

40^{ème} Journée de la Recherche Équine
Mardi 18 mars 2014

La morphologie du cheval d'endurance explique une faible part de la performance en course

Par

P. Tribout¹, C. Robert^{1,2}, J. Riviere², C. Desjardins², X. Mata², C. Blouin², A. Ricard², E. Barrey^{2,3}

¹ Université de Paris-Est, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 7 av. du Gal de Gaulle, 94704 Maisons-Alfort

² GABI UMR 1313, INRA, Domaine de Vilvert, 78350 Jouy en Josas

³ Université d'Evry, UBIAE, Inserm 902, Bat Mauperthuis, 91025 Evry Cedex

Résumé

Les critères utilisés pour la sélection des jeunes chevaux sont le pedigree, la conformation et la qualité des allures. La présente étude porte sur la mesure de la conformation de chevaux d'origine arabe participant à des courses d'endurance de 90 km ou plus et la détermination des corrélations entre les mesures corporelles et la performance. Dans le cadre du programme GenEndurance, 367 chevaux ont fait l'objet des mesures suivantes : hauteur au garrot (HG), longueur corporelle (LC), épaisseur du pli de peau (PC) et poids. La longueur des segments corporels et les angles articulaires ont été mesurés sur des photos numériques à l'aide du logiciel Equimétrie[®]. Les corrélations entre conformation et performance ont été déterminées en utilisant les indices de performances endurance.

Cette étude a permis de caractériser la morphologie du cheval d'endurance de haut niveau. Un indice distance plus élevé est associé à une LC plus grande, un PC moins épais et un angle du grasset plus fermé. Un indice vitesse élevé est associé à un fémur plus horizontal. Cette étude constitue une première étape dans la détermination des critères associés à la performance chez le cheval d'endurance.

Mots clés : morphométrie, morphologie, conformation, poids, endurance, performance, pur sang arabe.

Summary

Selection of young horses is based on the pedigree, conformation and gait analysis. The objective of this study was to measure the conformation of horses from Arabian origin involved in 90 km or more endurance races in order to determine correlations between body measurements and performance. As part of the GenEndurance project, 367 horses were evaluated for several body measurements including withers height (WH), length of the body (BL), thickness of the skin fold (SF) and weight. Skeletal conformation measurements were also made by photographic analysis using the Equimétrie[®] software. Correlations between measurements and performance were determined using the "performance index".

This study allowed developing a database on the morphology of high level endurance horses. A highest distance index was associated with a higher BL, a thinner SF and a smaller stifle angle. A highest speed index was associated with a more horizontal femur. This study is a first step in the determination of performance associated criteria in endurance horses.

Key-words: morphometry, morphology, conformation, weight, surface, endurance, performance, arabian horse.



Introduction

L'endurance est une discipline équestre en pleine expansion dans laquelle la France est un pays leader aussi bien en élevage que sur le plan sportif. L'intérêt des professionnels de la filière est de déterminer le plus tôt possible le potentiel de chaque cheval afin d'orienter au mieux sa carrière et d'ajuster ses investissements sur chaque individu. Cependant, les critères précoces pour caractériser l'aptitude d'un cheval à l'endurance ne sont pas clairement établis. La sélection des jeunes chevaux repose sur le pedigree ainsi que sur la conformation et les allures. L'évaluation de ces deux derniers critères se fait traditionnellement de manière subjective notamment lors de concours de « modèles et allures ». En l'absence de données objectives sur la conformation optimale du cheval d'endurance, les jugements établis lors de ces concours reposent principalement sur l'expérience individuelle des évaluateurs.

Cette étude a pour objectif de caractériser la morphologie du cheval d'endurance de haut niveau et de déterminer les critères morphologiques réellement associés à la performance ou la contre-performance. Le but est de proposer aux éleveurs et aux associations de race des critères objectifs et pertinents pour évaluer les jeunes chevaux destinés à l'endurance et contribuer à améliorer les méthodes de pointage en épreuves d'élevage.

