

20ème Journée d'Étude



2 Mars 1994

L'analyse de la typologie musculaire peut-elle constituer un critère de sélection ?

Can muscle typing analysis constitute a selection criterion ?

par :

E. Barrey^(*)
J.P. Valette^(**)

(*) INRA, Station de génétique quantitative et appliquée, groupe cheval, F-78352 Jouy-en-Josas.

(**) Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Département de Pathologie des Equidés et Carnivores, F-94704 Maisons-Alfort.

Résumé

La proportion de fibres lentes (I) et rapides (II) qui constituent le muscle détermine ses propriétés contractiles et métaboliques. L'aptitude physique d'un cheval dépend pour une part de la composition en fibres de ces principaux muscles propulseurs. L'étude des aspects génétiques de la typologie musculaire chez l'athlète humain et les espèces domestiques comme le cheval montre l'intérêt de ce caractère physiologique pour la sélection.

Mots clés : cheval - muscle - myosine - génétique- sélection

Summary

The percentages of slow and fast twitch fibres of a muscle determine its metabolic and strength properties. The sporting ability of a horse depends on the fibre content of its main propulsive muscles. The study of the genetic component of the muscular fibre types in human athlete and domestic species like horse points out the usefulness of this physiological criteria for selection.

Key words : horse - muscle - myosin - genetic - breeding

INTRODUCTION

La proportion en fibres lentes et rapides qui composent tous les muscles locomoteurs détermine leurs propriétés contractiles et métaboliques. Le muscle étant le moteur de l'athlète, on comprend immédiatement l'intérêt de connaître ces propriétés musculaires pour évaluer son potentiel sportif. Chez l'homme, les physiologistes ont largement étudié les facteurs influençant la puissance et l'endurance musculaire pour sélectionner les individus les plus aptes et les préparer au mieux à la discipline sportive à laquelle on les destine.

Chez le cheval, une démarche analogue a débutée avec les travaux de Lindholm et Piehl (1974) et Snow et Guy (1980), qui utilisèrent une méthode d'analyse histoenzymatique dérivée des travaux faits chez l'homme. Cette méthode est à l'origine de la classification des fibres selon les types I (lente), IIA (rapide aéro-anaérobie) et IIB (rapide anaérobie) à laquelle nous nous référerons dans cet article. De nombreux travaux basés sur cette technique d'analyse ont permis de mettre en évidence les principaux effets de l'âge, de l'entraînement et de la race (voir synthèse de Barrey 1993), mais la lourdeur des analyses a toujours limité les applications pratiques. Avec la mise au point récente d'une nouvelle technique de dosage immunologique ELISA des fibres musculaires, des applications nouvelles sont maintenant envisageables, notamment en matière de sélection chez le cheval (Barrey et al. 1994, Valette et al. 1994). Cette méthode de dosage très sensible permet l'emploi d'aiguilles à biopsie fines peu traumatisantes. C'est, semble-t-il, une méthode d'avenir pour les analyses musculaires de routine en physiologie de l'exercice.

1 - LA TYPOLOGIE MUSCULAIRE : LE SUPPORT BIOLOGIQUE DE LA NOTION DE "CHEVAL DE SANG"

