

P. SELLIER

INRA Station de Génétique quantitative et appliquée
78352 Jouy-en-Josas Cedex

La gestion des populations

La diversité des plans d'amélioration génétique

Résumé. La diversité des programmes d'amélioration génétique des animaux domestiques concerne à la fois les plans de croisement et les plans de sélection. L'intérêt du croisement et les formes d'utilisation du croisement (création d'une nouvelle population ou croisement systématique de type discontinu ou continu) dépendent de l'importance des effets d'hétérosis, du degré d'antagonisme génétique entre la performance de production et la performance de reproduction et de l'excédent de fécondité de l'espèce par rapport à ce qui est nécessaire pour le maintien d'une population de race pure. De nombreux facteurs contribuent à la diversité des plans de sélection : la nature des caractères sélectionnés (notamment leur déterminisme génétique), les paramètres de reproduction de l'espèce (notamment le nombre de produits par femelle et par cycle de reproduction), les modalités du contrôle de performances chez les candidats à la sélection et/ou leurs apparentés, les méthodes d'estimation des valeurs génétiques des reproducteurs, la structure de la population (noyau de sélection et troupeaux de production).

Constater la diversité des programmes d'amélioration génétique des espèces animales domestiques relève de l'évidence et plusieurs des articles précédents l'ont déjà abondamment illustrée.

On distingue classiquement deux grandes méthodes d'amélioration génétique : le croisement et la sélection. Il y a sur certains points un recouvrement des deux méthodes : par exemple la sélection de lignées spécialisées pour le croisement, la sélection pour l'aptitude au croisement et le croisement d'absorption (qui s'apparente à un processus de sélection). Par commodité, nous retiendrons cependant ici cette distinction entre croisement et sélection, et le but de cet article est de tenter de décrire en quoi et pourquoi les programmes d'amélioration génétique diffèrent en ce qui concerne les modalités d'utilisation du croisement et les plans de sélection.

1 / La diversité des objectifs de l'amélioration génétique

Ce premier facteur de diversité est rappelé ici pour mémoire puisqu'il a été largement traité auparavant. Il contribue à la diversité des plans d'amélioration génétique non seulement entre espèces, mais aussi à l'intérieur des espèces utilisées pour plusieurs types de production d'importance significative (lait et viande chez les bovins, viande, lait et laine chez les ovins, viande et oeufs chez la poule, viande et poil angora chez le lapin, viande et foie gras chez le canard, ...).

2 / La diversité des modalités d'utilisation du croisement

L'objectif général du croisement est de tirer parti de la variabilité génétique entre les populations (races ou lignées) disponibles à un moment donné. Il existe deux grandes formes d'utilisation du croisement (pour plus de détails, voir l'article de Bidanel) :

- la création d'une nouvelle population (exemples : création d'une lignée composite à partir de plusieurs races pures préexistantes, croisement d'absorption pour substituer progressivement aux polygènes de la population initiale les polygènes d'une autre population jugée supérieure, croisement en retour répété pour "introgresser" un gène majeur intéressant dans une population qui en est dépourvue) ;

- le croisement systématique, c'est-à-dire la réalisation de plans de croisement où chacune des races impliquées a une fonction bien déterminée (plans de croisement "discontinus" mettant en œuvre des races spécialisées à vocation paternelle ou maternelle et conduisant à une génération de produits terminaux) ou de plans de croisement "continus" où les races impliquées jouent un rôle non spécialisé (croisement rotatif par exemple).

Trois éléments principaux sont à prendre en considération quand il s'agit de répondre à la question : race pure ou croisement ? et, si croisement il y a, à la question : quel système de croisement ?

