

Année 2010

**METHODES D'ÉVALUATION DU POIDS
CHEZ LE CHEVAL D'ENDURANCE.
DETERMINATION EXPERIMENTALE
DU « POIDS DE FORME ».**

THESE

Pour le

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTE DE MEDECINE DE CRETEIL

Le 18 mars 2010

par

Sarah, Anne, Chantal MENAGER

Née le 6 janvier 1982 à Rueil-Malmaison (Hauts-de-Seine)

JURY

Président : M.

Professeur à la Faculté de Médecine de CRETEIL

Membres

Directeur : Dr Céline ROBERT

Maître de Conférences à l'ENVA

Assesseur : Dr Céline MESPOULHES-RIVIERE

Maître de Conférences à l'ENVA

LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT

Directeur : M. le Professeur MIALOT Jean-Paul

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs MORAILLON Robert, PARODI André-Laurent, PILET Charles, TOMA Bernard

Professeurs honoraires : MM. BRUGERE Henri, BUSSIERAS Jean, CERF Olivier, CLERC Bernard, CRÉPEAU François

LE BARS Henri, MOUTHON Gilbert, MILHAUD Guy, ROZIER Jacques,

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PHARMACEUTIQUES (DSBP)

Chef du département : Mme COMBRISON Hélène, Professeur - Adjoint : Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences

- UNITÉ D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES Mme CREVIER-DENOIX Nathalie, Professeur M. DEGUEURCE Christophe, Professeur Mme ROBERT Cécile, Maître de conférences M. CHATEAU Henry, Maître de conférences*	- UNITÉ D'HISTOLOGIE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE M. PONTAINÉ Jean-Jacques, Professeur* Mme BERNEX Florence, Maître de conférences Mme CORDONNIER-LEPORT Nathalie, Maître de conférences M. REYES GOMEZ Edouard, Maître de conférences contractuel
- UNITÉ DE PATHOLOGIE GÉNÉRALE MICROBIOLOGIE, IMMUNOLOGIE Mme QUINTIN-COLONNA Françoise, Professeur* M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur M. FREYBURGER Ludovic, Maître de conférences	- UNITÉ DE VIROLOGIE M. ELOIT Marc, Professeur* Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences
- UNITÉ DE PHYSIOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE Mme COMBRISON Hélène, Professeur* M. TIRET Laurent, Maître de conférences Mme STORCK-PILOT Fanny, Maître de conférences	- UNITÉ DE GÉNÉTIQUE MÉDICALE ET MOLÉCULAIRE M. PANTHIER Jean-Jacques, Professeur Mme ABITBOL Marie, Maître de conférences*
- UNITÉ DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur M. TISSIER Renaud, Maître de conférences* M. PERROT Sébastien, Maître de conférences	- UNITÉ DE BIOCHIMIE M. MICHAUX Jean-Michel, Maître de conférences* M. BELLIER Sylvain, Maître de conférences
- DISCIPLINE : ETHOLOGIE M. DEPUTTE Bertrand, Professeur	- DISCIPLINE : ANGLAIS Mme CONAN Muriel, Professeur certifié
	- DISCIPLINE : ÉDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE M. PHILIPS, Professeur certifié

DEPARTEMENT D'ÉLEVAGE ET DE PATHOLOGIE DES ÉQUIDES ET DES CARNIVORES (DEPEC)

Chef du département : M. POLACK Bruno, Maître de conférences - Adjoint : M. BLOT Stéphane, Professeur

- UNITÉ DE MÉDECINE M. POUCHÉLON Jean-Louis, Professeur* Mme CHETBOLL Valérie, Professeur M. BLOT Stéphane, Professeur M. ROSENBERG Charles, Maître de conférences Mme MAUREY Christelle, Maître de conférences Mme BENCHEKROUN Ghita, Maître de conférences contractuel	- UNITÉ DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE M. FAYOLLE Pascal, Professeur* M. MOISSONNIER Pierre, Professeur M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences M. NIEBAUER Gert, Professeur contractuel Mme VIATEAL-DUVAL Véronique, Maître de conférences Mme RAVARY-PLUMIEN Béatrice, Maître de conférences (rattachée au DPASP) M. ZILBERSTEIN Luca, Maître de conférences M. JARDEL Nicolas, Praticien hospitalier
- UNITÉ DE CLINIQUE ÉQUINE M. DENOIX Jean-Marie, Professeur M. AUDIGIE Fabrice, Professeur* Mme GIRALDET Aude, Praticien hospitalier Mlle CHRISTMANN Lindine, Maître de conférences Mme MESPOULHES-RIVIERE Céline, Maître de conférences contractuel Mme PRADIER Sophie, Maître de conférences contractuel M. CARNICER David, Maître de conférences contractuel	- UNITÉ D'IMAGERIE MÉDICALE Mme BEGON Dominique, Professeur* Mme STAMBOULI Fouzia, Praticien hospitalier
- UNITÉ DE REPRODUCTION ANIMALE Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, Professeur (rattachée au DPASP) M. NIDELMANN Nicolas, Maître de conférences M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences* M. REMY Dominique, Maître de conférences (rattaché au DPASP) M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences Mme CONSTANT Fabienne, Maître de conférences (rattachée au DPASP) Mme DEGUILAUME Laura, Maître de conférences contractuel (rattachée au DPASP)	- DISCIPLINE : OPHTALMOLOGIE Mme CHAHORY Sabine, Maître de conférences
- DISCIPLINE : URGENCE SOINS INTENSIFS Mme Françoise ROUX, Maître de conférences	- UNITÉ DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES M. CHERMETTE René, Professeur* M. POLACK Bruno, Maître de conférences M. GUILLOT Jacques, Professeur Mme MARGNAC Geneviève, Maître de conférences M. HUBERT Blaise, Praticien hospitalier
	- UNITÉ DE MÉDECINE DE L'ÉLEVAGE ET DU SPORT M. GRANDJEAN Dominique, Professeur* Mme YAGUIVAN-COLLARD Laurence, Maître de conférences contractuel
	- DISCIPLINE : NUTRITION-ALIMENTATION M. PARAGON Bernard, Professeur

DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES ET DE LA SANTÉ PUBLIQUE (DPASP)

Chef du département : M. MILLEMANN Yves, Maître de conférences - Adjoint : Mme DUFOUR Barbara, Professeur

- UNITÉ DES MALADIES CONTAGIEUSES M. BENET Jean-Jacques, Professeur* Mme HADDAD/ HOANG-XUAN Nadia, Professeur Mme DUFOUR Barbara, Professeur Mlle PRAUD Anne, Maître de conférences contractuel	- UNITÉ DE ZOOTECHNIE, ÉCONOMIE RURALE M. COURREAU Jean-François, Professeur M. BOSSE Philippe, Professeur Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur Mme LEROY Isabelle, Maître de conférences M. ARNE Pascal, Maître de conférences M. PONTER Andrew, Professeur*
- UNITÉ D'HYGIÈNE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE M. BOLNOT François, Maître de conférences* M. CARLIER Vincent, Professeur Mme COLMIN Catherine, Maître de conférences M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Maître de conférences	- UNITÉ DE PATHOLOGIE MÉDICALE DU BÉTAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR M. MILLEMANN Yves, Maître de conférences* Mme BRUGERE-PICOUX Jeanne, Professeur (rattachée au DSBP) M. ADJOU Karim, Maître de conférences M. TESSIER Philippe, Professeur contractuel M. BELBIS Guillaume, Maître de conférences contractuel
- DISCIPLINE : BIOSTATISTIQUES M. DESQUILBET Loti, Maître de conférences contractuel	

* Responsable de l'Unité

REMERCIEMENTS

Au Professeur de la Faculté de Médecine de Créteil,
Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de Thèse,
Hommage respectueux.

Au Dr Céline Robert,
Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire d'Alfort,
Qui m'a fait l'honneur de diriger ce travail,
Merci pour son aide, sa grande disponibilité, ses conseils avisés et sa patience pendant toute la durée de mon travail.

Au Dr Céline MESPOULHES-RIVIERE,
Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire d'Alfort,
Qui m'a fait le plaisir de faire partie de mon jury de thèse,
Merci pour son dynamisme, sa confiance, et bien sûr pour sa rapidité de correction.

Au Dr Sophie PRADIER,
Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire d'Alfort,
Merci pour son aide très précieuse dans ce travail.

Aux cavaliers et chevaux qui nous ont permis de réaliser cette étude, encore merci.

A mes parents, pour leur amour et leur soutien sans limite et pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.
Je ne vous remercierai jamais assez, je vous aime.

A Arnaud, pour être présent même dans les moments difficiles, ton cœur est en or, j'espère t'avoir toujours à mes côtés. Merci pour ton aide précieuse dans ce travail (sans toi je serai encore en train de chercher cette fameuse équation...)

A Axelle, pour cette année d'internat et pour la suite, pour ton amitié, que de bons moments, profite de la vie tu le mérites vraiment.

A Sophie, pour le plaisir de travailler avec toi, pour ton amitié et pour ta confiance. C'est un vrai bonheur de t'avoir rencontrée.

A Juan, pour ta personnalité, ton humour et pour tout le reste : encore merci !

A Jean-Alexis, pour tes valeurs, tes attentions, pour ce que tu as fait de moi et pour tout ce que l'on partage.

A Julie, pour nos moments privilégiés, nos délires et pour nos discussions interminables !

A Claire, pour ces années passées dans le rire et la bonne humeur, en espérant te voir plus souvent.

Au Dr UDRY ou « Nono la mitaine », pour ta joie de vivre et tes combines toujours plus folles les unes que les autres.

A Mimic, pour les bons moments passés à tes côtés, gardons contact.

A Valou, Wab, aux Kinders Marie et Julie, à Claire G, c'est un réel plaisir de vous connaître !

A mes co-internes chéris, à Elodie et à Poussin, pour cette année fabuleuse, vous me manquez, à bientôt. A toute l'équipe de la clinique équine et du CIRALE.

A Sarah, pour le plaisir de travailler avec toi, tu es formidable, à bientôt notre clinique ! A Luca, pour ta formation, pour ton aide et tes facéties. A Céline pour ta bonne humeur, ton investissement et ton dynamisme. A Aude pour ses fous rires et sa pédagogie ! A Antoine, pour nos rigolades, nos petites soirées et pour ce magnifique bureau. Merci à Fabrice, pour son soutien et pour tout ce qu'il a fait pour la clinique. Merci à Maeva pour sa disponibilité, ses compétences et sa sympathie (CATIKA te remercie aussi !). Et Puis bien sûr merci à Lulu...

