French Manech red faced dairy sheep breed. In: Proc. 36th Biennial Sess. Int. Committee for Anim. Recording (ICAR), Niagara Falls, USA, Technical series, 13, 129-135.
- Benestad S.L., Sarradin P., Thu B., Schönheit J., Tranulis M.A., Bratberg B., 2003. Cases of scrapie with unusual features in Norway and designation of a new type, Nor98. *Vet. Rec.*, 153, 202-208.
- Bergonier D., de Cremoux R., Rupp R., Lagriffoul G., Berthelot X., 2003. Mastitis of dairy small ruminants. *Vet. Res.*, 34, 689-716.
- Berthelot, X., Lagriffoul, G., Concordet, D., Barillet, F., Bergonier, D., 2006. Physiological and pathological thresholds of somatic cell counts in ewe milk. *Small Rum. Res.*, 62, 27-31.
- Blanc F., Dumont B., Brunschwig G., Bocquier F., Agabriel J., 2010. Robustesse, flexibilité, plasticité : des processus adaptatifs révélés dans les systèmes d'élevage extensifs de ruminants. *INRA Prod. Anim.*, 23, 65-80.
- Bocquier F., Guillouet P., Barillet F., 1995. Alimentation hivernale des brebis laitières : intérêt de leur mise en lots. *INRA Prod. Anim.*, 88, 19-28.
- Bocquier F., Aurel M.R., Barillet F., Jacquin M., Lagriffoul G., Marie C., 1998. Effects of partial suckling during the milking period on milk production of Lacaune dairy ewes. Proc. 6th Int. Symp. Milking Small Rum., Athens, Greece, September 26-October 1, 1998, EAAP Publication, 95, 1999, 257-262, Wageningen Pers.
- Bocquier F., Guillouet P., Barillet F., Chilliard Y., 1999. Comparison of three methods for the in vivo estimation of body composition in dairy ewes. *Ann. Zoot.*, 48, 1-12.
- Bocquier F., Debus N., Lurette A., Maton C., Viudes G., Moulin C.H., Jouven M., 2014. Elevage de précision en systèmes d'élevage peu intensifiés. *INRA Prod. Anim.*, 27, 101-112.
- Boichard D., Bonaïti B., 1987. Etudes sur la production laitière des bovins ; IV. Paramètres génétiques en première lactation. *Ann. Genet. Sel. Evol.*, 19, 337-350.
- Boichard D., Bouloc N., Ricordeau G., Piacère A., Barillet F., 1989. Genetic parameters for first lactation dairy traits in the Alpine and Saanen goat breeds. *Genet. Sel. Evol.*, 21, 205-215.
- Boichard D., Govignon-Gion A., Larroque H., Maroteau C., Palhière I., Tosser-Klopp G., Rupp R., Sanchez M.P., Brochard M., 2014. Déterminisme génétique de la composition en acides gras et protéines du lait des ruminants, et potentialités de sélection. In : PhénoFinlait : Phénotypage et génotypage pour la compréhension et la maîtrise de la composition fine du lait. Brochard M., Boichard D., Brunschwig P., Peyraud J.L. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 27, 283-298.
- Bruckmaier R.M., 2001. Milk ejection during machine milking in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 70, 121-124.
- Calavas D., Ducrot C., Savey M., 2002. L'incidence de la tremblante des petits ruminants a-t-elle augmenté en France depuis l'apparition de l'ESB ? Analyse à partir du réseau

- de surveillance clinique. Bull. des GTV, 13, 99-105.
- Casu S., Benyouceff M.T., Flamant J.C., 1977. Amélioration génétique de la production laitière des brebis Sardes : III. Recherche d'une interaction Bélier x Nombre de traits journalières. Ann. Genet. Sél. Anim., 9, 335-351.
- Casu S., Barillet F., Carta R., Sanna S., 1989. Amélioration génétique de la forme de la mamelle de la brebis Sarde en vue de la traite mécanique. Proc. 4th Int. Symp. Machine Milking Small Rum., Tel-Aviv, Israël, 104-133.