2.1 / Importance des effets d'hétérosis, individuel et maternel,

sur les caractères ayant le plus grand poids économique dans l'espèce et le type de production concernés. Ce sont surtout les caractères déterminant le coût de production dans les espèces utilisées pour la production de viande (fertilité et prolificité des mères, viabilité, vitesse de croissance et efficacité alimentaire des produits) qui manifestent des effets d'hétérosis importants : de 10 à plus de 20% pour un caractère global comme la productivité numérique des mères (en cumulant hétérosis individuel et hétérosis maternel), de 5 à 10% pour la part du coût de production liée à l'animal producteur de viande lui-même. C'est donc dans le domaine de la production de viande (et aussi dans le domaine de la production d'oeufs) que le croisement est le plus largement utilisé : chaque fois que possible (voir paragraphe 2.3), l'utilisation du croisement prend la forme de plans de croisements discontinus qui permettent d'exploiter au maximum les effets d'hétérosis, ainsi que la complémentarité entre les races paternelles et maternelles disponibles. Par contre, l'effet d'hétérosis relativement modéré sur la production laitière est l'une des raisons expliquant le très faible taux d'utilisation du croisement dans le secteur de la production laitière où l'élevage en race pure est la règle (mis à part le cas particulier du croisement d'absorption, illustré par la "holsteinisation" de la race bovine Française Frisonne Pie Noire, devenue aujourd'hui la Prim'Holstein).

2.2 / Degré d'antagonisme génétique

entre la performance de production et la performance de reproduction. Le recours à des plans de croisement discontinus se justifie d'autant plus que cet antagonisme génétique est fort, avec en corollaire la sélection spécialisée de races paternelles (sur la performance de production) et de races maternelles (à la fois sur la performance de reproduction et sur la performance de production) (Smith 1964). L'utilisation du gène de nanisme lié au sexe (dw) dans la production du poulet de chair (Mérat 1990) fournit un exemple extrême de sélection spécialisée en vue du croisement. Dans la lignée maternelle, on "sélectionne" contre le poids en y fixant le gène dw qui a un effet presque complètement récessif sur le poids par rapport à l'allèle normal Dw⁺ (le but étant, en réduisant la taille des poules, de diminuer leur consommation alimentaire et par voie de conséquence le prix de revient du poussin d'un jour), alors que dans la lignée paternelle, on sélectionne intensément en faveur du poids. Le croisement terminal entre un coq de souche lourde (Dw⁺/Dw⁺) et une poule "nanifiée" (dw/-) donne des mâles Dw⁺/dw, dont le poids à l'abattage n'est réduit que de 3 % par rapport aux mâles Dw⁺/Dw⁺, et des femelles Dw⁺/-.

2.3 / "Excédent de fécondité" de l'espèce

par rapport à ce qui est nécessaire pour le maintien d'une population de race pure. Ainsi, le choix d'un plan de croisement se pose en termes très différents dans les espèces bovine et porcine. Sauf recours aux techniques modernes de transfert d'embryons (voir l'article de Colleau), il faut en moyenne deux cycles de reproduction pour qu'une vache donne naissance à une fille susceptible de la remplacer, alors que dans l'espèce porcine, en deux cycles de reproduction, une truie de race européenne sèvre en moyenne

8 ou 9 filles. Dans le premier cas, et plus généralement dans les espèces à faible productivité numérique, il n'est guère envisageable de mettre en place des plans de croisement discontinus (croisement à double étage par exemple, avec utilisation de mères croisées), si l'on veut maintenir un effort de sélection significatif dans les races pures. Dans ces espèces, le recours au croisement peut éventuellement se faire par des plans de croisement continu de type rotatif (avec, dans les troupeaux de production, auto-renouvellement des femelles et utilisation alternée, par insémination artificielle, de mâles des races pures entrant dans la rotation) ou par le biais de la création de lignées composites (exemple de la souche ovine INRA 401, présenté dans l'article de Ricordeau *et al.*). Pour expliquer la faible extension du croisement chez les ruminants, on peut invoquer également le fait qu'il existe encore une certaine "pesanteur sociologique" se traduisant par un attachement des éleveurs à la race pure locale. Il faut ajouter ici que, dans certaines situations, l'adaptation génétique de la race rustique locale à un milieu difficile est une justification tout à fait valable du maintien de l'élevage en race pure.

Dans les espèces plus prolifiques, les plans de croisement discontinus sont utilisés à une large échelle, notamment pour la production de viande. La plupart du temps, on utilise un croisement à 3 ou 4 voies impliquant une structure à 3 étages de la population totale :

- l'étage de sélection (noyaux de race pure),
- l'étage de multiplication, où sont réalisés les croisements produisant les reproducteurs "parentaux",
- l'étage de production, où est réalisé le croisement final conduisant aux produits terminaux.

