

L'amélioration génétique : une activité humaine organisée, au service de l'adaptation des populations animales

Par :

- E. Verrier
- AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris 05

Résumé

L'amélioration génétique des animaux vise à fournir les types génétiques les mieux adaptés aux conditions de milieu physique, économique et social dans lesquels ils seront élevés et utilisés pour la fourniture de produits ou de services. La domestication a engendré un foisonnement de diversité génétique des populations animales, diversité encore très marquée aujourd'hui. Récemment, dans les espèces de ferme, la sélection de types génétiques très spécialisés a été un des leviers de la modernisation et de l'intensification des productions animales. Ceci est illustré dans le cas des bovins laitiers, et on souligne plusieurs facteurs de l'efficacité des programmes dans cette espèce et cette filière : une définition claire des objectifs de sélection ; des innovations dans les outils et les méthodes, en génétique, statistique, informatique, biologie moléculaire et génomique, biotechnologies de la reproduction, etc. ; une solide organisation collective. Les caractéristiques de l'espèce équine et les perspectives pour accroître l'efficacité des programmes de sélection dans cette espèce sont discutées.

Mots clés : Domestication ; Programmes de sélection ; Organisation ; Bovins laitiers ; Cheval.

Summary

The purpose of animal breeding is to provide genetic types of animals adapted to the natural and social conditions where they are raised for the needs of Man. One consequence of the domestication was a dramatic increase of the genetic diversity of livestock species, this diversity still being large today. Recently, for farm species, the selection of highly specialized breeds or lines was one factor of the modernization and intensification of livestock production. This fact is illustrated by the case of the selection of dairy cattle. Several factors of the effectiveness of the breeding plans in dairy cattle are highlighted: a clear definition of breeding goals; many innovations in several fields, namely genetics, statistics, computers, molecular biology and genomics, reproduction biotechnologies, etc. ; a solid collective organization. The characteristics of horses and the perspectives for increasing the effectiveness of breeding plan in this species are discussed.

Key-words : Domestication ; Breeding plans ; Organization ; Dairy cattle ; Horses.

Introduction

L'amélioration génétique des animaux est un secteur d'activité qui se situe à l'amont de l'activité d'élevage et des filières de production animale. Les acteurs de ce secteur ont pour mission la fourniture des reproducteurs les mieux adaptés aux conditions de milieu physique, économique et social dans lesquels leurs descendants seront élevés et utilisés pour la fourniture de produits ou de services. Dans la présente communication, nous allons tout d'abord voir comment la diversité actuelle des populations d'élevage est une conséquence même du processus de domestication. Nous soulignerons le cadre collectif de la sélection des animaux et l'importance de la définition des objectifs de sélection. Nous détaillerons le cas de programmes particulièrement performants, ceux des bovins laitiers, nous analyserons les conditions qui ont permis cette efficacité et nous présenterons les évolutions récentes en matière d'outils et de méthodes de sélection. Les possibilités de l'espèce équine en la matière seront discutées.

1. La domestication et la diversité au sein des espèces d'élevage

La domestication constitue une évolution radicale des rapports entre l'homme et certaines espèces animales : à une relation de prédation, se substitue une relation dont les espèces domestiquées tirent elles-même profit. Dans ce cadre, l'homme garde l'essentiel du pouvoir de décision, notamment en ce qui concerne les étapes essentielles de la vie : naissance, reproduction, mort. Ce faisant, par ses pratiques de choix et d'utilisation des reproducteurs, l'homme est capable d'orienter l'évolution des populations d'animaux domestiques (voir, par ex., Rognon *et al.*, 2009).

En regard d'une échelle de temps « géologique », la domestication des espèces par l'homme est un phénomène extrêmement récent : environ -15 000 par rapport au temps présent pour le chien, de -9 000 à -8 000 ans pour le mouton, le porc et le bœuf, aux alentours de -7 000 ans pour le cheval, etc. Ce phénomène a eu de grandes conséquences pour les espèces animales devenues domestiques qui, notamment, présentent encore aujourd'hui, pour toute une série de caractéristiques faciles à observer, un foisonnement de diversité qui n'a pas son équivalent chez les espèces sauvages. Les principaux moteurs de cette évolution ont été : (i) le temps accumulé depuis les premières étapes de domestication, (ii) l'expansion démographique permise par l'association avec l'homme, (iii) la protection par l'homme des individus présentant un type nouveau dû aux mutations, voire l'encouragement voulu de leur succès reproducteur, et (iv) l'expansion territoriale et le plus ou moins strict isolement géographique, ainsi que la diversité des modes d'utilisation des animaux et donc de leurs aptitudes recherchées.