- Casu S., Pernazza I., Carta A., 2006. Feasibility of a linear scoring method of udder morphology for the selection scheme of Sardinian sheep. J. Dairy Sci., 89, 2200-2209.
- Colleau J.J., Marie C., Jacquin M., Barillet F., 1996. Sélection divergente en lignées ouvertes. Séminaire « Planification expérimentale en génétique animale », Saint Martin de Ré, France, Dept. Gen. Anim., INRA, 85-101.
- Corbière F., Barillet F., Andreoletti O., Fidelle F., Laphitz-Bordet N., Schelcher F., Joly P., 2007. Advanced survival models for risk factor analysis in scrapie. J. Gen. Virol., 88, 696-705.
- Corbière F., Fidelle F., Barillet F., 2008. Tremblante ovine : les enseignements épidémiogénétiques d'un suivi de 10 ans de 25 élevages Manech Tête Rousse ayant utilisé des béliers homozygotes résistants pour éradiquer la tremblante classique. Renc. Rech. Rum., 15,443.
- Coste E., 1974. Amélioration génétique des ovins laitiers : étude de la souche synthétique FSL. Mémoire ISA Rhône-Alpes, 62p.
- Cottier M., 1972. Le contrôle laitier ovin simplifié dans la zone de Roquefort. Proc. Symp. Milk recording practices Sheep Goats. Israël.
- David I., Druart X., Lagriffoul G., Manfredi E., Robert-Granié C., Bodin L., 2007. Genetic and environmental effects on semen traits in Lacaune and Manech tête rousse AI rams. Genet. Sel. Evol., 39, 405-419.
- David I., Robert-Granié C., Manfredi E., Lagriffoul G., Bodin L., 2008. Environmental and genetic variation factors of artificial insemination success in French dairy sheep. Animal, 2, 979-986.
- de La Fuente L.F., Fernandez G., San Primitivo F., 1996. A linear evaluation system for udder traits of dairy ewes. Livest. Prod. Sci., 45, 171-178.
- Ducrocq V., 2005. An improved model for the French genetic evaluation of dairy bulls on length of productive life of their daughters. Animal Sci., 80, 249-256.
- Ducrocq V., Sölkner J., 1994. «The survival Kit», a Fortran package for the analysis of survival data. Proc. 5th World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod., Guelph, Ontario, Canada, 22, 51-52.
- Ducrocq V., Boichard D., Barbat A., Larroque H., 2001. Implementation of an approximate multitrait BLUP evaluation to combine production traits and functional traits into a total merit index. Proc. 52th Ann. EAAP Meet., Budapest, Hongrie, Book of abstracts, p2.
- El Saïed U.M., Carriero J.A., De La Fuente L.F., San Primitivo F., 1999. Genetic parameters of lactation cell counts and milk and protein yield in dairy ewes. J. Dairy Sci., 81, 2956-2961.
- Elsen J.M., Mocquot J.C., 1974. Recherches pour une rationalisation technique et économique des schémas de sélection des bovins et ovins. Bull. Tech. Dept. Gen. Anim. INRA, 17, 76-97.
- Fernandez G., Baro J.A., de la Fuente L.F., San Primitivo F., 1997. Genetic parameters for linear udder traits of dairy ewes. J. Dairy Sci., 80, 601-605.
- Flamant J.C., Cattin-Vidal P., 1960. Essai d'introduction des brebis de race Sarde dans le Rayon de Roquefort. Bull. Tech. Inf., 215, 941-956.
- Flamant J.C., Ricordeau G., 1969. Croisements entre les races ovines Préalpes du Sud et Frisonne (Ostfriesisches Milchschaft). I. La brebis laitière de Frise Orientale : élevage en race pure, utilisation en croisement. Ann. Zootech., 18, 107-130.
