1992. JOURNÉES RECH. PORCINE EN FRANCE, **24**, 39-46.

BILAN SUR L'UTILISATION DU BLUP POUR L'ÉVALUATION GÉNÉTIQUE DES REPRODUCTEURS PORCINS DANS LE MONDE

A. DUCOS, J.P. BIDANEL, V. DUCROCQ

Institut National de la Recherche Agronomique
Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas Cédex.

Cette communication synthétise les résultats d'une enquête menée auprès des principales organisations publiques et privées en charge de la sélection porcine dans le monde. Dans quelques pays, l'évaluation génétique des reproducteurs est effectuée en routine sur la base de la méthodologie BLUP. Les quatre systèmes les plus avancés dans ce domaine (Canada - Danemark - USA - Belgique) sont comparés en fonction des critères suivants : taille des applications, organisation des circuits d'information, modèles et paramètres génétiques utilisés. A la lumière de ces exemples, les perspectives d'utilisation en routine de cette méthodologie BLUP en France sont également discutées.

Review of BLUP methodology usage in pig breeding

The results of a survey on public and private pig breeding organizations in the world are presented. In few countries, animals are evaluated with the BLUP methodology. The four most advanced systems (Canada, Danemark, USA, Belgium) are compared on the basis of the following criteria : the size of the population, the management of the information flow, the model of analysis and the genetic parameters used. The prospect of the use of BLUP methodology in France is discussed.

INTRODUCTION

L'évaluation génétique des reproducteurs porcins en France est basée, depuis la mise en place du premier dispositif de contrôle de performances en 1953, sur la méthodologie des indices de sélection (OLLIVIER, 1988). La valeur génétique d'un animal est estimée comme une combinaison linéaire de ses performances (et/ou celles de quelques apparentés) exprimées en écart à la moyenne de ses contemporains de contrôle. Un animal ne peut donc être comparé, en toute rigueur, qu'aux animaux issus de la même bande de contrôle.

Une autre méthode d'évaluation génétique, le BLUP - modèle animal (BLUP est une abréviation anglaise signifiant Meilleur Prédicteur Linéaire Non biaisé) commence à être utilisée en sélection porcine. Elle consiste à prendre en compte la totalité de l'information disponible sur les candidats à la sélection et l'ensemble de leurs apparentés connus et à estimer simultanément les effets du milieu et les valeurs génétiques. (Une présentation détaillée des principes du BLUP - modèle animal a été faite par BIDANEL et al. (1990) et DUCROCQ (1990)). Les principaux avantages du BLUP - modèle animal sont une plus grande précision dans l'estimation de la valeur génétique des animaux et la possibilité de comparer les animaux issus de lots de contrôle différents. D'où un progrès génétique potentiellement supérieur à celui espéré dans le cas d'une évaluation basée sur les indices de sélection. Il nécessite par contre de centraliser l'information disponible et de disposer de moyens informatiques importants.

L'objet de cette communication est de faire un bilan sur l'utilisation de cette méthode en sélection porcine dans le monde et de présenter les perspectives de son développement en France. Elle se base sur les résultats d'une enquête menée dans différents pays auprès des organisations en charge des systèmes d'évaluation nationaux ou régionaux ainsi que des firmes de sélection.

1. ELÉMENTS DE L'ENQUÊTE.

Les possibilités d'application de la méthodologie BLUP et son efficacité sont fonction de plusieurs éléments.

- Le nombre d'animaux concernés par l'évaluation

L'estimation de valeurs génétiques au moyen du BLUP - modèle animal nécessite la résolution d'un système d'équations de taille NC x (NF + NA) où NC = nombre de caractères, NF = nombre de niveaux pour les effets fixés du modèle (effets du milieu) et NA = nombre de niveaux pour les effets aléatoires du modèle (valeur génétique des animaux et effet de la portée de naissance par exemple). La taille du système dépend donc essentiellement du nombre total d'animaux considérés (animaux avec performances et parents sans performances) qui peut dans certains cas être très élevé. On évalue par exemple le nombre d'équations à résoudre dans le cadre d'une évaluation BLUP - modèle animal des animaux contrôlés en ferme en France à environ 800.000. La quantité de calculs à effectuer est alors très importante et nécessite l'utilisation d'un ordinateur central de grande puissance.

