

UN PREMIER BILAN DU PROGRAMME DE SÉLECTION CONTRE LE GÈNE DE SENSIBILITÉ À L'HALOTHANE CHEZ LE PORC LANDRACE FRANÇAIS

Dominique SAUGERE (1), J.P. RUNAVOT (1), P. SELLIER (2)

(1) Institut Technique du Porc, BP 3, 35650 LE RHEU

(2) Institut National de la Recherche Agronomique, Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78350 JOUY EN JOSAS

INTRODUCTION

La race Landrace Français arrive au 2^{ème} rang des races porcines françaises avec environ 3 800 truies en sélection, réparties dans une soixantaine de troupeaux. Sa principale fonction est d'être la partenaire de la race Large White pour la production de la truie parentale Landrace x Large White qui est le type génétique de truies le plus répandu dans les élevages de production. En 1981, la décision a été prise de faire du Landrace Français une race indemne du gène récessif de la sensibilité à l'halothane pour réduire, le plus possible, la fréquence des animaux sensibles à l'halothane chez les porcs charcutiers des élevages de production. L'objectif est de réduire les préjudices économiques liés au syndrome de stress au travers de ses répercussions sur les cas de mortalité subite et sur la qualité de la viande. La stratégie retenue est simple : produire une truie croisée parentale non porteuse du gène de la sensibilité à l'halothane par la mise en place d'un plan de sélection contre ce gène chez le Landrace Français, sachant par ailleurs que la population Large White exploitée en France présente, semble-t-il, l'originalité d'être quasi indemne de ce même gène.

Le programme de sélection s'est mis en place en 2 temps :

- à partir de 1981, après consultation de la Commission Nationale d'Amélioration Génétique, les jeunes verrats Landrace Français contrôlés dans les stations publiques ont été soumis au test à l'halothane. Cette mesure a été complétée par des opérations d'évaluation de la fréquence de sujets sensibles dans les élevages de sélection eux-mêmes, conduites à l'initiative de l'I.T.P. L'utilisation du test à l'halothane ne permet pas de distinguer les homozygotes normaux et les hétérozygotes chez les animaux non sensibles et l'efficacité de ce seul test est limitée dès que la fréquence de sensibles est faible (SELLIER, 1985a), ce qui est le cas du Landrace Français depuis 1984 environ.
- en 1985, pour faire face à cet inconvénient, la Commission Nationale d'Amélioration Génétique a suivi les propositions de l'INRA et de l'ITP de mettre en place un programme de typages sanguins permettant de prédire le génotype d'un individu non sensible au locus de la sensibilité à l'halothane

et donc de différencier les homozygotes normaux des hétérozygotes. Cette décision s'est concrétisée par le typage sanguin de l'ensemble des jeunes verrats Landrace Français testés dans les stations de contrôle individuel et par la possibilité offerte à tous les éleveurs Landrace Français de typer les reproducteurs et les candidats à la sélection de leur troupeau.

Après avoir rappelé les fondements du plan de sélection et les mesures qui l'accompagnent, nous nous proposons de discuter de l'efficacité de ce plan au travers de l'analyse de l'évolution de la fréquence du gène responsable de la sensibilité à l'halothane et de ses conséquences sur les performances de production. L'essentiel de cette discussion portera sur la deuxième phase du plan de sélection qui a vu la mise en place des typages sanguins en 1985.

1. LES GRANDES LIGNES DU PROGRAMME DE SÉLECTION MIS EN OEUVRE

1.1. Rappel des fondements du programme de sélection

Les fondements du programme mis en oeuvre chez le Landrace Français ont été exposés de manière détaillée par COURREAU et al. (1985) et SELLIER (1985a, b). Ils découlent de l'utilisation de marqueurs sanguins gouvernés par des locus proches du locus de la sensibilité à l'halothane (Hal) occupé par 2 allèles : l'allèle "normal" Hal^N et l'allèle sensible Hal^S. Ce locus appartient à un groupe de liaison aujourd'hui très bien connu. En particulier, il a été montré par GUERIN et al. (1980) et ensuite confirmé par COURREAU et al. (1985) que les deux variants électrophorétiques (A et B) de la phosphohexose isomérase (Phi) et les deux variants (A et B) de la 6-phosphogluconate déshydrogénase (6-Pgd) sont gouvernés par des locus étroitement liés au locus Hal. L'originalité de la situation chez le Landrace Français est que le gène Phi^B, et à un degré moindre le gène Pgd^B, sont préférentiellement associés au gène Hal^S sur le chromosome. La connaissance du génotype d'un individu pour les systèmes Phi et Pgd fournit donc une indication sur son génotype au locus Hal, en l'ab-

sence de toute information sur le type de réaction à l'halothane. Ainsi pour les 9 génotypes possibles des systèmes Phi-Pgd, il a été possible de calculer la probabilité de chacun des 3 génotypes Hal (cf. tableau 3, résultats 1984).

L'efficacité attendue de diverses méthodes de sélection basées sur le test à l'halothane (élimination des sensibles) et/ou sur le typage sanguin (élimination des animaux à typages les plus défavorables) a été évaluée par SELLIER (1985 a et b) et a permis de conclure que le seul typage Phi-Pgd avait une efficacité indiscutable : il permet d'abaisser la fréquence de sensibles aux alentours de 1 % en l'espace de 4 générations, avec toutefois la contrainte de taux d'élimination importants chez les candidats à la sélection dans les premières générations et l'inconvénient d'un rendement modeste de la technique dès que la fréquence du gène Hal^s tombe aux alentours de 0,10.

1.2. Conduite pratique du programme

Au vu de ces résultats, il a été procédé à la mise en place d'un laboratoire d'électrophorèse au C.T.S.C.C.V. de Maisons-Alfort en 1985, qui sous la conduite d'un agent de l'I.T.P., a pris en charge le traitement des prélèvements sanguins pour le typage Phi-Pgd. Un laboratoire privé (Deltavit) réalise également des typages sanguins. La mise en évidence des variants électrophorétiques a été effectuée jusqu'au mois de février

1987 par la technique d'électrophorèse sur gel d'amidon décrite par GUERIN et al. (1983). Ensuite, le laboratoire du CTSCCV a utilisé la technique d'électrophorèse sur gel d'agarose décrite par GAHNE et JUNEJA (1985) qui a l'avantage d'être plus productive et moins coûteuse.