- Flamant J.C., Poutous M., 1970. Aspects quantitatifs de la production laitière des brebis. VII : Précision d'un contrôle laitier alterné (AT) et d'un contrôle laitier d'alternance quelconque corrigé pour les écarts moyens entre les performances du soir et du matin (AC). Ann. Gen. Sel. Anim., 2, 65-73.
- Flamant J.C., Barillet F., 1982. Adaptation of the principles of selection for milk production to milking ewes: a review. Livest. Prod. Sci., 9, 549-559.
- Fraysse J., Lagriffoul G., Bocquier F., Barillet F., 1996. Brebis laitières : impact de la structure du troupeau et autres facteurs d'élevage sur la composition chimique du lait livré, INRA Prod Anim, 9, 201-210.
- Gelé M., Minéry S., Astruc J.M., Brunshwig P., Ferrand-Calmels M., Lagriffoul G., Larroque H., Legarto J., Leray O., Martin P., Miranda G., Palhière I., Trossat P., Brochard M., 2014. Phénotypage et génotypage à grande échelle de la composition fine des laits dans les filières bovine, ovine et caprine. In : PhénoFinlait : Phénotypage et génotypage pour la compréhension et la maîtrise de la composition fine du lait. Brochard M., Boichard D., Brunshwig P., Peyraud J.L. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 27, 255-268.
- Gengler N., 1996. Persistency of lactation yields : a review. Inter Bull., 12, 87-96.
- Guillouet P., Ricard E., Aurel M.R., Jacquin M., Astruc J.M., Bibé B., Barillet F., 1990. Conception d'un système de contrôle laitier automatisé pour les ovins et caprins laitiers. Proc. 27th Biennial Session of ICAR, Paris, France, (EAAP Publication No. 50, 1991) 130-136.
- Haman H., Horstick A., Wessels A., Distl O., 2004. Estimation of genetic parameters for test day milk production, somatic cell score and litter size at birth in East Friesian ewes. Livest. Prod. Sci., 87, 153-160.
- Hassoun P., Allain C., Marnet P.G., Gonzalez-Garcia E., Larroque H., Vanbergue E., Dessauge F., Dzidic A., Autran P., Portes D., Guitard J.P., Lagriffoul G., Tesnière A., Morin E., de Boissieu C., Moulin C.H., Lurette A., Barillet F., 2016. La monotraite appliquée en brebis laitières de race Lacaune : synthèse de cinq années de recherche conduites dans le cadre du programme Roquefort'in. In : Brebis laitières en France : 50 ans de recherche et développement. Barillet F., Hassoun P., Astruc J.M., Lagriffoul G., Morin E. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 29, 57-72.
- Hunter N., Foster J.D., Goldmann W., Stear M.J., Hope J., Bostock C., 1996. Natural scrapie in a closed flock of Cheviot sheep occurs only in specific PrP genotypes. Arch. Virol., 141, 809-824.
- ICAR 1992. (Barillet F., Astruc J.M., de Brauwer P., Casu S., Fabbri G., Feddersen E., Frangos K., Gabina D., Gama L.T., Ruiz Tena J.L., Sanna S.R.) Int. Regul. Milk Record. Sheep, IE Paris, France, 15p.
- ICAR 2014 (Astruc J.M., *et al*). ICAR Recording Guidelines approved on May 2014, Berlin, Germany http://www.icar.org/Documents/Rules%20and%20regulations/Guidelines/Guidelines_2014.pdf.
- Jacquet P., Fidelle F., Grisez C., Prevot F., Lienard E., Bergeaud J.P., Sicard S., Barillet F., Astruc J.M., 2011. Sélection sur phénotypes de la résistance aux strangles gastro-intestinaux en centre d'élevage de béliers. Renc. Rech. Rum., 18, 343-346.
- Kendall M.G., Stuart A., 1958. The advanced theory of statistics, Charles Grifftin and Company Ud. London, 1st Edition.
- Kominakis A., Rogdakis R., Koutsotolis K., 1998. Genetic parameters for milk yield and litter size in Botsico dairy sheep. Can. J. Anim. Sci., 78, 525-532.
