

Evolution de la sélection des espèces laitières en France (bovins, ovins, caprins)

J.J. COLLEAU (1), J.C. MOCQUOT (2), F. BARILLET (3), J.M. ASTRUC (4), E. MANFREDI (3), A. PIACERE (5)

(1) INRA, Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas Cedex

(2) IE, Département de Génétique Animale, 75595 Paris Cedex 12

(3) INRA, Station d'Amélioration Génétique des Animaux, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

(4) UNLG, Station d'Amélioration Génétique des Animaux, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

(5) Caprigène-IE, Station d'Amélioration Génétique des Animaux, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

RÉSUMÉ – On donne une description des problèmes globaux posés à la sélection des espèces laitières en France (bovins, ovins, caprins) tels que la nécessité de s'adapter à la modification du contexte économique, en changeant l'importance relative des caractères à sélectionner. On détaille ensuite les solutions envisagées : mise à jour de l'objectif de sélection, enregistrement de nouvelles performances, indexation de nouveaux caractères, développement des connaissances sur le génome et intensification de l'efficacité des programmes de sélection. Pour chacun de ces secteurs, on fait l'exposé du problème dans sa généralité, puis le résumé de la situation passée et enfin celui des tendances et perspectives, ceci pour chacune des espèces.

Trends in breeding French dairy populations (cattle, sheep and goats)

J.J. COLLEAU (1), J.C. MOCQUOT (2), F. BARILLET (3), J.M. ASTRUC (4), E. MANFREDI (3), A. PIACERE (5)

(1) INRA, Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas Cedex

SUMMARY – An overview of the general needs of selection in French dairy populations (cattle, sheep, goats) is given : the current and future economic context might lead one to change the relative weights of the traits to be selected for. Then, the technical solutions envisioned to meet these requirements are detailed : updating selection objective, recording of new traits, corresponding new breeding value estimations, extensification of the research on genome and enhancement of the efficiency of breeding programmes. Each particular solution is introduced by a general description of its potential in each species. Then, the summary of the past situation is given and finally, possible future trends are indicated.

INTRODUCTION

La sélection des espèces laitières (bovins, ovins, caprins) a pour but l'obtention d'animaux de plus en plus adaptés au contexte économique qui prévaut dans leurs filières respectives. Or ce contexte change ou peut changer, notamment si l'on considère l'évolution de la PAC, la mondialisation de l'économie et (ou) les changements d'attitude des consommateurs vis à vis des produits animaux. Par ailleurs, la sélection met ou doit mettre en œuvre au service des précédentes finalités diverses techniques et connaissances, qui évoluent elles aussi, car elles procèdent très largement des progrès scientifiques actuels au niveau mondial.

L'action constante et combinée de ces deux types de facteurs sur la conduite et l'orientation des programmes de sélection peut les modifier et de ce fait susciter de nombreuses interrogations chez les observateurs des filières qui ne sont pas directement impliqués dans le domaine de l'amélioration génétique. L'objet de cette communication est de faire le point à l'intention de ces observateurs, sur la manière dont la sélection des espèces laitières françaises répond ou va répondre aux grandes sollicitations provenant de l'évolution du monde actuel. Chaque famille de préoccupations sera abordée de la même manière. On exposera d'abord le problème en ses termes généraux. On fera ensuite un résumé de la situation actuelle en France, en intégrant les évolutions récentes. Puis on indiquera les perspectives ou inconnues qui concernent le futur.

1. CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET CARACTÈRES À SÉLECTIONNER

1.1. GÉNÉRALITÉS

Il est bien connu que les espèces laitières n'ont pas un niveau de prolificité tel qu'on pourrait conduire l'amélioration génétique en recourant systématiquement au croisement, comme dans l'espèce porcine, pour mettre à profit les aptitudes complémentaires des différentes races et des phénomènes d'hétérosis. Par conséquent, la sélection doit porter simultanément sur l'ensemble des caractères économiquement importants, au sein de programmes menés en race pure. Or la liste de ces caractères est très longue : quantité et qualité du lait, résistance aux maladies, reproduction, longévité, morphologie de la mamelle et aptitude à la traite, efficacité alimentaire, format et vitesse de croissance.

Sans même devoir exposer dans le détail le déterminisme génétique conjoint de tous ces caractères, il apparaît assez intuitif que l'obtention de reproducteurs sélectionnés ayant un excellent niveau génétique pour tous ces caractères est une tâche extrêmement difficile voire impossible. C'est la raison profonde qui fait que les généticiens du monde entier ont tendance à privilégier, pour des raisons d'efficacité, l'approche dite de l'« objectif de sélection » qui a un sens plus précis que la dénomination « les objectifs de la sélection » fréquemment utilisée dans le langage courant. L'objectif de sélection correspond à une formalisation de type mathématique de l'efficacité économique de l'animal dans son système de production. Le type le plus simple d'objectif correspond à la somme pondérée de plusieurs caractères. La pondération concernant un caractère donné y représente l'impact de la variation de celui-ci sur l'efficacité économique finale, en maintenant constants les autres caractères (Colleau *et al.*, 1994 ; Phocas *et al.*, 1997). Si l'objectif de sélection décrit correctement la manière dont chaque caractère influence l'efficacité économique globale, il

est bien entendu plus efficace de sélectionner les animaux d'après leurs performances globales (avec les pondérations de l'objectif) que d'insister sur tel ou tel caractère en imposant des seuils éliminatoires correspondants.