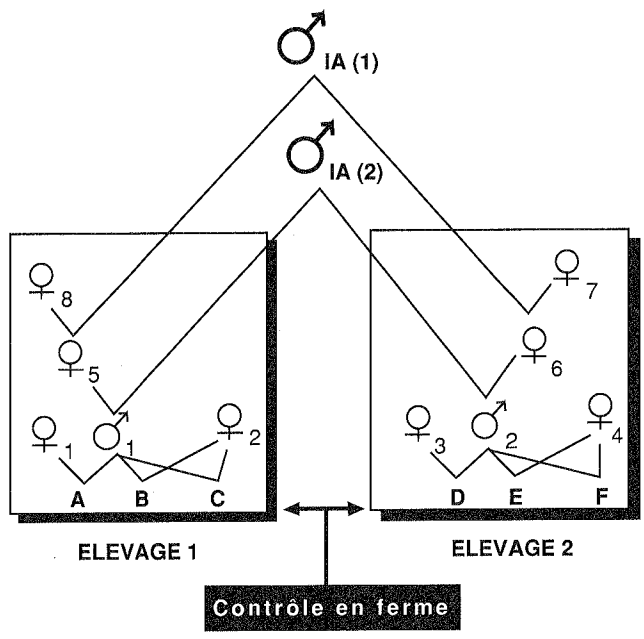
- L'organisation des circuits d'information

Les informations enregistrées lors des contrôles (performances et généalogies) doivent être acheminées jusqu'à un site central où les calculs sont effectués. Les résultats doivent ensuite retourner sur les lieux de contrôle où ils sont utilisés à des fins de sélection. Cette circulation d'information doit être suffisamment rapide et fiable. Ce point est particulièrement important dans l'espèce porcine où les décisions de sélection sont généralement prises avec des intervalles de temps assez court.

- Le taux d'insémination artificielle (IA) dans la population soumise à l'évaluation.

Le BLUP - modèle animal ne permet de comparer de façon rigoureuse des animaux appartenant à 2 bandes de contrôle différentes que s'il existe des liens génétiques entre elles (s'il existe au moins un animal dans chacune des 2 bandes présentant un certain degré d'apparentement). S'il n'existe aucun lien génétique entre bandes, celles-ci sont dites disconnectées et il n'est plus possible de comparer les valeurs génétiques des animaux entre bandes. A l'intérieur d'un élevage, les bandes de contrôle seront généralement bien connectées. Par contre, deux bandes contrôlées dans deux élevages de sélection différents seront facilement disconnectées dans la mesure où les échanges d'animaux entre élevages sont faibles. Ce problème peut être résolu par l'emploi de l'insémination artificielle (I.A.). Cette technique permet en effet d'avoir des 1/2 frères dans différents élevages et par là même de créer des liens génétiques entre élevages (figure 1). Dans la plupart des cas, l'essentiel des connexions est assuré de cette façon. Le taux d'IA peut donc être utilisé comme un indicateur du degré «potentiel» de connexion entre élevages ou entre bandes.

Figure 1 - Etablissement de connections entre élevages par l'intérmédiaire de l'insémination artificielle (I.A.)



- La fiabilité des informations

Le surcroît de précision dû à l'utilisation du BLUP par rapport à une évaluation basée sur les indices de sélection est lié essentiellement à une utilisation plus complète de l'information généalogique. Si cette information contient des erreurs, le gain espéré s'en trouve diminué, voire nul (LONG et al., 1990).

En production porcine, la pratique régulière des adoptions, des doubles saillies ou du mélange de sperme en centre d'insémination artificielle peut être une source d'erreur importante au niveau de l'identification des parents des animaux. L'existence ou la mise en place d'un programme de contrôle de généalogie peut donc être un facteur important dans l'efficacité d'une évaluation BLUP.

- Les paramètres génétiques utilisés

Les paramètres génétiques (héritabilités, corrélations génétiques) de la population de base sont utilisés dans les calculs aboutissant à la prédiction des valeurs génétiques. La fiabilité de ces dernières est donc directement fonction de celle avec laquelle ont été estimés les paramètres génétiques. L'obtention d'une bonne estimation de ces paramètres génétiques n'est pas un problème simple, en particulier si l'on s'intéresse à des populations sélectionnées. Le phénomène de sélection conduit en effet souvent à une sous-estimation des paramètres génétiques. A cet égard, la méthode la plus robuste est le REML (abréviation anglaise significant Maximum de Vraisemblance Restreinte). Elle est basée sur un processus itératif de maximisation d'une fonction de vraisemblance des données. Les techniques de calcul varient en fonction de l'algorithme d'optimisation choisi (avec dérivées, sans dérivées), mais toutes nécessitent à chaque itération le calcul des solutions BLUP pour les différents effets du modèle. La quantité de calculs liée à l'utilisation de cette méthode est donc considérable. C'est cependant une étape incontournable si l'on souhaite assurer la pleine efficacité d'une évaluation BLUP.

