



Quelle est la meilleure stratégie de sélection des étalons de concours hippique ?

Par Anne Tavernier
Delphine Clerc

Station de Génétique Quantitative et Appliquée - INRA - 78352 Jouy-en Josas

Résumé

Un plan de sélection des étalons de concours hippique à 2 étapes (avant et après descendance) est optimisé en faisant varier les taux de sélection des 2 étapes et le rythme d'utilisation des étalons sachant que les paramètres physiologiques et génétiques sont fixes. On montre que l'optimum est de sélectionner une première fois après la performance précoce à 5 ans du candidat étalon et d'attendre pour le deuxième stade que ses premiers produits aient également 5 ans. La sélection avant performance (à 2 ans à partir des apparentés) est la moins efficace, la sélection sur performance adulte fait perdre 2% du progrès génétique. L'influence de la sélection sur performance reste prépondérante : les 4/5èmes des juments sont saillies par des étalons n'ayant pas encore de produits en compétition.

Mots-clés : Cheval - Compétition - Plans de sélection - Optimisation - Précocité

Summary

A breeding scheme for jumping stallions with two-stage of selection is optimized as function of 2 culling levels at the 2 selection stages and of the number of covered mares per year. The physiological and genetics parameters are fixed. The optimum is for the first selection stage after the competition performance at 5 years old and the second stage after than first progeny reached 5 years old. Selection before competition at 2 years from relatives is the less efficient and selection at mature age (6 years) loose 2% of the genetic progress. The selection on stallion performance remained important : the 4/5 of mares are covered by stallions without progeny in competition.

Key-words : Horse - Competition - Breeding Scheme - Optimization - Precocity

INTRODUCTION

Le déroulement de la vie du poulain mâle candidat étalon est jalonné par une même série d'étapes, quels que soient les critères de choix ou l'objectif de sélection. Après sa naissance, le cheval a la possibilité d'être mesuré pour différents caractères en fonction des capacités de mesures et de son âge. A un certain moment, le candidat est évalué à partir de ces mesures et de celles effectuées sur ses apparentés. S'il fait partie des meilleurs, il est autorisé à se reproduire. Au fur et à mesure que de nouvelles informations sont disponibles et, en particulier, dès que commencent les mesures sur les descendants de l'étalon, celui-ci subit une nouvelle étape de sélection et peut être réformé. Tout au long de la vie de l'étalon, des imprévus peuvent se présenter, entraînant sa mort ou sa castration. Le but de l'étude est, en fonction de paramètres biologiques connus (héritabilité des caractères, corrélation avec l'objectif de sélection), de paramètres physiologiques (fertilité, sex-ratio), des possibilités pratiques de mesure des performances (capacité d'accueil dans les compétitions ou capacité de mesures des critères indirects lors de manifestation), de contraintes économiques (nombre de saillies par étalon, valorisation rapide des étalons), de trouver quel est le meilleur plan de sélection possible et quelles sont les variations et adaptations possibles autour de ce maximum.

Sont considérés comme des constantes tous les paramètres sauf les taux de sélection des différentes étapes et le rythme des saillies, connaissant le nombre maximum de saillies autorisé. Cela permet de définir réellement un optimum pour chaque plan envisagé sans *a priori* sur l'importance à accorder aux différentes étapes de sélection respectives. C'est la recherche du maximum qui nous fixe l'importance de chacune des étapes de sélection et la part des saillies attribuées à chacune des étapes.

Les logiciels rédigés dans ce sens font appel à des calculs complexes, dont nous ne ferons que résumer l'esprit ici. Le lecteur averti pourra compléter sa bibliographie (Ducrocq, 1984 ; Ducrocq & Quaas, 1988 ; Ducrocq & Colleau, 1989) et trouver les logiciels de calculs d'intégrales et de maximisation dans la bibliothèque de programme de NAG (Numerical Algorithms Group). L'objectif est, par la suite, de comparer les résultats obtenus à ceux obtenus à l'étranger, notamment dans les travaux de Hugason *et al*, 1987, Huizinga, 1990 et Philipsson *et al*, 1990. Nous nous sommes limités dans cette première étude à la comparaison de quelques cas les plus simples dont les principales caractéristiques sont résumées ci-dessous.

DESCRIPTION DU PROCESSUS DE SELECTION

La définition de l'objectif

L'objectif de sélection est la réussite en concours hippique pour un cheval adulte. L'optimisation porte sur une population de la taille des Selle Français (18 000 juments saillies).