Les chevaux de Pur sang ont été sélectionnés pour leur aptitude à la course de vitesse. On a ainsi peu à peu construit un "super athlète" doté d'une capacité physique exemplaire, avec notamment un tissu musculaire ayant des qualités contractiles et métaboliques adaptées à l'effort de sprint. La plupart des races de selle actuelles ont sans doute bénéficié par croisement de la puissance musculaire du Pur sang. On dit d'ailleurs d'un cheval qu'il a "du sang" lorsqu'il a une constitution athlétique, les veines à fleur de peau et un tempérament vif. Mais sur le plan physiologique, que recouvre exactement cette notion empirique connue des hommes de chevaux depuis des temps immémoriaux ? Quelle relation y a-t-il entre la vivacité du tempérament, la puissance physique d'un cheval et ses caractéristiques physiologiques ? Les connaissances acquises en physiologie musculaire permettent maintenant de répondre à ces questions. La vitesse et la force de contraction développée par un muscle dépendent à la fois de la quantité de fibres actives et de la qualité de celles-ci. Sur le plan de la vitesse de contraction, il existe chez l'homme, et plus généralement chez les mammifères, deux catégories de fibres musculaires : les unes à contractions lentes, les autres à contractions rapides (Tableau I). Les fibres musculaires de type I ont des contractions lentes, et sont capables de se contracter successivement un grand nombre de fois mais avec une force modérée, tandis que les fibres de types IIA et IIB à contractions rapides développent des forces plus élevées mais pendant peu de temps. Pour assurer leur fonctionnement, les fibres musculaires sont dotées d'un métabolisme énergétique à prédominance aérobie ou anaérobie en fonction de leur appartenance aux différents types de fibres : les lentes (I) sont aérobies, les rapides sont soit

aéro-anaérobies (IIA), soit anaérobies (IIB). De par leurs caractéristiques contractiles et métaboliques, les fibres de type I favorisent l'exercice d'endurance, tandis que les fibres de type II permettent d'effectuer un exercice de puissance ou de résistance. Ainsi, en fonction de la composition en fibres lentes et rapides des différents muscles locomoteurs d'un athlète tel que le cheval, celui-ci présentera une meilleure aptitude à soutenir un effort d'endurance, de résistance ou de puissance.

2 - A CHAQUE TYPE D'APTITUDE SPORTIVE CORRESPOND UNE COMPOSITION PARTICULIERE EN FIBRES MUSCULAIRES

Chez l'athlète humain, plusieurs études ont montré les rapports entre la typologie musculaire et la discipline sportive pratiquée (Saltin et al. 1977). La relation entre la typologie du vaste latéral, extenseur du genou, et la performance de contraction a été démontrée chez l'homme par une série de tests d'extension du genou (Thorstensson 1976). Il existe une corrélation modérée et significative (0,50) de la puissance maximale avec le pourcentage de fibres rapides. Il en est de même pour la vitesse maximale de contraction.

Il existe également une relation entre la consommation d'oxygène (V_{O2}) et la typologie musculaire des muscles locomoteurs : le pourcentage de fibres lentes est plus élevé dans les disciplines nécessitant une proportion plus élevée de la consommation maximale d'oxygène (V_{O2} max) (Bergh et al. 1978). Les sprinters ont plus de 75% de fibres rapides, les sauteurs plus de 50%. A l'opposé, les skieurs de fond et les marathoniens ont de 60% à 75% de fibres lentes (Saltin et al. 1977). Ces compositions en fibres sont le résultat d'une spécialisation des athlètes à la fois par la sélection sportive des individus les plus aptes et par la pratique d'un entraînement spécifique.

2-1 Typologie musculaire et aptitude du cheval à l'effort de puissance

Chez le cheval, certaines races ont été sélectionnées d'après leurs performances en course, ce qui explique, par exemple, la spécificité de la typologie musculaire du Pur sang, du Quarter horse ou du Trotteur. Ces races ont plus de 80% de fibres rapides dans le muscle fessier moyen.


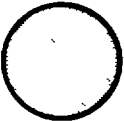



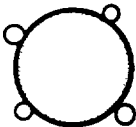
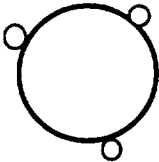

Quelques données chez le Pur sang indiquent que les sprinters courts ont davantage de fibres IIB tandis que les sprinters longs ont davantage de IIA (McMiken 1986). Les bons chevaux ont des fibres de surface plus homogènes et la densité capillaire et mitochondriale est plus élevée. Les meilleurs chevaux de courses Quarter horses ont un plus grand pourcentage de fibres IIB, ce sont des purs sprinters. Une étude sur le cheval Trotteur américain a montré que sa vitesse sous-maximale V_{200} (vitesse induisant 200 battements cardiaques par minute) mesurée au cours d'un test d'effort, était corrélée positivement avec le pourcentage de fibres rapides IIA et négativement avec celui des fibres rapides IIB (Valberg et al. 1985).