- Le modèle d'analyse utilisé

La sélection dans l'espèce porcine porte toujours sur plusieurs caractères. Au minimum, la vitesse de croissance et l'épaisseur du lard dorsal sont considérés. De façon à bien prendre en compte l'évolution de la variance génétique sous l'effet de la sélection, l'évaluation doit théoriquement porter sur tous les caractères impliqués dans la sélection. Les modèles d'analyses utilisés sont alors dits «multicaractères». Les moyens informatiques à disposition ne permettent cependant pas toujours de travailler avec de tels modèles. Une première simplification consiste à traiter les caractères indépendamment les uns des autres avec des modèles «unicaractères».

Une deuxième simplification consiste à remplacer l'effet «animal» du modèle par d'autres effets à nombre de niveaux plus réduits (exemple : «père» ou «père et mère»). Une partie des caractéristiques intéressante du modèle animal sont alors perdues.

Un certain nombre de personnes ont été contactées de façon, à connaître la situation dans différents pays vis-à-vis de ces quelques points. Les questionnaires envoyés contenaient les informations décrites dans le tableau 1.

Ces questionnaires ont été adressés prioritairement aux organisations en charge des dispositifs publics, nationaux ou régionaux. Cependant, les firmes assurant l'essentiel de la sélection porcine dans certains pays (Grande Bretagne, Pays Bas), les plus importantes d'entre-elles ont également été contactées.

Sur les 17 organisations contactées dans 13 pays, 12 d'entre elles ont répondu (annexe 1). Le taux de réponse dans le cas des firmes est par contre beaucoup plus faible (annexe 2).

Tableau 1 - Principaux éléments du questionnaire adressé aux organismes publics

informations générales	types de contrôles de performances objectifs et critères de sélection effectifs d'animaux contrôlés importance de l'insémination artificielle - dans les troupeaux de sélection - dans les troupeaux de production
informations techniques	méthode d'évaluation retenue modèle statistique et paramètres génétiques utilisés lieu et fréquence de l'évaluation

2. RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

2.1. Dispositifs publics d'évaluation génétique

L'examen de l'annexe 1 montre que plusieurs systèmes d'évaluation génétique basés sur la méthodologie BLUP sont fonctionnels à l'heure actuelle. Les Canadiens ont été des pionniers en la matière puisqu'un tel système d'évaluation est utilisé au Canada depuis 1985 (HUDSON et KENNEDY, 1985). Les Américains (SCHINCKEL et al., 1986), les Danois (SORENSET, 1988), les Belges (VAN HOFSTRAETEN et VANDEPITTE, 1988) et les Australiens (LONG, 1989) ont également avancé dans cette voie. D'autres auteurs ont appliqué ces méthodes sur des données de terrain (WRAY, 1988 ; GROGAN et FLANAGAN, 1987) mais sans développer de système d'évaluation en routine.

Un schéma général de l'organisation de chacun des trois principaux programmes (canadien, américain, danois) est présenté respectivement sur les figures 2, 3 et 4. Des éléments de détail concernant ces trois programmes, ainsi que celui fonctionnant en Belgique, figurent dans la comparaison qui suit. Cette comparaison permet de plus de juger de l'impact et de l'efficacité respective des principaux systèmes.

2.1.1. Comparaison des principaux systèmes

a) Origine des données - taille des applications

Le programme à l'heure actuelle le plus important est celui mis en place au Canada. Géré par l'organisation nationale «Agriculture Canada», il est basé sur un dispostif de contrôle de performances en ferme et en station en place depuis 1967. Une évaluation globale est réalisée tous les trois mois en prenant en compte les informations accumulées depuis 1976. Le fichier de performances exploité actuellement pour l'évaluation sur les caractères de production (âge à 90 kg et épaisseur de lard dorsal = ELD) contient plus de 600.000 observations réparties dans 4 régions et pour 5 races. Pour les caractères de reproduction, le contrôle des performances en ferme n'a été initié que très récemment, exception faite de la province du Québec où des informations sont enregistrées depuis 1977, ce qui représente un nombre de portées contrô-

Figure 2 - Organisation du système d'évaluation en ferme au Canada

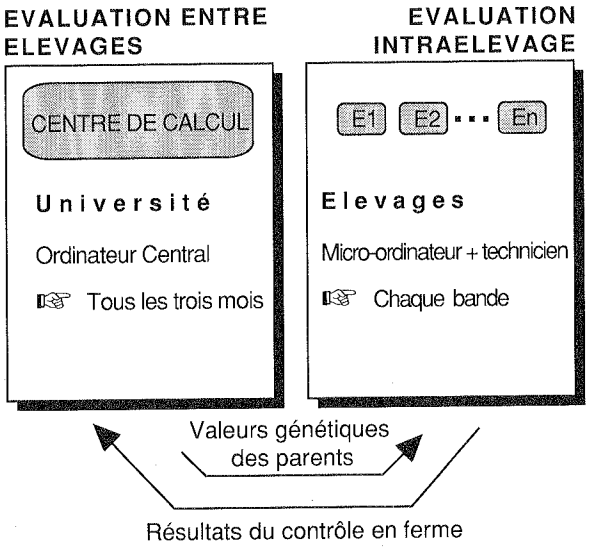


Figure 3 - Organisation du système STAGES (U.S.A.)