Si la population sélectionnée est placée dans des conditions variées et s'il n'est pas possible d'établir des populations à objectifs distincts de sélection, notamment à cause de l'intensité des échanges de matériel génétique, il est alors approprié d'établir un objectif de sélection unique, obtenu à partir de la pondération des objectifs élémentaires.

1.2. SITUATION ACTUELLE ET ÉVOLUTION RÉCENTE.

L'organisation de la production par rapport aux populations dont peuvent disposer les organismes de sélection est très différente suivant les espèces. La structure la plus simple à comprendre est celle des ovins laitiers où à chaque population correspond un terroir et un fromage à AOC dominant : race Lacaune (Roquefort), races Basco-Béarnaise et Manech (Ossau-Iraty), race Corse (Brucio). Chez les caprins, on a deux races dominantes (Alpine et Saanen) exploitées par des éleveurs livreurs ou fromagers pour assurer une production fromagère comprenant une dizaine d'AOC. Chez les bovins, trois races (Holstein, Normande, Montbéliarde) forment plus de 95 % des effectifs. La production laitière est à l'origine de 70 à 80 % du revenu, le reste provenant de la production de viande. Bien que la race Holstein soit pratiquement ubiquitaire et utilisée dans tous les systèmes de production laitière, on note une association préférentielle entre les races mixtes et le développement des fabrications fromagères, avec quelquefois des AOC d'origine très ancienne (Comté). La triade race-terroir-produit est encore peu représentée : association entre races Tarentaise ou d'Abondance et fromage de Beaufort.

Jusqu'à présent, les objectifs de sélection dans les trois espèces ont été simplifiés par rapport à ce qu'ils auraient dû être, vu la réalité économique stricte. En ovins laitiers, au démarrage du programme, l'objectif de sélection considère délibérément la seule production laitière (étant donné le potentiel laitier initial limité des races françaises), avant de prendre également en compte la composition du lait (TB, TP), comme ce fut le cas en race Lacaune voici une dizaine d'années (Astruc *et al.*, 1997). On attend en effet que la réussite de la sélection laitière à l'échelle de la population soit bien établie, avant de tenir compte du débouché fromager du lait et des contraintes de gras sur sec des fromages à AOC. Cela suppose alors d'améliorer à la fois la quantité de fromage et le rendement fromager, tout en préservant le rapport TB/TP. A terme, l'objectif de sélection inclut donc MG, MP et TP (Barillet *et al.*, 1994). Chez les caprins, l'objectif de sélection prioritaire a porté sur la quantité (MP) et le taux de protéine TP (Piacère *et al.*, 1997). Ce choix s'explique par l'importance du TP sur le rendement fromager et par les taux des laits caprins, plus faibles qu'en brebis ou vaches, qui entraînent des pertes de caillé. Cela arrive surtout au printemps et en été quand une majorité de lactations est dans une phase d'appauvrissement du lait à cause du saisonnement de l'espèce. Chez les bovins, l'objectif de sélection tient compte depuis longtemps d'un nombre de critères assez diversifiés, ce qui peut s'expliquer par une faisabilité des mesures zootechniques plus grande que chez les ovins et caprins : matière utile puis MG et MP, taux utile puis TB et TP, quantité de lait, développement, conformation musculaire, conformation de la mamelle, aptitude à la traite, morphologie du bassin et des membres. Cependant, certaines pondérations,

notamment celles relatives à la morphologie ne sont pas établies en rapport avec l'efficacité économique globale, parce qu'elles seraient alors difficiles à chiffrer, mais en raison des évolutions souhaitées pour ces critères eux-mêmes. Pour l'instant, on peut penser que cette démarche correspond davantage aux souhaits des éleveurs sélectionneurs qu'au besoin des producteurs de lait au sens strict. L'instauration des quotas en 1984 a eu pour effet d'infléchir l'objectif de sélection, la modélisation permettant d'observer que dans le nouveau contexte économique le poids affecté à MG devrait être diminué voire annulé (Colleau *et al.*, 1994).

1.3. TENDANCES ET PERSPECTIVES

Dans le passé, les critères de production laitière (lait, MG, MP) avaient la pondération la plus importante dans les objectifs de sélection des différentes populations de manière à satisfaire les besoins de la production nationale malgré un niveau génétique initial insuffisant. Le contexte actuel et futur du marché mondial risque d'exercer une pression encore plus forte sur le prix des produits majeurs que sont le lait et la viande. De ce fait, les schémas de sélection des trois espèces laitières devront mieux maîtriser les coûts de production, d'une part en continuant d'améliorer substantiellement l'aptitude à produire et d'autre part en donnant une place plus grande à des caractères tels que la longévité, la résistance aux maladies, la reproduction, la morphologie, l'efficacité alimentaire. Par ailleurs, si la sélection passée sur la production laitière a pu dégrader un ou plusieurs de ces caractères, il peut devenir nécessaire de rectifier cette tendance.