La typologie moyenne du cheval de concours hippique est encore inconnue, mais il est probable qu'à haut niveau, les meilleurs sauteurs aient une forte proportion de fibres rapides dans les muscles les plus impliqués dans le geste d'appel.

tableau 1 : Principales caractéristiques des 4 types de fibres musculaires chez le cheval

Characteristics of the 4 types of muscular fiber in horse

C A R A C T E R I S T I Q U E S D E S F I B R E S M U S C U L A I R E S

CONTRACTION	LENTE		RAPIDE		
Type de myosine	I		II A	II B	II C
Vitesse de contraction	99-110 ms			40-88 ms	
Surface des fibres (force)					
Endurance	+++		++	+	++
Métabolisme oxydatif	+++ acide gras		++	+	++
Métabolisme glycolytique	++		+++	+++ glycogène	++
Capillaires + Mitochondries					
+ Myoglobine					

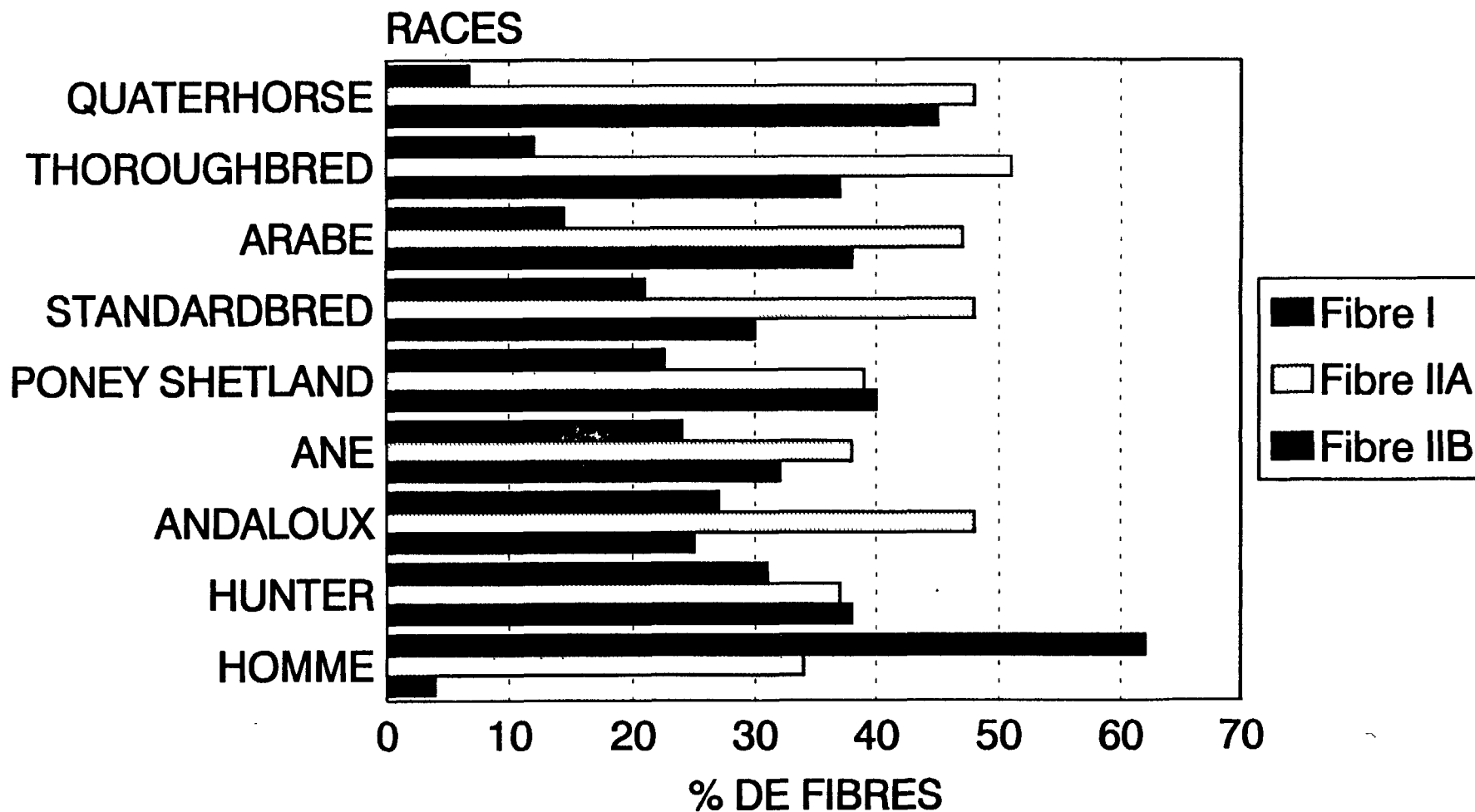
2-2 Typologie musculaire et aptitude à l'effort prolongé