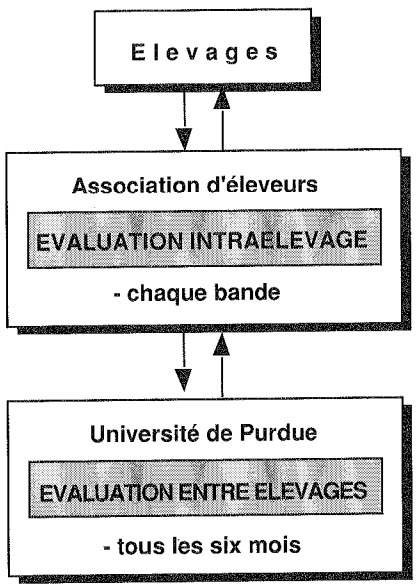
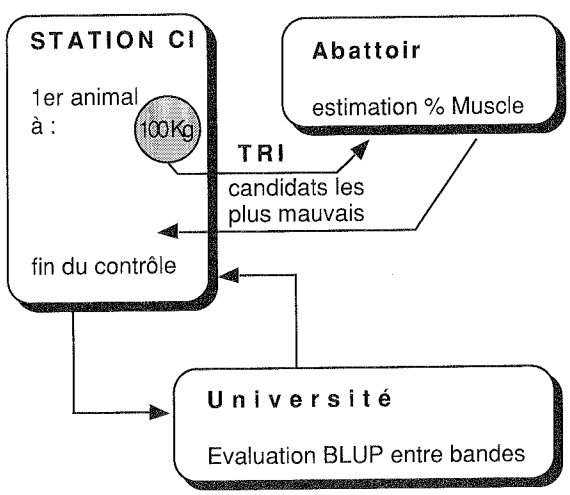


Figure 4 - Organisation du contrôle des jeunes verrats en station au Danemark



lées voisin de 25.000. Aux USA, une évaluation BLUP des animaux contrôlés en ferme est également proposée par l'Université de Purdue. Le système, baptisé STAGES (Swine Testing And Genetic Evaluation System), n'est cependant utilisé à l'heure actuelle que sur un nombre relativement restreint d'animaux. Une évaluation globale est effectuée deux fois par an depuis 1990 et porte uniquement sur les animaux de race Yorkshire. Le nombre de performances de production (âge à 105 kg, ELD) disponibles est légèrement supérieur à 20.000 et provient de 18 troupeaux. Pour les caractères de reproduction, le nombre de données est un peu plus conséquent puisqu'il regroupe environ 68.000 portées de 33.000 truies.

Au Danemark, une évaluation BLUP pour les performances de reproduction est proposée depuis 1988. Elle exploite les informations enregistrées dans une centaine d'élevages de sélection. Une évaluation BLUP pour les caractères de production est également fonctionnelle mais porte uniquement sur les animaux contrôlés en station (environ 9.000 verrats par an). En Belgique, l'évaluation BLUP est limitée aux animaux contrôlés depuis 1984 dans 7 stations de contrôle de la descendance, soit un total, pour les deux races LB et P, de 30.000 animaux contrôlés (les caractères contrôlés étant : GMQ, IC, QC) et 20.000 parents non contrôlés.

b) Organisation des circuits d'information

Les sytèmes d'évaluation globale en place au Canada et aux USA ne sont pas utilisés directement pour le choix des animaux de renouvellement au niveau des élevages. La fréquence des calculs est en effet beaucoup trop faible (4 fois par an au Canada et 2 fois par an aux USA). Pour permettre aux éleveurs de faire leur choix, deux types d'évaluation sont en fait réalisés : l'évaluation globale décrite plus haut appelée évaluation «entre troupeaux» et une évaluation «intratroupeaux». Cette deuxième évaluation, réalisée à la fin de chaque bande de contrôle, prend en compte une partie seulement de la totalité des informations disponibles.

Au Canada, deux types d'informations sont exploités :

* les valeurs génétiques des parents des animaux contrôlés, calculées lors de la dernière évaluation générale entre troupeaux.
* les performances enregistrées dans l'élevage depuis la dernière évaluation entre troupeaux.