En ovins, on fait la distinction entre les caractères dont on veut simplement observer l'évolution génétique (efficacité alimentaire, prolificité) et ceux que l'on voudrait améliorer, notamment la facilité de traite et la résistance aux mammites. En raison des difficultés et donc du coût des mesures zootechniques dans cette espèce, l'approche globale de la longévité (Ducrocq, 1997) présente un intérêt certain.

En caprins, il est prévu d'intégrer la MG dans l'objectif de sélection pour assurer une évolution adéquate du rapport gras/sec. Il est par ailleurs envisagé d'intégrer la vitesse de traite et la morphologie de la mamelle dans l'objectif de sélection.

En ce qui concerne les bovins, on teste actuellement un modèle bioéconomique permettant de décrire une exploitation soumise aux contraintes les plus évidentes (quota et surface) où longévité, résistance aux mammites, reproduction femelle et format, figurent explicitement en plus de la production laitière. Il faudra ensuite déterminer les paramètres technico-économiques représentant les principales situations et évaluer les objectifs de sélection pour chaque situation (race x système de production). Il faudra, en concertation avec tous les partenaires de la sélection, choisir concrètement l'objectif de sélection propre à chaque population, en fonction des résultats précédents et aussi des résultats concernant les réponses attendues à la sélection, pour chaque caractère. L'ensemble de cette démarche devrait aboutir en 1998.

2. CONNAISSANCE DE LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE

2.1. GÉNÉRALITÉS

L'essentiel de nos connaissances, au niveau mondial, provient actuellement de travaux effectués dans le cadre du modèle génétique polygénique, où l'on considère que chaque caractère est régi par un très grand nombre de gènes, dont seul l'effet global est accessible. La contribution relative de ces gènes à la

variabilité générale est égale à l'héritabilité (h^2). Certains gènes peuvent influencer simultanément deux caractères différents ce qui induit une corrélation génétique (r_G) entre ceux-ci, dont la valeur n'a aucune raison d'être toujours égale à la corrélation phénotypique totale (r_p). Si h^2 est faible, la réponse à la sélection est faible. La meilleure situation pour sélectionner deux caractères ensemble se présente pour r_G proche de 1 et la pire pour r_G proche de -1. A noter que même pour $r_G = 0$ (caractères génétiquement indépendants), la sélection simultanée de deux caractères correspond déjà à une difficulté, contrairement à ce qu'on pense, du fait de la dilution de l'effort de sélection sur chacun des caractères.

La connaissance de tels paramètres permet de prédire les réponses à la sélection et contribue à une indexation correcte des reproducteurs à sélectionner.

Ce modèle génétique a rendu et rend encore de grands services. On s'aperçoit de cette manière que l'évolution des caractères héréditaires comme la production de lait ou la composition du lait dans les schémas de sélection est assez facilement prédictible (Le Mézec et Boulanger, 1997). Il permet également de bien appréhender la difficulté posée par la sélection pour les caractères secondaires, souvent peu héréditaires et opposés à la production laitière.

Cependant, les connaissances sur le génome progressent et on s'oriente à long terme vers une situation où l'on connaîtrait un certain nombre de gènes régissant un caractère donné (gènes majeurs), les autres ne pouvant être discernés tout comme dans le modèle génétique classique. Déjà, dans un petit nombre de cas, on est capable d'identifier directement des gènes, bien décrits au niveau structural et au niveau chromosomique pour lesquels une variation allélique s'accompagne d'une variation de performance. On commence par ailleurs, au niveau mondial, à mettre en évidence l'existence d'autres gènes à effets individuels quantifiables (QTL : quantitative trait loci) par des méthodes indirectes, faisant intervenir la liaison entre la variation des performances et la variation allélique à des loci voisins où l'on sait que le polymorphisme génétique est élevé. De tels gènes sont dits «marqueurs» et leur fonction est d'aider à déceler les vrais gènes intervenant dans les performances (Boichard *et al.*, 1995).

2.2. SITUATION ACTUELLE ET ÉVOLUTION RÉCENTE

Les travaux les plus anciens en France concernent évidemment les paramètres génétiques de la production laitière et de la composition du lait (TB, TP). Les analyses effectuées dans les trois espèces ont en gros donné des résultats relativement similaires (Boichard et Bonaïti, 1987 ; Barillet et Boichard, 1987). Les héritabilités de la quantité de lait et de TB, TP sont voisines respectivement de 0.25 et 0.50. La quantité est opposée ($r_G = -0.3$) à chacun des deux taux, alors que les deux quantités de matière (MG, MP) sont quasiment indépendantes de leurs taux respectifs (d'où leur emploi fréquent dans les index synthétiques).

Chez les bovins, les années 1990 à 1997 ont vu l'évaluation en France, à partir de données recueillies en ferme, de certains paramètres génétiques (h^2 notamment) concernant les difficultés de vêlage, la mortinatalité, la reproduction femelle, la longévité et le nombre de leucocytes dans le lait (Boichard *et al.*, 1996 ; Rupp et Boichard, 1997 ; Ducrocq, 1997). On doit y ajouter l'évaluation des paramètres génétiques concernant les pointages de conformation dont la première remonte au début des années 1980 (Boichard *et al.*, 1996).