A tous mes animaux qui m'ont donné l'envie de faire ce métier, qui ont parfois servi d'animaux de TP et pour tout le bonheur qu'ils m'apportent. (A Prince, Catika, Bibi, Lolo, Organza, Pashmina, Farouk, Baba, Guigui, Rikiki, Libertine, les chats, Kalimero, Biscuit, Chipie, Cocotte, Nénette, les nombreux poissons et oiseaux et à tous ceux à venir...)

TABLE DES MATIERES

TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	3
INTRODUCTION	5
Première Partie : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	7
1. Description de la discipline et rappels physiologiques	9
1.1. Généralités sur les épreuves d'endurance	9
1.1.1. Présentation.....	9
1.1.2. Déroulement de l'épreuve.....	10
1.1.3. Contrôles vétérinaires.....	10
1.1.4. Causes d'élimination.....	11
1.2. Caractéristiques de l'effort d'endurance.....	13
1.2.1. Production d'énergie lors de l'exercice d'endurance.....	13
1.2.2. Consommation d'énergie par le muscle lors de l'exercice d'endurance.....	17
1.2.3. Thermorégulation lors de l'exercice d'endurance	18
1.3. Causes d'élimination lors d'une course d'endurance	22
1.3.1. Troubles locomoteurs	22
1.3.2. Troubles métaboliques	22
2. Méthodes d'évaluation du poids et de l'état corporel du cheval.....	23
2.1. Evaluation du poids vif	23
2.1.1. Utilisation de la balance.....	23
2.1.2. Utilisation d'équations établies à partir de mesures corporelles.....	23
2.1.3. Précision des différentes méthodes d'estimation du poids	28
2.2. Evaluation de l'état corporel	29
2.2.1. Relation entre le poids de dépôts adipeux et la notation de l'état corporel.....	29
2.2.2. Note d'état corporel.....	30
2.2.3. Evaluation échographique.....	38
3. Relation entre état corporel et performance en course d'endurance.....	39
3.1. Etudes à l'étranger	39
3.2. Etudes en France	40
Deuxième Partie : ETUDE EXPERIMENTALE	41
Relations entre les mesures corporelles, le poids, l'état corporel et la performance chez des chevaux d'endurance concourant sur des épreuves de 120 à 160 km. Détermination expérimentale du « poids de forme ».....	43
1. Objectifs de l'étude	43
2. Matériel et méthodes	43
2.1. Population d'étude	43
2.1.1. Etude préliminaire	43
2.1.2. Etude de terrain	43
2.2. Protocole.....	44
2.2.1. Etude préliminaire	44
2.2.2. Etude de terrain	44
2.3. Analyse des données.....	48
2.3.1. Etude préliminaire	48
2.3.2. Etude de terrain	48

3.	Résultats	49
3.1.	Résultats de l'étude préliminaire	49
3.2.	Caractéristiques des courses d'endurance étudiées	49
3.3.	Caractéristiques des chevaux de la population d'étude	51
3.3.1.	Age	51
3.3.2.	Sexe	51
3.3.3.	Race	52
3.3.4.	Mesure du Poids	53
3.4.	Mesures corporelles	54
3.4.1.	Longueur du corps	54
3.4.2.	Hauteur au garrot	54
3.4.3.	Périmètre thoracique	55
3.4.4.	Circonférence du canon	55
3.4.5.	Largeur de la queue	56
3.4.6.	Pli cutané en arrière de l'épaule	56
3.4.7.	Indices Corporels	57
3.5.	Notation de l'état corporel	57
3.6.	Equations d'estimation du poids vif	58
3.6.1.	Détermination d'une équation d'estimation du poids vif pour les Pur-Sang Arabes	58
3.6.2.	Comparaison aux équations préexistantes :	58
3.7.	Relations entre les différents paramètres et la performance	59
3.7.1.	Relation entre les caractéristiques des chevaux et la performance :	59
3.7.2.	Relation entre le poids et la performance	59
3.7.3.	Relations entre les mesures corporelles et la performance	60
3.7.4.	Relations entre l'état corporel et la performance	60
4.	Discussion	64
4.1.	A propos de la population étudiée	64
4.1.1.	Représentativité de l'étude	64
4.1.2.	Caractéristiques des courses étudiées	64
4.1.3.	Caractéristiques de la population étudiée	64
4.2.	A propos des paramètres étudiés	65
4.2.1.	Poids	65
4.2.2.	Mesures corporelles	65
4.2.3.	Notation de l'état corporel	66
4.3.	Biais et Limites de l'étude	66
	CONCLUSION	69
	BIBLIOGRAPHIE	71

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES :

Figure 1 : Les différentes voies métaboliques (ART et al., 2000).....	14
Figure 2 : Participation relative des différentes voies métaboliques selon la discipline du cheval (COUROUCE-MALBLANC, 2007).....	15
Figure 3 : Récapitulatif des mesures corporelles nécessaires aux équations d'estimation du poids (REAVELL, 1999).....	24
Figure 4 : Nomogramme permettant l'estimation du poids vif selon MILNER et HEWITT (1969)	25
Figure 5 : Nomogrammes permettant l'estimation du poids vif selon CARROLL et HUNTINGTON (1988).....	26
Figure 6 : Nomogramme permettant l'estimation du poids vif selon JONES et al. (1989).....	27
Figure 7 : Relation entre la note d'état corporel et les dépôts adipeux sous-cutanés et totaux (ARNAUD et al., 1997)	29
Figure 8 : Récapitulatif des sites anatomiques utilisés pour la notation de l'état corporel (HENNEKE 1985).....	31
Figure 9 : Récapitulatif des mesures corporelles effectuées	47
Figure 10 : Répartition des chevaux en fonction de l'âge.....	51
Figure 11 : Répartition des chevaux en fonction du sexe	52
Figure 12 : Répartition des chevaux en fonction de la race.....	52
Figure 13 : Distribution du poids mesuré à la balance	53
Figure 14 : Distribution du poids estimé par les cavaliers.....	53
Figure 15 : Distribution de la longueur du corps	54
Figure 16 : Distribution de la hauteur au garrot	54
Figure 17 : Distribution du périmètre thoracique.....	55
Figure 18 : Distribution de la circonférence du canon.....	55
Figure 19 : Distribution de la largeur de la queue	56
Figure 20 : Distribution du pli cutané en arrière de l'épaule	56
Figure 21 : Distribution des notes d'état corporel.....	57
Figure 22 : Estimation de l'état corporel par les cavaliers	58
Figure 23 : Pourcentage d'erreur moyen de 5 équations par rapport au poids mesuré	59

PHOTOGRAPHIES :

Photo 1 : Palpation pour l'appréciation manuelle de la note d'état corporel.....	31
Photo 2 : Différents exemples d'état corporel selon le système de notation de HENNEKE (1985)	33
Photo 3 : Différents exemples d'état corporel selon le système de notation de l'INRA (Haras Nationaux).....	37
Photo 4 : Pesée des chevaux.....	45
Photo 5 : Mesure de la longueur du corps (LC).....	45
Photo 6 : Mesure de la hauteur au garrot (HG)	45
Photo 7 : Mesure du périmètre thoracique (PT).....	45
Photo 8 : Mesure de la circonférence du canon (CC).....	45
Photo 9 : Mesure de la largeur de la queue	46
Photo 10 : Mesure de l'épaisseur du pli cutané en arrière de l'épaule	46

TABLEAUX :

Tableau 1: Les différentes épreuves d'endurance équestre (FFE)	9
Tableau 2 : Les normes techniques des différentes épreuves d'endurance équestre (FFE).....	12
Tableau 3 : Les normes techniques des différentes épreuves d'endurance équestre (suite)	13
Tableau 4 : Composition en fibres musculaires du muscle fessier moyen chez des chevaux de races différentes (LANGLOIS, 2006).....	17
Tableau 5 : Comparaison de la teneur en électrolytes de la sueur et du plasma chez le cheval..... et chez l'Homme (BENAMOU-SMITH, 2003 ; FLAMINO, 1996)	21
Tableau 6 : Récapitulatif des différentes équations d'estimation du poids du cheval et leur précision	28
Tableau 7 : Récapitulatif des sites anatomiques et des critères utilisables pour la notation de l'état corporel	32
Tableau 8 : Système de notation de l'état corporel d'après HENNEKE (1985).....	32
Tableau 9 : Système de notation de l'état corporel d'après l'INRA (ARNAUD et al., 1997)	35
Tableau 10 : Importance relative des différents sites dans l'attribution de la note de l'état corporel (ARNAUD et al., 1997).....	37
Tableau 11 : Caractéristiques des courses d'endurance étudiées	50
Tableau 12 : Valeurs des indices corporels calculés	57
Tableau 13 : Récapitulatif des résultats pour les paramètres qualitatifs (test de χ^2)	61
Tableau 14 : Récapitulatif des résultats pour les paramètres quantitatifs (test-t de Student).....	62
Tableau 15 : Récapitulatif général des valeurs pour chaque paramètre	63

INTRODUCTION

L'endurance est une discipline d'extérieur où des couples cheval-cavalier affrontent le chronomètre sur une distance prédéterminée selon le niveau de l'épreuve. L'engouement pour l'endurance équestre est en permanente augmentation. Cette discipline est très éprouvante pour l'organisme du cheval et peut aboutir à des troubles physiologiques graves nécessitant des soins vétérinaires sur place. C'est pourquoi les épreuves d'endurance sont particulièrement encadrées par des institutions équestres qui font respecter le bien-être et la santé du cheval. Des contrôles vétérinaires sont réalisés à différentes étapes de la course pour garantir le bon état général du cheval. Mais malgré ces mesures, certains chevaux présentent des troubles métaboliques graves et voient même dans de rares cas leur carrière sportive suspendue définitivement. Évidemment, ceci n'est pas tolérable d'un point de vue éthique et nuit à l'image de la discipline.

Des études ont démontré que certains facteurs inhérents au cheval, à sa gestion avant et pendant la course et au cavalier, sont significativement liés à l'augmentation des troubles métaboliques. Le gabarit du cheval et surtout son état corporel sont des facteurs qui sont significativement liés à la performance (ROBERT, 2003 ; LANGLOIS, 2006).