- Labatut J., Aggeri F., Bibé B., Girard N., 2012. Coopérer pour gérer des races locales : conception, rôle et usages des instruments scientifiques de sélection. Nat. Sci. Soc., 20, 143-156.
- Lagriffoul G., Morin E., Astruc J.M., de Boissieu C., Hassoun Ph., Larroque H., Legarto J., Barillet F., 2014. 25 ans d'évolution du potentiel laitier de la race Lacaune, des conditions d'alimentation des brebis et des résultats économiques dans le bassin ovin laitier de Roquefort. Renc. Rech. Rum., 21, 109-112.
- Lagriffoul G., Morin E., Astruc J.M., Bocquier F., de Boissieu C., Hassoun P., Legarto J., Marnet P.G., Poulet J.L., Barillet F., 2016. Panorama de la production de lait de brebis en France et son évolution depuis 50 ans. In : Brebis laitières en France : 50 ans de recherche et développement. Barillet F., Hassoun P., Astruc J.M., Lagriffoul G., Morin E. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 29, 7-18.
- Leclerc H., 2008. Mise en place de l'évaluation génétique sur les contrôles élémentaires en bovins laitiers et perspectives d'utilisation des résultats en appui technique. Thèse de Docteur Agro Paris Tech, Paris, France, 258p.
- Legarra A., Ugarte E., 2005. Genetic parameters of udder traits, somatic cell score and milk yield in Lataxa sheep. J. Dairy Sci., 88, 2238-2245.
- Ligda Ch., Gabriilidis G., Papadopoulos Th., Georgoudis A., 2000. Estimation of genetic parameters for production traits of Chios sheep using a multitrait animal model. Livest. Prod. Sci., 66, 217-221.
- Marie C., Jacquin M., Aurel M.R., Pailler F., Porte D., Autran P., Barillet F., 1998. Déterminisme génétique de la cinétique d'émiss-

- sion du lait selon le potentiel laitier en race ovine de Lacaune et relations phénotypiques avec la morphologie de la mamelle. Proc. 6th Int. Symp. Milking Small Rumin., Athens, Greece, September 26-October 1, 1998, EAAP Publication, 95, 381-388, Wageningen Pers.
- Marie C., Such X., Barillet F., Bocquier F., Caja G., 2002. Efficacité alimentaire selon le potentiel laitier des brebis. in: Nutrition, alimentation et élevage des brebis laitières : maîtrise de facteurs de production pour réduire les coûts et améliorer la qualité des produits, Options Méditerranéennes, CIHEAM. N° B-42, 57-71.
- Marie-Etancelin C., Astruc J.M., Porte D., Larroque H., Robert-Granié C., 2005. Multiple-trait genetic parameters and genetic evaluation of udder-type traits in Lacaune dairy ewes. Livest. Prod. Sci., 97, 211-218.
- Marie-Etancelin C., Manfredi E., Aurel M.R., Paillet F., Arhainx J., Ricard E., Lagriffoul G., Guillouet P., Bibé B., Barillet F., 2006. Genetic analysis of milking ability in Lacaune dairy ewes. Genet. Sel. Evol., 38, 183-200.
- Marnet P.G., McKusick B.C., 2001. Regulation of milk ejection and milkability in small ruminants. Livest. Prod. Sci., 70, 125-133.
- Marnet P.G., Combaud J.F.C., Dano Y., 1999. Relationships between characteristics of the teat and milkability in Lacaune ewes. Proc. 6th Int. Symp. Milking Small Rumin., Athens, Greece, September 26-October 1, 1998, EAAP Publication, Wageningen Pers, 95, 257-262.
- Mavrogenis A.P., Koumas A., Gavrielidis G., 1999. The inheritance of somatic cell counts in Chios sheep. In: Proc. VIth Int. Symp. Milking Small Rumin., 95, Athens, Greece, EAAP Publication, 389-392.