Chez les ovins laitiers, une expérience de sélection laitière divergente, au domaine de la Fage, a permis de vérifier l'existence de liaisons génétiques favorables entre la production laitière et les composantes de l'efficacité alimentaire, en particulier la capacité d'ingestion à même format (Marie *et al*, 1996). A partir de données en ferme, on a observé que la prolificité était faiblement héritable, mais en corrélation génétique positive (+ 0,30) avec la production laitière (Barillet *et al*, 1988). On a obtenu une première évaluation des paramètres génétiques des comptages de cellules somatiques (Mignon, 1995). La recherche de gènes identifiés de résistance aux maladies s'est déjà révélée fructueuse : on peut citer le gène Prn-p impliqué dans la résistance à la tremblante (Elsen *et al*, 1996).

En ce qui concerne les caprins, la mise en évidence de gènes majeurs est bien établie. D'abord, Le Roy *et al* (1995) ont mis en évidence, par analyse purement statistique l'existence d'un gène majeur régissant la vitesse de traite. Ces travaux sont complétés actuellement par la recherche des marqueurs du gène. Ensuite, et surtout, il a été possible de démontrer que le polymorphisme au locus de la caséine α_{s1} a une très nette incidence sur le taux protéique : il y a 4,5 g/kg soit 16 % de la moyenne (ou encore 3 écarts-types génétiques) de différence entre l'homozygote AA pour l'allèle le plus «fort» et l'homozygote FF pour l'allèle le plus «faible». Cet effet sur le TP s'est accompagné aussi d'effets sur la MP et le TB. Ceci a été démontré tant en ferme qu'en station (Mahé *et al*, 1994 ; Barbieri *et al*, 1995, Manfredi *et al*, 1995).

2.3. TENDANCES ET PERSPECTIVES

La tendance est d'une part de mieux cerner le phénomène étudié (par exemple la résistance aux mammites avec les spécificités de chaque espèce) par des critères simples de terrain, mais tout de même plus précis que les critères traditionnels (Rupp et Boichard, 1997) et d'autre part de mettre en œuvre la recherche de QTLs à l'aide de marqueurs ou directement d'étudier des gènes candidats.

La recherche de QTLs est en cours chez les bovins (Boichard *et al*, 1995), car l'on est en train de typer pour une centaine de marqueurs, 1554 taureaux laitiers issus de 14 familles paternelles. La détection de QTLs portera donc sur tous les caractères indexés en ferme ou qui le seront bientôt (cf § 4). Ce programme est complété par un dispositif de détection des gènes différenciant les races Holstein et Normande (domaine du Pin).

En ovins, un projet de détection de QTLs en race pure et en croisement est en préparation depuis 1996, tandis qu'en caprins des familles informatives sont en cours de constitution (station caprine de Moissac) pour l'étude du gène majeur de débit de traite.

3. INDEXATION DES REPRODUCTEURS

Le dispositif d'indexation doit logiquement se calquer sur les objectifs de sélection et évoluer en fonction des connaissances (méthodologies de calcul, analyse des paramètres génétiques de critères pertinents).

3.1. SITUATION ACTUELLE ET ÉVOLUTION RÉCENTE.

La base commune aux trois espèces est l'indexation laitière qui est effectuée depuis le début des années 1990 suivant le modèle animal, ce qui veut dire que les reproducteurs sont estimés d'après leurs propres performances et celles de leurs apparentés, quels qu'ils soient (Bonaïti *et al*, 1990).

En ce qui concerne les bovins, il y a en outre une évaluation systématique sur les critères de morphologie (format, mamelle, bassin, membres) et la vitesse de traite, d'après le modèle animal également. Ce dispositif concernant les caractères «secondaires» vient d'être complété récemment (juin 1997) par une évaluation sur les comptages leucocytaires (Rupp et Boichard, 1997) et sur la longévité (Ducrocq, 1997).

3.2. TENDANCE ET PERSPECTIVES

Une tendance très claire est de valoriser au travers d'une indexation systématique les données déjà recueillies sur le terrain mais non utilisées encore dans ce but. Il s'agit, chez les bovins, des données de réussite à l'insémination, des données de difficultés de vêlage et de mortinatalité voire du relevé des mammites cliniques (qui doit être encore systématisé) ; chez les ovins, il s'agit de la prolificité, voire de la fertilité avec l'espoir d'y adjoindre dans le futur des données de cellules somatiques et chez les caprins, il s'agit des données de pointages, en particulier pour la conformation de la mamelle.

De ce fait, il y aura à renouveler et à compléter régulièrement l'index de synthèse qui rappelons-le, correspond à la meilleure estimée de la valeur génétique du reproducteur pour l'objectif de sélection, compte tenu des index élémentaires effectivement disponibles. Cet index synthétique peut faire appel à des index de caractères qui ne figurent pas dans l'objectif de sélection, tout simplement parce qu'ils aident à améliorer la connaissance des reproducteurs par le biais des liaisons génétiques entre caractères. Ainsi, en bovins, on peut raisonnablement penser que la valeur économique de la morphologie est très faible quand on connaît déjà la résistance aux maladies, la longévité, la reproduction. Néanmoins, elle figurera dans l'index de synthèse, même après les nouvelles indexations, parce qu'elle est héritable et en relation génétique substantielle avec les critères d'intérêt (Rupp et Boichard, 1997 ; Ducrocq, 1997).