Dans un premier temps, nous allons décrire la discipline d'endurance équestre et surtout ses conséquences sur le métabolisme des chevaux. Nous aborderons ensuite les différentes méthodes disponibles pour l'évaluation du poids et de l'état corporel du cheval et l'implication de ces derniers dans la performance en course d'endurance.

Dans un deuxième temps, nous présenterons une étude réalisée sur des chevaux de haut niveau en France. Ce travail a pour objectif de mettre en évidence d'éventuelles relations entre la performance en course et différents paramètres : poids, mesures corporelles et état corporel du cheval. Ces paramètres pouvant être suivis par les cavaliers et entraîneurs afin de maintenir leurs chevaux dans les meilleures conditions pour participer à une épreuve d'endurance.

Première Partie : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Description de la discipline et rappels physiologiques

1.1. Généralités sur les épreuves d'endurance

1.1.1. Présentation

Les courses d'endurance équestre sont des épreuves d'extérieur chronométrées et réalisées sur un itinéraire balisé. La vitesse est imposée ou libre selon le niveau, le cavalier choisit l'allure (généralement le trot et le galop) et peut descendre de cheval (le départ et l'arrivée se font obligatoirement en selle). La distance totale parcourue varie de 10km à 160km. Elle est divisée en plusieurs étapes entre lesquelles des périodes de repos sont obligatoires. Pour garantir la bonne santé du cheval, des contrôles vétérinaires ont lieu au début, pendant et à la fin de l'épreuve. Le but de l'endurance équestre est de parcourir de longues distances le plus rapidement possible en maintenant son cheval dans les meilleures conditions physiques et mentales. Le cavalier doit donc savoir gérer l'effort de son cheval, être à son écoute et connaître ses limites.

L'endurance équestre est une discipline réglementée au niveau national par la Fédération Française d'Equitation (FFE) et au niveau mondial par la Fédération Equestre Internationale (FEI). Les différentes épreuves d'endurance sont présentées dans le tableau 1. Il existe 3 niveaux d'épreuves internationales : les épreuves CEI* (Course d'endurance Internationale 1 étoile), CEI** et CEI ***. Elles correspondent respectivement aux épreuves à vitesse libre de 90, 130 et 160 km.

Tableau 1: Les différentes épreuves d'endurance équestre (FFE)

DIVISIONS	EPREUVES	DISTANCE EN KMS	VITESSE EN KM/H
CLUB	Club A	10	6 à 8
	Club Pony 4	10	8 à 10
	Club 4	10	10 à 12
	Club 4 Equipe	2 x 10	10 à 12
	Club 3	20	10 à 12
	Club 3 Equipe	2 x 20	10 à 12
	Club 2	20	12 à 15
	Club 2 Spéciale	30	12 à 15
	Club 1	40	10 à 12
	Club Elite	40	12 à 15
	Club Elite GP	60	12 à 15
AMATEUR	Amateur 4	20	12 à 15
	Amateur 4 Spéciale	30	12 à 15
	Amateur 3	40	12 à 15
	Amateur 2	60	12 à 15
	Amateur 1	90	12 à 15
	Amateur 1 GP	90	Libre, 12 km / h minimum
	Amateur Elite	130	Libre, 12 km / h minimum
	Amateur Elite GP	160	Libre, 12 km / h minimum
PRO	Pro 3 Qualificative	40	12 à 15
	Pro 2 Qualificative	60	12 à 15
	Pro 1 Qualificative	90	12 à 15
	Pro 1 GP	90	Libre, 12 km / h minimum
	Pro Elite	130	Libre, 12 km / h minimum
	Pro Elite GP	160	Libre, 12 km / h minimum

GP : Grand Prix

1.1.2. Déroulement de l'épreuve

Les cavaliers reçoivent avant le départ une carte du circuit imposé, il y figure le tracé des différentes étapes avec les lieux de départ, d'arrivée et les points de ravitaillement. Les organisateurs leur donnent également un carnet de route sur lequel figurent le balisage et les directions à prendre pour chaque étape. Le parcours est balisé tout le long de la piste pour éviter toute erreur de parcours. L'utilisation du GPS et du téléphone portable est autorisée.

L'épreuve comporte différents types de terrain plus ou moins accidentés. Les cavaliers d'endurance réalisent leur épreuve seuls mais ils ont une équipe suiveuse qui les aide tout au long de la compétition. On appelle cette équipe : l'assistance. Elle joue un rôle très important : elle se rend aux points de ravitaillement pour abreuver, rafraîchir et examiner les chevaux. Les cavaliers sont alors informés sur le classement et l'état de la piste. L'assistance doit être très efficace puisque le chronomètre continue de tourner durant le ravitaillement.

La distance à parcourir est répartie en un certain nombre d'étapes selon le niveau de compétition.

Après chaque étape un arrêt est obligatoire, sa durée varie de 1 heure à 40 minutes selon le niveau. Avant de repartir pour l'étape suivante le cheval est obligatoirement examiné par un vétérinaire pour savoir s'il est apte ou non à continuer l'épreuve.

Le classement est variable selon qu'il s'agit d'une épreuve à vitesse libre ou imposée.

Pour les épreuves à vitesse imposée (petit niveau), la performance de chaque concurrent est calculée selon la formule suivante :
$$\frac{([Vitesse\ du\ cheval \times 2] - Vitesse\ mini\ du\ cheval) \times 100}{Fréquence\ cardiaque\ finale}$$

Le concurrent le mieux classé est celui qui obtient le résultat le plus élevé.

Pour les épreuves à vitesse libre, le concurrent le mieux classé est le plus rapide de la course, sous réserve du contrôle vétérinaire final et validation par le Président de jury.

1.1.3. Contrôles vétérinaires

Les contrôles vétérinaires sont très importants car ils doivent permettre la mise en évidence de toute anomalie qui pourrait mettre en danger le cheval, ou compromettre son avenir sportif. Ils sont réalisés sur des aires de contrôle spécialement aménagées par les organisateurs pour permettre un examen vétérinaire correct et sécurisé. Le cheval doit être présenté nu sans protections.

1.1.3.1. *Contrôle initial*

Avant le départ les cavaliers doivent présenter leurs chevaux au contrôle vétérinaire. Pour les épreuves de plus de 90 km, ce contrôle initial a lieu la veille de l'épreuve. Les vétérinaires vérifient alors l'identité du cheval, ses vaccinations et son aptitude à participer à l'épreuve. Ils réalisent pour cela un examen clinique et vérifient l'absence de boiterie sur un aller-retour en ligne droite de 30 m au trot (examen dynamique).

1.1.3.2. *Contrôles intermédiaires*

Les contrôles vétérinaires intermédiaires ont pour but le suivi médical du cheval et garantissent son intégrité physiologique. Ils se composent également d'un examen clinique et dynamique.

Pour les épreuves à vitesse libre, les contrôles intermédiaires sont du type vet-gate : le chronomètre continue de tourner après le franchissement de la ligne d'arrivée de l'étape, et ceci jusqu'au franchissement de la ligne d'entrée dans l'aire de contrôle vétérinaire. Le cavalier a donc tout intérêt à présenter son cheval le plus rapidement possible au contrôle vétérinaire mais il n'a le droit qu'à 2 présentations dans les 20 ou 30 minutes qui suivent son arrivée. Il doit donc attendre suffisamment, mais pas trop, pour que son cheval récupère et ne soit pas éliminé au contrôle.

Les vétérinaires peuvent réaliser un réexamen du cheval 10 minutes avant le départ sur l'étape suivante. Ce réexamen peut être demandé sur l'ensemble des épreuves, à tout instant, par un vétérinaire ou un membre du jury. Il est obligatoire avant le départ de la dernière étape des épreuves à vitesse libre et des deux dernières étapes des épreuves Amateur Elite GP et Pro Elite GP.

Le cheval peut être présenté avec son harnachement. Le réexamen reprend le protocole habituel. En cas de boiterie ou si plusieurs critères physiologiques sont défavorables, le vétérinaire proposera l'élimination au jury.

1.1.3.3. *Contrôle final*

Le contrôle final a pour but d'évaluer l'état de fatigue du cheval et de déceler d'éventuels facteurs d'élimination. Il se déroule de façon identique aux autres contrôles.

Il y a un contrôle vétérinaire le lendemain matin de la course pour les épreuves de plus de 130 km ; il est obligatoire mais non éliminatoire.

Pour réaliser le suivi vétérinaire de chaque cheval, le cavalier présentera à chaque contrôle vétérinaire une fiche de suivi vétérinaire. Sur cette fiche, le vétérinaire inscrit à chaque examen la fréquence cardiaque, la couleur des muqueuses, le temps de remplissage capillaire, l'état d'hydratation et l'examen des allures.

1.1.4. *Causes d'élimination*

Il existe un certain nombre de causes d'élimination valables pour chaque contrôle vétérinaire.

De façon générale, l'équipe vétérinaire doit faire part au Président du jury de toutes ses observations qui pourraient entraîner le retrait du cheval de la compétition. Les éliminations sont prononcées par le Président de jury ou son adjoint sur avis vétérinaire.

Les causes d'élimination sont les suivantes :

- toute présentation hors temps réglementaire ou non-présentation au contrôle vétérinaire
 - vitesse moyenne > de + de 0,5 km/h au maximum autorisé pour les épreuves à vitesse limitée
 - critères de type A : (critères mesurables, la proposition d'un seul vétérinaire suffit)
 - fréquence cardiaque supérieure au seuil requis pour l'épreuve aux contrôles initial, intermédiaire ou final (après mesure pendant une minute)
 - Fréquence respiratoire élevée, en particulier associée à une température rectale égale ou supérieure à 39°5 C
 - critères de type B : (critères qualitatifs, il faut la proposition concordante de 2 vétérinaires)
 - allures : boiteries constantes (aller-retour), ferrure
 - déshydratation (plis de peau), couleur des muqueuses, temps de réplétion capillaire
 - bruits digestifs, bruits cardiaques, mouvements respiratoires anormaux...
 - plaies, blessures diverses susceptibles de s'aggraver et d'engendrer une souffrance.
- Cette liste n'est pas limitative.

