



1^{ère} journée d'étude
5 mars 1975



Réflexions sur la précision de différentes méthodes usuelles de qualification des reproducteurs

C. LEGAULT et B. LANGLOIS

Station de Génétique quantitative et appliquée
Centre National de Recherches Zootechniques

I.N.R.A.

78350 Jouy-en-Josas

La sélection, comme le dit le Professeur ROBERTSON, est un choix fondé sur une information. Elle peut donc être conduite de façons différentes selon le but à atteindre et les renseignements disponibles.

Ainsi, comme préalable indispensable à toute action, elle suppose la définition claire et précise des objectifs poursuivis. Pour les Equidés qui nous intéressent ici, les orientations générales se dessinent assez nettement, mais de nombreux points restent à préciser dans le détail. Nous ne nous proposons pas ici de traiter ces problèmes qui sont du ressort de l'Administration des Haras et pour lesquels les considérations économiques sont déterminantes. Tout au plus, aimerions-nous susciter à ce sujet quelques réflexions.

Notre propos dans ce bref exposé est plutôt d'évaluer, dans le cas du cheval, le poids relatif que l'on peut attribuer aux différentes sources de renseignements disponibles pour la sélection. En effet, en génétique animale, c'est l'estimation statistique par l'intermédiaire de diverses valeurs phénotypiques (mesures) de la valeur génétique des reproducteurs qui détermine la conduite à tenir. A cet effet, l'information disponible est rassemblée en « indices » ou « critères de sélection » qui sont les estimateurs de cette valeur.

La caractéristique fondamentale d'un critère de sélection est sa « précision », R , c'est-à-dire la corrélation

par laquelle il est lié à la valeur génétique. Le carré de la précision, R^2 , encore appelé « coefficient de détermination » représente la fraction de la variante de la valeur génétique qui est expliquée par le critère de sélection utilisé. Rappelons également que le progrès génétique (le but de la sélection) est proportionnel à la précision (R).

Chez les chevaux, espèce unipare, la structure de reproduction, un étalon pour une quarantaine de juments chaque année, fournit une répartition des populations à étudier en familles de demi-frères ou sœurs de père essentiellement. Il existe parfois quelques pleins-frères ou sœurs mais le plus souvent les juments sont accouplées chaque année à des étalons différents, ce qui fait que leur descendance est habituellement représentée par un ensemble de demi-frères ou sœurs utérins.

Ceci étant, voyons maintenant quelles précisions ont les différentes sources d'informations classiquement utilisées en génétique animale soit :

- les propres performances de l'individu ;
- les performances d'un échantillon de sa descendance ;
- les performances de ses parents ou de ses collatéraux.

A. Qualification d'un reproducteur sur ses propres performances

C'est la méthode la plus simple qui conduit à la « sélection individuelle » ou « massale » et qui est également la plus efficace lorsque le caractère à améliorer répond aux trois conditions suivantes :

- hérabilité moyenne ou élevée ;
- mesurable sur l'animal vivant ;
- s'exprimant dans les deux sexes.

Chez le cheval, la plupart des aptitudes recherchées correspondent à ces conditions. La qualification des reproducteurs sur leurs propres performances paraît donc le plus souvent s'imposer.

Les variables quantitatives utilisées pour décrire cette performance doivent avoir si possible une distribution de type normal, car cela confère beaucoup plus de précision aux estimations statistiques qu'elles permettent de faire. Les mensurations corporelles, les temps records... sont dans ce cas ; en revanche, les gains nécessitent une transformation (Log par exemple) pour être utilisables.

Les modèles linéaires de la génétique quantitative permettent alors d'estimer par les méthodes de régression la valeur génétique d'un reproducteur à partir de n'importe quelles variables lui étant statistiquement liées.

Nous n'envisagerons ici pour illustration que le cas d'une seule variable X qui pourra être une performance de l'individu lui-même, la moyenne de n de ses performances ou celle de ses descendants, parents ou collatéraux.

L'équation générale de prédiction de la valeur génétique d'un reproducteur i s'écrit alors :

$$(1) \hat{A}_i = \bar{X} + \frac{\text{Cov}(A_i, X)}{\text{Var}(X)} (X - \bar{X})$$

où il est supposé que la moyenne des valeurs génétiques A_i est égale à la moyenne des valeurs phénotypiques \bar{X} de la population.