Bien entendu, il sera nécessaire de continuer à faire évoluer la méthodologie d'indexation. Dans le cas de l'indexation laitière, les questions en suspens concernent l'éventualité d'une prise en considération de l'hétérogénéité de la variabilité des données suivant certains facteurs de milieu et l'éventualité d'un traitement statistique à partir des contrôles élémentaires sans passer par le calcul des lactations, qui serait en particulier bien adapté à la simplification du contrôle laitier pratiqué en ovins (Barillet et Boichard, 1994). Dans le cas des autres variables, (notamment longévité, résistance aux mammites) il conviendra de rapprocher le modèle d'analyse du modèle biologique le plus pertinent. Finalement, il y aura à modifier la méthode d'indexation, pour tenir compte des résultats de typage à des marqueurs proches de un ou plusieurs QTLs si ceux-ci sont détectés, ce qui est très probable. Les résultats méthodologiques théoriques déjà connus dans ce domaine, montrent malheureusement que les modifications idéales à effectuer sont assez complexes.

4. PROFIL DES RÉPONSES À LA SÉLECTION

4.1. GÉNÉRALITÉS

Il convient de réaliser que la construction d'objectifs de sélection à partir de raisonnements de type bio-économique n'entraîne pas obligatoirement une réponse favorable de chacun des critères impliqués. Ceci ne serait vrai à coup sûr que si tous ces caractères étaient génétiquement indépendants. Un caractère de l'objectif de sélection peut avoir une évolution géné-

tique défavorable malgré tout s'il est en opposition génétique avec un autre caractère plus facile à sélectionner (plus héritable) et (ou) ayant un poids économique plus élevé dans l'objectif de sélection.

De ce fait, on peut être tenté de rejeter l'approche «objectif de sélection» et de privilégier l'approche empirique où l'on fixe les niveaux de progrès génétiques souhaités. Cependant, la multiplication du nombre de critères entraîne la multiplication du nombre de contraintes si l'on n'accepte aucune régression, même légère, pour aucun caractère. Le résultat net de la sélection est alors qu'on privilégie les animaux strictement moyens en tout, ce qui ne correspond sans doute pas à ce qui était désiré. De ce fait, les acteurs des filières doivent bien percevoir les réalités de la génétique des populations et établir en conséquence des priorités réalistes.

4.2. ETAT ACTUEL ET ÉVOLUTION RÉCENTE (RÉPONSES OBSERVÉES SUR LE TERRAIN)

Quelles que soient les variantes dans l'organisation des schémas de sélection des trois espèces laitières, on peut obtenir un gain génétique annuel sur les caractères laitiers proche de 2,5 % de la moyenne du noyau de sélection (Astruc *et al*, 1997 ; Le Mezec et Boulanger, 1997 ; Piacère *et al*, 1997). On peut remarquer toutefois que seule une évaluation fiable de la valeur génétique des reproducteurs permet d'interpréter les évolutions phénotypiques de la production laitière (lait et taux) qui peuvent être la résultante d'un maintien ou d'une progression des niveaux génétiques laitiers, combinée à une amélioration, stabilité ou régression des effets de milieu (en particulier des effets élevages). On conçoit donc que la seule observation des évolutions phénotypiques d'un caractère non sélectionné (par exemple, la fertilité) ne permette pas de déduire s'il y a effectivement une réponse génétique indirecte ou pas, et dans quel sens. Il est nécessaire de disposer également d'une évaluation génétique fiable (ce qui suppose de collecter les mesures correspondantes) pour ces caractères non sélectionnés, si on veut mesurer les éventuelles réponses génétiques indirectes sous l'effet de la sélection laitière. Une telle démarche (décrite en 3.2.) sera de plus en plus d'actualité dans les trois espèces, rançon de l'efficacité de la sélection laitière.

En ce qui concerne la richesse du lait, les évolutions génétiques observées sur le terrain au travers des index ont toujours fini par être conformes à ce qui était demandé par les filières. En bovins : stabilisation de la baisse du TP, puis remontée de celui-ci accompagnée de la diminution du TB (Le Mezec et Boulanger, 1997). En ovins : arrêt de la baisse des deux taux, puis remontée de ceux-ci (Astruc *et al*, 1997). En caprins : augmentation du TP.

En ce qui concerne les critères qui viennent d'être indexés récemment, la mesure a posteriori de l'évolution génétique passée est encore incertaine. Chez les bovins par exemple, contrairement à ce qu'on attendait, Rupp et Boichard (1997) ne trouvent pas que le nombre de leucocytes dans le lait ait augmenté et Ducrocq (1997) trouve que la longévité fonctionnelle s'est améliorée. Ces résultats favorables demandent à être confirmés.

4.3. TENDANCE ET PERSPECTIVES

L'utilisation de la génétique moléculaire ou assistée par marqueurs offre, au moins en théorie, la possibilité de modifier les liaisons génétiques entre caractères ou de privilégier la diffusion de reproducteurs portant des associations de gènes très

favorables et très rares. Ainsi, les allèles forts de caséine α_{s1} ne s'accompagnent pas d'une réduction de la production, à l'inverse de ce que le modèle génétique classique laissait prévoir.