Sur une échelle de temps beaucoup plus courte, dès le milieu du XVIII^{ème} siècle mais surtout à partir du milieu du XIX^{ème}, les éleveurs des pays de l'hémisphère Nord ont orienté les populations animales vers un idéal, la « race pure ». Cette notion était définie par un standard généralement lié à des caractéristiques extérieures à déterminisme génétique simple (couleur de robe, cornage, plumage, ...). Au-delà de la détermination de standards, la race a été un des éléments constitutifs de l'organisation de l'élevage et des éleveurs en Europe. Aujourd'hui, la notion de race est encore très importante dans certaines espèces, comme les équidés ou les ruminants. Dans d'autres espèces, comme les volailles ou le porc, la notion de type génétique, souvent issu de plans de croisement plus ou moins élaborés, s'y est généralement substituée. Dans tous les cas, la notion de race animale suppose l'existence d'un collectif d'éleveurs qui s'accorde sur les orientations et la stratégie de sélection de la race en question.

En ce qui concerne les espèces de ferme, la modernisation et l'intensification de l'agriculture qui ont suivi la seconde guerre mondiale ont favorisé l'expansion de quelques races spécialisées, particulièrement bien adaptées à la demande du marché. Là où les conditions étaient peu favorables à l'intensification, des races locales se sont maintenues, du fait de leur adaptation aux contraintes du milieu ou grâce au développement de productions à haute valeur ajoutée. Toutefois, l'importance de ces races locales dans les cheptels nationaux a nettement décliné durant le demi-siècle écoulé et certaines de ces races ont disparu.

L'analyse des données moléculaires permet de préciser les fondements génétiques de la diversité au sein des espèces animales domestiques. Par exemple, les analyses moléculaires révèlent la proximité génétique des races qui, au cours de leur constitution ou dans leur gestion actuelle, ont bénéficié ou bénéficient encore de l'apport des purs-sangs Arabe et Anglais (Rognon et Verrier, 2008). L'étude des races élevées en France a permis de distinguer quatre groupes génétiques (les races d'un même groupe étant génétiquement plus proches entre elles qu'avec des races d'un autre groupe) dont la composition recoupe des regroupements d'usage et/ou d'origine (Leroy *et al.*, 2009) : (i) les races de sport et de course, (ii) les races de trait, (iii) les races françaises de poney et (iv) les races d'origine nordique.

2. Le cadre collectif de la sélection et la définition des objectifs de sélection

La sélection ne se raisonne pas uniquement à l'échelle des troupeaux individuels mais à celle d'une population animale dans son ensemble (une race, une lignée, une souche, ...). Bien évidemment, dès lors qu'il réalise sur son propre troupeau le renouvellement de son cheptel femelle, chaque éleveur effectue un choix de reproducteurs (choix des mères des futures femelles, par exemple). Ces décisions de sélection, si elles sont nécessaires, ne sont pas suffisantes. On entend par « programme » l'ensemble des opérations qui, à l'échelle d'une population d'animaux, conduisent au choix raisonné des reproducteurs et à leur utilisation. Pour les populations réparties dans de très nombreux troupeaux de petite taille (cas général des herbivores), un programme de sélection est par essence une action collective.

La définition des objectifs de sélection est la première étape de tout programme de sélection : avant toute autre initiative, il convient de fixer le cap. En sélection, fixer le cap signifie dresser la liste des caractères que l'on souhaite améliorer et établir une hiérarchie entre ces derniers. Cela nécessite de se projeter dans l'avenir car le délai entre une décision de sélection et ses répercussions à grande échelle, c'est-à-dire lors de l'expression des caractères chez les descendants des reproducteurs sélectionnés, se compte en années : de 3 ans chez le poulet de chair à près de 10 ans chez les chevaux. Il faut également tenir compte des liaisons génétiques entre caractères : par exemple, chez la poule pondeuse, le nombre d'œufs pondus et leur poids moyen sont négativement corrélés, de sorte que si l'on souhaite accroître le nombre d'œufs, il est nécessaire de faire porter aussi un effort de sélection sur le poids des œufs si l'on ne veut pas que celui-ci diminue au cours du temps en réponse indirecte à la sélection sur le nombre.