Le symbole $\text{Cov}(A_i, X)$ représente la covariance de la valeur génétique A_i avec la variable considérée X, de même $\text{Var}(X)$ représente la variance de la variable X.

\hat{A}_i est l'estimation de A_i .

Dans le cas qui nous intéresse où $X = x_i$, performance de l'individu i, on démontre classiquement sous réserve de l'absence d'interactions génotype-milieu que :

$$\frac{\text{Cov}(A_i, x_i)}{\text{Var}(x_i)} = h^2$$

où h^2 est l'hérabilité du caractère mesuré.

L'équation (1) devient alors :

$$(2) \hat{A}_i = \bar{X} + h^2 (x_i - \bar{X})$$

la précision de l'estimateur \hat{A}_i de A_i est alors

$$(2 \text{ bis}) R = h$$

c'est-à-dire la racine carrée de l'hérabilité.

— Lorsque l'on dispose de plusieurs performances du même individu i, on peut estimer A_i par la moyenne \bar{x}_i de ces n répétitions.

On démontre alors que l'équation (1) peut s'écrire :

$$(3) \hat{A}_i = \bar{X} + \frac{nh^2}{1 + (n-1)r} (\bar{x}_i - \bar{X})$$

où r est la répétabilité de la performance considérée (degré de ressemblance des différentes mesures du même individu entre elles).

La précision de l'estimateur est alors :

$$(3 \text{ bis}) R = \sqrt{\frac{nh^2}{1 + (n-1)r}}$$

Nous voyons que la sélection individuelle est d'autant plus précise que l'hérabilité du caractère à sélectionner est élevée (2 bis).

De plus, cette précision s'accroît en fonction du nombre de mesures du même individu disponibles (3 bis) d'autant plus que la répétabilité est plus faible.

B. Qualification d'un reproducteur d'après les performances d'un échantillon de sa descendance

Lorsque l'on dispose d'un nombre important de descendants, comme cela est le cas pour les étalons, c'est la méthode considérée généralement comme la plus précise. C'est donc elle qui dans la plupart des cas offre la plus grande espérance de progrès génétique. Elle a cependant l'inconvénient notable d'allonger l'intervalle de génération. Chez le cheval où cet intervalle de l'ordre de 10 ans est déjà long, elle ne peut donc être raisonnablement envisagée seule. Néanmoins, elle peut fournir un complément appréciable à la sélection individuelle permettant d'en affiner la précision.

L'estimation par régression linéaire de la valeur gé-

néétique d'un reproducteur i par la moyenne \bar{X}_d de ses N descendants s'écrit (cf 1)

$$(4) \quad \hat{A}_i = \bar{X} + \frac{1}{2} \frac{Nh^2}{1 + (N-1)t_d} (\bar{X}_d - \bar{X})$$

où t_d est la corrélation phénotypique entre descendants.

Cette équation simplifiée suppose que dans la population les croisements ont lieu au hasard et que les descendance sont uniformément réparties dans tous les milieux.

Ceci peut être envisagé pour les chevaux de sport ou de trait mais ne peut l'être que sous réserve dans le cas des chevaux de course. En effet, l'homogamie est pratiquée chez les trotteurs sur les temps records et chez les galopeurs sur les gains réalisés. De plus, surtout chez le pur sang anglais, les descendance des meilleurs étalons bénéficient, semble-t-il, de meilleures conditions de milieu, au moins en ce qui concerne leur exploitation en course. Ces écarts aux conditions théoriques précitées peuvent être traités mais leur exposé complexe n'a pas sa place ici. Notons cependant qu'ils modifient relativement peu la formule générale de l'indice de sélection sur descendance (4) dont la précision R s'écrit :

$$(4 \text{ bis}) \quad R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1)t_d}}$$

Examinons maintenant t_d , corrélation phénotypique entre les descendants du reproducteur i ; il exprime leur degré de ressemblance. Cette ressemblance peut être due à la fois à leur parenté génétique (ressemblance génétique) et à des effets de milieu commun aux descendants de ce reproducteur i . C'est pourquoi généralement on peut écrire que t_d est une fonction de h^2 , plus une composante C^2 résultant des effets de milieu.

Nous aurons donc :

$$t_d = f(h^2) + C^2$$

Or, on peut montrer lorsque les descendants considérés sont des demi-frères que :

$$f(h^2) = \frac{1}{4} h^2$$

de même pour des propres frères :

$$f(h^2) = \frac{1}{2} h^2$$

Ceci suppose cependant que dans la population, les croisements ont lieu au hasard (panmixie).