Les caractères mesurables - âge à la mesure

Les caractères mesurables sont de 2 types.

- 1) Le caractère direct correspondant à l'objectif de sélection : la performance en concours hippique à l'âge adulte.
- 2) Les caractères de performances précoces : les performances en compétition avant la maturité du cheval.

Les paramètres génétiques des caractères

Ces caractères ont déjà fait l'objet d'une étude présentée au CEREOPA (Ricard, 1986), étude qui a été réactualisée depuis (Tavernier, 1992). Les héritabilités et les corrélations génétiques de ces caractères sont donc bien connues. Elles ont été mesurées grâce à des techniques statistiques récentes (application du REML en modèle animal) et sur de larges effectifs (60 000 chevaux analysés, 40 000 performeurs). Il a été ainsi montré qu'à partir de l'âge de 6 ans la réussite en compétition équestre représentait le même caractère génétique quel que soit l'âge. A 4 et 5 ans, la réussite en concours est en partie l'expression de la précocité du cheval. La corrélation génétique entre la performance réalisée à 4 ans et l'âge adulte est de 0,76, à 5 ans elle est de 0,91. La corrélation phénotypique entre 4 et 5 ans est de 0,42, entre 5 et 6 ans 0,50 et entre 4 et 6 ans 0,30. La variabilité des performances est moins grande à 4 ans qu'à 6 ans.

Les capacités de testage

Il n'y a pas en France de station de test pour les étalons mais la capacité d'accueil du cycle classique constitue en elle-même la capacité de testage en compétition des candidats. Par rapport aux naissances, le pourcentage de chevaux sortis en cycle classique n'a cessé d'augmenter au cours du temps. Pour les mâles, il est de 30% à 4 ans et de 41% à 5 et 6 ans par rapport aux poulains nés. Avant performance, on considère que l'ensemble des mâles vivants sont susceptibles d'être sélectionnés.

Les contraintes biologiques

La fertilité est de 0.585 (source SIRE), le sex-ratio est de 0.5, le taux de survie (proportion de chevaux encore vivant à un âge donné) des étalons suit la courbe suivante :

$$S(\text{age}) = \exp(-\exp(\text{Log}(a) + b\text{Log}(\text{age})) - c \text{ age}) \quad \text{avec } a = -14,683 \quad b = 5 \quad c = 0.04$$

Les contraintes biologiques-économiques

Le nombre maximum de saillies par étalon est fixé à 100. Cette borne correspond d'avantage actuellement à une limite économique qu'à une limite physiologique ou à une contrainte imposée par l'évolution de la consanguinité.

LE CALCUL DU PROGRES GENETIQUE

Le progrès génétique dépend de 3 paramètres :

- 1) l'intensité de sélection, c'est la supériorité des individus sélectionnés par rapport au reste de la population sur le critère de sélection, elle dépend directement du nombre d'individus retenus par rapport au nombre de candidats possibles.
- 2) la précision du critère de sélection : cette précision dépend du nombre de caractères mesurés, des relations de parentés entre le candidat et les individus mesurés, de la corrélation génétique entre le caractère et l'objectif de sélection. Le produit de la précision et de l'intensité de sélection donne la supériorité génétique des candidats sélectionnés.
- 3) Intervalle de génération : durée entre 2 générations successives.

Le progrès génétique annuel est égal à la supériorité génétique des individus sélectionnés (intensité*précision) divisé par l'intervalle de génération. Comme seules les variations de la voie mâle sont étudiées, la supériorité sur la voie femelle sera prise comme nulle et l'intervalle de génération égal à 11,67 ans (Tavernier, 1990).

Définition des groupes de naissance

Suivant l'âge du père dont le candidat étalon est issu, ses chances de sélection sont différentes. D'une part, l'espérance de la valeur génétique moyenne des produits des étalons d'âges divers est différente. En effet, la valeur génétique moyenne de ces étalons évolue en fonction de leur date de naissance, en raison même du progrès génétique : ainsi, un père âgé a un retard de progrès génétique sur un père plus jeune sélectionné plus récemment parmi une population plus évoluée. Une autre source d'écart est qu'au moment de la saillie qui donne naissance au futur candidat, certains de ces étalons ont subi une seule étape de sélection (les plus jeunes) alors que d'autres en ont subi 2 (les plus âgés). Les étalons qui ont subi les deux étapes de sélection ont une supériorité génétique plus grande que ceux qui n'en n'ont subi qu'une seule. Pour ces deux raisons, la valeur génétique moyenne des candidats étalons est différente suivant l'âge de leur père au moment de la saillie. D'autre part la précision de l'estimation de la valeur génétique du candidat va être différente. Si le candidat est issu de la première génération de produits de son père, à l'âge de sa propre sélection, il n'aura pas de 1/2 frères-soeurs plus âgés que lui, donc éventuellement mesurés sur des caractères plus tardifs, et il n'aura qu'une génération de 1/2 frères alors que le candidat issu d'un père qui en est à sa 10^{ème} année de monte a 10 générations de 1/2 frères déjà connus. Nous distinguerons donc autant de groupes de naissance que de cas différents d'âges de père.