Sur la fiche de suivi vétérinaire, il sera indiqué le motif d'élimination : abandon, métabolique, boiterie... Le cavalier ne pourra pas repartir sur une autre étape et ne sera pas classé.

Les normes techniques des différentes épreuves sont présentées dans les tableaux 2 et 3. Les épreuves internationales ont les mêmes exigences techniques que les épreuves nationales. On aura les mêmes normes pour la CEI * et le Grand Prix, pour la CEI ** et l'Elite et pour la CEI *** et l'Elite Grand Prix.

Tableau 2 : Les normes techniques des différentes épreuves d'endurance équestre (FFE)

	AMATEUR 1 GP PRO 1 GP	AMATEUR ELITE PRO ELITE	AMATEUR ELITE GP PRO ELITE GP
Distance en km	90	130	160
Tolérance en km	85 à 95	120 à 139 sur 1 jour ou 2 x 70 à 89 sur 2 jours	155 à 160 sur 1 jour ou 2 x 90 à 100 sur 2 jours ou 2 x 70 à 80 sur 3 jours
Nombre d'étapes	3	4	5 ou 6
Vitesse	Libre (12 km / h minimum)		
Mode de départ	Un seul groupe		
Mode de contrôle intermédiaire	Vet-gate Inspection dans les 20 mn 2 présentations maxi		
Temps de repos intermédiaire	Amateur 1 GP et Pro 1 GP : 1 ^{er} vet-gate : 40 mn, 2 ^{ème} vet-gate : 50 mn, Amateur Elite, Amateur Elite GP, Pro Elite, Pro Elite GP : selon programme		
Fréquence cardiaque intermédiaire et finale	64 pulsations maxi / minute		
Contrôle Final	Dans les 30 minutes		
Mode de classement Final	Au chronomètre		

Tableau 3 : Les normes techniques des différentes épreuves d'endurance équestre (suite)

	AMATEUR 4	AMATEUR 4 SPECIALE	AMATEUR 3 PRO 3 QUALIFICATIVE	AMATEUR 2 PRO 2 QUALIFICATIVE	AMATEUR 1 PRO 1 QUALIFICATIVE
Distance en km	20	30	40	60	90
Tolérance en km	18 à 22	28 à 32	35 à 45	55 à 65	85 à 95
Nombre d'étapes	1		2	2 ou 3	3
Vitesse	12 à 15 km /h				
Mode de départ	Individuel ou par petit groupe				
Mode de contrôle intermédiaire	---		Arrêt du chronomètre à la ligne d'arrivée Inspection vétérinaire dans les 30 minutes		
Temps de repos intermédiaire	---		1 heure		
Fréquence cardiaque intermédiaire	---		64 pulsations maxi / minute		
Fréquence cardiaque finale	64 pulsations maxi / minute				
Contrôle final	à 30 mn				
Mode de classement final	$\frac{((Vitesse \times 2) - Vitesse\ mini) \times 100}{Fréquence\ cardiaque\ finale}$				

Malgré ce suivi vétérinaire avant, pendant et après les épreuves, des chevaux peuvent présenter des troubles graves consécutifs à l'effort. Ces troubles peuvent compromettre la carrière sportive du cheval ou même sa vie. L'apparition de ces troubles est liée au caractère éprouvant de l'effort d'endurance.

1.2. Caractéristiques de l'effort d'endurance

1.2.1. Production d'énergie lors de l'exercice d'endurance

L'exercice physique réalisé lors d'une course d'endurance nécessite la production d'énergie au niveau cellulaire. La source d'énergie immédiate et directement disponible pour la contraction musculaire est l'Adénosine TriPhosphate (ATP). Les réserves en ATP dans les cellules musculaires sont limitées (6 mmol/kg de muscle) ce qui ne permet la contraction musculaire que pendant une à deux secondes (MC MIKEN, 1983 ; EATON, 1994). Des mécanismes de régénération d'ATP sont nécessaires.

1.2.1.1. Voies métaboliques utilisables

Il existe différentes voies métaboliques aboutissant à la production d'ATP. Elles sont présentées dans la figure 1. Elles diffèrent par l'utilisation ou non de l'oxygène (métabolisme aérobie ou anaérobie) et par la production ou non d'acide lactique (métabolisme anaérobie lactique et alactique). Ces voies ne sont pas totalement dissociées et fonctionnent souvent en parallèle.

✚ Voie anaérobie alactique :

C'est la voie métabolique la plus rapidement utilisable pour reconstituer l'ATP. En revanche, elle ne dure que quelques secondes et ne permet l'apport que de petites quantités d'énergie. Elle est donc utilisée en tout début d'exercice et lors d'efforts très rapides et très intenses (saut). D'autres voies métaboliques doivent prendre le relai.

✚ Voie anaérobie lactique :

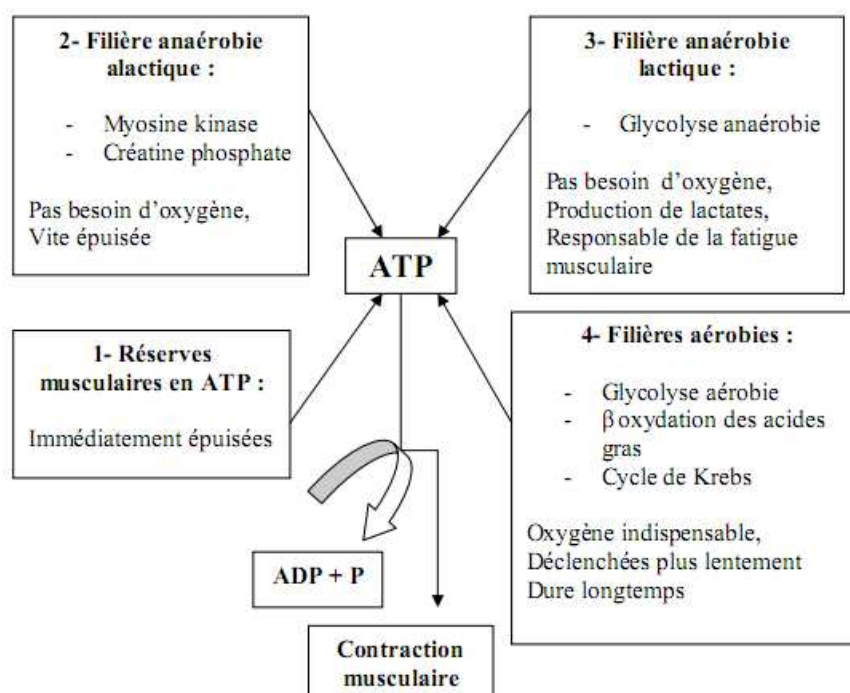
Elle correspond à la glycolyse anaérobie qui à partir du glucose et du glycogène aboutit à la production d'acide lactique. Cette voie est rapide mais son rendement reste faible (3 molécules d'ATP par molécule de glucose issue du glycogène). Elle fournit de l'énergie seulement pour une durée limitée (limites des réserves en glycogène et accumulation d'acide lactique). Elle a donc lieu lors d'efforts courts et intenses.

✚ Voie aérobie :

Cette voie est utilisée si l'exercice se prolonge. Elle utilise les glucides et les lipides et fait intervenir le cycle de Krebs puis la phosphorylation oxydative. Sa participation est plus progressive mais son rendement est supérieur (38 molécules d'ATP par molécule de glucose issue du glycogène). Cette voie est donc utilisée pour les efforts de longue durée (supérieurs à 20 minutes) et d'intensité modérée.

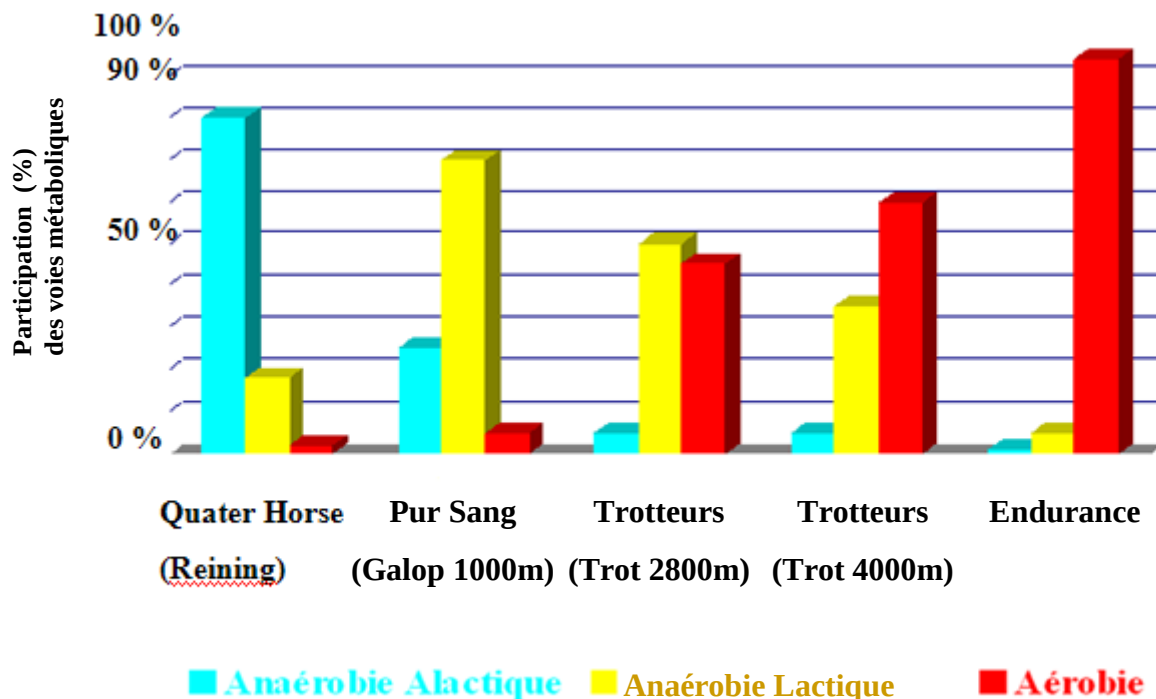
Au-delà d'une certaine vitesse, variant de 18 à 36 km/h selon les chevaux, le cheval risque de parvenir au seuil du métabolisme aérobie. La production d'acide lactique et de protons issue du métabolisme anaérobie a pour effet une chute du pH et une diminution de la capacité enzymatique responsable de la fatigue musculaire. Chez le cheval d'endurance, les complications métaboliques liées à l'accumulation d'acide lactique sont rares puisque pendant les courses le cheval fournit essentiellement un travail aérobie.