1 Matériels et méthodes

1.1 Chevaux et mesures

Dans le cadre du projet GenEndurance (<http://genendurance.over-blog.com/>), 367 chevaux d'endurance âgés de 7 ans ou plus, ayant au moins un ascendant direct (père et/ou mère) de race arabe, et qualifiés sur des courses de 90 kilomètres minimum, ont été recrutés sur la base du volontariat entre avril et novembre 2011. Les mesures ont été réalisées la veille de la course sur 7 concours ainsi que dans plusieurs écuries (tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques des concours où ont été recrutés les chevaux
Table 1: Information on competitions where horses were measured

Lieu	Dates	Niveau des épreuves (distance en km)	Nombre de chevaux mesurés
Fontainebleau	01/04/11	90 et 130km	44
Sommant	6 et 7/05/11	90 à 160 km	38
Castelsagrat	19 au 21/05/11	90 à 160 km	55
Compiègne	27 et 28/05/11	100 à 130 km	50
Corlay	10 et 11/06/11	100 à 160km	45
Compiègne	18 et 19/08/11	125 à 160 km	24
Monpazier	1 et 2/09/11	90 à 160 km	59
Ecuries	26/07 au 16/11/11		52
TOTAL		90 à 160 km	367

Les chevaux ont fait l'objet des mesures directes suivantes : hauteur au garrot (HG), périmètre thoracique en fin d'expiration (PT), longueur corporelle entre la pointe de l'épaule et la pointe de la fesse (LC) et épaisseur du pli cutané en arrière de l'épaule (PC) (figure 1).

Une note d'état corporel leur a été attribuée sur une échelle de 0 à 5 selon le système de notation de l'INRA (Guérin et al. 2011). Lorsque le terrain le permettait, les chevaux ont été pesés à l'aide d'une balance.

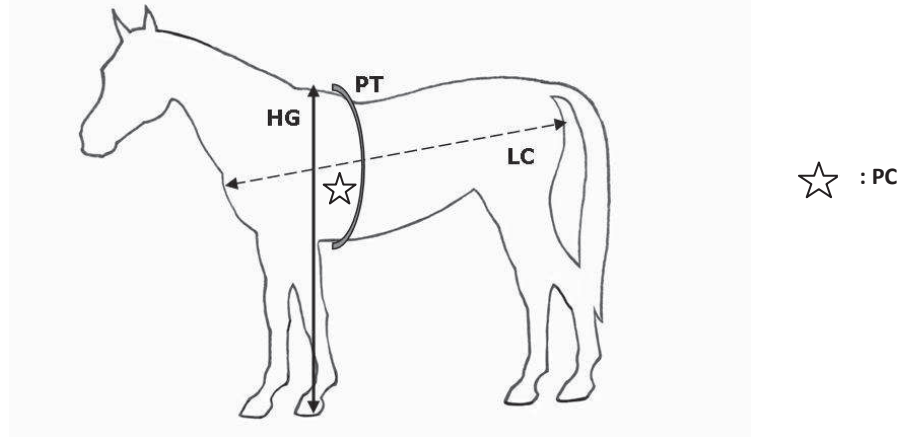
Les chevaux ont également été photographiés de profil à l'arrêt. Pour cela, 6 points anatomiques peu visibles - le sommet de l'épaule, la pointe de l'épaule, le coude, la pointe de la hanche, la convexité du grand trochanter (= sommet du fémur en regard de l'articulation de la hanche) et le grasset - sont repérés sur le cheval par palpation puis marqués à l'aide de gommettes. Le cheval est ensuite photographié au placer de profil avec les canons verticaux et les sabots dessinant un rectangle au sol. De retour au laboratoire, les repères anatomiques sont pointés dans un ordre précis à l'aide du logiciel Equimétrie[®] (Barrey 2000). Les valeurs d'angles articulaires et de longueurs des rayons osseux (tableau 3) sont calculées à l'aide du même logiciel.