Par ailleurs C^2 , corrélation due au milieu commun entre membres de la même famille, est nul ou négligeable lorsque la famille est représentée par N demi-

frères ou sœurs de père répartis dans un grand nombre d'élevages. En revanche, lorsqu'il s'agit d'une famille de demi-frères utérins, C^2 n'est plus négligeable : il est souvent appelé « effet maternel » (milieu utérin commun, aptitude laitière de la mère et effet élevage). Il en va évidemment de même pour des pleins frères.

La précision des estimateurs sur descendance s'écrit donc d'après (4 bis).

— dans le cas d'un étalon dont on connaît N descendants issus de N mères prises au hasard dans la population :

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1)\frac{h^2}{4}}}$$

— dans le cas d'une jument dont on connaît N descendants issus de N pères différents :

$$R' = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1)\frac{h^2}{4} + C^2}}$$

— dans le cas d'une jument (éventuellement d'un étalon) dont on connaît N descendants issus du même père (de la même mère pour un étalon) :

$$R'' = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1)\left(\frac{h^2}{2} + C^2\right)}}$$

C. Qualification d'un reproducteur d'après les performances de ses ascendants ou de ses collatéraux

1° Qualification par les ascendants

Si un parent est qualifié, il qualifie en panmixie chacun de ses descendants avec une précision qui se trouve diminuée de moitié : soit dans le cas où le parent est qualifié par sa propre performance :

$$R = \frac{1}{2} h$$

Nous voyons là le peu d'intérêt qu'il y a à « pister les pedigree », un grand-père qualifierait son petit-fils

avec une précision de $\frac{1}{4} h$, un arrière grand-père son

arrière petit-fils par $\frac{1}{16} h$, etc...

Néanmoins, lorsque les deux parents ont des performances, leur valeur moyenne permet de qualifier leur descendant avec une meilleure précision soit :

$$R = \frac{h}{\sqrt{2}}$$

Ce coefficient suppose également la panmixie.

2° Qualification par les collatéraux.

Les collatéraux d'un cheval peuvent être, nous l'avons vu :

- des propres frères,
- des demi-frères utérins,
- des demi-frères paternels.

Génétiquement, les deux dernières catégories ont la même signification. Cependant, elles diffèrent en deux points.

En premier lieu, la ressemblance entre demi-frères utérins est supérieure à celle qui existe entre demi-frères paternels à cause de l'existence de « l'effet maternel au sens large » qui rassemble les effets de milieu commun (utérin, lactation, élevage, cavalier...). De ce fait, l'information fournie par un demi-frère utérin est pour un éventuel utilisateur du cheval plus intéressante que celle qui lui serait apportée par un demi-frère paternel dans les mêmes conditions. Mais, répétons-le pour un éleveur qui s'intéresse au potentiel génétique de l'animal, l'information fournie par un demi-frère paternel ou un demi-frère utérin est rigoureusement équivalente.

En second lieu, rappelons que le nombre de demi-frères paternels d'une famille est très largement supérieur au nombre de demi-frères utérins disponibles, l'information qu'ils apportent est donc du point de vue génétique, beaucoup plus significative.

Notons à ce propos que la prise en considération de ses collatéraux revient à prédire la valeur génétique d'un jeune reproducteur en se fondant sur la qualification sur descendance de son père ou de sa mère ou des deux dans le cas de propres frères.

La précision des critères de qualification qui en découle est donc également une fonction de l'effectif des collatéraux mesurés et de l'héritabilité du caractère.

Elle s'écrit dans le cas d'une qualification — sur N propres frères.

$$R_1 = 2 \times \frac{1}{2} R'' \text{ soit}$$

$$R_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1) \left(\frac{h^2}{4} + C^2\right)}}$$

— sur N demi-frères utérins.

$$R_2 = \frac{1}{2} R' \text{ soit } R_2 = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1) \left(\frac{h^2}{4} + C^2\right)}}$$

— sur N demi-frères paternels.

$$R_3 = \frac{1}{2} R \text{ soit } R_3 = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1) \frac{h^2}{4}}}$$

C^2 représente toujours la corrélation due au milieu commun aux frères utérins.