- Minery S., Arranz J.M., Aguerre X., Fidelle F., Garrain C., Vial-Novela C., Soulas C., Palhière I., Astruc J.M., Andreoletti O., Schelcher F., Barillet F., 2002. Utilisation de la génétique pour éradiquer la tremblante dans les élevages de brebis laitières des Pyrénées-Atlantiques. Renc. Rech. Rum., 9, 93-96.
- Othmane M.H., Carriedo J.A., San Primitivo F., de la Fuente J.A., 2002. Genetic parameters for lactation traits of milking ewes: protein content and composition, fat, somatic cells and individual laboratory cheese yield. Genet. Sel. Evol., 34, 581-596.
- Palhière I., Elsen J. M., Barillet F., Astruc J. M., Bibé B., Bouix J., Boscher M. Y., Catrou O., Dion F., Francois D., Griffon L., Jullien E., Orlanges M., Petter G., Valognes R., 2002. Génétique de la résistance à la tremblante des ovins : état des connaissances et application pour l'amélioration des populations ovines françaises. Renc. Rech. Rum., 9, 3-9.
- Pellegrini O., Remeuf F., Rivemale M., Barillet F., 1997. Renneting properties of milk from individual ewes: influence of genetic and non-genetic variables, and relationship with physico-chemical characteristics. J. Dairy Res., 64, 355-366.
- Ricordeau G., Flamant J.C., 1969. Croisements entre les races ovines Préalpes du Sud et Frisonne (Ostrfriesisches Milchschaft). II. Reproduction, viabilité, croissance, conformation. Ann. Zootech., 18, 131-149.
- Riggio V., Finocchiaro R., Kaam J.B.C.H.M. van., Portolano B., Bovenhuis H., 2007. Parameters for milk somatic cell score and relationships with production traits in primiparous dairy sheep. J. Dairy Sci., 90, 1998-2003.
- Rupp R., Boichard D., 2003. Genetics of resistance to mastitis in dairy cattle. Vet. Res., 34, 671-688.
- Rupp R., Lagriffoul G., Astruc J.M., Barillet F., 2003. Genetic parameters for milk somatic cell scores and relationships with production traits in French Lacaune dairy sheep. J. Dairy Sci., 86, 1476-1481.
- Rupp R., Bergonier D., Dion S., Hygonenq M.C., Aurel M.R., Robert-Granié C., Foucras G., 2009. Response to somatic cell count-based selection for mastitis resistance in a divergent selection experiment in sheep. J. Dairy Sci., 92, 1203-1219.
- Sanna S.R., Carta A., Casu S., 1997. (Co)variance component estimates for milk composition traits in Sarda dairy sheep using a bivariate animal model. Small Rumin. Res., 25, 79-84.
- Sauvant D., Martin O., 2010. Robustesse, rusticité, flexibilité, plasticité... les nouveaux critères de qualité des animaux et des systèmes d'élevage : définitions systémique et biologique des différents concepts. INRA Prod. Anim., 23, 5-10.
- Serrano M., Perez-Guzman M.D., Montoro V., Jurado J.J., 2002. Genetic analysis of udder traits in Manchega ewes. Livest. Prod. Sci., 77, 355-361.
- Serrano M., Perez-Guzman M.D., Montoro V., Jurado J.J., 2003. Genetic analysis of somatic cell count and milk traits in Manchega ewes: Mean lactation and test-day approaches. Livest. Prod. Sci., 84, 1-10.
- Sidani C., Astruc J.M., Bouchel D., Bouffartigues B., Le Du C., Raoul G., Barillet F., 2013. La résistance génétique des ovins à la tremblante continue à s'améliorer. Le Point Vétérinaire, 336, 66-71.
- Vallerand F., Elsen J.M., 1979. La diffusion du progrès génétique : étude théorique et quelques applications. Proc. 5^{èmes} Journ. Rech. Ovine et Caprine, Paris, France, 76-98.
- Veerkamp R.F., 1998. Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: a review. J. Dairy Sci., 81 1109-1119.