Les chevaux spécialisés dans la discipline des courses d'endurance ont des muscles fessiers qui comportent environ 30% de fibres lentes et 40 à 50% de fibres IIA (Lopez-Rivero et al. 1991). Chez les poneys ayant eu un entraînement de 3 mois à leur vitesse seuil VLa4 (vitesse induisant une lactatémie de 4 mmol/l), il existe une corrélation positive entre la composition

Figure 1

VARIATION DE LA TYPOLOGIE SELON LA RACE

Muscle Gluteus medius



en fibres lentes I et la vitesse au seuil anaérobie (Valette et al 1990). D'après ces résultats, l'adaptation musculaire à l'effort d'endurance dépendrait de la composition en fibres aérobies de type I et IIA.

3 - LA QUALITE CONTRACTILE DU TISSU MUSCULAIRE EST-ELLE HEREDITAIRE ?

Comme toutes les protéines, la myosine est synthétisée d'après l'information génétique apportée par les ARN messagers, eux-mêmes provenant de la transcription de l'ADN nucléaire. La séquence des acides aminés de la myosine est donc parfaitement déterminée par le code génétique et les gènes codant pour les chaînes de la myosine et l'actine sont identifiés chez la souris et l'homme (Buckingham 1989 & 1992). Le déterminisme de la typologie musculaire comporte donc inévitablement une composante génétique, mais l'expression des gènes est soumise à une régulation complexe qui intègre de multiples facteurs endogènes et exogènes tels que l'innervation, le sexe, l'âge et l'état d'entraînement.

Chez l'homme, plusieurs études sur des jumeaux ont permis de montrer une plus grande ressemblance de la typologie musculaire entre des vrais jumeaux (homozygotes) qu'entre faux jumeaux (hétérozygotes) ou frères et soeurs (Komi et al. 1977 & 1973, Prudhomme et al. 1984 ; Simoneau et al. 1986). Les facteurs génétiques ont surtout une influence sur la proportion de fibres lentes/rapides alors que la proportion de fibres rapides IIA/IIB est davantage soumise à des facteurs non génétiques tels que l'âge, le sexe et l'entraînement.