Nous le voyons, la sélection sur collatéraux équivaut à une sélection sur descendance des parents de l'animal à sélectionner ; elle en a la même précision quand les collatéraux sont des propres frères mais cette précision diminue de moitié lorsque ces mêmes collatéraux sont des demi-frères.

Elle n'est donc envisageable chez le cheval que pour des animaux sans performances individuelles et dans l'attente d'une éventuelle confirmation sur descendance.

D. Discussion

Nous avons jusqu'alors présenté sans les redémontrer un certain nombre de résultats classiques de la génétique quantitative. Cet exposé qui pour des personnes non initiées peut paraître quelque peu fastidieux, s'est révélé cependant indispensable pour introduire deux notions essentielles en amélioration génétique soit :

- celle d'indice de sélection, estimateur statistique de la valeur génétique d'un animal, paramètre qui n'est jamais connu avec certitude ;
- et celle de précision de cet estimateur qui en pratique, est presque aussi importante que la valeur de l'indice lui-même.

Il nous reste maintenant à illustrer par des exemples numériques ce que ces considérations peuvent avoir

comme conséquences pour un praticien de l'élevage équin. Ainsi, par exemple pour la qualification des juments qui postulent pour la saillie d'un étalon tiré au sort, il importe de savoir quel poids attribuer aux informations concernant leurs propres performances et celles de leurs descendants ou collatéraux.

— l'information la plus simple est la performance individuelle : elle permet de percevoir la valeur génétique avec une précision d'autant plus satisfaisante que l'héritabilité du caractère à améliorer est plus élevée (Tableau 1).

— l'étape suivante dans la connaissance du génotype d'un reproducteur est fournie par un échantillon de taille N de sa descendance. La précision du nouveau critère ainsi obtenu est alors une fonction de N et de l'héritabilité du caractère considéré (Tableau 2). Si nous prenons pour exemple la descendance d'un étalon représentée par N demi-frères ou sœurs, la précision du critère de sélection dépasse celle qui était fournie par la performance individuelle lorsque N dépasse un seuil obtenu en égalisant les relations (2 bis) et 1, soit :

$$h = \frac{1}{2} h \sqrt{\frac{N}{1 + (N-1) \frac{h^2}{4}}}$$

et :
$$N_1 = \frac{4 - h^2}{1 - h^2}$$

Le même raisonnement appliqué à la jument jugée sur performance ou sur descendance obtenue en égalisant les relations (2 bis) et 2, conduit à la conclusion qu'à valeur d'héritabilité égale, il lui faut **davantage de descendants qu'un étalon** pour être jugée avec la même précision. Cela provient du rôle joué par la corrélation de milieu C^2 qui fixée arbitrairement à 0,05 conduit à la relation :

$$N_2 = \frac{19 - 5h^2}{4 - 5h^2}$$

— appliqué aux collatéraux, le même raisonnement conduit à des conclusions qui sont très nettement en leur défaveur. En effet, le nombre de propres frères N_3 nécessaires pour obtenir une précision équivalente à celle du contrôle individuel, s'écrit, lorsque l'on fixe la corrélation de milieu C^2 à la valeur 0,05 :

$$N_3 = \frac{38 - 20h^2}{8 - 20h^2}$$

Le nombre N_4 de demi-frères paternels nécessaires dans les mêmes conditions s'écrit :

$$N_4 = \frac{16 - 4h^2}{1 - 4h^2}$$

Le nombre N_5 de demi-frères utérins dans les mêmes conditions s'écrit :

$$N_5 = \frac{76 - 20h^2}{1 - 20h^2}$$

Il apparaît à la suite des applications numériques (Tableau 1) que, chez le cheval, les seuls collatéraux dignes de considération sont en raison de leur nombre relativement élevé les demi-frères et sœurs paternels. L'information fournie par les propres frères, bien que plus précise, est rarement utilisable chez les équidés en raison des effectifs disponibles qui sont pratiquement toujours inférieurs à 5. Celle qui est apportée par des demi-frères utérins est quasiment sans intérêt, toujours du fait de leur nombre réduit.

Le Tableau 1 donne les effectifs seuils pour lesquels la sélection sur descendance ou sur collatéraux, est équivalente à la sélection individuelle. Rappelons à ce sujet quelques valeurs d'héritabilité que nous avons estimées récemment qui permettront de resituer cet exemple dans un cadre précis.