La robe des chevaux a été déterminée sur les photographies en suivant la nouvelle nomenclature des robes selon l'arrêté du 1/12/1999 (IFCE 2012).



Figure I : Description des principales mesures effectuées - HG hauteur au garrot, PT périmètre thoracique, LC longueur pointe de l'épaule - pointe de la fesse ; l'étoile indique l'emplacement où est mesuré le pli cutané

Figure I: Description of the main measurements - HG wither height, PT girth, LC length of the body; the star indicates the place where the skin thickness is measured



1.2 Traitement des données et analyse des résultats

La surface corporelle (S) des chevaux a été calculée à l'aide de 5 méthodes mathématiques et/ou graphiques différentes :

- Une méthode géométrique simple considérant l'encolure du cheval comme un cône et le tronc comme un cylindre : la surface $S_{\text{géo}}$ a ainsi été calculée à partir des mesures morphométriques.
- Une méthode photographique mesurant la surface S_{photo} du cheval sans les membres à l'aide du logiciel IMAGE J® directement sur la photographie numérique de chaque cheval.
- La formule de HODGSON : $S_{\text{hodgson}} = 1,09 + 0,008 \times P$ où P est le poids en kg. S_{hodgson} s'estime en mètre carré.
- La formule de BRODY : $S_{\text{brody}} = 0,1 \times P^{0,64}$ où P est le poids en gramme. La surface S_{brody} est en centimètre carré (Brody 1945).
- La formule de SNEDDON *et coll.* : $S_{\text{sneddon}} = (\text{Surface de l'épaule} \times 2) \times 100 / 10$ où la surface de l'épaule est mesurée sur les photographies à l'aide du logiciel IMAGE J® (Sneddon *et coll.* 2004).

Les deux premières méthodes ne prennent pas en compte la surface des membres du cheval mais on suppose que ces régions interviennent peu dans les mécanismes de thermorégulation.

Des indices corporels ont également été calculés selon les formules ci-dessous (tableau 2).

Tableau 2 : Formules utilisées pour calculer les différents indices corporels
Table 2: Formula used to calculate body indices (HG wither height, PT girth, LC length of the body)

Indice	Formule	Unité
Indice corporel relatif	$IC_{\text{relatif}} = PT/LC$	—
Indice corporel de profil	$IC_{\text{profil}} = HG/LC$	—
Indice corporel de compacité	$IC_{\text{compacité}} = HG/Poids$	cm/kg
Indice surfacique	$IS = Poids/S$	Kg/m ²

(HG hauteur au garrot, PT périmètre thoracique, LC longueur pointe de l'épaule - pointe de la fesse)

La performance en compétition d'endurance a été évaluée à partir des indices de performances endurance élaborés par l'INRA (Danvy et Depuille 2013). Un indice vitesse, un indice classement et un indice distance sont d'abord calculés, puis un indice final où l'indice distance intervient pour 40% et les indices vitesse et classement chacun pour 30% de l'indice final. L'indice distance est donc celui qui intervient le plus dans la valeur de l'indice final. Des corrections sont effectuées pour prendre en compte les effets sexe, race et âge. Les corrélations entre les indices de performance et les mensurations ont été calculées par régression linéaire.



L'ensemble des données pour chaque cheval a été enregistré dans un tableur Excel. Les données qualitatives ont été analysées à l'aide d'analyses de variance et les données quantitatives à l'aide d'analyses de corrélations grâce au logiciel statistique NCSS 2007®.

2 Résultats

2.1 Population de l'étude

La population de l'étude se distribue en 249 chevaux de race arabe pure (dont 10 Shagya), 32 anglo-arabes et 65 demi-sang arabes. Les chevaux d'autres races (selle français, origine non constatée, origine inconnue, origine étrangère, poney français de selle, arabe-barbe, cheval de selle) représentent 13% de l'effectif.

Les sujets étudiés se répartissent en 171 femelles (47%), 159 hongres (43%) et 37 mâles entiers (10%).