Au sein d'une même race, les attentes vis-à-vis des animaux peuvent varier d'un acteur à l'autre. D'une part, les attentes des éleveurs peuvent varier selon le milieu naturel où se trouve leur exploitation, le type de produit ou d'activité qu'ils développent, etc. D'autre part, les éleveurs ne sont pas les seuls concernés : dans les filières de produits animaux, les utilisateurs, à savoir les transformateurs et les consommateurs, peuvent avoir leur opinion quant à la notion d'animal « idéal ». Ainsi, la définition des objectifs de sélection relève souvent de l'art du compromis. Afin que ce compromis émerge, il est nécessaire d'organiser la confrontation des points de vue. C'est une des missions des Organismes de Sélection de définir les objectifs de sélection, et la composition de ces organismes raciaux, prévue selon la Loi d'Orientation Agricole de 2006, doit garantir la diversité des points de vue sur la question.

Chez les chevaux, on observe une spécialisation des races selon leur utilisation : chevaux de course, de sport, de trait, etc. Toutefois, au sein d'une spécialisation et d'une race données, les animaux peuvent encore avoir des utilisations diversifiées. Une question qui est alors souvent posée est celle de la possibilité de subdiviser la population d'animaux en vue de conduire plusieurs programmes de sélection vers des objectifs correspondant chacun à une utilisation particulière. Par exemple, serait-il possible de conduire en race Selle Français plusieurs programmes de sélection indépendants, un pour le concours de saut d'obstacles, un pour le dressage, un pour le loisir, etc. ? Cette question n'est pas l'apanage du monde hippique : chez les animaux de ferme, beaucoup de races sont exploitées dans des milieux différents, dans le cadre de système d'élevage diversifiés, dans le cadre de filières de production « de masse » ou de filières sous cahier des charges, etc.

La réponse du généticien à la question de la subdivision d'une race en plusieurs programmes poursuivant des objectifs différents est généralement négative. En effet, l'efficacité d'un programme de sélection repose, entre autres, sur la capacité de travailler sur de grands effectifs d'animaux. Hormis le cas de populations au cheptel extrêmement nombreux (ce qui n'est pas le cas des races de chevaux élevées en France), la subdivision d'une race afin de poursuivre des objectifs différents induit une perte substantielle d'efficacité au sein de chacun des sous-ensembles d'animaux individualisés. Il est alors préférable, d'une part, de s'accorder sur des objectifs globaux à l'échelle de la race (même si l'obtention d'un compromis recèle des difficultés) et, d'autre part, de veiller à maintenir une grande diversité de reproducteurs mis en marché, afin qu'autour d'objectifs d'ensemble, les différents utilisateurs puissent trouver les animaux correspondant à leurs objectifs propres.

3. Les facteurs de l'efficacité des programmes de sélection : l'exemple des bovins laitiers

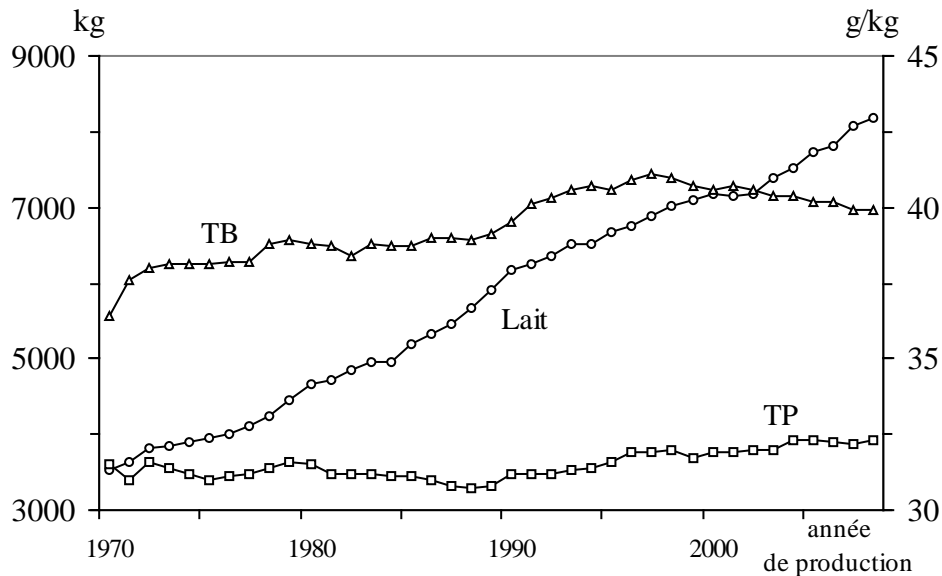
Depuis les années 1950, les éleveurs de bovins laitiers ont mis sur pied des programmes de sélection afin de proposer des reproducteurs adaptés à leurs besoins. Ces programmes ont été particulièrement performants et ont profondément modifié le cheptel. Il est donc intéressant, après avoir illustré cette