Dans un tel système, l'étage de multiplication "crée" l'hétérosis sur les effets maternels qui est valorisé dans l'étage de production. Des flux de reproducteurs sont réalisés du haut vers le bas de la pyramide de croisement pour assurer le renouvellement des étages inférieurs. La figure 1 donne un exemple de structure démographique d'un système de croisement à 4 voies chez le porc, dans le cas particulier d'une utilisation exclusive de la monte naturelle (Sellier 1986).

3 / La diversité des plans de sélection

Le tableau 1 rappelle les éléments de base constituant le cadre général dans lequel s'inscrit tout plan de sélection :

- il comprend nécessairement plusieurs étapes successives : objectif de sélection, contrôle de performances, critère de sélection, sélection des reproducteurs, utilisation des reproducteurs ;

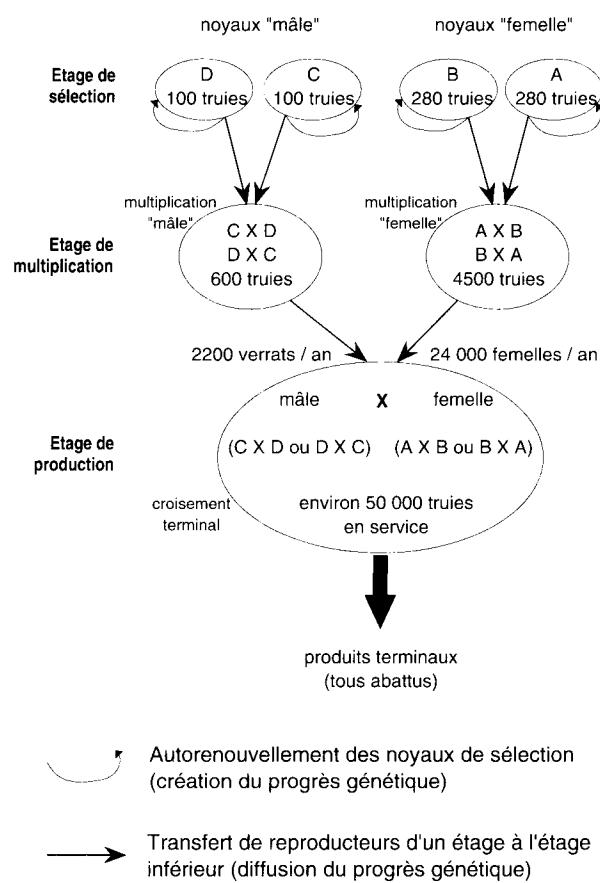
- dans tous les cas, le but reste le même et il est double :

- maximiser le progrès génétique annuel, en tenant compte du coût de la sélection ;

- assurer une bonne diffusion du progrès génétique dans l'ensemble de la population de production.

Plusieurs facteurs contribuent à la diversité des plans de sélection des animaux domestiques et les principaux d'entre eux sont passés en revue dans ce qui suit.

Figure 1. Un exemple de structure démographique de la population de truies dans un schéma de croisement à 4 voies (avec utilisation exclusive de la monte naturelle).



3.1 / La nature des caractères sélectionnés

On peut distinguer de ce point de vue un certain nombre d'alternatives :

- la sélection porte sur un seul caractère ou sur plusieurs caractères. Les cas où la sélection est strictement "monocaractère" sont très rares : on peut citer la sélection sur le poids à âge-type dans certaines lignées mâles de croisement terminal chez le poulet de chair et la sélection sur la réussite en compétition chez le cheval de sport ou de courses. Plus souvent, on est en présence d'un caractère principal et de caractères secondaires (exemple des races bovines traitées sélectionnées prioritairement sur la production laitière mais aussi sur la fertilité, la facilité de vêlage, la conformation ou la longévité). Dans les populations utilisées pour la production de viande, la sélection est de type "multicaractère" (productivité numérique des mères, composantes de l'efficacité de la production de viande et de la qualité du produit chez leurs descendants), avec des poids variables attribués aux différents caractères selon le type de population ;