Leur âge varie de 7 à 24 ans avec 133 chevaux de 7 et 8 ans, 135 chevaux de 9 à 11 ans et 99 chevaux de 12 ans ou plus. La moyenne d'âge est de 10 ans (écart type 2,9 ans).

La couleur de la robe au moment des mesures a pu être déterminée pour 312 chevaux. Parmi eux, on compte 151 gris, 85 alezans, 67 bais, 7 noirs, 1 isabelle et 1 aubère. Les gris représentent 48% de l'effectif. Parmi les 85 alezans, 6 sont alezan mélangé ou fortement mélangé. Parmi les bais, 13 sont bai mélangé. La moitié des chevaux de l'étude sont donc gris.

2.2 Caractéristiques morphologiques des chevaux de l'étude

Cette étude a permis de construire une base de données sur la morphologie actuelle du cheval d'endurance de haut niveau et d'établir une équation d'évaluation du poids adaptée au cheval d'endurance à partir de la mesure de LC, PT, HG et PC.

Les caractéristiques morphologiques mesurées sur le terrain sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques obtenues par mesures directes
Table 3: Morphological characteristics obtained by direct measurements

	Min	Max	Moyenne	Ecart type	Nombre de sujets
Hauteur au garrot (cm)	140	167	153,5	4,09	363
Périmètre thoracique (cm)	155	197	175,4	6,44	361
Longueur corporelle (cm)	133	174	154,3	7,44	363
Pli cutané (mm)	11	60	33,0	10,91	323
Note d'Etat Corporel (sur 5)	1,75	4,5	2,95	0,9	330
Poids (kg)	328	552	441,2	41,1	126

Les mesures photométriques ont pu être réalisées sur 261 chevaux et leurs valeurs sont présentées dans le tableau 4. Les longueurs sont indiquées en mètre et les angles en degrés.

Les résultats des estimations de la surface corporelle sont présentés dans le tableau 5 et les valeurs des indices corporels dans le tableau 6.



Tableau 4 : Caractéristiques photométriques établies sur 261 chevaux d'endurance mesurés en 2011.
Les longueurs sont exprimées en m et les angles en degrés.

*Table 4: Photometric data established on 261 endurance horses measured in 2011.
Lengths are expressed in meters and angles in degrees.*

Variables	Min	Max	Moyenne	écart-type
TAILLE				
Taille au sommet de la croupe	1,38	1,66	1,53	0,052
Vide sous-sternal	0,73	0,93	0,81	0,03
Hauteur de la poitrine	0,65	0,81	0,73	0,028
LIGNE DU DESSUS				
Longueur atlas-naseau	0,38	0,57	0,47	0,032
Longueur atlas-garrot	0,53	0,89	0,7	0,061
Longueur épaule-hanche	1,22	1,54	1,37	0,058
Longueur base de l'encolure-pointe de la fesse	1,37	1,69	1,54	0,054
Inclinaison épaule-pointe de la hanche/horizontale	-10	2	-4,37	2,01
Inclinaison coude-grasset/horizontale	-11	2	-4,79	1,92
DOS				
Longueur garrot-creux du dos	0,24	0,45	0,34	0,039
Longueur creux du dos-sommet croupe	0,38	0,62	0,51	0,046
Angle garrot-creux du dos-sommet de la croupe	146	162	153,95	2,87
Hauteur du garrot/creux du dos	0,07	0,15	0,11	0,016
Inclinaison creux du dos-garrot/horizontale	9	24	17,73	2,62
POSTERIEURS				
Segments				
Longueur pointe de la hanche-hanche	0,28	0,44	0,36	0,029
Longueur sommet de la croupe-hanche	0,25	0,39	0,31	0,028
Longueur du fémur	0,33	0,49	0,41	0,029
Longueur du tibia	0,4	0,6	0,49	0,038
Longueur du canon postérieur	0,29	0,45	0,36	0,023
Longueur boulet-pince postérieure	0,15	0,27	0,22	0,02
Angles et inclinaisons				
Inclinaison du bassin/horizontale	4	34	17,85	4,81
Inclinaison du fémur/horizontale	49	76	60,49	4,87
Angle bassin/fémur	58	101	78,3	6,2
Angle du grasset	100	145	119,77	6,95
Angle du jarret	133	168	151,84	4,31
ANTERIEURS				
Segments				
Longueur de l'épaule	0,4	0,56	0,48	0,03
Longueur de l'avant-bras	0,22	0,37	0,3	0,024
Longueur du bras	0,32	0,46	0,38	0,024
Longueur du canon antérieur	0,26	0,35	0,31	0,019
Longueur boulet-pince antérieure	0,17	0,28	0,22	0,017
Angles et inclinaisons				
Inclinaison de l'épaule	49	70	59,62	3,83
Inclinaison de l'humérus	31	59	43,76	4,76
Angle de l'épaule	90	121	103,35	4,99
Angle du coude	121	156	137,15	6,18
Angle du genou (carpe)	174	186	179,29	1,74