Les seules relations de parenté prises en compte sont donc celles entre parents et descendants et entre frères et demi-frères. Il ne s'agit donc que d'une approximation d'une évaluation BLUP. Depuis 1988, les calculs sont effectués dans l'élevage, sur un micro-ordinateur portable, par un technicien de l'association à laquelle adhère l'éleveur.

Les données sont ensuite transmises au centre de calcul (université) où a lieu l'évaluation générale entre troupeaux. Les informations obtenues à cette occasion retournent à l'élevage par le même circuit. En plus des valeurs génétiques des parents utilisées pour l'évaluation intratroupeaux, deux types de documents sont publiés quatre fois par an à l'occasion de chaque évaluation entre troupeaux. Le premier regroupe, par région, un certain nombre d'informations sur les animaux utilisés comme reproducteurs dans les élevages (valeurs génétiques pour les 2 caractères, index combinant ces valeurs génétiques, précision de l'évaluation, origine). Le second est un indicateur de troupeau où sont reportés le niveau génétique

moyen du troupeau et le progrès génétique réalisé depuis le démarrage du programme.

Aux USA, les évaluations intratroupeaux sont effectuées au siège des associations d'éleveurs (4 implantations) dès que les données issues d'un élevage y parviennent. La totalité des informations enregistrées dans l'élevage est prise en compte dans l'évaluation. Contrairement au système canadien, il s'agit donc bien d'un BLUP intratroupeau (entre bandes de contrôle). Un à deux jours de délai sont nécessaires pour assurer l'envoi, le traitement des données et la mise à disposition des indices BLUP. La diffusion des informations est assurée par les associations d'éleveurs qui publient un certain nombre de documents assez voisins de ceux présentés plus haut (STEWART et al., 1991).

Au Danemark, deux évaluations successives sont réalisées. Un premier tri est effectué dès qu'un animal de la bande de contrôle atteint le poids vif de 100 kg. Le calcul nécessaire à ce premier tri utilise les informations enregistrées pour la bande de contrôle ainsi que les valeurs génétiques des parents fournies par le centre de calcul (université). Il s'agit donc là encore d'un «BLUP incomplet». Les calculs sont effectués dans la station à l'aide d'un micro-ordinateur. Les plus mauvais animaux partent directement à l'abattoir où leur pourcentage de muscle est estimé. Les animaux restants terminent leur contrôle. A la fin du contrôle, l'ensemble des informations (station + abattoir) est envoyé au centre de calcul où une évaluation complète (entre stations) est réalisée. Les valeurs génétiques des animaux retournent ensuite aux stations où les décisions de sélection sont prises. Une proportion de 2 à 4% des meilleurs animaux est destinée aux centres d'insémination artificielle.

c) Modèles d'analyse

Les facteurs du milieu (effets fixés) pris en compte dans les modèles d'analyse pour les caractères de production sont pratiquement identiques dans l'ensemble des systèmes étudiés. Le facteur troupeau (ou station) x année x saison est toujours présent. L'effet du sexe de l'animal est introduit dans le modèle d'analyse aux USA. En Belgique une précorrection des données est effectuée pour ce facteur ainsi que pour le poids au début et à la fin du contrôle.

Au niveau des effets aléatoires (effets génétiques en particulier), il convient de distinguer le système américain, qui introduit les effets du père et de la mère de l'animal (modèle père-mère), des autres systèmes ou le facteur génétique considéré est la valeur génétique additive de l'animal (modèle animal). L'effet aléatoire de la portée de naissance de l'animal est également pris en compte au Canada et aux USA.

En Belgique et aux USA, les évaluations sont conduites avec des modèles multicaractères. En Belgique, la présence d'un seul effet aléatoire permet d'effectuer une transformation des données aboutissant à une diminution importante des calculs. Au Canada et au Danemark, les évaluations pour les caractères de production sont effectuées avec un modèle animal unicaractère.

Dans le cas des caractères de reproduction, un modèle animal avec répétabilité (les portées successives d'une même truie sont considérées comme étant le même caractère répété dans le temps) est utilisé au Canada et au Danemark. Aux USA, le modèle utilisé prend en compte les effets génétiques de la truie, de sa mère et du père de la portée.

d) les paramètres génétiques utilisés

Aucun des systèmes présentés plus haut n'utilise pour l'instant des paramètres génétiques estimés par la méthode REML modèle animal dans le cas multicaractère. Dans le programme danois, la variance génétique additive et l'héritabilité de chaque caractère ont été estimées par une procédure REML modèle animal unicaractère à l'aide du programme de K. Meyer (MEYER, 1988). Les Canadiens ont utilisé de leur côté une approximation REML proposée par Henderson (HENDERSON, 1980). En Belgique, les héritabilités et corrélations génétiques entre caractères ont été estimées avec la méthode Henderson III à l'aide du programme de Harvey (HARVEY, 1985). Dans le programme STAGES les paramètres génétiques utilisés sont des moyennes pondérées de la littérature (EINSTEIN et al., 1988)...