Comme il a été indiqué précédemment, les typages sanguins ont porté sur deux catégories d'animaux :

- les jeunes verrats des stations publiques de contrôle de performances qui sont également soumis au test à l'halothane. Le maintien du test à l'halothane sur ces animaux est un moyen de contrôle de l'évolution de la fréquence du gène Hal et des déséquilibres de liaison au sein du groupe de liaison Hal - Phi - Pgd qui sera discuté au paragraphe 2.2. Conformément à la décision de la CNAG, la totalité des verrats Landrace Français sont typés et les résultats sont rendus publics sous forme d'une qualification femelle en six classes (+++, ++, +, -, --, ---) qui est indiquée au tableau 3. Un effectif de 1300 à 1400 jeunes verrats est ainsi typé chaque année (tableau 2).
- les candidats à la sélection dans les élevages de l'UPRA. Environ 12 500 animaux sont typés chaque année (tableau 1) dans une cinquantaine d'élevages, soit près de 85 % des élevages Landrace Français détenant plus de 20 truies en sélection.

TABLEAU 1

BILAN D'ACTIVITÉ DES TYPAGES SANGUINS EFFECTUÉS DANS LES STATIONS PUBLIQUES DE CONTRÔLE DE PERFORMANCES ET DANS LES ÉLEVAGES DE SÉLECTION DE 1985 A 1988

| | 1985 (1) | 1986 | 1987 | 1988 (2) | Total (1985 à 1988) |
|-------------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|------------------------|
| Stations de contrôle : | | | | | |
| Nombre de typages | 1 240 | 1 467 | 1 444 | 664 | 4 815 |
| Elevages UPRA : | | | | | |
| 1er Collège | | | | | |
| Nb d'élevages (3) | 6 | 11 | 5 | 7 | - |
| Nb de typages | 264 | 705 | 234 | 200 | 1 403 |
| 2e et 3e Collèges | | | | | |
| Nb d'élevages (3) | 22 | 39 | 47 | 48 | - |
| Nb de typages | 2 367 | 10 246 | 11 090 | 5 626 | 29 329 |
| Tous Collèges | | | | | |
| Nb d'élevages (3) | 28 | 50 | 52 | 55 | 74 |
| Nb de typages | 2 631 | 10 951 | 11 324 | 5 826 | 30 732 |
| Nb total de typages | 3 871 | 12 418 | 12 768 | 6 490 | 35 547 |

(1) depuis mars 1985 pour les typages effectués dans les stations depuis septembre 1985 pour les typages effectués dans les élevages

(2) jusqu'à la fin juin 1988

(3) détenant plus de 20 truies en sélection

Cependant, cette bonne adhésion d'ensemble des élevages cache de profondes disparités :

- en premier lieu selon le type d'élevages. Sauf exception, les élevages indépendants (1er Collège de l'UPRA) font peu de typages à la ferme contrairement aux élevages des 2^{ème} et

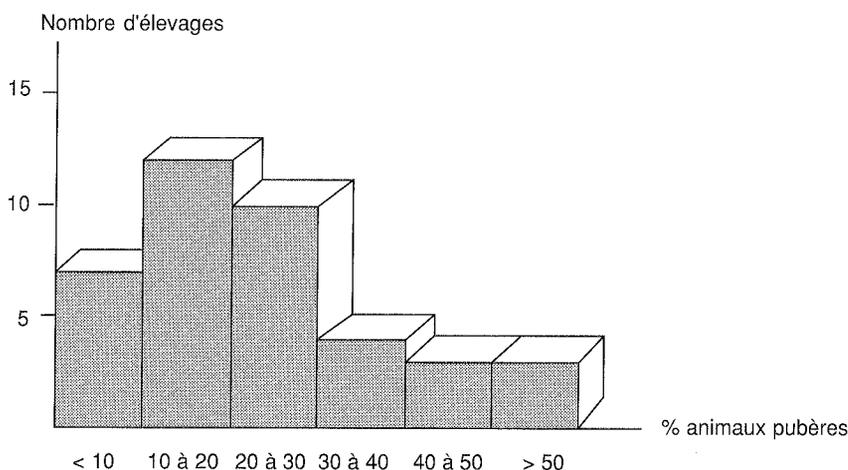
3^{ème} collèges de l'UPRA qui sont les principaux utilisateurs des typages sanguins (tableau 1) avec plus de 29 000 animaux typés entre septembre 1985 et juin 1988.

- en second lieu entre les élevages eux-mêmes, où des variations considérables existent dans les nombres d'ani-

maux typés, comme l'illustre la figure n° 1 qui montre que le nombre d'animaux typés par élevage varie dans le rapport de 1 à 5 environ avec une moyenne de 23 % des animaux sevrés. Une partie de l'explication de ces variations tient aux modalités de prélèvement en vigueur dans les élevages. Une enquête a permis de cataloguer deux types de pratiques en matière de typages : soit le prélèvement au moment du sevrage (24 %), soit le prélèvement en fin d'engraissement

(76 %) au moment du contrôle des performances. Cette dernière pratique recueille la faveur des éleveurs, car elle permet de réduire au strict minimum le nombre de prélèvements sanguins. Dans quatre cas sur cinq, les éleveurs prennent en compte le typage des parents pour réaliser les prélèvements chez les descendants puisque la connaissance des génotypes parentaux permet de prédire la distribution des génotypes parmi les descendants.

FIGURE 1
HISTOGRAMME DE LA PROPORTION DES PORCELETS SEVRÉS PRÉLEVÉS POUR LE TYPAGE SANGUIN DANS UN RÉSEAU DE 39 ÉLEVAGES LANDRACE FRANÇAIS.