● performances des chevaux de course plate estimées par :

- le gain du cheval à 3 ans : $h^2 < 0,10$
- le gain moyen par départ du cheval à 3 ans : $h^2 < 0,10$
- le Logarithme naturel du gain du cheval à 3 ans : $h^2 = 0,30$
- le Logarithme naturel du gain moyen par départ du cheval à 3 ans : $h^2 = 0,40$

● performances en course des trotteurs hollandais (MINKEMA, 1974) estimées par :

- les gains réalisés au cours de l'ensemble de la carrière : $h^2 = 0,25$
- la racine carrée des gains précédents : $h^2 = 0,40$
- le temps kilométrique record : $h^2 = 0,35$
- la précocité exprimée par le pourcentage du gain précédent réalisé à 2 et 3 ans : $0,20 < h^2 < 0,30$

● performances des chevaux de sport dans les concours de sauts d'obstacles estimées par :

- le Log du gain annuel : $h^2 = 0,20$
- le Log du gain moyen annuel par départ : $h^2 = 0,20$

● performances des chevaux de sport dans les concours complets d'équitation estimées par :

- le Log du gain annuel : $h^2 = 0,25$
- le Log du gain moyen annuel par départ : $h^2 = 0,15$.

Nous voyons à titre d'exemple que si la condition de qualification, concours de sauts d'obstacles, d'une jument de selle est : Logarithme de son gain annuel supérieur ou égal à un seuil S, il faudra, si elle n'a pas elle-même de performance, h^2 étant égal à 0,20, que la moyenne de 6 de ses descendants ou de 9 de ses propres frères ou de 76 de ses demi-frères paternels ait atteint ce seuil S, pour que l'on puisse la qualifier dans des conditions équivalentes.

Ce raisonnement doit présider à l'établissement des règlements de qualification. Ils devront de plus utiliser les estimateurs du potentiel des chevaux qui ont l'héritabilité la plus élevée. En effet, ces estimateurs conférant un maximum de précision (R) aux estimations des valeurs génétiques, ils donneront plus d'efficacité à la sélection. Ainsi, comme illustration, notons pour le pur sang anglais, que le Logarithme naturel du gain moyen par départ du cheval à 3 ans ($h^2 = 0,40$) paraît de beaucoup préférable à la variable gain par départ non transformée ($h^2 < 0,10$).

Toutes ces notions risquent de bouleverser les habitudes en matière de sélection des chevaux de sang. Il faut néanmoins admettre que ces usages essentiellement dominés par l'empirisme doivent être remplacés par des solutions plus scientifiques. Notons de surcroît que le relevé par l'ordinateur des données de performances et bientôt par le système S.I.R.E. (1) de celles de l'élevage, permet d'aborder sous un angle nouveau les problèmes posés par la sélection des chevaux de sang.

La recherche de critères quantitatifs représentant au mieux le potentiel des chevaux (Log de gains à la place de gains... autres critères) doit rendre possible l'emploi chez les équidés des méthodes modernes de la génétique quantitative.

Gageons que l'élevage équin français saura faire montre de dynamisme et qu'en abandonnant l'empirisme au profit de méthodes scientifiques il pourra se maintenir au haut niveau de réputation dont il jouit.

BIBLIOGRAPHIE

- HOURMILOUGUE P., 1974. Analyse statistique et génétique des résultats de concours complets d'équitation en France de 1971 à 1973. Mémoire de fin d'études E.N.I.T.A. Bordeaux, 82 p.
- LANGLOIS B., 1974. Résultats de recherches en matière génétique chez le cheval. I. Etude des gains des chevaux dans les concours de sauts d'obstacles (résultats préliminaires). Journ. ét. comm. chev. Féd. eurp. Zootech., Copenhague, 17-21 août 1974, 14 p.
- LANGLOIS B., 1974. Etudes des gains dans les courses plates des pur sang anglais de trois ans. (Prise en considération des performances parentales). Polycop. Str. Génét. quant. et appl. C.N.R.Z., 22 p.
- MINKEMA D., 1974. Studies on the Genetics of trotting performance in dutch Trotters. I. Heritability of trotting performance. Reçu pour publication aux Annales de génétique et de sélection animale le 16 octobre 1974 (Communication personnelle).

(1) S.I.R.E. : Système d'Identification Répertoire les Equidés.