Tableau 5 : Valeurs de surface corporelle calculées sur des chevaux d'endurance mesurés sur des courses en 2011.

Table 5: Values of body surface area calculated on endurance horses measured during competitions in 2011.

Méthode d'estimation de la surface corporelle	Min (m ²)	Max (m ²)	Moyenne (m ²)	Ecart type (m ²)	Nombre de sujets
S _{géo}	2,6	3,7	3,1	0,2	258
S _{photo}	1,9	3,0	2,3	0,2	278
S _{hodgson}	3,7	5,5	4,4	0,33	126
S _{brody}	4,1	5,7	4,7	0,3	126
S _{sneddon}	4,1	7,1	5	0,43	278

Tableau 6 : Indices corporels et surfaciques calculés pour des chevaux d'endurance mesurés sur des courses en 2011.

Table 6: Body and surface indices calculated on endurance horses measured during competitions in 2011.

Indice	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne	Ecart type	Nombre de sujets
IC _{relatif} (PT/LC)	0,92	1,34	1,14	0,055	361
IC _{profil} (HG/LC)	0,87	1,12	0,99	0,044	360
IC _{compacité} (HG/P)	2,2	3,5	2,67	0,23	126
ICS _{geo}	109,25	162,31	128,98	8,65	108
ICS _{photo}	117,55	217,77	174,69	14,53	117
ICS _{hodgson}	88,31	100,25	93,72	2,29	126
ICS _{brody}	80,48	97,07	87,21	3,1	126
ICS _{sneddon}	50,88	104,84	82,37	8,40	117

Au bilan, avec un IC_{relatif} et un IC_{profil} proches de 1, le cheval d'endurance apparaît comme un cheval médioligne (c'est-à-dire harmonieux, aussi long que haut) donc le corps s'inscrit dans un carré. Comparé au cheval de saut d'obstacle (Selle Français), le cheval d'endurance est plus petit mais avec une encolure proportionnellement plus longue. Son épaule (scapula) est plus horizontale, sa cuisse (fémur) plus longue et horizontale, et l'angle du jarret est plus petit (plus fermé).

2.3 Etude analytique : relations entre les différents paramètres et la performance

La performance a été évaluée pour 273 chevaux de l'étude pour lesquels des indices de carrière sur la période 2002-2011 étaient disponibles.

Les indices de performance moyens des chevaux de l'étude sont discrètement au-dessus de ceux de l'ensemble de la population de chevaux d'endurance indicés malgré une grande dispersion autour de la moyenne des différents indices au regard des écarts type importants (tableau 7).