2. EVOLUTION DES FREQUENCES GENIQUES ET DES FRÉQUENCES D'HAPLOTYPES POUR LES SYSTEMES Hal - Phi - Pgd

2.1. Evolution de la fréquence du gène de sensibilité à l'halothane

2.1.1. Modalités d'analyse

Deux approches sont à notre disposition pour étudier l'évolution de la fréquence du gène Hal^s chez le Landrace Français :

- une approche directe qui repose sur l'évolution de la fréquence de sensibles à l'halothane. La source d'information majeure est le fichier des stations de contrôle individuel des verrats où les résultats de test à l'halothane sont consignés depuis 1981 ;
- une approche indirecte basée sur l'évolution de la fréquence des 9 phénotypes Phi - Pgd qui peut être synthétisée au travers d'un seul paramètre, la probabilité moyenne d'être non porteur du gène de sensibilité (P_{NN}) qui est obtenue à partir de la relation suivante :

$$P_{NN} = \sum_{i=1}^9 f_i P_{NNi}$$

où f_i est la fréquence du i ème type Phi - Pgd dans la population étudiée et

P_{NNi} la probabilité d'être non porteur du gène Hal^s associée au i ème génotype Phi - Pgd (données 1984, tableau 3)

2.1.2. Dans les stations de contrôle individuel des verrats

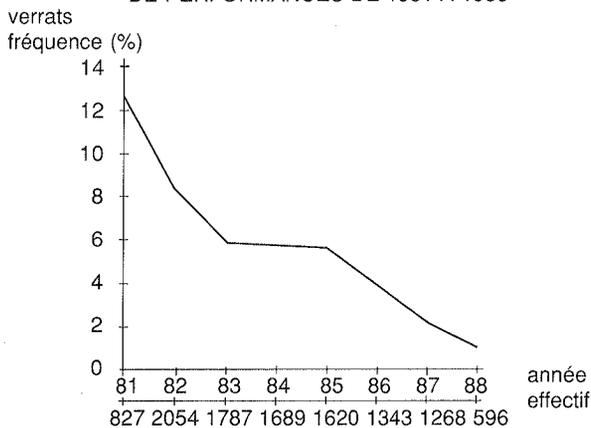
Les deux modalités précédentes ont été appliquées au fichier

des stations de contrôle des verrats et les résultats sont présentés sous forme graphique dans les figures 2 et 3. L'analyse conjointe des deux figures montre que l'évolution de la fréquence de sensibles dans les stations marque 3 étapes :

- la première étape couvre la période 1981 à 1983 qui voit la fréquence de sensibles diminuer de moitié en passant de 12,6 % à 6 % environ. Cette baisse est à porter au crédit de la campagne de sensibilisation des éleveurs Landrace Français vis-à-vis des risques liés au syndrome de stress et de l'effet "dissuasif" de l'application du test dans les stations publiques qui s'est concrétisé par une moindre participation aux contrôles publics des élevages les plus touchés par le gène Hal^s. Les évaluations ponctuelles de la fréquence de sensibles effectuées par l'ITP dans les élevages Landrace Français à cette période montrent une amplitude de 2 à 26 %, pour une fréquence moyenne de 8,3 %.
- la seconde étape va de 1983 à 1985 et montre une quasi-stabilité de la fréquence de sensibles autour de 5,7 %. Cette absence d'évolution est la conséquence de la difficulté de baisser la fréquence du gène Hal^s par la seule détection des doubles récessifs dès que leur fréquence est faible, mais aussi de l'absence de généralisation du test à l'halothane dans les élevages eux-mêmes à cause de la lourdeur de ce test.
- enfin, la troisième étape s'étale de 1985 à 1988 et marque une chute spectaculaire de la fréquence de sensibles de 5,6 % à 1 %. C'est le fruit du programme de typages sanguins mis en place dans les stations depuis le mois d'avril 1985. Une analyse plus précise de cette période est faite à la figure n°3. C'est ainsi que la probabilité P_{NN} d'être non porteur du gène Hal^s est passée de 0,487 à 0,823 (cf. § 2.2). Ce progrès est imputable d'une part à l'augmentation de la fréquence de

jeunes verrats de qualification +++ et à un degré moindre ++ et d'autre part à la diminution de la fréquence des verrats de

FIGURE 2
ÉVOLUTION DE LA FRÉQUENCE DE SENSIBLES A L'HALOTHANE CHEZ LES VERRATS LANDRACE FRANCAIS CONTROLES DANS LES STATIONS DE CONTROLE DE PERFORMANCES DE 1981 A 1988



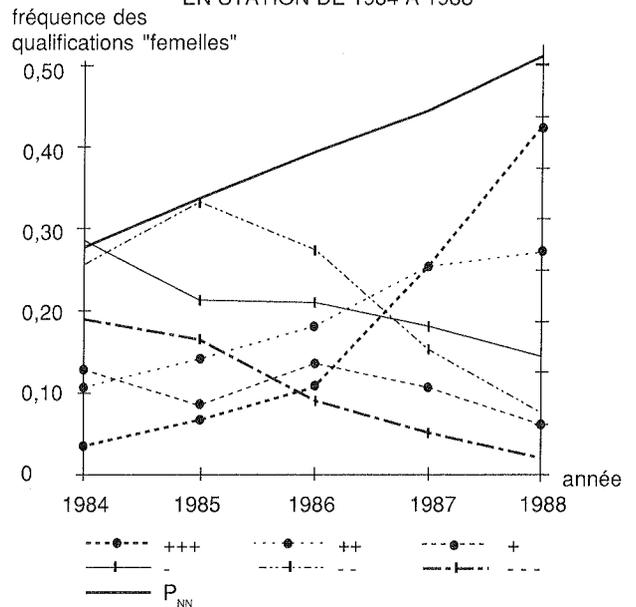
Cependant, il faut signaler que cette tendance très favorable est influencée par le comportement des éleveurs qui effectuent un pré-tri avant l'entrée en station, le plus souvent sur la base du typage des parents, pour augmenter la fréquence d'animaux porteurs de typages "favorables". La fréquence de sensibles obtenue dans les stations n'est donc pas une mesure parfaitement précise de cette fréquence dans l'ensemble de la population Landrace Français - elle en est probablement une légère sous-estimation - mais son évolution traduit néanmoins une tendance générale.

2.1.3. Dans les élevages de sélection

en l'absence d'évaluation directe de la fréquence de sensibles dans les élevages depuis l'étude de COURREAU et al. (1985), le meilleur indicateur de la situation des élevages Landrace Français est la variable P_{NN} précédemment définie. Cette variable a été calculée dans 37 élevages à partir des probabilités d'être non porteur associées à chaque reproducteur en service au prorata de son utilisation dans l'élevage selon les déclarations de saillies du 1^{er} semestre 1988. Les résultats sont présentés sous forme d'histogramme à la figure n° 4 qui

qualification -- et - - - qui sont les deux catégories contenant la majorité des animaux sensibles.