5. ORGANISATION ET EFFICACITÉ DES SCHÉMAS DE SÉLECTION

5.1. GÉNÉRALITÉS

a) Il y a actuellement deux grandes conceptions de l'organisation de la sélection 1/ celle des noyaux de sélection où la totalité des opérations de sélection est effectuée dans des populations d'effectifs restreints par rapport à la population totale, 2/ celle des bases de sélection où les reproducteurs (notamment femelles) peuvent être choisis dans la totalité de la population contrôlée.

b) Une technique de base pour l'amélioration génétique est bien entendu l'insémination artificielle (Mallard *et al*, 1997). Depuis la fin des années 1970, les travaux des physiologistes ont permis d'envisager l'utilisation de la superovulation et du transfert embryonnaire comme moyen supplémentaire pour manipuler la prolificité et même l'intervalle entre générations pour les espèces considérées (bovins, ovins, caprins). Depuis le début des années 1990, le sexage des embryons bovins est devenu disponible. Depuis le milieu des années 1990, il est devenu possible de recourir à la fécondation in vitro d'ovocytes récoltés immatures et ultérieurement maturés in vitro eux aussi. Enfin, les techniques de clonage de cellules embryonnaires et somatiques sont en plein développement (Colleau *et al*, 1997). L'abondante littérature scientifique disponible sur le sujet a bien montré que l'utilisation de ces techniques pouvait augmenter substantiellement (de quelques dizaines de %) l'efficacité des programmes de sélection, mesurée en terme de progrès génétiques annuels sur l'objectif de sélection (Colleau et Boichard, 1997). Toutefois, ces techniques sont exigeantes et présentent parfois de résultats aléatoires dans les conditions habituelles de terrain. La question des coûts est par ailleurs posée, notamment pour les petites espèces (ovins, caprins) où les frais de main d'œuvre exprimés proportionnellement à la recette par animal sont plus importants.

c) Les connaissances sur le génome sont bien entendu à exploiter dans les schémas de sélection car elles peuvent faciliter les progrès génétiques particulièrement pour les caractères peu hérissables et (ou) non systématiquement exprimés sur tous les individus, ce qui est le cas de beaucoup de caractères entrant dans l'objectif de sélection des races laitières (Elsen *et al*, 1995).

5.2. ETAT ACTUEL ET ÉVOLUTION RÉCENTE

a) L'organisation de la sélection dans les trois espèces est fondamentalement différente. Il faut distinguer entre les bovins d'une part, les ovins et caprins d'autre part, pour lesquels il faut concevoir une organisation pyramidale de la population avec un noyau d'éleveurs sélectionneurs par opposition aux utilisateurs. Cette organisation pyramidale résulte du fait que le coût du contrôle laitier rapporté à la marge brute par femelle est nettement plus élevé en petits ruminants laitiers et surtout de ce que la capacité de diffusion des boucs et encore plus des béliers (semence fraîche faiblement diluée) via l'IA est beaucoup plus limitée que pour les taureaux. En conséquence, en ovins et caprins, il faut concentrer les outils essentiels de sélection (contrôle laitier et IA) dans un noyau d'éleveurs sélectionneurs qui supportent tout l'effort de testage (50 % des IA en testage dans le noyau en ovins laitiers, à comparer à 15 %

d'IA de testage en bovins, réparties dans tous les élevages en contrôle). En contrepartie, les éleveurs ovins ou caprins laitiers du noyau de sélection bénéficient de l'accès privilégié aux béliers ou boucs élites, à la fois pères à fils et à filles dans leurs élevages (hors filles de testage). Cette dichotomie entre sélectionneurs et utilisateurs a été organisée très tôt en Lacaune lait dès les années 60, avec la conception de deux types de contrôle laitier, le contrôle officiel pour les sélectionneurs et le contrôle simplifié pour les utilisateurs. Elle s'est généralisée depuis dans les autres bassins ovins laitiers des Pyrénées et de la Corse (Astruc *et al.*, 1997) de même qu'en caprins dans les 5 dernières années avec le programme Gènes plus de Caprigène (Piacère *et al.*, 1997). Cette situation est moins tranchée chez les caprins. Le contrôle laitier de type A4 ou AT4 est non seulement utilisé dans le noyau mais aussi chez un nombre important d'éleveurs non sélectionneurs, qui regroupent presque la moitié des chèvres contrôlées. L'IA, basée essentiellement sur la semence congelée (comme chez les bovins) est concentrée chez les éleveurs sélectionneurs (comme chez les ovins) avec un taux d'IA de testage de 30 %. Une meilleure pénétration de l'IA dans le noyau ainsi qu'une utilisation accrue de l'IA hors noyau sont des évolutions souhaitables de l'organisation de la sélection caprine. En ce qui concerne les bovins, du fait de la généralisation de l'IA et de la forte production de semence des mâles sélectionnés, toute la population au contrôle laitier (base de sélection) peut participer aux opérations de sélection, au travers de l'IA (utilisation des taureaux testés et testage) et du choix des mères à taureaux. Les programmes de sélection sont toutefois en effectif limité et ont tendance à se concentrer pour des raisons d'efficacité dans un environnement mondial très compétitif : 4 en race Holstein, 1 en race Normande et 2 en race Montbéliarde.