2.1.2. Synthèse - Améliorations possibles

La comparaison des différents systèmes a permis de mettre en évidence leurs qualités et leurs faiblesses.

Le système canadien est opérationnel depuis plusieurs années et son organisation est exemplaire. L'évaluation entre troupeaux qui prend en compte une très grande quantité d'informations issues directement du milieu de production est le principal point fort de ce dispositif. L'évaluation intratroupeaux peut par contre être sensiblement améliorée.

Le système américain STAGES est très bien structuré. Il s'appuie cependant sur un dispositif de contrôle de performances encore peu développé et peu expérimenté. Les modèles d'analyse utilisés sont également critiquables.

Les systèmes danois et belges sont bien maîtrisés car ils s'appuient sur une organisation relativement légère (contrôle en station). Les conditions de la production n'étant pas parfaitement identiques aux conditions des stations, l'efficacité de ce seul type de contrôle est néanmoins discutable.

Les principales améliorations à apporter à ces dispositifs sont donc de plusieurs ordres :

• *les informations prises en compte dans l'évaluation* :

à ce titre le développement d'un dispositif de contrôle en ferme est à l'étude au Danemark et en Belgique. Au Canada, il est prévu d'inclure dans l'évaluation intra-élevage les valeurs génétiques estimées des grands-parents.

• *les modèles d'analyse utilisés* :

au Danemark et au Canada, le passage à des modèles d'analyse multicaractères est à l'ordre du jour. Pour le programme STAGES, une prochaine amélioration sera le passage à un modèle animal, tant pour les caractères de production que de reproduction.

• *l'estimation des paramètres génétiques* :

l'application de la méthode REML est à l'heure actuelle une priorité pour l'ensemble des équipes.

Signalons enfin que l'inclusion de nouveaux caractères dans l'objectif de sélection (qualité de la viande, caractères de reproduction) associée à une évaluation génétique réalisée

simultanément pour l'ensemble des caractères est à considérer.

2.2. Les firmes de sélection

L'organisation adoptée dans la majorité des firmes de sélection est sous certains aspects très favorable à la mise en place d'une évaluation basée sur la méthodologie BLUP. L'information issue du contrôle de performance provient le plus souvent d'un nombre très limité d'élevages de taille moyenne à grande. Le taux d'insémination artificielle y est relativement élevé, la semence provenant très souvent d'un parc de verrats communs. La connexion entre les différents élevages est donc bonne. L'information circule relativement vite et permet de réaliser des évaluations centralisées avec une fréquence élevée. L'ensemble de ces points conjugué à l'apparition sur le marché de logiciels facilement utilisables, PIGBLUP (LONG et al., 1990), PEST (GROENEVELD ET KOVAC, 1990), a incité un grand nombre de firmes à mettre en place des systèmes d'évaluation BLUP.

Le taux de retour des questionnaires adressés aux principales firmes étrangères a été extrêmement faible (annexe 2). Il nous est donc difficile de détailler les méthodes d'évaluation utilisées. En Grande-Bretagne, la firme COSTWOLD (WEBB et BAMPTON, 1988) a la première mis en place une évaluation BLUP pour l'évaluation génétique de la taille de portée. Les logiciels utilisés ont été crées au sein même de la société. Une autre grande firme britannique évalue également ses animaux avec une telle méthode au moyen du logiciel PEST.

Dans d'autres firmes anglaises et belges et dans une organisation allemande, la mise en place d'un système d'évaluation BLUP est en cours.

CONCLUSION

L'efficacité globale d'un programme de sélection dépend de façon importante de la qualité de l'outil d'évaluation utilisé. A cet égard, la méthode BLUP - modèle animal est sur le plan théorique supérieure à la méthode classique des indices de sélection.

En contrepartie, elle entaîne un certain nombre de problèmes pratiques et de contraintes qui rendent son utilisation plus difficile que celle des indices de sélection classiques. La prise en compte de la totalité de l'information généalogique suppose un traitement centralisé des données qui n'était jusqu'à présent pas nécessaire. Elle suppose également une grande fiabilité de cette information généalogique, point qui jusqu'à la mise en place du contrôle combiné avait peu d'effet sur l'efficacité de la sélection.