FIGURE 3
ÉVOLUTION DE LA FRÉQUENCE DES QUALIFICATIONS "FEMELLES" (- - - à +++) ET DE LA PROBABILITÉ D'ÊTRE NON PORTEUR (P_{NN}) CHEZ LES JEUNES VERRATS CONTROLES EN STATION DE 1984 A 1988



suscite plusieurs commentaires :

- la valeur moyenne de P_{NN} pour les 37 élevages est de 0,728, c'est-à-dire que près des trois quarts des animaux nés entre mai et octobre 1988 peuvent être présumés non porteurs du gène Hal^S. Toutefois ce résultat a un côté approximatif car il sous-entend le maintien de la valeur des déséquilibres de liaison dans le temps (cf. § 2.2). Une équivalence entre la variable P_{NN} et la fréquence de sensibles peut être obtenue sous l'hypothèse d'un équilibre panmictique au locus Hal. Ainsi à une probabilité moyenne d'être non porteur du gène Hal^S de 0,728 correspond une fréquence de sensibles de 2,2 % environ. Cette dernière valeur peut être considérée comme le meilleur indicateur de la fréquence de sensibles chez le Landrace Français en 1988. Conformément à l'attente, la valeur de P_{NN} est plus élevée chez les verrats en service que

FIGURE 4
SITUATION DE 37 ÉLEVAGES LANDRACE FRANCAIS VIS A VIS DE LA POSSIBILITÉ MOYENNE D'ÊTRE NON PORTEUR DU GÈNE DE SENSIBILITÉ (P_{NN}) A PARTIR DES PROBABILITÉS ASSOCIÉES A CHAQUE TRUIE ET VERRAT EN SERVICE AU COURS DU 1^{er} SEMESTRE 1988

| | Truies | Verrats | Truies et verrats | |
|-------------------------|-------------|------------|-------------------|----|
| Valeur de P_{NN} | 0.875-0.925 | 2 | 10 | 2 |
| | 0.825-0.874 | 2 | 10 | 2 |
| | 0.775-0.824 | 2 | 6 | 8 |
| | 0.725-0.774 | 2 | 6 | 6 |
| | 0.675-0.724 | 6 | 2 | 10 |
| | 0.625-0.674 | 6 | 2 | 4 |
| | 0.575-0.624 | 6 | 2 | 2 |
| | 0.525-0.574 | 6 | 2 | 2 |
| Nb d'élevages | 2 4 6 8 | 2 4 6 8 10 | 2 4 6 8 10 | |
| Valeur moy. $P_{NN}(1)$ | 0,679 | 0,783 | 0,728 | |

(1) pondérée en fonction du nombre de saillies dans chaque élevage

chez les truies : respectivement 0,783 et 0,679. Cette situation moyenne est à comparer à celle qui précédait la mise en place des typages sanguins où la valeur de P_{NN} était aux environs de 0,49 si on se réfère à l'étude de COURREAU et al. (1985). C'est donc une amélioration de 49 % de la probabilité d'être non porteur du gène Hal^s qui a été obtenue en moins de 3 ans.

- cette situation moyenne masque de grandes variations entre les élevages, ce qui montre que le plan de sélection a été diversement appliqué : six élevages ont un net retard ($P_{NN} < 0,624$) et six autres ont à l'opposé une avance incontestable ($P_{NN} > 0,825$). Cependant l'un des points essentiels à noter est qu'une majorité d'élevages (54 %) sont dans une situation favorable pour la valeur de P_{NN} chez les verrats ($P_{NN} > 0,825$), ce qui laisse augurer d'un rythme de progrès rapide dans les élevages. Ils sont aidés en cela par les centres d'insémination artificielle où la quasi totalité des verrats Landrace Français présents sont de qualification +++.

2.2. Evolution des fréquences géniques aux loci Phi et Pgd

Le tableau 2 montre que, comme il était prévisible, la fréquence des allèles "défavorables" Phi^B et Pgd^B a diminué chez le Landrace Français : elle a été en gros réduite de moitié en 4 ans pour Phi^B comme pour Pgd^B chez les verrats Landrace Fran-

çais entrant en station de contrôle individuel.

2.3. Evolution des déséquilibres de liaison entre les loci Hal, Phi et Pgd

La méthode du "comptage d'haplotypes" décrite par COURREAU et al. (1985) a été appliquée pour estimer les déséquilibres de liaison entre les locus Hal, Phi et Pgd pour chacune des années 1985 à 1988, les données utilisées provenant des stations de contrôle individuel.

On voit au tableau 2 que la valeur du déséquilibre de liaison entre les locus Hal et Phi n'a pas évolué de façon vraiment notable de 1984 à 1988 : D_{SB} s'est maintenu autour de 0,05 - 0,06, ce qui traduit la pérennité de l'association préférentielle des gènes Hal^s et Phi^B sur le chromosome. Par contre, le déséquilibre de liaison entre les locus Hal et Pgd a nettement diminué ces deux dernières années, du moins si l'on se base sur la valeur du paramètre D_{SB} qui est passé de 0,088 en 1984 à 0,038 en 1988 ; par contre, on note que la valeur relative du déséquilibre (D/D_{max}) s'est maintenue aux alentours de 50-60 % : l'allèle Pgd^B reste donc un "marqueur" utile du gène Hal^s . Quant au déséquilibre de liaison entre les locus Phi et Pgd, il a varié de façon plutôt irrégulière mais l'association préférentielle entre les gènes Phi^B et Pgd^B sur le chromosome s'est maintenue.

TABLEAU 2

EVOLUTION DE 1984 A 1988 DES FRÉQUENCES GÉNIQUES AUX LOCI Hal, Phi ET Pgd ET DES DÉSÉQUILIBRES DE LIAISON ENTRE LES LOCI PRIS 2 A 2 DANS LA POPULATION DES VERRATS LANDRACE FRANCAIS DES STATIONS PUBLIQUES DE CONTRÔLE INDIVIDUEL.

| Année | Effectif | Fréquence génique | | | Déséquilibre de liaison (2) | | |
|----------|----------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------------------|------------------|------------------|
| | | Hal^s (1) (s) | Phi^B (B) | Pgd^B (B') | D_{SB} | $D_{SB'}$ | $D_{BB'}$ |
| 1984 (3) | 1 000 | 0,302 | 0,745 | 0,440 | 0,0657 (85,3) | 0,0877 (51,9) | 0,0234 (20,8) |
| 1985 | 1 175 | 0,254 | 0,728 | 0,498 | 0,0546 (78,8) | 0,0760 (59,6) | 0,0553 (40,8) |
| 1986 | 1 331 | 0,204 | 0,672 | 0,378 | 0,0472 (70,5) | 0,0779 (61,4) | 0,0564 (45,4) |
| 1987 | 1 264 | 0,153 | 0,518 | 0,280 | 0,0526 (71,2) | 0,0548 (49,7) | 0,0507 (37,6) |
| 1988 (4) | 700 | 0,093 | 0,358 | 0,219 | 0,0596 (99,9) | 0,0379 (52,3) | 0,0384 (27,3) |

(1) La pénétrance w du gène Hal^s à l'état homozygote a été supposée égale à 0,90.