efficacité, d'en analyser les principaux facteurs. Le texte qui suit s'inspire de la récente synthèse de Verrier *et al.* (2010) où le lecteur pourra trouver plus de détails.

Les objectifs de sélection des bovins laitiers regroupent deux familles de caractères : d'une part, des caractères liés au produit et à ses caractéristiques, caractères dits laitiers donc, et, d'autre part, des caractères liés à la reproduction et à la facilité d'élevage des animaux, caractères dits fonctionnels. Par « caractères laitiers », il ne faut pas entendre uniquement la production de lait par vache car, dès les années 1970, les taux de matière protéique et de matière grasse du lait ont été explicitement pris en compte. Le poids des caractères fonctionnels dans les objectifs de sélection s'est accru depuis les années 1980/1990 pour représenter aujourd'hui l'équivalent du poids des caractères laitiers.

Sous les effets combinés du changement de race (remplacement de la Normande par la Prim'Holstein dans l'Ouest), de la sélection au sein de chaque race et de la modification des pratiques d'élevage, l'ensemble allant vers plus de spécialisation laitière, les caractéristiques des animaux ont beaucoup évolué. Les vaches sont devenues plus productives, la production moyenne par lactation et par vache contrôlée ayant été multipliée par 2,3 en près de 40 ans, et elles produisent un lait plus riche (Figure I). Sur les deux dernières décennies écoulées, l'évolution des valeurs génétiques pour la production laitière est régulière et révèle de progrès génétiques annuels qui vont de 30 à 100 kg de lait par lactation selon la race, ce qui représente de la moitié aux deux tiers de l'évolution annuelle des performances. Sur la même période, l'évolution génétique des taux est plus irrégulière dans le temps avec, pour le taux de matière protéique, un faible accroissement et, pour le taux de matière grasse, une augmentation jusqu'à la fin des années 1990 suivie d'une diminution liée au changement des règles de gestion des quotas laitiers. La morphologie des animaux a été modifiée : la taille moyenne s'est sensiblement élevée au cours du temps, il y a eu une perte de développement musculaire (y compris dans une race mixte comme la Normande) et les mamelles des vaches sont de mieux en mieux adaptées à la traite mécanique. Les vaches sont devenues moins fertiles, surtout en Prim'Holstein (la principale race élevée en France), ce qui a induit des intervalles entre vêlages de plus en plus longs et de plus grandes durées de lactation, et leur carrière est devenue plus courte en moyenne. Selon les races, la baisse observée de la fertilité des vaches est imputable pour 30 à 50% à une évolution génétique défavorable intra-race.

Figure I : Evolution des performances moyennes des vaches laitières contrôlées en France.
 Lait = production de lait par lactation (kg) ; TP = Taux protéique (g/kg) ; TB = Taux de matière grasse (g/kg).
 Figure I: Evolution over time of the average performances of recorded dairy cows in France.
 Lait = Milk Yield (kg per lactation); TP = Protein Content (g/kg); TB = Fat Content (g/kg).
 Source : France Contrôle Laitier.