Tableau 1

Estimation en fonction de l'héritabilité du nombre minimum de descendants ou collatéraux nécessaires pour fournir une estimation de la valeur génétique d'un reproducteur aussi précise que sur performances individuelles

h^2	$R = h$	$N_1 = \frac{4-h^2}{1-h^2}$	$N_2 = \frac{19-5h^2}{4-5h^2}$	$N_3 = \frac{38-20h^2}{8-20h^2}$	$N_4 = \frac{16-4h^2}{1-4h^2}$	$N_5 = \frac{76-20h^2}{1-20h^2}$
0,05	0,2236	4,16	5,00	5,29	19,75	∞
0,10	0,3162	4,33	5,29	6,00	26,00	—
0,15	0,3873	4,53	5,62	7,00	38,50	
0,20	0,4472	4,75	6,00	8,50	76,00	
0,25	0,5000	5,00	6,45	11,00	—	
0,30	0,5477	5,29	7,00	16,00		
0,35	0,5916	5,62	7,67	31,00		
0,40	0,6325	6,00	8,50	—		
0,45	0,6708	6,45	9,57			
0,50	0,7071	7,00	11,00			
0,60	0,7746	8,50	16,00			
0,70	0,8367	11,00	31,00			
0,80	0,8944	16,00	—			

N_1 : jugement d'un étalon sur N descendants.

N_2 : jugement d'une jument sur N descendants tous issus de pères différents.

N_3 : jugement d'un individu sur N propres frères.

N_4 : jugement d'un individu sur N demi-frères paternels.

N_5 : jugement d'un individu sur N demi-frères utérins.

h^2 : héritabilité du critère de sélection utilisé.

$R=h$: précision de l'estimation de la valeur génétique de l'individu d'après sa propre performance.

— dans ces calculs, la corrélation de milieu $C^2 = 0,05$,

— les demi-frères utérins sont, dans ce cas, pratiquement inutilisables comme informateurs sur la valeur génétique d'un individu, et quel que soit leur nombre, la précision de l'information qu'ils apportent n'atteint jamais celle de la performance individuelle.

Tableau 2

Evolution de la précision (R) de l'estimateur de la valeur génétique d'un étalon sur descendance en fonction du nombre de descendants (N) et de l'héritabilité (h²) du critère utilisé.

$$R = \frac{Nh^2}{4 + (N-1)h^2}$$

N	h ²						
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
1	0,111	0,158	0,223	0,273	0,316	0,353	0,387
2	0,157	0,220	0,308	0,373	0,426	0,471	0,510
3	0,191	0,267	0,369	0,442	0,500	0,547	0,588
4	0,219	0,305	0,417	0,494	0,554	0,603	0,643
5	0,243	0,337	0,456	0,537	0,597	0,645	0,684
6	0,265	0,365	0,489	0,572	0,632	0,679	0,717
7	0,285	0,390	0,518	0,601	0,661	0,707	0,743
8	0,303	0,412	0,544	0,627	0,686	0,730	0,765
9	0,319	0,433	0,566	0,649	0,707	0,750	0,783
10	0,335	0,451	0,587	0,669	0,755	0,766	0,798
15	0,399	0,527	0,664	0,740	0,790	0,825	0,851
20	0,449	0,582	0,716	0,786	0,830	0,860	0,882
25	0,490	0,625	0,753	0,818	0,857	0,883	0,902
30	0,524	0,659	0,782	0,841	0,877	0,900	0,917
35	0,554	0,687	0,805	0,859	0,891	0,912	0,927
40	0,579	0,711	0,823	0,888	0,903	0,922	0,935
50	0,622	0,749	0,851	0,895	0,920	0,936	0,947
60	0,657	0,778	0,871	0,910	0,932	0,946	0,955
70	0,685	0,801	0,886	0,922	0,941	0,953	0,961
80	0,709	0,819	0,898	0,930	0,948	0,958	0,966
100	0,747	0,848	0,916	0,943	0,957	0,966	0,972

Tableau 3 :

Tableau récapitulatif de la précision de l'estimation de la valeur génétique d'un reproducteur sur performances individuelles ou sur performances des ascendants, descendants ou collatéraux. Les calculs ont été faits pour h² = 0,20 et C² = 0,05