(2) La valeur positive de D_{SB} , par exemple, indique qu'il y a une association préférentielle sur le chromosome entre les gènes s (Hal^s) et B (Phi^B). Entre parenthèses sont données les valeurs du rapport D/D_{max} , où D est la valeur observée du déséquilibre et D_{max} la valeur maximum que peut prendre D compte-tenu des fréquences géniques aux loci concernés.

(3) Rappels des résultats de COURREAU et al. (1985).

(4) Résultats du 1er semestre 1988.

2.4. Valeur prédictive du typage sanguin

En suivant la démarche décrite par COURREAU et al. (1985), les probabilités (P_{NN}) que les individus de chacun des 9 types sanguins Phi-Pgd soient de génotype Hal^N/Hal^N ont été calculées par année en utilisant les données recueillies de 1985 à 1988 sur les verrats des stations de contrôle individuel. Les

résultats sont présentés dans le tableau 3.

Dans l'ensemble, les probabilités P_{NN} associées à chaque type Phi-Pgd se sont assez peu modifiées, et le "classement" des différents types sanguins en fonction de la valeur P_{NN} est resté pratiquement inchangé.

Les résultats relatifs à 1988 sont à considérer avec beaucoup de prudence puisqu'ils ne portent que sur le 1^{er} semestre et que l'échantillon concerné comprend seulement 7 individus sensibles à l'halothane. En particulier, il reste à confirmer que la probabilité P_{NN} associée aux types sanguins AA', AA'B' et AB' est pratiquement de 1, ce qui correspond au fait que la fréquence de l'haplotype Hal^sPhi^A est devenue très proche de zéro :

| Haplotype Hal-Phi | Fréquence 1985 | Fréquence 1988 (estimation provisoire) |
|----------------------|-------------------|---|
| sA | 0,014 | < 10-6 |
| sB | 0,240 | 0,093 |
| NA | 0,258 | 0,642 |
| NB | 0,488 | 0,265 |

TABLEAU 3
EVOLUTION DE 1984 A 1988 DES PROBABILITÉS P_{NN} D'ETRE NON PORTEUR DU GENE HAL^S
POUR CHACUN DES TYPES SANGUINS PHI-PGD

| Type Phi Pgd | 1984 (1) | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 (2) | Qualification "femelle" |
|-----------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|----------------------------|
| A A' | 0,895 | 0,876 | 0,903 | 0,940 | > 0,999 | +++ |
| A A'B' | 0,920 | 0,908 | 0,855 | 0,864 | > 0,999 | +++ |
| A B' | 0,946 | 0,942 | 0,810 | 0,793 | > 0,999 | +++ |
| AB A' | 0,772 | 0,817 | 0,856 | 0,839 | 0,856 | ++ |
| B A' | 0,666 | 0,762 | 0,810 | 0,748 | 0,733 | + |
| AB A'B' | 0,521 | 0,572 | 0,569 | 0,593 | 0,601 | - |
| AB B' | 0,368 | 0,505 | 0,470 | 0,488 | 0,501 | -- |
| B A'B' | 0,309 | 0,454 | 0,470 | 0,474 | 0,429 | -- |
| B B' | 0,143 | 0,271 | 0,273 | 0,300 | 0,251 | --- |
| inconnu | 0,487 | 0,557 | 0,634 | 0,717 | 0,823 | |

(1) Rappel des résultats de COURREAU et al. (1985)

(2) Estimation provisoire.

3. CONSEQUENCES DE LA DIMINUTION DE LA FREQUENCE DU GENE DE SENSIBILITE A L'HALOTHANE SUR LES PERFORMANCES DE PRODUCTION

3.1. Effets des systèmes Hal,Phi et Pgd sur les performances de production

3.1.1. Effets du phénotype "halothane"

Depuis 1981, près de 10 000 verrats Landrace Français ayant subi le test à l'halothane ont été contrôlés individuellement dans les stations publiques. Ces données ont été utilisées pour évaluer l'effet du phénotype "halothane" sur l'indice standard de contrôle individuel et sur chacun des trois caractères de l'indice. Une analyse préliminaire, qui n'est pas rapportée ici en détail, a montré que l'interaction entre l'effet de l'année de contrôle et l'effet du phénotype "halothane" était non significative. Les estimées de la différence entre non-sensibles et sensibles sont rapportées dans le tableau 5. Les sujets non-sensibles présentent une meilleure vitesse de croissance (+ 16 g/jour) et une épaisseur de lard dorsal plus forte (+ 0,5 mm), mais ne diffèrent pas des sujets sensibles pour l'indice de consommation. En termes d'indice standard de contrôle individuel les animaux sensibles présentent un avantage de l'ordre de 3 à 4 points (soit 0,15 à 0,20 écart-type d'indice) sur les animaux non-sensibles. Un avantage de même ordre avait été trouvé précédemment sur les données recueillies de 1982 à 1984 (SELLIER, 1985a). Incidemment cet effet favorable du gène Hal^s sur l'indice de contrôle individuel indique que dans une population où ce gène est en ségrégation, la sélection sur un tel indice ne peut avoir pour conséquence que l'augmentation de la fréquence du gène Hal^s. Si l'on pratique conjointe-

ment une sélection sur l'indice et une sélection contre le gène Hal^s basée sur le test à l'halothane, le typage sanguin ou toute autre méthode, il s'établit une fréquence d'équilibre intermédiaire du gène Hal^s dans la population (SMITH, 1982).