- les caractères sont mesurables sur l'animal vivant (et donc sur les candidats à la sélection) ou non (caractères de carcasse). Il existe des cas intermédiaires où, sans que le caractère soit mesurable sur le vivant, on dispose de mesures *in vivo* qui sont de bons prédicteurs du caractère (exemple du porc où l'épaisseur de lard dorsal mesurée par échographie aux ultra-sons présente une corrélation génétique de l'ordre de -0,8 avec la teneur en muscle de la carcasse). Parmi les caractères mesurables *in vivo*, certains sont mesurés avant l'âge de mise à la reproduction (croissance, efficacité alimentaire) alors que d'autres ne le sont pas (proliférabilité, production laitière, nombre

Tableau 1. Le cadre général d'un plan de sélection.

Etapes du plan de sélection	Paramètres du plan de sélection	
	Composantes du progrès génétique annuel $\Delta G = ir_{IA} \sigma_A/t$	Autres paramètres
Objectif de sélection = valeur génétique globale A	σ_A (écart type génétique)	(pour mémoire, taille de la population qui a un effet sur l'évolution de σ_A)
Contrôle de performances		coût de l'évaluation génétique des reproducteurs (contrôle de performances, calcul des indices, contrôle de filiation,...)
Critère de sélection = indice de sélection I	r_{IA} (corrélation entre A et son estimateur I)	
Sélection des reproducteurs	i (intensité de sélection)	
Utilisation des reproducteurs - pour le renouvellement des noyaux de sélection - pour la diffusion du progrès génétique vers les élevages commerciaux	t (intervalle de génération)	retard génétique de l'étage de production sur l'étage de sélection dans la "pyramide de sélection".

d'oeufs). Dans ce dernier cas, il s'agit le plus souvent de caractères s'exprimant plusieurs fois dans la vie de l'animal ;

- les caractères s'expriment dans les deux sexes (croissance, efficacité alimentaire, viabilité, qualité de la carcasse) ou dans un seul sexe (prolifilité, production laitière, production d'oeufs,... chez la femelle ; production et qualité de semence, odeur sexuelle de la viande de porc chez le mâle).

Le déterminisme génétique des caractères sélectionnés intervient également. Le "dogme" classique de la génétique quantitative peut très schématiquement se résumer ainsi :

- la sélection sur performance propre (sélection individuelle), dès lors qu'elle est possible (caractère mesurable *in vivo*), est plutôt recommandée pour les caractères fortement héréditaires ($h^2 > 0,40$) et éventuellement pour les caractères à heritabilité moyenne ou même faible si ce sont des caractères s'exprimant plusieurs fois dans la vie du candidat à la sélection ;

- la sélection familiale, basée sur les performances d'apparentés des candidats (ascendants, collatéraux, descendants) est plutôt recommandée pour les caractères faiblement héréditaires ($h^2 < 0,20$). De plus, la sélection familiale est une nécessité pour les caractères non mesurables *in vivo* et pour la sélection des mâles sur les caractères s'exprimant chez les seules femelles (et inversement).

Notons enfin que l'existence de gènes majeurs peut étendre la gamme des plans de sélection possibles pour un caractère. L'utilisation des gènes majeurs en sélection est grandement facilitée quand on dispose de marqueurs de ces gènes. Concernant le gène de la sensibilité à l'halothane chez le porc, des marqueurs sanguins "classiques" (variants électrophorétiques des enzymes érythrocytaires GPI et 6-PGD) ont été largement utilisés chez le Landrace Français (Saugère *et al* 1989) et un marqueur moléculaire a été récemment trouvé (Fujii *et al* 1991). L'apparition de sondes moléculaires de caséines chez les bovins (Leveziel *et al* 1988) et chez les caprins offre de nouvelles possibilités pour la sélection des mâles, dès la naissance, sur la qualité fromagère du lait.

3.2 / Les paramètres de reproduction

Pour un même caractère (σ_A donné) et une même méthode de sélection (r_{IA} donné), l'efficacité espérée d'un plan de sélection est fonction de plusieurs paramètres de reproduction spécifiques de chaque espèce ou population :

- l'âge des parents au 1er descendant, qui fixe la valeur minimum de l'intervalle de génération ;

- le nombre de produits par femelle et par cycle de reproduction (ou par an), qui a une influence déterminante sur les taux de sélection possibles ;

- le rapport du nombre de reproducteurs mâles au nombre de reproducteurs femelles.