b) Depuis le milieu des années 1980, la transplantation embryonnaire a été utilisée intensivement chez les bovins pour la procréation des taureaux mis à l'épreuve, en partie à cause de l'interdiction (à partir de 1984) d'importation Holstein en vif à partir de l'Amérique du Nord. L'utilisation précoce comme mères à taureaux de génisses issues de ces embryons a pu être effectuée pour une partie (de l'ordre de 20 %) des taureaux mis au testage en raison des gains attendus sur le progrès génétique laitier (Colleau et Mocquot, 1989 ; Colleau, 1993). Une partie de ce gain est imputable au seul raccourcissement de l'intervalle de génération, sans transfert embryonnaire (Mocquot, 1988). Les résultats obtenus en pratique n'ont jusqu'à présent pas démenti les prévisions favorables liées à de telles modifications des schémas. En revanche, le sexage des embryons n'est pratiquement pas utilisé, en raison essentiellement de son coût.

Chez les petits ruminants et en mettant à part la race ovine Lacaune lait dont le taux d'IA dans le noyau de sélection est comparable à celui des bovins laitiers, le fait le plus marquant de ces dernières années correspond au développement remarquable de l'IA chez les autres races de brebis laitières et pour les caprins du noyau de sélection Gènes Plus, au point d'atteindre ou dépasser souvent 50 % d'IA. Tous les schémas laitiers sont donc maintenant fondés sur les mâles d'IA et logiquement, les évolutions techniques les plus significatives intéressent directement l'optimisation de l'IA. On peut citer en ovins le développement spectaculaire des traitements photopériodiques des béliers qui favorisent la mise en testage précoce (gain de un an sur l'intervalle de génération). En revanche, en race Lacaune, les transferts d'embryons pratiqués régulière-

ment depuis plus de 10 ans dans le noyau de sélection restent limités du fait de la grande variabilité individuelle de la réponse des donneuses au traitement de superovulation et du coût de la technique : pour les quelque 4000 béliers nés de 1985 à 1994 et mis en testage par IA dans le noyau de sélection, 118 seulement sont nés de transferts d'embryon.

c) On peut dire que la prise en considération de la connaissance du génome n'est actuellement bien réelle que chez les caprins. Depuis 1996, tous les boucs d'élite, femelles d'élite et produits mâles résultants sont typés pour la caséine α_{s1} . Les accouplements sont dirigés de manière à minimiser la procréation d'homozygotes pour l'allèle «faible» en race Alpine (fréquence intermédiaire de l'allèle «fort») et d'homozygotes pour l'allèle «fort» en race Saanen (basse fréquence de l'allèle «fort»). De cette manière on peut espérer fixer au plus vite les allèles favorables sans trop freiner les progrès pour les autres gènes régissant le TP (Piacère *et al.*, 1997).

Chez les bovins, la prise en considération d'éventuels typages des taureaux pour les lactoprotéines n'est pas effective : en effet, le polymorphisme correspondant n'affecte indiscutablement que certaines caractéristiques fromagères, pas du tout prises en considération dans les systèmes de paiement du lait. La génétique moléculaire est toutefois systématiquement utilisée pour éradiquer certains gènes défectifs quand ils sont connus (anomalie BLAD chez les bovins).

5.3. TENDANCE ET PERSPECTIVES

Les efforts en vue de la mise en évidence de l'effet de gènes particuliers vont être poursuivis et intensifiés dans toutes les espèces. Ils viseront non seulement à cerner l'existence de «QTLs» par l'intermédiaire de marqueurs voisins mais aussi à mettre le doigt sur les gènes responsables eux-mêmes soit par l'analyse de l'effet zootechnique de variations génétiques pour des gènes connus (récepteurs d'hormones par exemple) soit par recherche des gènes inconnus qui contrôlent l'expression de certains ARN dans les tissus impliqués par une fonction biologique donnée (lactation, reproduction, croissance). Dans ce dernier cas, il s'agit de l'approche fonctionnelle via les «étiquettes» génétiques. Ces méthodes d'approche, dites du «gène candidat», simplifieraient grandement les procédures de sélection (par rapport à l'approche marqueurs) et en augmenteraient l'efficacité (comme le montrent très clairement les travaux de simulation numérique).

Les apports potentiels des biotechnologies de la reproduction ne seront pas pour autant à négliger. Pour les bovins par exemple, il conviendra de vérifier si l'association OPU - FIV (ovum pick up + fécondation in vitro) est bien une voie prometteuse et de ne pas perdre de vue l'intérêt du clonage dans le cas où les techniques de laboratoire progresseraient encore notablement.

CONCLUSION

Dans les trois espèces laitières, le contexte global de la sélection tend à être le même dans le sens où la pression économique se fait plus sévère et où les consommateurs se font de plus en plus exigeants. Il faut savoir sélectionner des animaux capables de produire à bon marché un lait dont la composition s'adapte rapidement aux variations de la demande dans le temps. Il faut par ailleurs, une bonne rusticité et peu d'ennuis sanitaires pour limiter l'utilisation des médicaments et ne pas choquer le consommateur, pour qui l'animal domestique évoque d'abord le monde de la nature et non celui de l'artifice.