Chez le cheval, aucune étude sur l'influence du génotype n'est encore disponible du fait de la lourdeur des analyses histologiques à mettre en oeuvre pour une étude de génétique quantitative. Par contre, l'influence de la race sur la typologie moyenne de certains muscles locomoteurs a été démontrée à plusieurs reprises (Figure 1) (Snow et Guy 1980). Pour un muscle locomoteur majeur comme le fessier moyen, les races de course telles que le Pur sang sont mieux dotées en fibres rapides. A l'inverse, les races plus rustiques possèdent plus de fibres lentes, moins puissantes mais aussi moins fatigables. Une étude portant sur la typologie des muscles semi-tendineux, pectoral transverse et diaphragme de chevaux appartenant à trois groupes génétiques montre des différences significatives entre groupes pour les deux muscles locomoteurs. La proportion de fibres rapides décroît des chevaux Pur sang au groupe des races rustiques, les croisés de Pur sang se situant entre les deux (Gunn 1978). Par ailleurs, l'étude du nombre total de fibres d'une section transversale du semi-tendineux dans ces mêmes groupes montre que les Pur sang ont davantage de fibres, ce qui va dans le sens d'une plus grande puissance musculaire (Gunn 1979).

Pour l'instant, il n'existe pas d'estimation de l'héritabilité chez le cheval, mais quelques valeurs sont proposées dans d'autres espèces de mammifères dont les processus de myogénèse et de régulation sont très proches (Barrey 1994). Chez l'athlète humain, la proportion en fibres lentes du muscle vaste latéral a une héritabilité de 30 à 55% (Lortie et al. 1984). Chez le mouton, l'héritabilité de la proportion en fibres lentes du muscle scuto-auriculaire serait de 27 à 46% (Vigneron et al. 1986), tandis que chez les bovins elle serait de 24% pour le muscle long dorsal (Andersen et al. 1977).

L'estimation de l'héritabilité de la proportion en fibres lentes de plusieurs muscles chez le cheval est en cours. Il s'agit d'un énorme travail de prélèvement et d'analyse qui porte sur près

de 200 animaux apparentés. Une expérimentation préliminaire avait déjà mis en évidence des effets significatifs de l'origine parentale sur la typologie en fibre lente du fessier moyen.

CONCLUSION

Pourra-t-on utiliser la typologie musculaire pour la sélection ?

Pour envisager une telle application chez le cheval, il faudrait d'une part, démontrer que certaines typologies musculaires sont favorables à la performance sportive dans les disciplines des courses (Galop, Trot et Endurance) et du saut d'obstacles et, d'autre part, estimer l'héritabilité de la typologie des principaux muscles impliqués dans ces disciplines.

Chez l'athlète humain, la typologie musculaire a sans aucun doute des rapports étroits avec la performance sportive dans les disciplines où la composante physique est dominante (sprint, demi-fond, marathon, saut, ski de fond). Dans le cas du cheval, cela reste encore à démontrer mais l'existence de races spécialisées pour la course, bien dotées en fibres rapides, apporte déjà un élément de réponse.

La connaissance des principaux facteurs de variation de la typologie musculaire chez le cheval montre l'importance de l'âge et de l'entraînement, mais aussi de la génétique. Les effets de la race du cheval et les héritabilités, moyennes à fortes, obtenues chez les autres espèces de mammifères sont des arguments en faveur d'une influence significative de l'origine génétique sur la composition en fibres rapides et lentes des muscles locomoteurs chez le cheval.

Avec le développement de la nouvelle technique ELISA de dosage des chaînes lourdes de la myosine, il est maintenant possible d'envisager des études sur des effectifs importants que ne permettaient plus les techniques antérieures d'histoenzymologie. Pour l'instant, seules des équipes françaises disposent de cette technique de dosage. Sa mise en oeuvre à grande échelle permettrait de prendre de l'avance pour les applications à la sélection précoce des chevaux de course qui ont un bon potentiel musculaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Andersen, B.B., Lykke, T., Kousgaard, K., Buchter, L., Wismer Pedersen J. (1977). Growth, feed utilization, carcass quality and meat quality in danish dual-purpose cattle. Beretning fra Statens Husdyrbrugs forsog 453, 60-68.

Barrey E. (1994). Typologie musculaire et aptitude à l'exercice physique chez le cheval, Productions Animales - INRA (soumis).

Barrey E. (1993). Typologie musculaire et aptitude à l'exercice physique chez le cheval, Equathlon vol.5, n° 18, juin 3-11.