TABLEAU 4
EFFET DU PHÉNOTYPE "HALOTHANE"
SUR LES CARACTERES MESURÉS DANS LES STATIONS
PUBLIQUES DE CONTROLE INDIVIDUEL (1)

| Caractère | Différence (non sensibles - sensibles) |
|-----------------------------|---|
| Gain moyen quotidien (g) | 16,1 + 3,3 ** |
| Indice de consommation (pt) | - 0,011 + 0,009 NS |
| Ep. de lard dorsal (mm) | 0,51 + 0,07 ** |
| Indice standard (pt) | - 3,4 + 0,9 ** |

(1) L'échantillon analysé comprend 9 590 verrats Landrace Français (dont 518 sensibles) contrôlés de 1981 à 1987 (35-90 kg, alimentation semi-ad libitum).

Outre l'effet du phénotype "halothane", le modèle d'analyse utilisé inclut les effets de la bande de contrôle (353 niveaux) et de l'élevage d'origine (112 niveaux).

3.1.2. Effets des systèmes Phi et Pgd

La sélection basée sur le typage sanguin a entraîné, comme il était prévisible, un changement important des fréquences géniques aux locus Phi et Pgd chez le Landrace Français (tableau 2). Il est intéressant de savoir si ces deux locus exercent éventuellement un effet propre, c'est-à-dire indépendant de l'effet du locus Hal, sur l'indice de contrôle individuel.

Pour tenter d'estimer cet effet propre du type sanguin Phi-Pgd, les données relatives au seul groupe des animaux non-sensibles ont été considérées, ce qui permet de limiter à deux le nombre de génotypes "halothane" présents dans l'échantillon (à la réserve près de la pénétrance incomplète du gène Hal^S à l'état homozygote et donc de l'existence possible de quelques individus Hal^S/Hal^S parmi les non-sensibles). Cette approche reste imparfaite, puisque les deux génotypes "non-sensibles" (Hal^N/Hal^N et Hal^N-Hal^S) sont loin d'être distribués également entre les 9 classes de type sanguin, du fait des déséquilibres de liaison existant entre Hal d'une part, Phi et Pgd d'autre part.

Sur un échantillon de 3 219 verrats Landrace Français non-sensibles à l'halothane, une analyse de variance incluant les effets de la bande de contrôle, de l'élevage d'origine et du type sanguin Phi-Pgd a été réalisée : les effets du type sanguin sur l'indice standard de contrôle individuel et sur les 3 caractères composant l'indice sont non significatifs, au seuil de 5%. A titre indicatif, nous rapportons dans le tableau 6 les estimées des moyennes de l'indice standard pour les 9 classes Phi-Pgd. On note que l'indice moyen des verrats présentant les typages sanguins les plus "favorables" (+++ et ++) est très légèrement supérieur à 100 (à l'exception du type sanguin AB' qui n'est d'ailleurs représenté que par une trentaine d'animaux).

En définitive, les systèmes Phi et Pgd apparaissent comme ayant un effet propre négligeable sur l'indice de contrôle individuel en usage dans les stations publiques.

3.2. Evolution comparée des performances de production chez le Landrace Français et le Large White

Un fichier des données recueillies ces huit dernières années (1980-1987) dans les bandes de contrôle de descendance (CD) comprenant à la fois des animaux Landrace Français et Large White a été constitué : il comprend 4 300 animaux Large White et 2 446 animaux Landrace Français. Quatre périodes bisannuelles (1980/81, ..., 1986/87) ont été considérées. L'interaction race x période s'est révélée significative pour la

TABLEAU 5
MOYENNE DE L'INDICE STANDARD DE CONTROLE INDIVIDUEL SELON LE TYPE Phi-Pgd CHEZ LES VERRATS LANDRACE FRANCAIS NON-SENSIBLES A L'HALOTHANE (1)

| Type Phi - Pgd | Qualification "femelle" | Effectif | Indice moyen ± erreur standard (2) |
|----------------|-------------------------|----------|------------------------------------|
| A A' | +++ | 319 | 100,9 ± 1,2 |
| A A'B' | +++ | 133 | 101,4 ± 1,7 |
| A B' | +++ | 29 | 97,7 ± 3,7 |
| AB A' | ++ | 650 | 100,6 ± 0,8 |
| B A' | + | 357 | 99,7 ± 1,1 |
| AB A'B' | - | 677 | 99,7 ± 0,8 |
| AB B' | -- | 144 | 98,9 ± 1,6 |
| B A'B' | -- | 639 | 98,5 ± 0,8 |
| B B' | --- | 271 | 102,7 ± 1,2 |

(1) Echantillon étudié : 3 219 verrats non-sensibles à l'halothane, typés pour Phi et Pgd et contrôlés individuellement en 1985-86-87, et provenant de 55 élevages ayant eu plus de 20 descendants contrôlés sur la période considérée.

(2) L'effet du type sanguin Phi-Pgd est non significatif (F [8 ; 3156] = 1,47)

grande majorité des variables, ce qui témoigne d'une évolution dans le temps différente pour les deux races.

Les estimées de la différence entre races pour chacune des 4 périodes sont rapportées dans le tableau 6 pour les caractères de croissance et de composition corporelle et dans le tableau 7 pour les caractères de qualité de la viande.

TABLEAU 6
EVOLUTION DE 1980 A 1987 DE LA DIFFÉRENCE (LANDRACE FRANCAIS - LARGE WHITE) POUR LES CARACTERES DE CROISSANCE ET DE COMPOSITION CORPORELLE (1).

| Période | GMQ (g) | IC (pt) | Rendement de carcasse (%) | Longueur de carcasse (mm) | Pourcentage de muscle |
|--------------------------------------|-------------|----------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1980/81 | - 31 ± 4 ** | 0,14 ± 0,01 ** | 0,33 ± 0,06 ** | 18 ± 1 ** | 0,1 ± 0,1 NS |
| 1982/83 | - 31 ± 5 ** | 0,15 ± 0,01 ** | 0,26 ± 0,08 ** | 19 ± 1 ** | 0,0 ± 0,2 NS |
| 1984/85 | - 31 ± 5 ** | 0,10 ± 0,01 ** | - 0,27 ± 0,08 ** | 23 ± 2 ** | 0,2 ± 0,2 NS |
| 1986/87 | - 26 ± 5 ** | 0,16 ± 0,01 ** | - 0,17 ± 0,08 * | 26 ± 1 ** | - 1,5 ± 0,2 ** |
| Test de l'interaction race x période | NS | ** | ** | ** | ** |

(1) Fichier analysé : 4 300 animaux Large White et 2 446 animaux Landrace Français contrôlés de 1980 à 1987 dans 102 bandes de contrôle "mixtes" des stations CD (35-100 kg, alimentation à volonté). Effets inclus dans le modèle d'analyse de variance : période, race, bande intra période, période x race et régression sur le poids de début ou de fin de contrôle (selon la variable considérée).