- Wiggins G.R., Shook G.E., 1987. A lactation measure of somatic cell count. J. Dairy Sci., 70, 2666-2672.

Résumé

L'un des facteurs limitants identifiés dans les années 1950 était le potentiel laitier insuffisant des races de brebis traitées en France, qui a initié la collaboration entre profession et recherche qui perdure depuis. Après une phase initiale où les deux stratégies génétiques possibles, croisement ou race pure, ont été explorées, la profession a fait le choix dans les années 1970 de la sélection de chaque race locale dans son terroir de production avec son fromage d'Appellation d'Origine Protégée. La réussite de la sélection des cinq races locales concernées est le fruit d'une démarche raisonnée et optimisée dans l'espace (gestion pyramidale) et dans le temps (la quantité de lait, puis les aptitudes fromagères du lait, puis les caractères fonctionnels de la sphère mammaire), et de la mise en œuvre d'objectifs de sélection cumulatifs à l'échelle de chacune des populations concernées. Cette démarche est validée par des va-et-vient permanents entre élevages privés et expérimentaux, ou des expérimentations dans les élevages privés : elle a permis de proposer des solutions inédites comme le contrôle laitier qualitatif ponctuel pour les taux butyreux et protéiques, puis pour les comptages de cellules somatiques, tout en permettant de comprendre l'originalité de milieux de sélection induits par le pilotage global au troupeau, susceptible de favoriser des réponses génétiques indirectes durables (capacité d'ingestion, vitesse de traite et aptitude à la monotraite des brebis) bien exploitées par les éleveurs. Cette démarche balisée n'interdit pas de sortir du cadre quand il s'agit de répondre à un objectif stratégique et imprévu, comme la résistance à la tremblante dans les années 1990. La diversification pour chacune des cinq races locales de nouveaux objectifs de sélection (aptitude à la monotraite quotidienne, longévité fonctionnelle, persistance laitière, résistance aux strongles gastro-intestinaux) est susceptible d'intervenir avec le démarrage depuis 2015 de la sélection génomique des brebis laitières françaises.

Abstract

Breeding objectives and reasoned strategy of implementation at the population level for French dairy sheep breeds

One of the limiting factors identified in the 1950's was low milk yield level of the French dairy ewes, which initiated the collaboration between breeder organizations and researchers that has been developed. Initially, the two possible genetic strategies, crossbreeding or purebred selection, were investigated. Finally the breeders chose in the 1970's the selection of each local French dairy sheep breed in its specific area of production related to its PDO cheese. The success of the selection of the five involved local breeds is the result of a rationalized and optimized approach, in space (pyramidal management of the population), and in time (progressiveness of the breeding goals from milk yield only to global merit giving the same weights to milk traits and udder functional traits). This approach was validated by permanent exchanges between private and experimental flocks: it permits, on the one hand to conceive and validate simplified tools such as lactation sampling for fat and protein contents, and SCC, and on the other hand to understand the originality of the dairy selection environment when management decisions are taken at the flock level and not individually, which may induce sustainable indirect genetic responses (feed intake ability, milking speed, once daily milking ability) used by the breeders. This rationalized approach does not preclude the implementation of other solutions to address a strategic and unforeseen new goal, such as scrapie resistance in the 1990's. For each of the five local breeds, diversification of new breeding objectives (once daily milking ability, functional longevity, milk persistency, resistance to gastrointestinal strongyles) is likely to occur since the 2015 starting of genomic selection in French dairy sheep breeds.

BARILLET F., LAGRIFFOUL G., MARNET P.-G., LARROQUE H., RUPP R., PORTES D., BOCQUIER F., ASTRUC J.-M., 2016. Objectifs de sélection et stratégie raisonnée de mise en œuvre à l'échelle des populations de brebis laitières françaises. In : Brebis laitières en France : 50 ans de recherche et développement. Barillet F., Hassoun P., Astruc J.M., Lagriffoul G., Morin E. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 29, 19-40.