Figure 1 : Les différentes voies métaboliques (ART et al., 2000)



L'utilisation privilégiée de chacune de ces voies métaboliques varie selon la discipline du cheval (effort différent) comme le montre la figure 2.

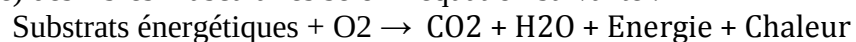
Figure 2 : Participation relative des différentes voies métaboliques selon la discipline du cheval (COUROUCE-MALBLANC, 2007)



En résumé lors d'un exercice de longue durée comme en endurance, après épuisement rapide des réserves de la voie anaérobic alactique, l'énergie est fournie par la glycolyse anaérobic (voie anaérobic lactique). Ensuite la production d'énergie se fait essentiellement par la voie aérobie.

L'importance relative de ces voies métaboliques peut être modifiée grâce à l'entraînement (MARLIN et NANKERVIS, 2002). L'entraînement a pour effet de développer au maximum la capacité aérobie (retarder au maximum le « seuil de fatigue »), d'augmenter la capacité de l'organisme à tolérer des concentrations importantes en acide lactique et à disposer de l'acide lactique.

Le métabolisme aérobie permet la production d'énergie à partir de substrats énergétiques (acides gras et glycogène) des fibres musculaires selon l'équation suivante :



1.2.1.2. Substrats énergétiques utilisables

Comme nous l'avons vu précédemment des substrats énergétiques sont nécessaires pour la régénération d'ATP. Ces substrats énergétiques sont de plusieurs types et sont stockés dans l'organisme. Les principaux substrats énergétiques utilisés sont les glucides et les lipides.

Les glucides :

Les glucides (ou hydrates de carbones) disponibles pour l'exercice musculaire sont stockés sous forme de glycogène musculaire et hépatique. Ils peuvent aussi provenir du glucose sanguin issu du glycogène hépatique ou des glucides alimentaires. Le glycogène hépatique constitue une réserve modeste couvrant les dépenses d'une course de 20 à 30 minutes (WOLTER, 1999). De plus le foie n'est jamais totalement épuisé de son glycogène. La quantité de glycogène musculaire est beaucoup plus importante et constitue une véritable réserve d'énergie ; elle n'est pas utilisée dans les muscles inactifs lors de l'exercice.

Les lipides :

Les lipides représentent la plus grande source d'énergie de l'organisme que ce soit au repos ou à l'exercice. Les lipides sont stockés sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux et dans le muscle. Ils sont mobilisés sous forme d'acides gras qui fournissent de l'énergie par β -oxydation dans les fibres musculaires. L'utilisation des acides gras permet de limiter l'importance des voies anaérobies et donc l'accumulation d'acide lactique et par conséquent la fatigue musculaire. De plus, le rendement énergétique de la β -oxydation est bien supérieur à celui de la glycolyse.

La proportion relative de chaque type de substrats énergétiques mis en jeu dépend notamment de l'intensité et de la durée de l'exercice. En effet, les glucides sont surtout utilisés lors d'efforts intenses et au début d'un effort prolongé. Alors que les lipides sont plutôt utilisés lors d'efforts prolongés et d'intensité modérée, tels que l'endurance. L'entraînement peut modifier l'utilisation des différentes voies métaboliques et donc privilégier l'utilisation des acides gras chez le cheval d'endurance. Mais, ils ne peuvent pas être la seule source d'énergie d'autant plus que leur disponibilité est relativement lente (MARLIN et NANKERVIS, 2002). C'est pourquoi, les glucides et les acides gras sont utilisés de manière simultanée en endurance. Les réserves de glucose utilisées au cours d'une course d'endurance peuvent être réduites de 50 à 100 %, aboutissant ainsi à la fatigue musculaire.

Les protéines ne sont pas considérées comme une source d'énergie, les acides aminés en excès ne peuvent pas être stockés à la différence des glucides et lipides. Mais le catabolisme des acides aminés aboutit tout de même à la production de molécules impliquées dans certaines voies métaboliques (métabolites du cycle de Krebs...).

1.2.2. Consommation d'énergie par le muscle lors de l'exercice d'endurance

C'est au niveau des cellules musculaires que l'énergie chimique (ATP) est convertie en énergie mécanique qui permet l'exercice. Les muscles locomoteurs sont les muscles striés ; ils sont constitués de cellules musculaires striées qu'on appelle fibres musculaires ou rhabdomyocytes. Celles-ci sont regroupées en faisceaux. Le tissu musculaire n'est pas homogène, il est composé de différents types de fibres musculaires qui diffèrent notamment par leur métabolisme et leur contractibilité. Les systèmes de classification des fibres musculaires sont basés sur leurs propriétés contractiles et leurs capacités oxydatives. On distingue alors les fibres de type I et de type II. Les fibres de type I sont des fibres à contraction lente et résistantes à la fatigue. Les fibres de type II sont des fibres à contraction plus rapide et plus intense mais qui sont moins résistantes à la fatigue. On distingue au sein des fibres de type II deux sous-types : IIA et IIB. Les fibres IIA sont des fibres à contraction rapide et à haut potentiel oxydatif, elles permettent ainsi des efforts assez intenses et longs. Les fibres de type IIB sont des fibres à contraction rapide et à potentiel oxydatif réduit, elles permettent des efforts intenses mais de courte durée. Les fibres de type I contiennent plus de lipides et moins de glycogène que les fibres de type II. Ce sont les fibres de type I et IIA qui ont le plus fort potentiel oxydatif et qui sont donc sollicitées lors d'exercice aérobie comme l'effort d'endurance.

La composition en fibres musculaires de différents types varie selon les muscles et les individus, de plus elle n'est pas homogène au sein d'un même muscle. Elle est également différente selon les races (facteurs génétiques), elle peut être modifiée par l'entraînement et ainsi être adaptée au type d'effort demandé. La composition en fibres musculaires de différentes races de chevaux est présentée dans le tableau 4. Les chevaux d'endurance ont une proportion importante de fibres de type I et IIA et utilisent essentiellement la voie métabolique aérobie (LANGLOIS, 2006 ; MARLIN et NANKERVIS, 2002).

Tableau 4 : Composition en fibres musculaires du muscle fessier moyen chez des chevaux de races différentes (LANGLOIS, 2006)

Races	Pourcentages de Fibres (moyenne +/-écartype)		
	Fibres I	Fibres IIA	Fibres IIB
Quater Horse	6.8 ± 1.0	48.3 ± 2.3	44.9 ± 2.3
Pur-Sang	12.5 ± 1.5	50.7 ± 1.8	36.8 ± 2.2
Trotteur	24.0 ± 3.6	49.0 ± 3.1	27.0 ± 3.3
Pur-Sang Arabe	30.4 ± 5.8	41.7 ± 4.2	27.9 ± 3.4
Poney	22.5 ± 2.6	40.4 ± 2.3	37.1 ± 2.8
Cheval de chasse	30.8 ± 3.1	37.1 ± 3.3	37.8 ± 2.8
Pur Race Espagnole	29.5 ± 6.7	38.7 ± 6.8	31.8 ± 4.3

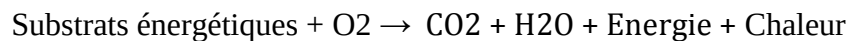
L'épuisement des réserves énergétiques (déplétion en glycogène et triglycérides musculaires) et la libération de chaleur contribuent à l'apparition de la fatigue musculaire. Mais avec l'entraînement à l'effort d'endurance, le muscle acquiert une meilleure gestion de ses réserves énergétiques, ainsi les réserves lipidiques sont mobilisées en premier ce qui retarde l'utilisation du glycogène (BENAMOU-SMITH, 2003 ; ART *et al.*, 2000).

L'entraînement influence la masse musculaire, la typologie des fibres musculaires et le métabolisme énergétique. En endurance, tout est orienté pour améliorer les capacités du métabolisme aérobie.

1.2.3. Thermorégulation lors de l'exercice d'endurance

1.2.3.1. Production irrémédiable de chaleur

Comme nous l'avons vu précédemment, lors de l'exercice le cheval va produire de la chaleur résultant du métabolisme cellulaire :



Cette production de chaleur est inévitable dans toute réaction métabolique aussi performante soit elle. Le métabolisme basal est multiplié par 10 ou 20 lors de l'exercice d'endurance. Ce sont les muscles qui sont responsables de la plus grande production de chaleur lors de l'exercice. En effet lors de l'exercice 75 à 80 % de l'énergie est dissipée en chaleur, le reste (20 à 25 %) est converti en travail mécanique.

En début d'exercice, un stockage de chaleur produite se fait dans les tissus ce qui permet d'améliorer la contraction musculaire, l'élasticité des tendons, la vitesse de conduction nerveuse, et l'activité des enzymes musculaires (HODGSON, 2000). Une hyperthermie modérée (< 40°C) est favorable pour les exercices de courte durée et de forte intensité. La production de chaleur peut être 40 à 60 fois plus élevée lors d'un exercice prolongé, chez un cheval d'endurance elle sera de l'ordre de 6000 à 7500 kcal/h à une vitesse de 18 km/h. Elle dépend de plusieurs paramètres dont la taille du cheval, la durée et l'intensité de l'effort. Au repos la production de chaleur permet le maintien de la température corporelle mais lors de l'exercice l'importante production de chaleur dépasse les besoins de l'organisme. Elle serait de l'ordre de 15°C par heure lors d'une course d'endurance si le cheval n'avait pas de mécanisme de thermorégulation (BENAMOU-SMITH, 2006 ; LANGLOIS, 2006). Une température corporelle au-delà de 43°C devient mortelle pour le cheval (HODGSON, 2000). Grâce à la mise en place de moyens de dissipation de chaleur, la température corporelle du cheval ne s'élève que de 3 à 4 °C lors d'une course.

1.2.3.2. Mécanismes de thermorégulation

La production de chaleur est compensée par des mécanismes de dissipation (thermolyse). Ces mécanismes mettent en jeu des thermorécepteurs périphériques et centraux, l'influx nerveux est ensuite conduit, via la moelle épinière, à l'hypothalamus qui déclenche les mécanismes de thermolyse au besoin (PREVEIRAUD, 2003).