TABEAU 7
EVOLUTION DE 1980 A 1987 DE LA DIFFÉRENCE (LANDRACE FRANÇAIS - LARGE WHITE)
POUR LES CARACTÈRES DE QUALITÉ DE LA VIANDE (1).

| Période | Note Subjective | pH ultime | Réflectance | Rétention d'eau | Rendement technologique prédit (IQV, point) |
|--------------------------------------|-----------------|----------------|-------------|-----------------|---|
| 1980/81 | - 0,9 ± 0,1 ** | 0,06 ± 0,01 ** | 19 ± 4 ** | - 2,3 ± 0,2 ** | - 0,2 ± 0,1 § |
| 1982/83 | - 0,6 ± 0,2 ** | 0,06 ± 0,02 ** | 3 ± 5 NS | - 1,1 ± 0,3 ** | 0,1 ± 0,1 NS |
| 1984/85 | - 0,7 ± 0,2 ** | 0,06 ± 0,02 ** | 9 ± 5 NS | - 1,3 ± 0,3 ** | 0,1 ± 0,2 NS |
| 1986/87 | - 0,1 ± 0,1 NS | 0,06 ± 0,02 ** | - 21 ± 5 ** | - 0,5 ± 0,2 * | 0,5 ± 0,1 ** |
| Test de l'interaction race x période | ** | NS | ** | ** | ** |

(1) Le fichier analysé est celui décrit au tableau 6. Dans le modèle d'analyse, l'effet de la date d'abattage remplace l'effet de la bande de contrôle

En ce qui concerne le gain moyen quotidien et l'indice de consommation, le désavantage du Landrace Français vis-à-vis du Large White s'est maintenu à peu près constant sur la période considérée. Par contre, la position relative du Landrace Français par rapport au Large White s'est notablement modifiée pour le rendement de carcasse (la différence entre races a changé de signe et est aujourd'hui à l'avantage du Large White), pour la longueur de carcasse (on note un accroissement régulier de la différence entre races) et pour le pourcentage de muscle (très proche du Large White de 1980 à 1985, le Landrace Français a nettement "décroché" ces deux dernières années pour ce caractère). De même, pour les caractères de qualité de la viande, on observe que le Landrace Français a rejoint le Large White pour la note subjective, s'en est régulièrement rapproché pour le pouvoir de rétention d'eau et l'a même dépassé pour la réflectance de la viande : en 1980/81, les animaux Landrace Français donnaient une viande de couleur significativement plus pâle que les animaux Large White, alors que la situation s'est totalement inversée en 1986/87. L'interaction race x période est moins marquée pour le rendement technologique prédit par l'IQV : la différence entre races est en effet restée inchangée de 1980 à 1987 pour le pH ultime de la viande, principale variable explicative du rendement technologique. On note cependant que la différence entre races pour le rendement technologique prédit, jusque-là non significative, atteint en 1986/87 un demi-point, à l'avantage du Landrace Français.

Il est clair que l'ensemble de ces évolutions du Landrace Français relativement au Large White s'explique pour une grande part par la forte réduction de la fréquence du gène Hal^s chez le Landrace Français (autour de 0,40 en 1980 et 0,15 en 1987). Cette explication vaut aussi bien pour le "recul" en rendement de carcasse et en pourcentage de muscle et pour l'accroissement de la différence de longueur de carcasse que pour les progrès manifestes enregistrés pour les variables de qualité de la viande étroitement liées au phénomène PSE (réflectance, note subjective et pouvoir de rétention d'eau). On retrouve là, en effet, les caractères de production les plus affectés par le locus de la sensibilité à l'halothane : voir, par exemple, HOUIX et al. (1983), SELLIER et al. (1984, 1988) et MONIN et SELLIER (1985).

Cependant, l'analyse de l'évolution du différentiel de performances entre les races Large White et Landrace Français n'est pas une approche parfaite pour traiter des conséquences de la réduction de la fréquence du gène Hal^s chez le Landrace Français. Ce différentiel contient vraisemblablement d'autres

évolutions génétiques dont certaines propres à la race Large White. Le brusque recul du Landrace Français pour le taux de muscle qui atteint 1,7 % de 84/85 à 86/87 ne peut être imputable aux seules conséquences du programme de sélection contre le gène Hal^s. En effet, si on retient l'hypothèse d'un effet additif du gène Hal^s de 2 % sur le taux de muscle, au vu de différentes références bibliographiques, le recul serait de 0,6 % pour une diminution de la fréquence de sensibles de 8 à 2 %. A cet effet intrinsèque du gène, il faut ajouter les conséquences de la baisse de l'intensité de sélection sur l'épaisseur de lard dorsal qui dans le pire des cas peut expliquer un décalage de 0,1 à 0,2 % supplémentaire pour le taux de muscle. Des explications complémentaires sont donc nécessaires pour comprendre ce décalage : une brusque amélioration du taux de muscle dans la population Large White est une hypothèse vraisemblable.

3.3. Evolution des pressions de sélection sur les caractères de production chez le Landrace Français

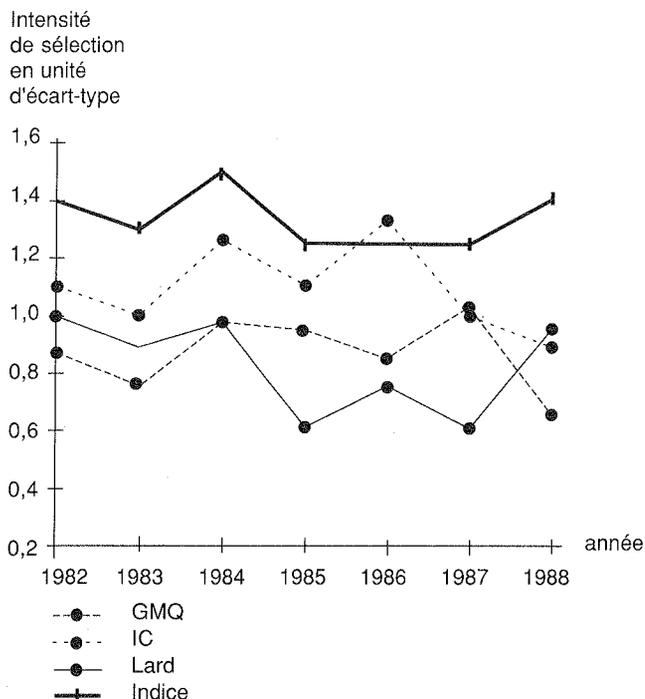
Après avoir étudié l'effet des gènes du groupe de liaison Hal - Phi - Pgd sur les performances de production, il convient de vérifier que la sélection opérée sur les types sanguins n'affaiblit pas les pressions de sélection sur les caractères de production habituels. D'autant que la faible fréquence d'animaux à typage favorable au moment du démarrage du programme en 1985 constituait un handicap initial pour le maintien de pressions de sélection élevées.