La sélection a donc largement contribué à une évolution substantielle des performances moyennes des populations de vaches laitières. Cette sélection a-t-elle aussi permis de produire des animaux « champions » ? Chez les bovins laitiers, les « champions » sont des taureaux d'insémination artificielle à haute valeur génétique qui, de ce fait, sont utilisés à très grande échelle et dont la semence s'exporte. La sélection des bovins laitiers s'est en effet largement internationalisée et la gestion de certaines races,

comme la Holstein, s'effectue à l'échelle mondiale. L'organisme « Interbull » (sis à Uppsala, en Suède) effectue l'évaluation génétique internationale des taureaux d'insémination, permettant la comparaison intra-race des reproducteurs disponibles à l'échelle mondiale. Alors que jusqu'au début des années 1980, la France était en retard sur les grands pays d'élevage laitier développé, depuis le début des années 2000, les taureaux français se situent dans le peloton de tête des palmarès mondiaux (voir par exemple, Institut de l'Élevage, 2010). L'exemple des bovins laitiers montre donc qu'il est possible, *via* la sélection, de viser simultanément l'évolution moyenne des performances et la procréation de champions ; les généticiens considèrent d'ailleurs que la réalisation du premier objectif est nécessaire à celle du second.

L'analyse de l'histoire récente de la sélection des bovins laitiers révèle que l'efficacité des programmes résulte de nombreux facteurs et a bénéficié d'innovations dans des champs d'activité variés.

- Une organisation collective rigoureuse, dans le cadre de la Loi sur l'Élevage de 1966 puis de la Loi d'Orientation Agricole de 2006. Entre autres choses, ce cadre législatif distingue nettement, d'une part, la fonction d'orientation de la sélection confiée à des organismes raciaux, sous statut associatif (UPRA puis Organismes de Sélection), et, d'autre part, celle de mise en œuvre de la sélection confiée à des Entreprises de Sélection, potentiellement multiraciales, sous statut d'Unions de Coopératives d'insémination. Par ailleurs, le développement de méthodes d'évaluation génétique est confié au département de génétique animale de l'INRA et la mise en œuvre de ces méthodes est réalisée en collaboration avec les instituts techniques (ITEB puis Institut de l'Élevage) qui assurent aussi une mission d'encadrement technique du dispositif.
- Des objectifs de sélection clairs, largement partagés par les différents acteurs des filières et traduits par des index génétiques dits de synthèse, c'est-à-dire agrégeant des index pour différents caractères avec des pondérations économiques appropriées.
- La généralisation de l'identification du cheptel et le développement puis la généralisation de l'état civil, avec des contrôles de filiation obligatoires pour les futurs reproducteurs d'insémination et des contrôles réalisés de façon aléatoire afin de vérifier la fiabilité des procédures déclaratives.
- Le développement des contrôles de performances en ferme, qui ne touchaient que 2% du cheptel en 1955 mais 74% en 2009. Ce développement a été motivé à la fois par sa nécessité pour les actions de sélection et par les services rendus pour la gestion quotidienne des troupeaux.
- La systématisation de l'épreuve de la descendance des taureaux destinés à l'insémination (dans le courant des années 2000, environ 1000 jeunes taureaux mis à l'épreuve chaque année).
- Le développement massif, à partir des années 1950, de l'insémination artificielle avec semence congelée (aujourd'hui, plus des trois-quarts des vaches laitières se reproduisant en race pure sont inséminées). Cette biotechnologie de la reproduction, du fait de son efficacité et de son coût modéré, permet, d'une part, de mettre en œuvre l'épreuve de la descendance en ferme et, d'autre part, de diffuser largement la semence des taureaux sélectionnés dans l'ensemble de la population animale, donnant ainsi accès à chaque éleveur au progrès génétique.
- Le développement de méthodes d'évaluation génétique de plus en plus élaborées, en phase avec les standards internationaux dans ce domaine (méthodologie statistique « BLUP »).
- Les avancées de la biologie moléculaire puis de la génomique, avec des applications en routine dès la fin des années 1980 (typage pour des gènes à fonction connue). Aujourd'hui, suite au séquençage complet du génome de l'espèce bovine, les entreprises de sélection peuvent utiliser des « puces » permettant, dans des conditions raisonnables de délai et de coût, de typer un animal donné pour plusieurs dizaines de milliers de marqueurs dits « SNP ». Ce génotypage à très haute densité donne accès à la sélection dite « génomique », c'est-à-dire fondée sur la relation entre performances et génotype aux marqueurs établie sur une petite population « de référence ». Cette nouvelle méthode permet de s'affranchir de l'épreuve de la descendance des taureaux, ce qui représente un appréciable gain de temps et de moyens financiers. En outre, il devient possible de prendre en compte de manière efficace certains caractères donnant sans cela une prise à la sélection modérée ou nulle, soit car trop peu héréditaires (fertilité, bien que déjà intégrée dans les objectifs), soit car trop coûteux pour être mesurés à grande échelle (caractéristiques fines de la composition du lait, réponse immunitaire, ...). Mise en place depuis 2009 en France, la sélection génomique constitue une révolution, le mot n'est pas trop fort, dans la sélection des bovins laitiers (pour plus de détails, voir Collectif, 2010).