Il existe quatre mécanismes physiques différents permettant la dissipation de la chaleur : la conduction, la convection, la radiation et l'évaporation.

Conduction :

La conduction permet la dissipation de chaleur par contact. Ce mécanisme est peu important chez le cheval d'endurance car l'air est un mauvais conducteur thermique. Elle a lieu essentiellement par l'intermédiaire du flux sanguin entre le muscle et la peau.

Convection :

Lors de la convection : l'air se réchauffe au contact du corps de l'animal et s'élève permettant ainsi une dissipation de la chaleur. La présence des poils limite ce mécanisme mais il est potentialisé en présence de vent.

Radiation :

La radiation permet la dissipation de chaleur par rayonnement électromagnétique émis par le corps.

Evaporation :

Lors de l'évaporation, la chaleur est dissipée par le passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux. Ce dernier mécanisme est utilisé préférentiellement chez le cheval d'endurance.

L'évaporation se fait soit par transpiration (évaporation de l'eau des couches superficielles de la peau) soit par polypnée thermique (évaporation de l'eau des muqueuses respiratoires).

Lors de l'effort d'endurance environ 65 % de la chaleur produite est dissipée sous forme de transpiration ce qui aboutit à une production massive de sueur : 10 à 15 L par heure soit 2 à 3,5 % du poids vif du cheval (LANGLOIS, 2006).

La respiration permet la dissipation de 30 % de la chaleur mais ce mécanisme est limité par la déshydratation qui entraîne une augmentation de la viscosité sanguine. En revanche ce mécanisme est important lors de conditions climatiques peu favorables à l'efficacité de la transpiration (chaleur et humidité).

1.2.3.3. Mécanismes physiologique participant à la thermorégulation

Transpiration :

La sueur est produite par des glandes sudoripares apocrines actives sur le corps au niveau des flancs, de l'encolure, et du pli de l'aine. La quantité de sueur produite varie avec l'intensité de l'exercice : elle est d'autant plus importante que l'exercice est intense. Elle dépend également de facteurs individuels (pourcentage de tissu adipeux) et environnementaux tels que les conditions climatiques (température et hygrométrie). En milieu chaud et humide les mécanismes de thermorégulation sont vite dépassés. La sueur ne s'évapore plus et ruisselle le long du corps (HODGSON, 2000). Un fort taux de tissu adipeux détériore également les mécanismes de thermorégulation et contribue à l'apparition de troubles métaboliques (CARLSON, 1994 ; LANGLOIS, 2006).

Appareil respiratoire et thermorégulation :

La polypnée thermique est un processus plus mineur chez le cheval que chez le chien mais elle est complémentaire aux autres moyens de dissipation de la chaleur surtout par temps chaud et humide. Les poches gutturales, les artères carotides et pulmonaires interviennent également dans les échanges de chaleur entre le sang et l'air extérieur. Cette voie peut être compromise lors de déshydratation.

Appareil cardio-vasculaire et thermorégulation :

Ce sont les mécanismes de dissipation de la chaleur par conduction et évaporation qui sont mis en jeu ici. Une vasodilatation périphérique favorise les échanges thermiques en augmentant les surfaces d'évaporation en contact avec l'atmosphère et en ralentissant le flux sanguin à ce niveau (peau, appareil respiratoire).

Système nerveux et thermorégulation :

Le cheval peut déclencher des mécanismes permettant de diminuer rapidement sa température au niveau cérébral lorsque celle-ci atteint des valeurs critiques. C'est l'appareil respiratoire supérieur qui serait impliqué dans ce mécanisme chez le cheval. Il a été démontré qu'après quelques minutes d'exercice, une différence de plus de 1°C est observable entre les températures au niveau de l'hypothalamus et de la circulation centrale (MEYRIER, 2003).

Les mécanismes de thermorégulation (essentiellement la transpiration) du cheval d'endurance aboutissent à des pertes hydriques et électrolytiques. Ils sont à l'origine de troubles métaboliques qui peuvent être importants et qui entraînent alors l'élimination du cheval.

1.2.3.4. Conséquences métaboliques de la thermorégulation

Déshydratation :

La transpiration massive du cheval lors d'une course d'endurance peut aboutir à une déshydratation sévère. En effet un cheval peut perdre lors d'une course 4 à 7 % de son poids, soit 25 à 50 L de sueur. Une perte de 4 % est considérée comme sans conséquence pathologique sauf si la température ou l'humidité augmentent.

Lors de l'exercice, un grand volume sanguin est nécessaire pour permettre les échanges gazeux, l'apport en substrats énergétiques et l'évacuation des déchets métabolique au niveau musculaire. La dissipation de la chaleur nécessite également un apport sanguin relativement important au niveau de la peau. Ceci aboutit à une modification de la distribution sanguine et elle se fait au détriment d'autres organes, en particulier des structures intestinales (ART et al. 2000). La déshydratation compromet elle aussi la perfusion des structures intestinales et concourt à l'apparition de coliques pendant ou après la course (FLAMINO *et al.*, 1996). La déshydratation peut également aboutir à des troubles métaboliques : insuffisance rénale aiguë, rhabdomyolyse, fourbure...(BENAMOU-SMITH, 2006).

Conséquences sur l'équilibre hydro-électrolytiques :

Lors de l'effort d'endurance, il y a également des troubles liés à la perte d'électrolytes (LANGLOIS, 2006). En effet, la sueur du cheval est hypertonique contrairement à l'Homme et à d'autres espèces (*tableau 5*).

Tableau 5 : Comparaison de la teneur en électrolytes de la sueur et du plasma chez le cheval et chez l'Homme (BENAMOU-SMITH, 2003 ; FLAMINO et al., 1996)

Concentration en mmol/L	Chez l'Homme		Chez le Cheval	
	Sueur	Plasma	Sueur	Plasma
Sodium	50	140	130 à 190	140
Chlore	35 à 40	100	160 à 190	100
Potassium	7	5	20 à 50	3.5 à 4.5
Calcium	4	2.5	5	2
Magnésium	1.5	1.5	16	0.8

Le sodium est en quantité relativement équivalente dans la sueur et dans le plasma, alors que les chlorures et le potassium sont respectivement 1,5 à 3 fois et 10 à 20 fois plus élevés dans la sueur que dans le plasma. Les pertes dues à la transpiration peuvent être estimées à 300 g de Na⁺, 550 g de Cl⁻ et 120 g de K⁺ lors d'une course (LECLERC et ROBERT, 2006).

Les pertes en sodium ont des répercussions sur la perfusion des organes car cet ion joue un rôle important dans l'homéostasie. Les pertes en potassium ont tout d'abord lieu dans le milieu extracellulaire ce qui aboutit à de la faiblesse, une détérioration de la motilité intestinale, une paralysie flasque des muscles squelettiques et une hyperexcitabilité des nerfs longs. De plus l'hypokaliémie a également un effet sur la perfusion sanguine. On observe une vasoconstriction au niveau musculaire entraînant un défaut d'oxygénation favorisant l'apparition d'une rhabdomyolyse. L'hypokaliémie touche ensuite le liquide intracellulaire et on observe une altération des potentiels membranaires engendrant une diminution du seuil d'excitabilité nerveuse, des arythmies et une irritabilité musculaire. Les pertes en chlore aboutissent avec l'hypokaliémie à une alcalose métabolique. Les pertes en calcium induisent une élévation de l'excitabilité nerveuse et des contractions musculaires involontaires. L'hypomagnésémie provoque une modification des potentiels membranaires du tissu nerveux et une mauvaise régulation de l'acétylcholine aboutissant à une irritabilité neuromusculaire et parfois des tétanies musculaires (FLAMINO et al., 1996).

Conséquences sur l'équilibre acido-basique :

L'effort d'endurance est essentiellement un effort aérobie. Il y a une faible production d'acide lactique, on n'observe pas de chute de pH et donc pas d'acidose métabolique. Par contre différents mécanismes peuvent aboutir à une alcalose métabolique. Le cheval d'endurance est plus sujet à l'alcalose (métabolique et/ou respiratoire) du fait des mécanismes thermorégulateurs.

Lors de conditions climatiques favorisant la polypnée thermique (chaleur et humidité), l'augmentation de fréquence respiratoire consécutive s'accompagne d'une augmentation de la ventilation alvéolaire et d'une chute de la pression partielle en CO₂. Il y a donc apparition d'une alcalose respiratoire.

Par ailleurs, les pertes électrolytiques importantes constituent la composante principale des troubles acido-basiques du cheval d'endurance. Les pertes en sodium et en chlore lors de la transpiration aboutissent à une réabsorption de sodium et une excrétion de protons et de potassium par les reins. Afin de compenser l'hypochlorémie, les reins réabsorbent également les bicarbonates. Il y a donc apparition d'une alcalose métabolique.

1.3. Causes d'élimination lors d'une course d'endurance

Lors des différents contrôles vétérinaires, les chevaux présentant une altération de l'état général peuvent être éliminés par le président du jury. Les deux motifs d'élimination aux contrôles vétérinaires sont les troubles locomoteurs et les troubles métaboliques. Les cavaliers peuvent aussi décider d'abandonner la course.

Le taux d'élimination moyen en France sur des épreuves de niveau national et international est d'environ 50 % (LANGLOIS, 2006 ; SENA, 2007). La répartition des motifs d'élimination entre troubles locomoteurs et métaboliques est variable d'une course à l'autre mais en général les troubles locomoteurs prédominent. En revanche, les courses sous climat chaud ou sans dénivelé (courses rapides) présentent un taux d'élimination pour troubles métaboliques bien supérieur à celui pour troubles locomoteurs. Globalement 30 à 50% des chevaux sont éliminés pour troubles locomoteurs, 10 à 30 % pour troubles métaboliques, et 5 à 10% suite à un abandon du cavalier (LANGLOIS, 2006 ; SENA, 2007).

1.3.1. Troubles locomoteurs

Les troubles locomoteurs ou boiteries sont la principale cause d'élimination sur les courses d'endurance de haut niveau. Dans la plupart des cas, les boiteries sont plus fréquentes sur les courses longues. L'importance relative des boiteries dans les causes d'élimination est due à une forte sollicitation de l'appareil musculo-squelettique (variations de terrain, sols irréguliers, chocs répétés sur les membres...). En général, les chevaux éliminés pour trouble locomoteur sont éliminés en début de course (plus de 50% dans les 2 premières boucles), en effet il paraît logique que les affections ostéo-articulaires chroniques se manifestent rapidement.