C'est pourquoi les connaissances scientifiques, les techniques et l'efficacité collective de nos organismes de sélection, sont et devront continuer à être mobilisées pour apporter les réponses échelonnées dans le temps, dont nous avons décrit précédemment les grandes lignes.

Dans le développement effectif des techniques sur le terrain, deux grands sujets devront être constamment pris en considé-

ration. D'une part, leur coût de mise en œuvre : il faudra savoir s'engager effectivement là où les risques techniques et financiers ne sont pas excessifs et où les bénéfices potentiels sont substantiels et bien compris de tous. D'autre part, la nécessité de protéger la réserve de progrès génétique à long terme en ne gaspillant pas la variabilité génétique par une utilisation trop déséquilibrée des reproducteurs.

RÉFÉRENCES

- ASTRUC J.M., BRIOIS M., BELLOC J.P., CACHENAUT J.B., FREGEAT G., HORENT M.H., TEINTURIER P., BARILLET F., 1997. Renc. Rech. Ruminants, 4
- BARBIERI M.E., MANFREDI E., ELSEN J.M., RICORDEAU G., BOUILLON J., GROSCLAUDE F., MAHE M.F., BIBE B., 1995. Genet. Sel. Evol., 27, 437-450
- BARILLET F., BOICHARD D., 1987. Genet. Sel. Evol., 19, 459, 434
- BARILLET F., ELSEN J.M., ROUSSELY M., BELLOC J.P., BRIOIS M., CASU J., CARTA R., POIVEY J.P., 1988. 3rd world congress on sheep and beef cattle breeding, vol 2, 461-490
- BARILLET F., ASTRUC J.M., LAGRIFOUL G., 1994. Renc. Rech. Ruminants, 1, 133-138
- BARILLET F., BOICHARD D., 1994. 5th WCGALP, Guelph, 18, 111-114
- BOICHARD D., BONAÏTI B., 1987. Genet. Sel. Evol., 19, 337-350
- BOICHARD D., ELSEN J.M., LE ROY P., CHEVALET C., 1995. Renc. Rech. Ruminants, 2, 139-144.
- BOICHARD D., DUCROCQ V., LARROQUE H., 1996. Bulletin Interbull, 12, 147-150.
- BONAÏTI B., BOICHARD D., VERRIER E., DUCROCQ V., BARBAT A., BRIEND M., 1990. INRA Prod. Anim., 3, 83-92
- COLLEAU J.J., 1993. Cahiers Agricultures, 2, 93-102
- COLLEAU J.J., MOCQUOT J.C., 1989. 5ème Réunion AETE, 49-74
- COLLEAU J.J., BOICHARD D., 1997. 13ème Réunion AETE, 101-114
- COLLEAU J.J., PHOCAS F., 1994. Renc. Rech. Ruminants, 1, 253-256
- COLLEAU J.J., REGALDO D., GASTINEL P.L., 1994. INRA Prod. Anim., 7, 151-167
- COLLEAU J.J., HEYMAN Y., RENARD J.P., 1997. INRA Prod. Anim. N° special «biotechnologies»
- DUCROCQ V., 1997. Renc. Rech. Ruminants, 4
- ELSEN J.M., COLLEAU J.J., CHEVALET C., MOAZAMI GOUDARZI K., BOSCHER M.Y., 1995. Renc. Rech. Ruminants, 2, 145-154
- ELSEN J.M., BARILLET F., VU TIEN KHANG J., SCHEICHER F., AMIGUES Y., LAPLANCHE J.L., POIVEY J.P., EYCHENNE F., 1996. Renc. Rech. Ruminants, 3, session «Actualité»
- LE MEZEC P., BOULANGER P., 1997. Renc. Rech. Ruminants, 4
- LE ROY P., ELSEN J.M., RICORDEAU G., BOUILLON J., MANFREDI E., CHASTIN P., MONOD F., 1995. Renc. Rech. Ruminants, 2, 177-180
- MAHE M.F., MANFREDI E., RICORDEAU G., PIACERE A., GROSCLAUDE F., 1994. Genet. Sel. Evol., 26, 151-157
- MALLARD J., MOCQUOT J.C., 1997. INRA Prod. Anim., n° special «biotechnologies»
- MANFREDI E., PIACERE A., RICORDEAU G., ELSEN J.M., BIBE B., GROSCLAUDE F., 1995. Renc. Rech. Ruminants, 2, 167-170
- MARIE C., BOCQUIER P., BARILLET F., 1996. Renc. Rech. Ruminants, 3, 297-300
- MIGNON S., 1995. Mémoire D.A.A. INA-PG, 53pp + annexes
- MOCQUOT J.C., 1988. J. DAIRY SCI., 71, 1979-1981
- PHOCAS F., HANOCQ E., BOUIX J., RENAND G., POIVEY J.P., ELSEN J.M., MENISSIER F., 1997. Renc. Rech. Ruminants, 4
- PIACERE A., BOULOC-DUVAL N., SIGWALD J.P., LARZUL C., MANFREDI E., 1997 Renc. Rech. Ruminants, 4
- RUPP R., BOICHARD D., 1997. Renc. Rech. Ruminants, 4