Certains des paramètres démographiques ci-dessus peuvent être modifiés par le sélectionneur. Une "vieille" biotechnologie, l'insémination artificielle, permet de diminuer dans des proportions notables le rapport reproducteurs mâles/reproducteurs femelles dans les noyaux de sélection (d'où un accroissement des intensités de sélection possibles dans le choix des mâles). Les nouvelles biotechnologies de l'embryon (transfert, sexage, clonage) permettent également de modifier dans un sens favorable certains paramètres de reproduction dans les populations en sélection, en particulier dans l'espèce bovine (voir l'article de Colleau). La durée d'utilisation des reproducteurs dans les noyaux de sélection est un autre paramètre démographique que peut fixer le sélectionneur. Quand cette durée augmente, l'intervalle de génération (t) s'allonge mais l'intensité de sélection possible (i) augmente également puisque le nombre de reproducteurs disponibles pour le remplacement des parents est accru. Il y a donc généralement une durée d'utilisation optimale des reproducteurs rendant maximum le rapport i/t (effort de sélection). Le tableau 2, emprunté à Ollivier (1974), présente à titre d'exemple le cas de la sélection individuelle des femelles pour un caractère mesurable avant l'âge de la mise à la reproduction. Le taux de renouvellement optimum des femelles et la valeur maximum du rapport i/t sont d'autant plus élevés que l'espèce est plus prolifique. Ainsi, la "priorité" est à accorder à la réduction de l'intervalle de génération dans les espèces prolifiques et à l'augmentation de l'intensité de sélection dans les espèces peu prolifiques.

Tableau 2. Valeur optimum du taux de renouvellement annuel des femelles dans différentes espèces dans le cas de la sélection individuelle pour les qualités bouchères (vitesse de croissance par exemple - d'après Ollivier 1974).

Espèce	Lapin	Porc	Mouton	Bovin
<i>Paramètres de reproduction</i>				
- Age au 1er descendant (année)	0,5	1	1	3
- Nombre potentiel de femelles de renouvellement par mère et par an	18	6	1	0,4
- Nombre de femelles nées à la 1ère mise bas	3	3	1	0,4
<i>Valeurs optimum</i>				
- Age à la réforme (année)	0,95	1,71	3,10	10,00
- Taux de renouvellement (%)	138	74	49	15
Valeur maximum du rapport i/t	1,51	0,84	0,42	0,16

i = intensité de sélection ; *t* = intervalle de génération

3.3 / Les modalités du contrôle de performances

Compte tenu des contraintes biologiques évoquées plus haut, le contrôle de performances qui est une phase essentielle de tout plan de sélection peut concerner les candidats à la sélection ou des individus qui leur sont apparentés ou encore les deux catégories d'individus à la fois.

En matière de localisation des contrôles de performances, on rencontre trois grandes situations :

a/ le contrôle en station privée, réalisé dans un lieu unique (ou un très petit nombre de lieux) et sous la totale responsabilité d'un seul organisme, la firme de sélection. C'est la règle générale en sélection avicole (Mallard et Douaire 1990) et c'est une situation également rencontrée en sélection porcine.

b/ le contrôle en station publique. Des animaux contemporains provenant d'un nombre plus ou moins grand d'élevages de sélection sont regroupés dans un même lieu à des fins d'évaluation génétique de ces animaux eux-mêmes (bandes de contrôle individuel) ou de candidats à la sélection qui leur sont apparentés (séries de testage sur descendance). Il existe de nombreuses situations où la sélection des mâles est basée sur des contrôles en station publique. Citons à titre d'exemple :

- chez le porc, les stations de contrôle combiné pour l'évaluation génétique des verrats sur les performances de production (croissance, efficacité alimentaire, composition corporelle, qualité de la viande). Chaque verrat candidat à la sélection est évalué en fonction de ses propres performances et des performances d'un collatéral (frère ou soeur de portée) abattu et soumis à des mesures de carcasse (Sellier 1988) ;