Précision de l'estimation de la valeur génétique du candidat

Pour chaque groupe de naissance nous pouvons déterminer les caractères mesurés chez le candidat et son père au moment de la sélection, le nombre de 1/2 frères mesurés, et pour le deuxième stade de sélection, le nombre de produits mesurés pour chaque caractère. Nous connaissons par ailleurs tous les paramètres génétiques et phénotypiques : corrélations, variances de ces caractères. Nous pouvons donc bâtir un indice génétique classique avec comme

estimateurs les différents caractères mesurés chez ces 4 types d'apparentés : l'individu lui-même, son père, ses 1/2 frères et ses produits. Nous nous sommes contentés de ces estimateurs car ce sont les plus proches et donc les plus informatifs pour l'individu. Un BLUP cumule bien sur tous les autres apparentés mais leur influence est plus faible, comparée à l'influence de ces informations. Nous n'avons pas introduit les performances de la mère, de façon à n'étudier que les variations sur la voie mâle.

Supériorité génétique des individus sélectionnés

Elle dépend de la valeur du seuil de sélection, qui est unique à chaque étape pour tous les groupes de naissance. Ces seuils sont des variables, ils sont déterminés par le programme d'optimisation. Selon le groupe de naissance, étant donné que leur moyenne génétique et la variance de leur estimation est différente (puisque la précision est différente) une proportion différente d'individus est retenue. La valeur génétique moyenne de ces individus retenus donne la supériorité génétique des étalons sélectionnés. Pour un seuil donné, cette supériorité effective va dépendre aussi du taux de sélection pratiqué à l'étape précédente (puisque seuls les étalons ayant franchi la première étape sont candidats à la deuxième, ce qui entraîne une réduction de variance dans le choix).

Intervalle de génération

Compte tenu du nombre de saillies et du nombre de pères dans chaque groupe de naissance qui découle du nombre de pères sélectionnés à chaque étape et de la mortalité, l'âge moyen des pères est calculé. Il correspond à l'intervalle de génération sur la voie mâle.

Contrainte

Le progrès génétique est optimisé sous la contrainte d'une population stable : le nombre d'étalons sélectionnés doit permettre le renouvellement de la population.

PLANS DE SELECTION ETUDIES

Dans un premier temps des plans en 2 étapes ont été optimisés. La première étape de sélection correspond à 3 choix principaux différents : 1) une sélection précoce à 2 ans (avec premières saillies à 3 ans) à partir exclusivement des performances des apparentés (père, 1/2 frères) 2) une sélection sur performances précoces (4 ou 5 ans, saillie à partir de 5 et 6 ans respectivement) 3) une sélection sur les performances adultes (6 ans, saillie à partir de 7 ans). La deuxième étape de sélection se situe quand les premières générations de produits ont des performances soit précoces (quand la première génération a 4 ou 5 ans) soit adulte (quand la première génération a 6 ans). En combinant les 4 cas pour la première étape de sélection et les 3 cas pour la deuxième étape de sélection on compare 12 stratégies différentes. La proportion de candidats possibles et la proportion de candidats mesurés sur leur propre performance sont résumés dans le *tableau 1*.