On retrouve parmi les causes de boiteries : les affections ostéo-articulaires, les tendinopathies, les contusions du pied. Initialement la fourbure et les myopathies d'effort peuvent se manifester par une boiterie.

1.3.2. Troubles métaboliques

Les troubles métaboliques sont la conséquence directe des mécanismes de thermorégulation (transpiration avec pertes électrolytiques importantes). Ils sont d'autant plus importants que le climat est chaud, la course rapide et que le cheval est mal acclimaté et entraîné. A la différence des troubles locomoteurs, les troubles métaboliques sont plus tardifs dans la course (milieu et fin de course) et nécessitent souvent des soins d'urgence sur place. En effet, il faut du temps pour observer l'épuisement des réserves énergétiques et l'apparition des déséquilibres électrolytiques.

Les principaux troubles métaboliques observés sont : la déshydratation, l'épuisement, les myopathies, le flutter diaphragmatique, les coliques, le coup de chaleur et la fourbure.

Des études menées en France sur des chevaux d'endurance de haut niveau ont montré que certains facteurs individuels et environnementaux étaient significativement liés à une augmentation des troubles métaboliques (ROBERT, 2003 ; LANGLOIS, 2006). On retrouve parmi les facteurs individuels : l'état d'embonpoint. Nous aborderons ce point plus en détail ultérieurement. Un cheval gras est plus prédisposé au coup de chaleur et au flutter diaphragmatique qu'un cheval mince (FELDMAN, 1994). En effet le tissu adipeux, présentant une faible conductibilité thermique, défavorise la dissipation de chaleur par la peau.

2. Méthodes d'évaluation du poids et de l'état corporel du cheval

2.1. Evaluation du poids vif

Beaucoup de vétérinaires et de propriétaires ont besoin d'estimer le poids vif du cheval notamment pour adapter la dose des médicaments et la ration alimentaire. La balance n'étant pas toujours disponible d'autres méthodes ont été développées pour estimer le poids vif d'un cheval : équations utilisant des mesures corporelles, rubans étalonnés ...

2.1.1. Utilisation de la balance

La balance donne le résultat le plus fiable pour évaluer le poids vif d'un cheval mais elle n'est pas facilement disponible pour les propriétaires de chevaux en raison de son coût élevé. Elle est plus accessible pour des cliniques vétérinaires ou de grandes écuries d'entraînement.

Il existe différents modèles sur le marché. Ils permettent une pesée de 1 à 1500 kg et donnent des résultats avec une précision entre 1 et 5 kg.

2.1.2. Utilisation d'équations établies à partir de mesures corporelles

Beaucoup d'équations ont été décrites dans les 40 dernières années pour estimer le poids vif du cheval.

 Formule de MARCENAC et AUBLET (1964) :

Le cheval est assimilé à un cube. Le poids est alors estimé selon l'équation suivante :
$$\text{Poids (kg)} = \text{PT}^3 \times 80$$
 avec PT : périmètre thoracique au niveau du garrot (en cm)

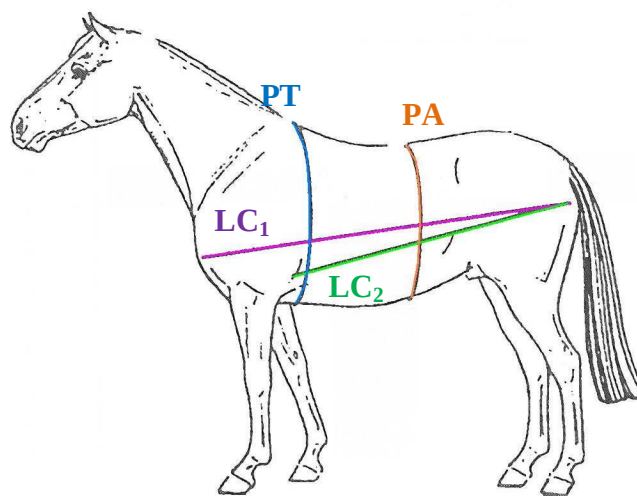
Par la suite, la partie « lourde » du cheval est assimilée à un cylindre dont le volume est relié au produit PT^2 et LC. Les équations ont un dénominateur appelé Y qui permet la conversion du volume en poids. Les données Y sont obtenues à partir des données expérimentales de chaque auteur. On retrouve une équation du type :

$$\text{Poids (kg)} = \frac{(PT^2 \times LC)}{Y}$$

avec PT : périmètre thoracique au niveau du garrot (en cm)
LC : longueur du corps (en cm)

La figure 3 représente les mesures corporelles utilisées dans les différentes équations.

Figure 3 : Récapitulatif des mesures corporelles nécessaires aux équations d'estimation du poids (REAVELL, 1999)



Formule Traditionnelle de MILNER et HEWITT (1969) :

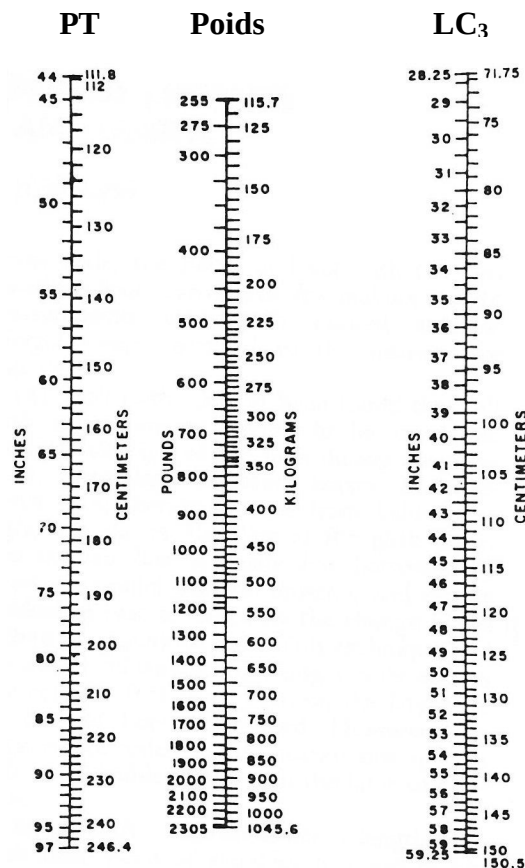
Elle a été établie après une étude sur 108 chevaux allant du shetland au Shire et du foal au cheval âgé. Le périmètre thoracique, la longueur du corps et le poids (à l'aide d'une balance) ont été mesurés pour chaque cheval. On retrouve l'équation suivante :

$$\text{Poids (kg)} = \frac{PT^2 \times LC_3}{10\,815}$$

avec LC_3 : Longueur du corps de la pointe de l'épaule
au grand trochanter (en cm)

Une table préétablie (Nomogramme) a été réalisée afin d'éviter les calculs, elle est présentée en figure 4.

Figure 4 : Nomogramme permettant l'estimation du poids vif selon
MILNER et HEWITT (1969)



✚ Formule de ENSMINGER (1977) :

$$\text{Poids (kg)} = \frac{(\text{PT}^2 \times \text{LC}_2)}{10\,815} + 22,7 \quad \text{avec LC}_2 : \text{Longueur du corps de l'olécrane à la tubérosité ischiatique (en cm)}$$

✚ Formule de CARROLL et HUNTINGTON (1988) :

Elle a été établie après une étude sur 281 chevaux et poneys d'âge différent. Le périmètre thoracique, la longueur du corps, la hauteur au garrot et le poids (à l'aide d'une balance) ont été mesurés pour chaque cheval. Une note d'état corporel a également été attribuée à chaque cheval.

On obtient l'équation suivante :

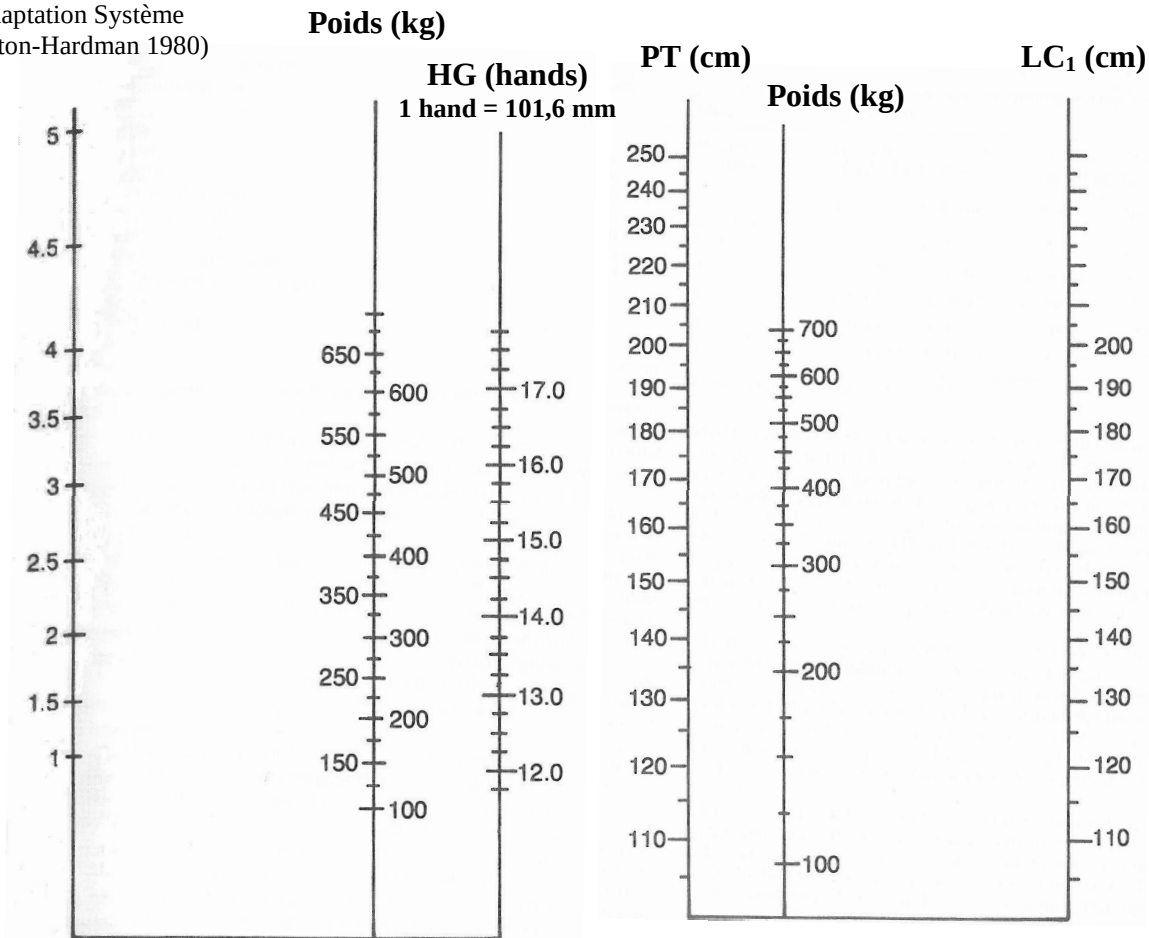
$$\text{Poids (kg)} = \frac{\text{PT}^2 \times \text{LC}_1}{11\,877,4} \quad \text{avec LC}_1 : \text{Longueur du corps de la pointe de l'épaule à la tubérosité ischiatique (en cm)}$$