- chez les ovins, les stations de contrôle individuel des bétails pour une première étape de l'évaluation génétique sur la croissance, la conformation et l'adiposité, et les stations de contrôle de descendance (dont la station multiraciale Berrytest) pour une deuxième étape d'évaluation génétique, plus précise puisqu'elle inclut des mesures de carcasse sur un échantillon de descendants des bétails candidats à la sélection ;

- dans les races bovines à viande (Ménissier 1988), les stations de contrôle individuel (croissance, efficacité alimentaire, conformation bouchère) pour les taureaux d'insémination artificielle ainsi que les centres d'évaluation (croissance et conformation bouchère) pour les taureaux de monte naturelle, les stations de contrôle de descendance des taureaux pour les aptitudes bouchères, les stations de contrôle de descendance des taureaux sur les qualités maternelles de leurs filles ("stations d'élevage" des races Charolaise, Limousine et Blonde d'Aquitaine).

c/ le contrôle en ferme, mis en oeuvre dans un grand nombre d'élevages selon un protocole commun et sous l'égide d'un même organisme. Parmi les exemples, là aussi nombreux, on peut citer :

- le contrôle des performances de reproduction (prolifricité, fertilité, qualités maternelles) dans les élevages. Par exemple, dans l'espèce porcine, le programme national de gestion technique des troupeaux de truies (GTTT) permet la détection, sur une large échelle, des truies à très haute valeur génétique pour

la prolificité (taux de sélection de l'ordre de 1 à 2 pour mille) et est à la base de la sélection de la lignée "hyperprolifique" de verrats en race Large White (Legault et Gruand 1976) ;

- le contrôle laitier pour le testage sur descendance des taureaux des races laitières et pour la détection des mères à taureaux utilisées dans les accouplements raisonnés destinés à produire les jeunes mâles mis en testage par les unités de sélection. Les mêmes modalités d'utilisation des résultats du contrôle laitier se retrouvent chez les ovins et caprins laitiers ;

- le contrôle de croissance-adiposité chez le porc (âge et épaisseur de gras dorsal à 100 kg), conduit dans les élevages de sélection pour le choix des jeunes verrats et surtout des cochettes de renouvellement.

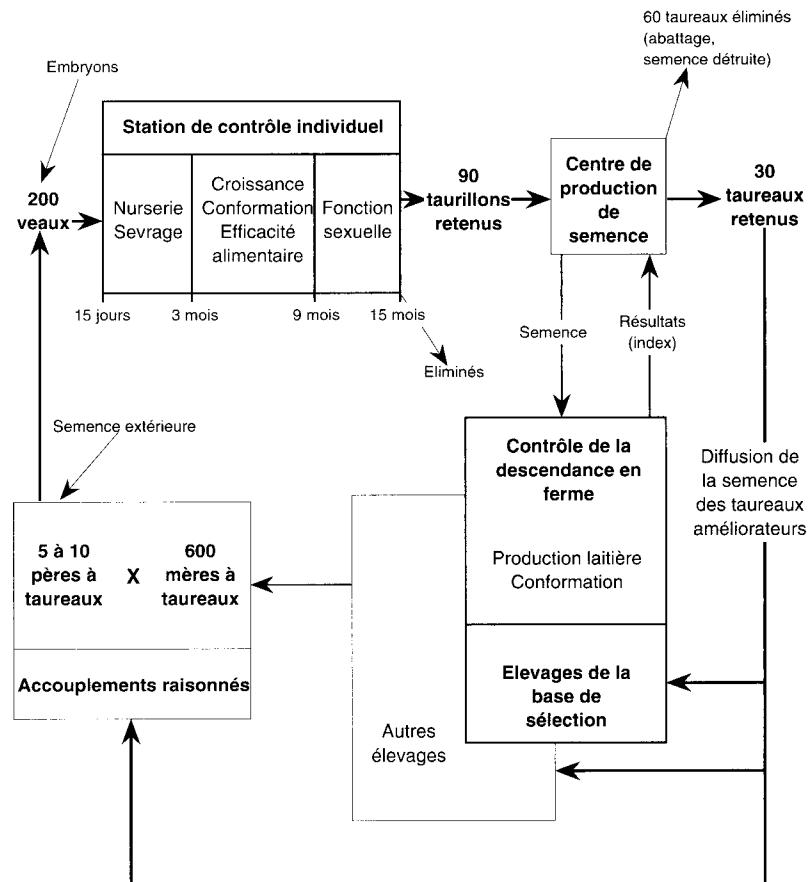
Dans les faits, la plupart des plans de sélection reposent sur l'utilisation séquentielle de résultats de contrôle de performances obtenus à la fois dans des stations publiques et en ferme, comme l'illustre la figure 2 pour la sélection des bovins laitiers.