La centralisation du traitement des données se traduit par une plus grande complexité des circuits de l'information, avec pour conséquence un allongement de la durée du processus d'évaluation difficilement compatible avec la nécessaire rapidité des décisions de sélection chez le porc. Le développement récent de la microinformatique et de la télématique permet certes d'accélérer la circulation de l'information. Cette accélération a toutefois ses limites et rend nécessaire la recherche d'un compromis entre la qualité de l'évaluation et sa faisabilité.

Malgré ces contraintes, la mise en place d'une évaluation BLUP-modèle animal chez le porc ne pose plus de problèmes insurmontables. En France, un certain nombre de facteurs favorables comme le développement spectaculaire de l'IA sont en outre apparus.

La mise en place d'une évaluation BLUP généralisée en France se fera en deux étapes : la première étape, prévue pour la fin de l'année 1992 concernera l'ensemble des animaux contrôlés en station. La deuxième étape, concernant l'élargissement à l'ensemble des animaux contrôlés en ferme se heurte à des difficultés beaucoup plus importantes, tant sur le plan calculatoire qu'organisationnel. Sa mise en place en routine, vraisemblablement sur le modèle canadien, nécessitera au moins deux années de travail supplémentaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BIDANEL J.P., DUCROCQ V., OLLIVIER L., 1990. Journées Rech. Porcine en France, 22, 1-10.
- DUCROCQ V., 1990. INRA Prod. Anim., 3 (1), 3-16.
- EINSTEIN M.E., STEWART D.L., LOFGREN D.L., SCHINCKEL A.P., 1988. Purdue Agric. Exp. Sta. Bull. N°545, Purdue Univ., West Lafayette, IN.
- GROENEVELD E., KOVAC M.,1990. J. Dairy Sci., 73, 513-531.
- GROGAN A.J., FLANAGAN M.J., 1987. 38ème réunion annuelle de la FEZ. Lisbonne Portugal.
- HARVEY W.R., 1985. User's guide for LSMLMW, 46 pp., Ohio State Univ..
- HENDERSON C.R., 1980. J. Anim. Sci., 51 (1), 119 (Abstr.).
- HUDSON G.F.S., KENNEDY B.W., 1985. J. Anim. Sci., 61, 83-91.
- LONG T.E., 1989. Proceedings of the 2nd biennal conference, Australian Pig Science Association, NSW, Australia, 217-221.
- LONG T.E., BRANDT H., HAMMOND K., 1990. Proceedings of the 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Edinburgh, Scotland, XV, 465-468.
- LONG T.E., JOHNSON R.K., KEELE J.W., 1990. J. Anim. Sci., 68, 4069-4078.
- MEYER K., 1988. J. Dairy Sci., 71, suppl. 2, 33-34 (Abstr.).
- OLLIVIER L., 1988. C.R. Acad. Fr., 74, 3-7.
- SCHINCKEL A.P., HARRIS D.L., STEWART T.S., LOFGREN D.L., 1986. Proceedings of the 3rd World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Lincoln, USA, X, 98-109.
- SORENSEN D.A., 1988. Livest. Prod. Sci., 20, 135-148.
- STEWART T.S., LOFGREN D.L., HARRIS D.L., EINSTEIN M.E., SCHINCKEL A.P., 1991. J. Anim. Sci., 69, 3882-3890.
- VAN HOFSTRAETEN W., VANDEPITTE W.? 1988. Revue de l'agriculture, 41, 914-921.
- WEBB A.J., BAMPTON P.R., 1988. Animal Breeding Opportunities, 12, 111-128.
- WRAY N., 1988. Anim. Prod., 46, 486 (Abstr.).