TABLEAU 1

Plans étudiés : âge de sélection et performances des candidats*Breeding scheme : age and records of candidates*

Age première étape (1)	2 ans	4 ans	5 ans	6 ans
% candidats possibles/nés (2)	92,3%	30,2%	40,6%	40,7%
% performeurs à .../candidats (3)				
4 ans	32,7%	100,0%	59,9%	52,7%
5 ans	44,0%	80,6%	100,0%	80,0%
6 ans	44,1%	71,1%	80,3%	100,0%

*(1) age at the first stage of selection**(2) % of candidates available / born**(3) % of recorded horses at... / candidates***RESULTATS**

La meilleure stratégie est obtenue avec une première sélection après la performance réalisée à 5 ans et une deuxième sélection quand la première génération de produits a 5 ans. Les étalons saillissent pendant 6 ans, ont 1 année d'interruption avant la deuxième phase de sélection, puis ceux qui sont retenus font la monte encore pendant 8 ans. Nous développons ci-après les résultats pour ce plan, mais avec 7 années de monte sans discontinuité après la première étape, ce qui entraîne une faible perte de progrès génétique (-0,2%) mais semble plus pratique :

Pour les 18 000 juments de notre population de référence, il y a 5265 naissances mâles, parmi ces mâles 2138 sortent en compétition à l'âge de 5 ans (41%) et sont donc testés sur performances, certains ont d'ailleurs déjà une performance à 4 ans. Le coefficient de détermination de l'indice de sélection à la première phase de sélection varie de 0,31 à 0,43 selon que le candidat a ou non une performance à 4 ans, selon les performances de son père et le nombre de 1/2 frères qui varie avec le groupe de naissance de 31 à 243 avec une performance à 4 ans, 20 à 320 avec une performance à 5 ans, 0 à 313 avec une performance à 6 ans. On retient 25 de ces mâles pour la reproduction (soit 1,2% des testés). Pendant 7 ans ces étalons font la monte, au bout de ces 7 années, seuls 17 (68%) sont encore en vie pour prétendre à la deuxième phase de sélection. On en retient 5 (31,3%) qui continuent à saillir au maximum 8 ans ou jusqu'à leur mort. Le coefficient de détermination varie à ce stade de 0,65 à 0,67 avec 32 produits ayant une performance à 4 ans (2 générations) et 21 avec une performance à 5 ans (une génération). A un instant donné on a, bien sur, 180 étalons qui font chacun 100 saillies, les étalons issus de la première phase de sélection représentent 84,5% des saillies (152 étalons), ceux issus de la deuxième phase effectuent 15,5% des saillies (28 étalons). L'intervalle de génération moyen est, dans le premier lot d'étalons, de 9,8 ans et, dans le deuxième lot, 16,7 ans, l'intervalle de génération global est donc de 10,9 ans. La supériorité des étalons du premier lot est de 1,77 points d'écart type génétique, et 2,41 pour le deuxième lot, ce qui représente, en performance adulte standardisée à un écart type de 20, 16,4 points pour les étalons

du premier lot et 22,5 points pour les étalons du deuxième lot. La supériorité génétique moyenne pondérée par le nombre de saillies réalisées est donc de 17,4 points de performance. Le progrès génétique réalisé en 1 année est de 0,0828 écart type génétique, soit en performance standardisée 0,77 points .

La comparaison des différents plans de sélection (*tableau 2*) montre l'importance du choix de l'âge à la première sélection. Il vaut mieux sélectionner l'étalon sur la performance à 5 ans puis à 6 ans puis à 4 ans et enfin avant performance à 2 ans. Le facteur de variation que représente l'âge des descendants est moins important, en règle générale il vaut mieux attendre que la première génération ait 5 ans puis 6 ans ou 4 ans.

TABLEAU 2

Progrès génétique annuel des différents plans de sélection (20 points = écart -type de la performance adulte)

Annual genetic trend of the different breeding schemes (20 points = standard deviation of adult performance)

âge de l'individu à la 1 ^{ère} étape de sélection (1)	âge des produits de la première génération à la 2 ^{ème} étape de sélection (2)		
	4 ans	5 ans	6 ans
2 ans	0,671	0,678	0,672
4 ans	0,733	0,735	0,732
5 ans	0,769	0,772	0,770
6 ans	0,755	0,757	0,756

(1) *age of the candidate at the first stage of selection*

(2) *age of the offspring of the stallion candidate at the second stage of selection*

A 2 ans malgré un taux de sélection beaucoup plus efficace : on ne retient que 21 étalons (utilisés pendant 7 ans) sur 4 860 candidats, soit un taux de sélection de 0,4%, le manque de précision sur ces candidats ne permet pas d'avoir une supériorité génétique équivalente à la sélection sur performance : cette supériorité en points de performance est de 12,4 contre les 16,4 précédents. Cet écart n'est pas rattrapé au deuxième stade de sélection (ici dans le meilleur cas : quand la première génération a 5 ans), la supériorité est de 18,4 points, on garde donc les 4 points de retard en retenant 7 étalons sur les 16 encore vivants (41,5%). L'intervalle de génération est certes plus court dans la première phase : 6,8 ans et dans le deuxième lot : 15,0 ans, soit un intervalle de génération global de 9,0 ans et un gain de 1,9 ans par rapport à l'intervalle de génération dans le cas précédent, mais cet écart n'est pas suffisant face au manque de supériorité des étalons et le progrès est donc moindre : il représente 88% du progrès optimum.