Tableau 7 : Valeurs des indices de performance des 273 chevaux indicés de l'étude

Table 7: Values of the performance indices for the 273 indexed horses

	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne	Ecart-type
IND_FINAL	57	158	107,45	17,59
IND_VIT	16	198	103,44	33,4
IND_CLAS	21	209	112,87	29,4
IND_DIST	87	148	106,37	11,11



Sur les nombreux paramètres mesurés, très peu sont significativement liés à la performance. Seuls quelques critères sont significativement associés à une augmentation ou une diminution d'un des indices de performance :

- Plus la longueur corporelle augmente, plus l'indice distance est élevé ($r=0,13$ et $p=0,035$).
- Plus le pli cutané est épais plus l'indice distance est faible ($r=-0,15$ et $p=0,032$).
- Plus l'angle du grasset est ouvert, plus l'indice distance est faible ($r=-0,14$ et $p<0,04$).
- Plus le fémur est vertical, plus l'indice vitesse est faible ($r=-0,14$ et $p=0,05$).
- Plus l'indice corporel de profil est grand, plus l'indice distance augmente ($r=0,11$ et $p=0,059$).

Aucune des 5 méthodes d'évaluation utilisées n'a permis d'établir de relation entre la surface corporelle et la performance en endurance.

2.4 Modèle d'estimation du poids du cheval d'endurance

La compilation des mensurations et des données morphométriques avec une méthode de régression linéaire permet de proposer des formules d'évaluation du poids adaptées au cheval d'endurance :

$$\text{Poids}_{\text{PT-HG-LC}} (\text{kg}) = -716 + (1,53 \cdot \text{HG}) + (3,28 \cdot \text{PT}) + (2,03 \cdot \text{LC}) \text{ avec } r^2 = 0,69$$

$$\text{Poids}_{\text{PT-HG-LC-PC}} (\text{kg}) = -764,54 + (1,15 \cdot \text{HG}) + (4,42 \cdot \text{PT}) + (1,67 \cdot \text{LC}) + (-1,03 \cdot \text{PC}) \text{ avec } r^2 = 0,84$$

La deuxième formule apparaît plus précise ; cependant, l'évaluation du pli cutané est très variable d'un opérateur à l'autre et d'une mesure à l'autre. Cette variabilité rend la deuxième formule moins pratique d'utilisation.

3 Discussion et conclusion

3.1 Protocole

Cette étude est la première à s'intéresser à la morphologie du cheval d'endurance performant actuellement en France sur des épreuves à vitesse libre de 90 à 160 km. Elle repose sur un effectif de chevaux conséquent et homogène par le niveau et les circonstances de mesure. Elle permet ainsi de décrire de manière objective la morphologie du cheval d'endurance pour lequel très peu de données étaient disponibles et de tracer le profil moyen du cheval d'endurance adulte de haut niveau.

L'originalité de ce travail réside également dans l'utilisation des indices de performance établis par l'INRA et l'IFCE. Les indices de performance reflètent la carrière du cheval en prenant en compte l'ensemble de ses résultats en course d'endurance depuis ses premières sorties. Des corrections sont apportées pour intégrer l'effet de l'âge et du sexe afin de rendre tous les chevaux comparables (Ricard et Touvais 2005). La performance est ainsi représentée par plusieurs valeurs quantitatives ce qui facilite les analyses statistiques. Ces indices comportent néanmoins quelques limites à considérer : ils ne concernent que les chevaux français et ne prennent en compte que les concours ayant lieu en France ; les chevaux ayant couru avant 2002 ne sont pas indicés. C'est pourquoi une partie des chevaux mesurés n'avaient pas d'indices et n'ont pas pu être intégrés à l'étude de corrélation morphologie/performance.

La méthode morphométrique utilisée dans cette étude est une méthode en 2 dimensions. Elle présente l'avantage d'être facile et rapide à mettre en œuvre sur le terrain, peu coûteuse ; contrairement aux méthodes en 3 dimensions, elle demande peu de temps de traitement des données pour l'obtention des mesures (van Weeren et Crevier 2006). Cependant, c'est une méthode manuelle : le placement des gommettes sur les reliefs proximaux des membres, le positionnement du cheval au moment de la prise du cliché photographique et le pointage des reliefs sur les images sont autant de sources d'erreurs possibles qui réduisent la précision des résultats obtenus. Toutes les longueurs sont rapportées à la mesure de la hauteur au garrot qui est elle-même sujette à erreur (Lamas et coll. 2007). Cette méthode ne permet pas d'obtenir des différences significatives pour les mesures pour lesquelles la variabilité interindividuelle est faible comparée à la précision de la méthode de mesure (erreurs relatives de l'ordre de 2,5% pour les longueurs et de 4% pour les angles).