Barrey, E., Valette, J.P., Picard, B., Geay, Y., Robelin, J. (1994). Determination of the slow myosin heavy chain content in equine gluteus medius by an ELISA method. (submitted).

Bergh, U. (1978). Maximal oxygen uptake and muscle fiber types in trained and untrained humans. Med. Sci. Sports 10,151.

- Buckingham, M.E. (1989). The control of muscle gene expression : A review of molecular studies on the production and processing of primary transcripts. *British Medical Bulletin* 45 (3), 608-629.
- Buckingham, M.E. (1992). Making muscles in mammals. *Trends in Genetics* 8(4),144-149.
- Gunn, H.M. (1978). Differences in the histochemical properties of skeletal muscles of different breeds of horses and dogs. *J.Anat.* 127 : 615-634.
- Gunn, H.M. (1979). Total fibre number in cross sections of semitendinosus in athletic and non-athletic horses and dogs. *J. Anat.* 128, 821-828.
- Komi P.V., Klissouras V., Karvinen E. (1973). Genetic variation in neuromuscular performance, *Int. Z. angew. Physiol.* 31, 289-304.
- Lindholm, A., Piehl, K. (1974). Fibre composition, enzyme activity and concentrations of metabolites and electrolytes in muscles of Standardbred horses. *Acta Vet. Scand.* 15 : 287-309.
- Lopez-Rivero, J.L., Morales-Lopez, J.L., Galisteo, A.M., Aguera, E. (1991). *Equine Vet. J.* 23 : 91-93.
- Lortie, G., Simoneau, J.A., Boulay, M.R., Bouchard, C. (1984). Muscle fiber type composition and enzyme activities in brothers and monozygotic twins. in Malina R.M. and Bouchard C. (Eds) *Sport and Human Genetics, Olympic Scientific Congress Proceedings vol 4*, Human Kinetics Publishers, Champaign, IL, pp 147-153.
- McMiken, D. (1986). Muscle fiber types and horse performance. *Equine practice* 8(3),
- Prud'homme D., Bouchard C., Leblanc C., Landry F., Fontaine E. (1984). Sensitivity of maximal aerobic power to training is genotype-dependent, *Med. Sci. Sports Exerc.* 16(5), 489-493.
- Saltin, B., Henriksson, J., Nygaard, E., Andersen, P., Jansson, J. (1977). Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 301, 3-29.
- Simoneau J.A., Lortie G., Boulay M.R., Marcotte M., Thibault M.C., Bouchard C. (1986). Inheritance of human skeletal muscle and anaerobic capacity adaptation to high-intensity intermittent training, *Int. J. Sports Med.* 7(3),167-171.
- Snow, D.H., Guy, P.S. (1980). Muscle fibre type composition of a number of limb muscles in different types of horse. *Res.Vet.Sci.* 28 : 137-144.
- Thorstensson, A., Grimby, G., Karlsson, J. (1976). Force-velocity and fiber composition in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.* 40,12-16.

Valberg, S., Essen-Gustavsson, B., Lindholm, A., Persson, S. (1985). Energy metabolism in relation to skeletal muscle fibre properties during treadmill exercise. *Equine Vet. J.* 17, 439-444.

Valette, J.P., Wolter, R., Zouambi, B. (1990). Relations entre le type histoenzymologique des fibres musculaires et les critères physiologiques de l'aptitude sportive chez le poney. *Rec. Méd. Vét;* 166 : 765-769.

Valette, J.P., Barrey, E., Jouglin, M. (1994). Determination of slow myosin heavy chain content in various equine muscles by an ELISA method. *Proc. Int. Conf. Equine Exerc. Physiol.* 4, 11-15th july, Brisbane, Australia.

Vignerot, P., Prud'Hon, M., Touraille, C., Valin, C., Bouix, J., Bibe, B. (1986). Croissance des agneaux - types de fibres musculaires et qualité de la viande. muscles indicateurs. *Journées de Recherche Ovins Caprins* 1986.