Annexe 1 - Liste des organisations publiques ayant répondu au questionnaire

Pays	Nom de l'organisation	Dispositif de contrôle de performances	Caractères contrôlés	Méthode d'évaluation
Angleterre	M.L.C. (Pig Breeder's Club)	CF : éleveurs indépendants	ELD, Poids (parfois GMQ, IC) verrats + cochettes	IS
Belgique	Fédération Nationale des Eleveurs de Porcs	CAB : 6 stations	GMQ, IC, QC 2500 animaux/an	BLUP - MA multicaractère
		CF :	(EN COURS DE DÉVELOPPEMENT)	
Suisse	Fédération Suisse pour les épreuves d'engraissement et d'abattage du porc	CIS : 1 station N = ? CAB : collatéraux des animaux du CIS + CF - 1 station - 4000 animaux/an	GMQ, IC, ELD -id- + % morceaux nobles + QV + gras Intramusculaire	IS IS
		CF : N = ? CTX : 290 animaux en 1989	GMQ, ELD id CAB	IS IS
R.F.A.	Université de Göttingen = Institute of Animal Breeding	total RFA avant 1991 CAB = 11 stations 15.000 animaux/an CF : N = ?	IC, %M, QV GMQ, IC, ELD	IS IS
Danemark	Danske Slagterier	CIS : 6 stations	GMQ, IC, QC 9000 verrats/an	BLUP - MA unicaractère
	- Université	CF : 100 troupeaux	TP GMQ, ELD	BLUP - MA (EN COURS)
Norvège	Norvegian Pig Bredeers Association	CIS : 1 station 1200 verrats/an	GMQ, IC, ELD + % M in vivo (X-Ray)	
		CAB : 2600 collatéraux/an (pleins frères des animaux du CIS)	- id. - + % jambon + % longe + longueur carcasse + surface muscle dorsal	IS (BLUP-MA:1993)
		CF : 2221 troupeaux 1988 : 3700 mâles 40 000 femelles	GMQ, ELD TP	IS
Finlande	Finish Animal Breeding Association	CIS : 2 stations 450 verrats/an	GMQ, IC, ELD	
		CAB : collatéraux animaux du CIS 7 stations 1200 animaux/an	IC, QV, % morceaux nobles	IS
		CF : 60 000 animaux/an 2700 élevages	TP	IS GMQ, ELD
Australie	Université d' Armidale	CIS : 1 station/état N = ?	GMQ, ELD, (IC)	IS (40 à 90 kg)
		CF : 1 programme/état N = ?	GMQ, ELD	IS
Canada	Université de Guelph	CF + CIS : >600.000 animaux depuis 1976	Age 90 kg, ELD	BLUP-MA unicaractère
		N = ?	TP, TPS, PPS, IMB avec répétabilité	BLUP-MA
U.S.A.	Université de Purdue (STAGES)	CF : 12 000 animaux/an (5 races)	Age 105 kg, ELD	BLUP modèle père-mère multicaractère
		30.000 portées/an (6 races)	TP, TPS, PPS	
	National Pork Producer Council	EN PREPARATION - mise en place d'un programme national d'évaluation * comparaison des différents systèmes (STAGES, PigCHAMP,...) sur la base d'un contrôle en station d'animaux issus de ces programmes * prise en compte de nouveaux caractères (% M, QV...)		

Abréviations utilisées :

pour les dispositifs
- CIS : Contrôle individuel en station
- CAB : Contrôle avec abattage
- CF : Contrôle en ferme
- CTX : Contrôle des terminaux

pour les caractères
- GMQ : Gain Moyen Quotidien
- IC : Indice de consomation
- ELD : Epaisseur du lard dorsal
- QC : Critère de qualité de carcasse
- QV : Critère de qualité de viande
- % M : Pourcentage de Muscle
- TP : Taille portée à la naissance (Nés vivants)
- TPS : Taille portée au sevrage
- PPS : Poids portée au sevrage
- IMB : Intervalle entre Mise Bas

pour les méthodes
- IS : Indices de sélection.
- BLUP-MA : BLUP - Modèle Animal

Annexe 2 - Liste des firmes contactées
(5 firmes Néerlandaises et 3 firmes Américaines n'ont pas répondu au questionnaire)

Nom (code)	Pays	Evaluation BLUP	Date début (Date prévue)	Logiciel utilisé	Caractères concernés(1)	Effectifs des lignées (nbre truies)
XZ01	Angleterre	oui	?	PEST	?	?
XZ01	filiale USA	oui	1990	PEST	?	max. 563
XW13	Angleterre	A l'étude	?	?	?	?
ZH04	Angleterre	En test	?	?	GMQ,IC,ELD,%M	?
COSTWOLD	Angleterre	oui	1988	interne	TP Croissance musculaire	>100
FRIFI	Belgique	A l'étude	(1991)	?	GMQ,IC,ELD,TP	max. 500
BDX5	RFA	A l'étude	(1991)	PEST	lignées mâles: GMQ,IC,ELD lignées femelles: TP	max. 300

(1) *Abréviations utilisées* :

pour les dispositifs

CIS : Contrôle individuel en station
CAB : Contrôle avec abattage
CF : Contrôle en ferme
CTX : Contrôle des terminaux

pour les caractères

GMQ : Gain Moyen Quotidien
IC : Indice de consomation
ELD : Epaisseur du lard dorsal
QC : Critère de qualité de carcasse
QV : Critère de qualité de viande
% M : Pourcentage de Muscle
TP : Taille portée à la naissance (Nés vivants)
TPS : Taille portée au sevrage
PPS : Poids portée au sevrage
IMB : Intervalle entre Mise Bas

pour les méthodes

IS : Indices de sélection.
BLUP-MA : BLUP - Modèle Animal