Le rythme des saillies faisait lui aussi partie des variables permettant la recherche du maximum. Après la première phase de sélection, l'optimum est d'utiliser les étalons pendant 6 années uniquement, même si on attend que la première génération née ait 6 ans et donc qu'on puisse théoriquement utiliser les étalons pendant 8 ans. La réforme des étalons après la

deuxième phase de sélection est elle aussi atteinte avant la mort probable de l'ensemble des étalons. L'âge à la réforme dépend principalement du temps attendu avant la deuxième sélection. L'âge de réforme est d'environ 20 à 21 ans quand la deuxième sélection se fait quand les premiers produits ont 5 ans, 19 ans quand ceux ci n'ont que 4 ans et 23-24 ans quand ceux-ci ont 6 ans. Mais ces nuances sont peu importantes en face du choix de l'âge à la première sélection (par exemple, dans le plan de sélection première étape à 5 ans, deuxième étape quand les produits ont 6 ans, utiliser les étalons pendant 8 ans puis ceux de la deuxième sélection pendant 4 ans (âge maximum 17 ans) entraîne une perte de progrès génétique annuel de 1,0% par rapport à l'optimum, qui est de les utiliser 6, ans puis jusqu'à 24 ans).

CONCLUSION

Ce premier travail permet déjà de dégager quelques grandes lignes directrices, dans la mesure où on les applique avec les taux de sélection qui ont dégagé l'optimum (et qui varient pour chaque plan) :

- L'optimum est de sélectionner après l'obtention des performances propres de l'étalon
- La sélection est cependant optimum sur des performances dites "précoces" : la performance à 5 ans.
- On peut attendre que les premiers produits aient 4 à 6 ans pour faire une deuxième sélection sur descendance (optimum 5 ans)
- La proportion de juments saillies par les étalons uniquement testés sur performance est de 4/5, le test de descendance est donc peu important comparé au test de performance.

Il reste cependant de nombreux travaux à faire pour conforter ces positions : étudier la variation de l'optimum en changeant les paramètres de base (fertilité, capacité de testage, mortalité etc...), introduire un troisième seuil de sélection pour allier performance avant performance, après performance et après descendance, utiliser des critères indirects de sélection mesurables sur les chevaux avant performance (le modèle, les allures, caractères physiologiques et psychologiques).

Références Bibliographiques

- Ducrocq V., 1984. Conséquences sur le progrès génétique laitier d'une sélection sur des caractères secondaires chez les bovins. *Génét. Sél. Evol.*, 16 : 467-490.
- Ducrocq V., Colleau J.J., 1989. Optimum truncation points for independent culling level selection on a multivariate normal distribution, with an application to dairy cattle selection. *Genet. Sel. Evol.*, 21 : 185-198.
- Ducrocq V., Quaas R.L., 1988. Prediction of genetic response to truncation selection across generation. *J. Dairy Sci.* 71 : 2543-2553.

Hugason K., Arnason Th., Norell L., 1987. Efficiency of three-stage selection of stallions. *J. Anim. Breed. Genet.*, 104 : 350-363.

Huizinga H.A., 1990. Genetic studies on performance of the dutch warmblood riding horse. Doctoral thesis. Wageningen. The Netherlands.

Philipsson J. Arnason Th. Bergsten K., 1990. Alternative selection strategies for performance of the swedish warmblood horse. *Livest. prod. Sci.*, 24: 273-285.

Ricard A., 1986. Données nouvelles sur les performances des chevaux de sport : précocité, effets maternels, influence du type génétique. In : 12^e journée d'étude du CEREOPA, Paris, 12 Mars 1986.

Tavernier A., 1990. Performances et BLUP : orientations nouvelles pour la sélection des chevaux de course et de sport. In : L'élevage du cheval en France, Publication FEZ n°53, CEREOPA.

Tavernier A., 1992. Is the performance at 4 years in jumping informative for later results ? 43th annual meeting of the EAAP, Madrid, 13-17 September 1992.