D'autres exemples, dans d'autres espèces, auraient pu être décrits pour illustrer les possibilités offertes par la sélection. Notamment, chez les volailles en général et de la poule en particulier, l'amélioration génétique s'est également révélée très efficace et a constitué un important levier de développement ainsi qu'un puissant facteur de structuration des filières. Ces développements se sont toutefois effectués dans un cadre organisationnel fort différent, à savoir celui d'entreprises privées, et ont bénéficié d'autres facteurs que ceux mis en avant plus haut, comme la forte spécialisation de souches utilisées en croisement, la haute fécondité des femelles et la rapidité du renouvellement des générations.

4. Perspectives en matière de sélection des équidés

L'utilisation actuelle des animaux et les liens bien particuliers qui se sont tissés entre l'homme et le cheval font qu'il est difficile de transposer directement aux équidés ce qui a été réalisé ces dernières décennies en matière de sélection des animaux de ferme. Il n'en demeure pas moins que l'expérience acquise chez ces derniers ainsi que les connaissances théoriques dans le domaine peuvent être utilement mobilisées au bénéfice de l'élevage équin. A ce titre, il serait intéressant d'effectuer pour la sélection des équidés telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui en France une analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (en anglais, « *SWOT analysis* »). A défaut (n'étant pas un spécialiste du secteur équin), il est possible de dégager quelques pistes de réflexion (voir également Dubois et Ricard, 2007, pour une analyse des forces et faiblesses de la sélection en race Selle Français).

Pour nous guider, nous suivrons les principales étapes d'un programme de sélection, à savoir :

- La définition des objectifs de sélection.
- La collecte de l'information zootechnique.
- L'évaluation génétique des animaux.
- Le choix des reproducteurs.
- L'utilisation des reproducteurs.

Nous aborderons enfin les aspects relatifs à l'organisation car chacune des opérations listées ci-dessus requiert une définition claire et précise du rôle de chacun des acteurs impliqués.

Comme dit plus haut, les races équines actuelles se distinguent nettement par l'usage principal qui en est fait : course, sport, trait, etc. Cette forme prononcée de spécialisation est tout à fait favorable à la définition d'objectifs de sélection clairs, recouvrant un nombre raisonnable de caractères. Même lorsque l'utilisation est diversifiée, un consensus sur des objectifs simples est possible à obtenir. Par exemple, dans le cas évoqué au § 2 du Selle Français, qui est utilisé pour différentes disciplines sportives ainsi que pour le loisir, l'existence d'une discipline nettement majoritaire (le concours de saut d'obstacles) et la non indépendance entre les différentes disciplines (par exemple, l'obéissance au cavalier est nécessaire à chaque discipline sportive) font que la définition des objectifs de sélection pour cette race semble, en première approche, ne pas présenter de difficulté insurmontable.

En matière de recueil de l'information zootechnique et de son utilisation pour l'évaluation génétique, l'espèce équine possède de sérieux atouts : (i) un long passé et une généralisation des opérations d'identification et d'état civil, avec en outre des contrôles de filiation systématiques et obligatoires dans certaines races, (ii) un recueil systématique et à grande échelle des résultats de courses et d'épreuves sportives, (iii) la récente disponibilité du marquage moléculaire à haute densité et (iv) le rassemblement des données correspondantes dans des bases nationales. Cela autorise une évaluation fiable de la valeur génétique des animaux sur l'ensemble du territoire national, les méthodes à mettre en oeuvre étant fondées sur les mêmes principes que celles employées dans les autres espèces. Les perspectives d'utilisation des données de la génomique se situent, d'une part, dans l'appréciation précoce de la valeur génétique des animaux pour des caractères « usuels », comme l'aptitude sportive appréciée au travers des résultats en compétition et, d'autre part, dans la possibilité de prendre en compte de « nouveaux » caractères difficiles à mesurer, comme la résistance à certaines maladies, les caractéristiques des fibres musculaires ou l'appréciation de certains aspects anatomiques nécessitant le recours à la radiographie. Rappelons toutefois que les possibilités liées à la génomique ne sont effectives que si l'on dispose d'un sous-ensemble d'animaux qui font à la fois l'objet d'une mesure pour les caractères en question et d'un génotypage sur un très grand nombre de marqueurs (population de référence).