3.4 / L'estimation des valeurs génétiques

Ce sujet fait l'objet de la quatrième partie de ce numéro et ne sera qu'évoqué ici.

Concernant les méthodes nouvelles d'estimation des valeurs génétiques ("BLUP" et modèle animal), rendues possibles par les progrès de l'informatique pour le traitement de très gros fichiers de données selon des modèles de plus en plus affinés, il vaut

Figure 2. Un exemple de programme de sélection mis en oeuvre par les Unités de sélection dans les races bovines laitières. Source : Bulletin de l'Elevage Français n° 22 (Sopexa, 1988).



d'être remarqué qu'elles ont connu leurs premières applications dans les programmes de sélection basés pour l'essentiel sur des contrôles de performances en ferme. Dans ce cas, les données sont recueillies dans un très grand nombre de "milieux" différents (par exemple, combinaisons des facteurs étable, année et saison de vêlage chez les bovins laitiers) et le nombre de données disponibles dans chaque "milieu" est généralement très réduit. Le risque de confusion entre les effets génétiques et les effets de l'environnement est alors important, ce qui justifie la mise en oeuvre de techniques d'évaluation génétique reposant sur le "BLUP" (meilleure prédition linéaire non biaisée), appliquée initialement à des modèles père ou père-grand père et de plus en plus souvent aujourd'hui à un modèle animal qui permet l'évaluation conjointe des mâles et des femelles (Ducrocq 1990).

On peut noter aussi que l'apparition du modèle animal tend à estomper la classification habituelle des méthodes d'évaluation génétique (sélection individuelle, sur ascendance, sur descendance, sur collatéraux,...) : elle conduit à instituer une évaluation génétique en continu qui s'apparente à une sélection de type combiné puisque toute l'information disponible sur l'individu et sur ses apparentés est prise en compte dans le calcul périodique des indices de sélection. Le tableau 3, concernant le cheval "Trotteur français" (Tavernier 1989), illustre cet accroissement progressif de la précision de l'estimation de la valeur génétique avec l'âge de l'individu, et ceci pour tous les individus de la population.

3.5 / La structure de la population

De façon très générale, on peut distinguer dans une population animale soumise à sélection (Bichard 1971) :

- le noyau de sélection (encore appelé la base de sélection) où est créé le progrès génétique,
- la population de production où diffuse le progrès génétique créé dans le noyau.

Le noyau de sélection est plus ou moins bien délimité selon les espèces (voir l'article de Bougler). Dans les espèces avicoles (poule, canard, dinde), il est parfaitement identifié puisque la sélection est concentrée dans un petit nombre de firmes spécialisées. Le noyau de sélection est assez clairement identifié chez le porc avec une population d'environ 15 000 truies dans les élevages de sélection de l'UPRA porcine (sélectionneurs individuels ou sélectionneurs intégrés dans une organisation de sélection) ; le progrès génétique créé dans ces élevages de sélection diffuse dans l'étage de production (1 million de truies environ) par le biais de l'étage de multiplication (100 000 truies environ). Dans les races bovines laitières, la notion de noyau de sélection est moins nette puisque certaines mères à taureaux proviennent de troupeaux "commerciaux" pratiquant le contrôle laitier. L'ouverture du noyau de sélection (James 1977) se retrouve dans d'autres plans de sélection : ainsi, la sélection de la lignée "hyperprolifique" chez le porc s'apparente à une sélection en noyau ouvert. Les races chevalines de sport et de courses constituent probablement le seul exemple de population sans véritable noyau de sélection : le contrôle de performances (réussite en compétition) et l'indexation des individus sont généralisés à l'ensemble des élevages, et chacun de ces élevages est susceptible, par exemple, de produire des reproducteurs mâles.