Une telle vérification est possible à partir de l'évolution des pressions de sélection chez les verrats achetés par les CIA qui depuis 1985 ont retenu des verrats de qualification +++ pour l'essentiel. La figure n° 5 indique que l'intensité de sélection réalisée sur les performances de croissance (gain moyen quotidien et indice de consommation) sur la période 82-88 reste assez stable dans le temps, tandis que celle sur l'épaisseur de lard dorsal faiblit de 30 % environ à compter de 1985, année de démarrage des typages sanguins. Ce recul entraîne un léger fléchissement, de l'ordre de 11 %, de l'intensité de sélection sur l'indice de sélection : 1,40 unité d'écart-type sur la période 82-84 contre 1,25 sur la période 85-87. Toutefois, les achats effectués par les CIA au premier semestre 1988 paraissent indiquer un redressement de l'intensité de sélection à son niveau antérieur grâce à l'augmentation de la fréquence des animaux de qualification +++ à l'entrée en station.

L'analyse de l'évolution de l'effort de sélection dans les élevages de sélection eux-mêmes est rendue difficile par la

FIGURE 5

EVOLUTION DES PRESSIONS DE SELECTION (exprimées en unité d'écart-type) REALISEE CHEZ LES VERRATS LANDRACE FRANCAIS ACHETES APR LES C.I.A. DE 1982 A 1988



diversité de leurs situations, les modifications intervenues au cours du temps, etc..., ce qui interdit une analyse comparable à la précédente. Néanmoins l'examen attentif des efforts de sélection enregistrés dans les élevages Landrace Français depuis 1982 permet de déceler deux types de situation :

- dans les élevages à effort de sélection moyen ou faible la sélection sur les typages sanguins n'a pratiquement pas eu d'effet sur l'évolution de l'effort de sélection ;
- seuls les élevages à effort de sélection élevé ont été confron-

tés à une légère baisse de celui-ci sur une durée qui ne semble pas excéder 2 ans.

CONCLUSION

A l'issue de ce bilan, on peut donc conclure que le programme de sélection sur les marqueurs sanguins du gène Hal^S a eu une efficacité indiscutable : en l'espace de 3 ans environ, la fréquence de sensibles à l'halothane dans la population Landrace Français est tombée de 8,1 % à 2,2 % approximativement. Cette évolution favorable et rapide est à porter au crédit de la fonctionnalité de la méthode des typages sanguins qui a l'avantage d'être simple, accessible et peu coûteuse. Des initiatives similaires ont été prises dans d'autres pays européens. La Suède a mis en place en 1983 un programme voisin basé également sur des marqueurs sanguins du gène Hal^S qui a permis d'obtenir un abaissement de la fréquence du gène de 0,47 à 0,22 en 1986 (PETERSSON et BRENDØV, 1986). Le plan suédois se différencie toutefois de la technique française dans la mesure où les gènes marqueurs sont utilisés pour suivre la ségrégation familiale du gène Hal^S. S'il a l'avantage de valoriser les reproducteurs hétérozygotes, il a cependant l'inconvénient d'exiger le maintien du test à l'halothane pendant la phase initiale du programme. La Suisse a, quant à elle, utilisé une méthode plus classique basée sur le contrôle de la descendance qui a permis de réduire la fréquence de sensibles dans la population Landrace Suisse de 17,7 % en 1978 à 1,1 % en 1983 (REBSAMEN et SCHWÖRER, 1986).

Les résultats provisoires de l'année 1988 sur les déséquilibres de liaison des systèmes Hal-Phi-Pgd montrent une baisse significative du déséquilibre de liaison Hal-Pgd qui, si elle se confirme, pourrait nous conduire à prendre la décision de valoriser uniquement le déséquilibre de liaison Hal-Phi qui reste stable et élevé. Une simplification de la méthode n'est donc pas à exclure : on se limiterait aux typages des seuls variants de la Phi. Indépendamment de cette possible simplification, une diminution considérable des effectifs d'animaux à typer est dès maintenant prévisible au fur et à mesure que la fréquence du gène Phi^A tendra vers 1.

BIBLIOGRAPHIE

- COURREAU J.F., SELLEIER P., BOULARD J., BRETON T., GOULLIEUX P., GUERIN G., 1985. Journées Rech. Porcine en France, **17**, 95-104.
- GAHNE B., JUNEJA K., 1985. In : Stress susceptibility and meat quality in pigs. EAAP Publication n° 33, 31-41.
- GUERIN G., OLLIVIER L., SELLEIER P., 1980. Ann. Génét. Sél. Anim., **12**, 407.
- GUERIN G., OLLIVIER L., SELLEIER P., 1983. Génét. Sél. Evol., **15**, 55-64.
- HOUIX Y., SELLEIER P., MONIN G., 1983. Journées Rech. Porcine en France, **15**, 245-254.
- MONIN G., SELLEIER P., 1985. Meat Sci., **13**, 49-63.
- PETERSSON H., BRENDØV B., 1986; Selection against the halothane gene by use of blood typing and halothane test. Swedish Farmers Meat Marketing Organisation. 2 p.
- REBSAMEN A., SCHWÖRER D., 1986. Le Menu Bétail, **5**, 257-288.
- SELLEIER P., MONIN G., HOUIX Y., DANDO P., 1984. Journées Rech. Porcine en France, **19**, 9-18.
- SELLEIER P., 1985a. Techni-Porc, **8** (4), 7-14.
- SELLEIER P., 1985b. 36e Réunion annuelle de la F.E.Z., G4.10.
- SELLEIER P., MONIN G., TALMANT A., JACQUET B., RUNAVOT J.P., 1988. Journées Rech. Porcine en France, **20**, 243-248.
- SMITH C., 1982. Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol., **99**, 232-240.