Le choix des reproducteurs est l'étape qui permet de créer du progrès génétique. L'utilisation des reproducteurs est celle qui permet, d'une part, de recycler ce progrès génétique (c.à.d. faire en sorte que les futurs candidats à la sélection soient les descendants des meilleurs reproducteurs du moment) et, d'autre part, de diffuser le progrès génétique dans l'ensemble de la population animale et, ainsi, de le mettre à disposition de l'ensemble des éleveurs. Le meilleur indicateur de l'efficacité de ces opérations est le progrès génétique annuel, c'est-à-dire le rythme avec lequel la moyenne des valeurs génétiques s'accroît au sein de la race considérée. Le progrès génétique annuel dépend de quatre paramètres :

- La variabilité génétique de chaque caractère. La sélection exploite cette variabilité et on attend d'autant plus d'évolution qu'elle est forte. Sur le long terme, il est nécessaire de combiner l'obtention de progrès génétiques par sélection et préservation de la variabilité (exploitation durable de la variabilité génétique ; voir Rognon et Verrier, 2008).
- La sévérité du choix, autrement dit, la pression de sélection imposée sur les objectifs recherchés. Ce paramètre dépend étroitement du nombre de reproducteurs nécessaires à chaque génération et donc de leur capacité de diffusion. De ce point de vue, l'espèce équine présente une différence nette entre les deux sexes parentaux. Peu fécondes, les juments ne donnent naissance qu'à

quelques jeunes sur l'ensemble de leur carrière. Dans ces conditions, les possibilités de tri sont limitées : par exemple, pour le choix des mères des futures juments, il est nécessaire de sélectionner de l'ordre d'une femelle sur deux ce qui constitue une pression modérée de sélection. Les mâles, en revanche, ont une capacité de diffusion beaucoup plus importante, surtout s'ils sont utilisés par insémination, ce qui autorise de fortes pressions de sélection (voir Dubois et Ricard, 2007, pour les valeurs réalisées en race Selle Français).

- La précision des critères de sélection, c'est-à-dire leur liaison avec la valeur génétique des animaux pour les caractères recherchés. De ce point de vue, la hiérarchie entre différents types de critère est simple à établir : un index de valeur génétique combinant toutes les informations disponibles (performances individuelles, performances d'apparentés, informations moléculaires s'il en existe, ...) est toujours plus précis que tout autre critère ; une performance individuelle est toujours plus précise qu'une appréciation au travers des performances d'ancêtres plus ou moins proches. En ce qui concerne les aptitudes sportives, les index fondés sur les résultats en compétition sont suffisamment précis dès lors que les animaux ont des performances individuelles et deviennent très précis quand les performances d'un certain nombre de descendants sont connues (cas des étalons pour l'essentiel).
- Le temps nécessaire au renouvellement des générations, mesuré par l'écart d'âge moyen entre une cohorte de parents et leurs descendants (intervalle de génération). Dans l'espèce équine, l'intervalle de génération est toujours long : entre 10 et 12 ans chez les chevaux de course ou de sport, entre 7 et 9 ans chez les chevaux de trait (Dubois et Ricard, 2007 ; Rognon et Verrier, 2008 ; Verrier *et al.*, 2010). La première cause de la lenteur du renouvellement des générations réside dans certains paramètres de la reproduction de l'espèce : âge à la puberté, fertilité, durée de gestation, fécondité des femelles. L'utilisation des animaux y contribue également : l'intervalle plus long observé chez les chevaux de sport ou de course s'explique par l'usage courant qui consiste à se faire succéder dans le temps les carrières sportive et reproductive. Cette lenteur constitue un frein à la réactivité des sélectionneurs vis-à-vis d'une éventuelle évolution des objectifs.