Conclusion

Ce survol rapide, et nécessairement incomplet, des grandes caractéristiques des programmes d'amélioration génétique chez les animaux domestiques montre qu'il existe une grande diversité de situations mais aussi qu'il y a des "points de passage obligés", notamment en matière de plans de sélection, si l'on veut obtenir un progrès génétique annuel proche du maximum possible. L'optimisation des plans d'amélioration génétique, qui suppose au préalable une modélisation appropriée, fait l'objet de l'article suivant.

Tableau 3. Exemple d'évaluation génétique en continu : le cas du cheval Trotteur français.

Etapes de l'évaluation génétique	Coefficient de détermination de l'indice de sélection
Jeune animal (de la naissance jusqu'au début de son contrôle de performances)	0,25 - 0,35
Après le "contrôle individuel" (= carrière de courses s'étendant en général sur 3 ou 4 ans)	0,50 - 0,60
Après le "contrôle de descendance"	
- mâles (tous contrôlés individuellement)	• 20 produits avec performances 0,80
	• plus de 60 produits avec performances > 0,90
- femelles non contrôlées individuellement et avec 3 ou 4 produits avec performances	0,40 - 0,50
- femelles contrôlées individuellement et avec 3 ou 4 produits avec performances	0,60 - 0,70

Références bibliographiques

- Bichard M., 1971. Dissemination of genetic improvement through a livestock industry. *Anim. Prod.*, 13, 401-411.
- Ducrocq V., 1990. Les techniques d'évaluation génétique des bovins laitiers. *INRA Prod. Anim.*, 3, 3-16.
- Fujii J., Otsu K., Zorzato F., De Leon S., Khanna V.K., Weiler J.E., O'Brien P.J., MacLennan D.H., 1991. Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*, 253, 448-451.
- James J.W., 1977. Open nucleus breeding systems. *Anim. Prod.*, 24, 287-305.
- Legault C., Gruand J., 1976. Amélioration de la prolificité des truies par la création d'une lignée "hyperprolifique" et l'usage de l'insémination artificielle : principe et résultats expérimentaux préliminaires. *Journées Rech. Porcine en France*, 8, 201-206.
- Levéziel H., Métenier L., Mahé M.F., Choplain J., Furet J.P., Paboeuf G., Mercier J.C., Grosclaude F., 1988. Identification of the two common alleles of the bovine κ -casein locus by the RFLP technique, using the enzyme Hind III. *Génét. Sél. Evol.*, 20, 247-254.
- Mallard J., Douaire M., 1990. Evolution de la sélection avicole. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 76(6), 81-91.
- Ménissier F., 1988. La sélection des races bovines à viande spécialisées en France. In : 3rd World Congress on Sheep and Beef Cattle Breeding, Paris, Vol. 2, pp. 215-236, INRA Publ., Paris.
- Mérat P., 1990. Effets associés et utilisation de gènes majeurs réduisant la taille chez la poule domestique. *INRA Prod. Anim.*, 3, 151-158.
- Ollivier L., 1974. Optimum replacement rates in animal breeding. *Anim. Prod.*, 19, 257-271.
- Saugère D., Runavot J.P., Sellier P., 1989. Un premier bilan du programme de sélection contre le gène de sensibilité à l'halothane chez le porc Landrace Français. *Journées Rech. Porcine en France*, 21, 335-344.
- Sellier P., 1986. Amélioration génétique. In : Le porc et son élevage : bases scientifiques et techniques (J.M. Perez, P. Mornet et A. Rérat, Ed), Maloine, Paris, pp. 159-230.
- Sellier P., 1988. L'amélioration génétique des performances de production du porc. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74(2), 23-38.
- Smith C., 1964. The use of specialised sire and dam lines in selection for meat production. *Anim. Prod.*, 6, 337-344.
- Tavernier A., 1989. Caractérisation de la population Trotteur Français d'après leur estimation génétique par un BLUP modèle animal. *Ann. Zootech.*, 38, 145-155.