Cette méthode en 2 dimensions ne permet pas d'évaluer les volumes. Les chevaux n'ayant été photographiés que de profil, aucune information sur leur largeur et leur épaisseur n'est disponible. De même, les défauts d'aplomb dans le plan frontal (varus-valgus, panard-cagneux) n'ont pas pu être évalués.



3.2 Résultats

Les corrélations entre les paramètres mesurés et la performance sont peu nombreuses et assez faibles. Néanmoins, les tendances observées s'expliquent sur le plan biomécanique et vont dans le sens de ce qui est recherché en endurance (Collectif 2013).

Avec l'augmentation des vitesses en endurance, l'allure de course est maintenant le galop et les critères favorisant l'efficacité du galop interviennent probablement dans la performance. Une encolure longue est recherchée chez les galopeurs ; elle les aide à s'équilibrer autour de leur centre de gravité en course (Collectif 2013). Une épaule longue, musclée et inclinée vers l'avant permet au cheval d'aller chercher le terrain loin en avant. Un fémur long permet un ramener du membre postérieur plus en avant sous le corps pour trouver un point d'appui au galop avant de pousser vers l'arrière. C'est ce qui donne l'amplitude de foulée. Tous ces critères qui contribuent à une allure plus efficace et économique sont retrouvés chez le cheval d'endurance quand on compare sa morphologie à celle du cheval de saut d'obstacle.

Un corps plus long est associé à un indice distance plus élevé. Sur le même effectif, nous avons déjà montré que les chevaux avec une LC plus élevée étaient qualifiés sur des épreuves de plus longue distance (Robert et coll. 2012). Une précédente étude sur un autre effectif rapporte aussi que les chevaux les mieux classés sur des courses d'endurance de 120 à 160 km ont une LC plus élevée (Ménager 2010). Cette relation entre la LC et la distance parcourue peut s'expliquer par le fait qu'un cheval plus long a une amplitude de foulées plus élevée ; il doit donc effectuer moins de foulées pour parcourir la même distance ce qui serait plus économique et permettrait de courir plus longtemps. Ceci reste à démontrer à l'aide des enregistrements d'allures effectués sur les mêmes chevaux.

Un angle du grasset ouvert est associé à un indice distance plus faible et un fémur trop vertical à un indice vitesse plus faible. En effet, un angle du grasset fermé assurerait une meilleure détente et une propulsion plus efficace (Collectif 2013).

Certains critères significatifs peuvent aussi intervenir favorablement dans les mécanismes de thermorégulation. En effet, le cheval d'endurance doit évacuer la chaleur produite par l'effort physique. Plusieurs études rapportent ainsi la relation entre l'état corporel et la performance en course (Garlinghouse et Burrill 1999, Kearns et coll. 2002, Ménager 2010). Ainsi, les relations observées entre LC, NEC et PC et performance apparaissent pertinentes. Plus la longueur du tronc augmente, plus la surface corporelle augmente ce qui pourrait faciliter les mécanismes de thermorégulation et aider les chevaux à continuer la course dans de bonnes conditions métaboliques. L'épaisseur du pli cutané reflète à la fois la finesse des tissus et la quantité de tissu adipeux sous-cutané. Une augmentation du pli cutané traduit un excédent de masse grasseuse ou une peau épaisse, caractéristiques toutes deux néfastes à l'évacuation de la chaleur par la peau.

Conclusion

En conclusion, cette étude constitue une base de données fiable pour caractériser la morphologie du cheval d'endurance actuel. Les critères morphologiques associés à la performance en endurance sont peu nombreux et les corrélations avec la performance sont assez faibles. Néanmoins, les quelques critères significatifs apparaissent pertinents sur le plan de la thermorégulation et de la biomécanique. Par ailleurs, ils sont cohérents avec les qualités actuellement recherchées par les juges de modèles et allures.