Enfin, les programmes de sélection ne peuvent fonctionner qu'en étant assis sur une solide organisation collective. Le cas des équidés est particulier dans la mesure où la puissance publique, *via* les Haras Nationaux, a longtemps assumé bon nombre des tâches décrites ci-dessus. Aujourd'hui, la conduite de la sélection est aux mains des éleveurs et de leurs associations. Ces derniers peuvent s'appuyer sur les acquis de l'expérience passée et sur le fait que les missions de collecte de l'information zootechnique et de son traitement demeurent assurées par un certain nombre d'organismes (IFCE, sociétés de course ou organisatrices d'épreuves sportives, INRA, laboratoires d'analyses génétiques, ...).

Conclusion

Démarrée de façon empirique dès les débuts de la domestication, la sélection pour des usages différents et dans des contextes variés a contribué à façonner une grande diversité des populations animales domestiques. Depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle, de nombreux programmes intégrés de sélection se sont développés : ils ont entraîné des modifications radicales des cheptels des espèces de ferme et ont largement contribué au développement des filières de productions animales et de produits animaux. L'efficacité de ces programmes a été conditionnée par des innovations dans des domaines très divers : métrologie, méthodes statistiques, capacité de calcul des ordinateurs, biologie moléculaire, biotechnologies de la reproduction, cryoconservation, défense sanitaire, réglementations nationale et internationale, organisation collective des éleveurs, etc.

Le cheval est une espèce très diversifiée. Les différents usages pour lesquels elle a été élevée depuis plusieurs millénaires de domestication, et donc sélectionnée, ont conduit à une nette distinction entre groupes de races. Cette structuration est aujourd'hui un atout pour la définition d'objectifs clairs de sélection. Malgré une faible fécondité des femelles et la lenteur du renouvellement des générations, l'espèce équine dispose de solides atouts pour le développement de programmes efficaces de sélection. Certains de ces atouts sont d'ores et déjà bien valorisés, comme la disponibilité à grande échelle d'informations zootechniques fiables. D'autres mériteraient de l'être de façon plus marquée encore, au moins dans certaines races, comme la disponibilité d'index de valeur génétique précis ou la capacité de diffusion des étalons par insémination. La disponibilité d'informations génomiques à haute densité devra être valorisée selon des voies encore à définir. Enfin, les évolutions récentes dans l'organisation de la sélection du cheval sont à intégrer pleinement. Les outils et les méthodes sont là, reste parfois à s'en servir de façon volontaire, dans le cadre d'une démarche collective, en vue d'objectifs clairs et précis.

Références

Collectif (2010) Sélection génomique et changements dans l'indexation des bovins laitiers : évolution ou révolution ? *Institut de l'Élevage / AgroParisTech-CSAGAD*, 27 p.

Dubois C., Ricard A. (2007) Efficiency of past selection of the French Sport Horse: Selle Français breed and suggestions for the future. *Livestock Science* 112, 161-171.

Institut de l'Élevage (2010) Evaluation Génétique des taureaux : palmarès français, palmarès international. <http://www.inst-elevage.asso.fr/spip.php?rubrique822> [consultée le 4 janvier 2011].

Leroy G., Callède L., Verrier E., Mériaux J.C., Ricard A., Danchin-Burge C., Rognon X. (2009) Genetic Diversity of a large set of horse breeds raised in France assessed by microsatellite polymorphism. *Genetics Selection Evolution* 41, 5.

Rognon X., Verrier E. (2008) Suivi et gestion de la variabilité génétique des populations équinées. *In : L'amélioration génétique des équidés*, Haras Nationaux, 69-87.

Rognon X., Vila E., Verrier E. (2009) L'évolution des espèces animales suite à la domestication, conséquences pour les ressources génétiques. *Comptes-Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*.

Verrier E., Le Mézec P., Boichard D., Mattalia S. (2010) Evolution des objectifs et des méthodes de sélection des bovins laitiers. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France* 163, 73-78.

Verrier E., Leroy G., Blouin C., Mériaux J.C., Rognon X., Hospital F. (2010) Estimating the effective size of farm animals populations from Pedigree or molecular data: a case study on two French draught horse breeds. *9th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production*, Leipzig, August 1-6, 2010.