Taille de la famille N	Performance individuelle h	Performance du père ou de la mère $\frac{h}{2}$	Moyenne des performances des deux parents $\frac{h}{\sqrt{2}}$	Jugement d'un étalon sur N demi-frères $\frac{1}{\sqrt{N+19}}$	Jugement d'un jument sur N descendants		Jugement d'un individu sur N collatéraux		
					Demi-frères $\frac{1}{2\sqrt{N+9}}$	Propres frères $\frac{1}{2\sqrt{3N+17}}$	Demi-frères paternels $\frac{1}{2\sqrt{N+19}}$	Demi-frères utérins $\frac{1}{4\sqrt{N+9}}$	Propres frères utérins $\frac{1}{2\sqrt{3N+17}}$
1				0,22	0,22	0,22	0,11	0,11	0,22
2				0,31	0,30	0,29	0,15	0,15	0,29
3				0,37	0,35	0,34	0,18	0,18	0,34
4				0,42	0,39	0,37	0,21	0,20	0,37
5				0,46	0,42	0,40	0,23	0,21	0,40
6				0,49	0,45	0,41	0,24	0,22	0,41
7				0,52	0,47	0,43	0,26	0,23	0,43
8				0,54	0,49	0,44	0,27	0,24	0,44
9				0,57	0,50	0,45	0,28	0,25	0,45
10	0,45	0,22	0,32	0,59	0,51	0,46	0,29	0,26	0,46
15				0,66			0,33		
20				0,72			0,36		
30				0,78			0,39		
40				0,82			0,41		
50				0,85			0,43		
60				0,87			0,44		
70				0,89			0,44		
80				0,90			0,45		
90				0,91			0,45		
100				0,92			0,46		

Tableau 4 :

Tableau récapitulatif de la précision de la valeur génétique d'un reproducteur sur performances individuelles ou sur performances des ascendants, descendants ou collatéraux. Les calculs ont été faits pour : $h^2 = 0,40$ et $C^2 = 0,05$

TAILLE DE LA FAMILLE N	PERFORMANCE INDIVIDUELLE h	PERFORMANCES DU PERE OU DE LA MERE h/2	MOYENNE DES PERFORMANCES DES 2 PARENTS h/2	JUGEMENT D'UN ETALON SUR N DEMI-FRERES $\sqrt{\frac{Nh^2}{4 + (N-1)h^2}}$	JUGEMENT D'UNE JUMENT SUR N DESCENDANTS		JUGEMENT D'UN INDIVIDU SUR N COLLATERAUX		
					demi-frères $\sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1)(\frac{h^2}{4} + C^2)}}$	pleins frères $\sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1)(\frac{h^2}{2} + C^2)}}$	demi-frères paternels $\sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1)\frac{h^2}{4}}}$	demi-frères utérins $\sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1)(\frac{h^2}{4} + C^2)}}$	pleins frères utérins $\sqrt{\frac{Nh^2}{1 + (N-1)(\frac{h^2}{2} + C^2)}}$
$h^2 = 0,40$ $C^2 = 0,05$				$\sqrt{\frac{N}{N+9}}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{8N}{17+3N}}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{8N}{15+5N}}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{N}{N+9}}$	$\frac{1}{4} \sqrt{\frac{8N}{3N+17}}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{8N}{15+5N}}$
1	↑	↑	↑	0,31	0,31	0,31	0,15	0,15	0,31
2	↑	↑	↑	0,42	0,41	0,40	0,21	0,20	0,40
3	↑	↑	↑	0,50	0,47	0,44	0,25	0,23	0,44
4	↑	↑	↑	0,54	0,52	0,47	0,27	0,26	0,47
5	↑	↑	↑	0,59	0,55	0,50	0,29	0,27	0,50
6	↑	↑	↑	0,63	0,58	0,51	0,31	0,29	0,51
7	↑	↑	↑	0,65	0,61	0,52	0,32	0,30	0,52
8	↑	↑	↑	0,68	0,62	0,53	0,34	0,31	0,53
9	↑	↑	↑	0,70	0,63	0,54	0,35	0,31	0,54
10	0,63	0,32	0,44	0,72	0,65	0,55	0,36	0,32	0,55
15	↑	↑	↑	0,78			0,39		
20	↑	↑	↑	0,82			0,41		
30	↑	↑	↑	0,87			0,43		
40	↑	↑	↑	0,90			0,45		
50	↑	↑	↑	0,91			0,45		
60	↑	↑	↑	0,92			0,46		
70	↑	↑	↑	0,93			0,46		
80	↑	↑	↑	0,94			0,47		
90	↑	↑	↑	0,94			0,47		
100	↑	↑	↑	0,95			0,47		