La performance est influencée par de nombreux autres facteurs comme l'entraînement, la génétique ou les méthodes d'élevage. Les autres volets du projet GenEndurance, notamment la même étude sur une population plus jeune, l'analyse des allures et le génotypage devraient permettre de mieux en comprendre toutes les composantes.

Remerciements

Le projet GenEndurance est soutenu financièrement par le fonds EPERON, le Conseil Scientifique de l'IFCE, le Ministère de l'Agriculture et l'Association du Cheval Arabe.

Références

Barrey E., Desliens F., Poirel D., Biau S., De Beauregard S., Langlois B. 2000. Mesures du modèle et des allures chez les jeunes chevaux destinés au dressage : comparaison des races françaises, allemandes et espagnoles. *Compte-rendu de la 26^{ème} Journées de la Recherche équine*, Les Haras Nationaux, Paris, France, 1^{er} mars 2000, 89-97.

Brody, S. 1945. Bioenergetics and growth. New York, Reinhold, 1023p.



Collectif, 2013. Le jugement en concours d'élevage Anglo-Arabe, ACA Endurance, Selle Français. Editeurs : Studbook Selle Français, ACA France, ANAA, 126p.

Danvy, S., Depuille, C. 2013. Les indices de performance et génétiques en endurance. en ligne [<http://www.haras-nationaux.fr/information/accueil-equipaedia/genetique/les-indices/les-indices-de-performance-et-genetiques-en-endurance.html>]

Garlinghouse, S.E., Burrill, M.J. 1999. Relationship of body condition score to completion rate during 160 km endurance races. *Equine Veterinary Journal* supplement 30, 591-595.

Guérin, P., Le Verger, M., Mos, J., Arnaud, G., Baudoin, N., Marnay, L. 2011. Estimer l'état corporel. [<http://www.haras-nationaux.fr/information/accueil-equipaedia/alimentation/comprendre-la-nutrition/etat-corporel.html>]

IFCE Collectif, 2012. Identification des équidés, Ed. Institut français du cheval et de l'équitation, Paris, 112p.

Kearns, C.F., McKeever, K.H., Abe, T. 2002. Overview of horse body composition and muscle architecture: implications for performance. *The Veterinary Journal* 164, 224-234.

Lamas, L.P., Giovagnoli, G., Heath, M.F., Jeffcott, L.B. 2007. Some factors affecting the accuracy and variability of measurements of the height of ponies. *The Veterinary Record* 160, 691-694.

Ménager, S. 2010. Méthodes d'évaluation du poids de forme chez le cheval d'endurance. Détermination expérimentale du poids de forme. *Thèse de Doctorat Vétérinaire*, Alfort, 74p.

Ricard, A., Touvais, M. 2005. Des indices pour l'endurance ? *Equ'idée* 53, 42-44.

Robert, C., Schibler, L., Mata, X., Rivière, J., Blouin, C., Ricard, A., Barrey, E. 2012. Mensurations et niveau de qualification des chevaux d'endurance de race Arabe et croisé Arabe inclus dans le projet GenEndurance 2011. *Compte-rendu de la 38^{ème} journée de la Recherche Equine*, Paris, 1^{er} mars 2012, 223-226.

Sneddon, J.C., Walton, R., Bond, A. 2004. A simple field technique for estimation of body surface area in horses and ponies. *Equine and Comparative Exercise Physiology* 1, 51-60.

Tribout, P. 2013. Etude morphométrique du cheval d'endurance de race arabe et croisé arabe en relation avec la performance. *Thèse de Doctorat Vétérinaire*, Alfort, 94p.

Van Weeren, P.R., Crevier-Denoix, N. 2006. Equine conformation: clues to performance and soundness? *Equine Veterinary Journal* 38 (7) 591-596.