La corrélation entre le poids et tous les facteurs a été étudiée. Le facteur le plus corrélé au poids est le $PT^2 \times LC$, alors que l'état corporel est le facteur le moins corrélé. En revanche, la hauteur au garrot (HG) et l'état corporel sont positivement corrélés au poids permettant l'établissement d'un nomogramme afin d'éviter les calculs. Le poids étant également positivement corrélé au périmètre thoracique et à la longueur du corps, un deuxième nomogramme a été réalisé. Les nomogrammes sont présentés en Figure 5.

*Figure 5 : Nomogrammes permettant l'estimation du poids vif selon
CARROLL et HUNTINGTON (1988)*

Note d'état corporel

(Adaptation Système
Leighton-Hardman 1980)



Une variante de cette équation a été décrite en fonction de l'état corporel :

$$\text{Poids (kg)} = \frac{PT^2 \times LC_1}{k}$$

avec $k = 12\,265$ si la note d'état < 3

et $k = 11\,706$ si la note d'état ≥ 3

✚ Formule de JONES et al. (1989) :

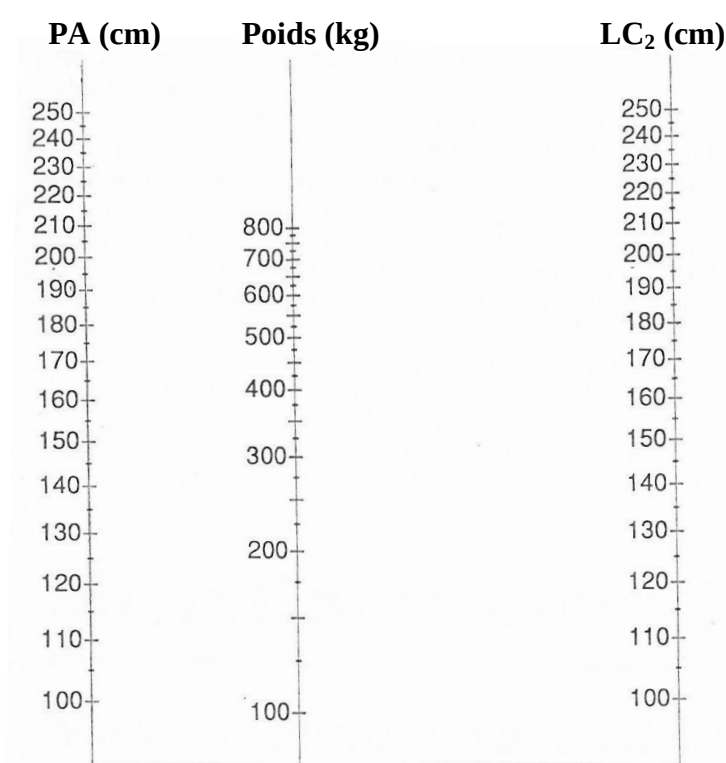
Elle a été établie après une étude sur 53 chevaux et poneys de race et d'âge différents. Les mesures ont été réalisées par la même personne 2 fois et chaque cheval a été pesé avec une balance. Le poids est estimé selon l'équation suivante :

$$\text{Poids (kg)} = \frac{\text{PA}^{1,78} \times \text{LC}_2^{1,05}}{3011}$$

avec PA : périmètre abdominal au niveau de l'ombilic (en cm)
 LC₂ : Longueur du corps de l'olécrane à la tubérosité ischiatique (en cm)

Une table préétablie a également été réalisée, elle est présentée en figure 6.

Figure 6 : Nomogramme permettant l'estimation du poids vif selon JONES et al. (1989)



✚ Formule de MARTIN-ROSSET (1990) :

Cette équation a été déterminée pour des chevaux de sang :

$$\text{Poids (kg)} = 2,6 \text{ HG} + 5,2 \text{ PT} - 855 (+/- 30 \text{ kg})$$

✚ Formule de BLANCHARD et al. (2005) :

Trois équations ont été déterminées avec 143 poulinières de 3 races différentes :

$$\begin{aligned} \text{Poids (kg)} &= 2,3 \text{ HG} + 3,19 \text{ PT} - 428 (+/- 29 \text{ kg}) \text{ pour les poulinières Pur-Sang Anglais} \\ \text{Poids (kg)} &= 4,42 \text{ HG} + 3,76 \text{ PT} - 849 (+/- 29 \text{ kg}) \text{ pour les poulinières Trotteur Français} \\ \text{Poids (kg)} &= 0,64 \text{ HG} + 5,78 \text{ PT} - 633 (+/- 29 \text{ kg}) \text{ pour les poulinières Selle Français} \end{aligned}$$

2.1.3. Précision des différentes méthodes d'estimation du poids

Des études ont été réalisées pour déterminer la précision des différentes méthodes d'estimation du poids vif du cheval. Toutes les méthodes donnent un poids vif globalement significativement différent du poids vif réel. Cette erreur ne dépasse pas 15 % toutes méthodes confondues ce qui reste relativement acceptable (pour un cheval de 500kg : 425 à 575 kg). L'évaluation visuelle du poids vif du cheval est la méthode la moins fiable. Les meilleures prédictions sont obtenues avec des équations faisant intervenir 2 variables.

Le fait d'augmenter le nombre de variables (>2) n'a pas d'influence sur la précision. Il semble que la formule de CARROLL et HUNTINGTON soit plus précise sur les poneys et les petits chevaux (5% d'erreur) alors que pour les chevaux plus lourds la formule de JONES *et al.* est préférable (formule faisant intervenir le périmètre abdominal) (REAVELL, 1999).

Le récapitulatif des différentes méthodes et de leur précision est présenté en tableau 6.

Tableau 6 : Récapitulatif des différentes équations d'estimation du poids du cheval et leur précision

Auteurs	Type de chevaux	Nombre de chevaux	Equation	Précision
MARCENAC et AUBLET (1964)	Non disponible		Poids (kg) = $PT^3 \times 80$	Non évaluée
MILNER et HEWITT (1969)	Toutes races	108	Poids (kg) = $\frac{PT^2 \times LC_3}{10\,815}$	11 % d'erreur
ENSMINGER (1977)	Non disponible		Poids (kg) = $\frac{(PT^2 \times LC_2) + 22,7}{10\,815}$	Non évaluée
CARROLL et HUNTINGTON (1988)	Toutes races	281	Poids (kg) = $\frac{PT^2 \times LC_1}{11\,877,4}$	7 % d'erreur
JONES <i>et al.</i> (1989)	Toutes races	53	Poids (kg) = $\frac{PA^{1,78} \times LC_2^{1,05}}{3011}$	8 % d'erreur
MARTIN-ROSSET (1990)	Chevaux de sang		Poids (kg) = 2,6 HG + 5,2 PT – 855	+/- 30 kg
BLANCHARD <i>et al.</i> (2005)	Pur-Sang Anglais	46	Poids (kg) = 2,3 HG + 3,19 PT – 428	+/- 29 kg
BLANCHARD <i>et al.</i> (2005)	Selle-Français	23	Poids (kg) = 0,64 HG + 5,78 PT – 633	+/- 29 kg
BLANCHARD <i>et al.</i> (2005)	Trotteur-Français	49	Poids (kg) = 4,42 HG + 3,76 PT – 849	+/- 29 kg

L'estimation du poids vif du cheval ne suffit pas à estimer son état corporel à savoir sa proportion en tissu maigre et adipeux. L'état corporel est plus efficace que le poids pour estimer les réserves graisseuses de l'animal car il est moins affecté par l'ossature du corps.

2.2. Evaluation de l'état corporel

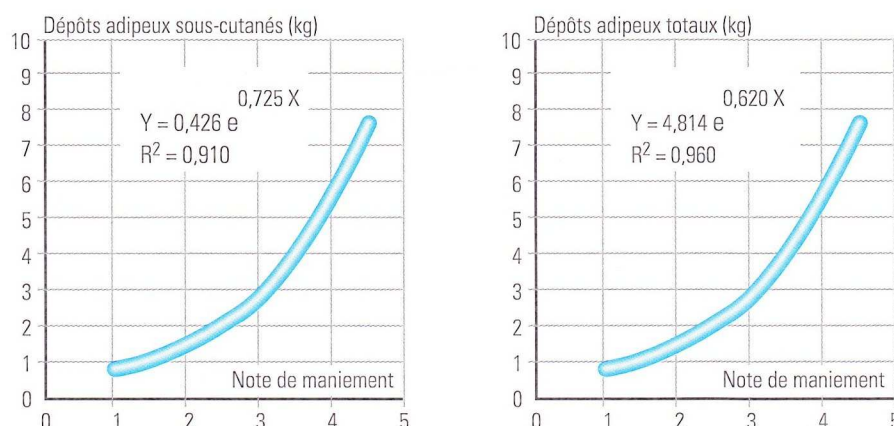
L'évaluation de l'état corporel du cheval se fait en attribuant une note d'état corporel. Il s'agit d'une valeur numérique évaluant les réserves adipeuses de l'animal. C'est un indicateur de la couverture graisseuse bien plus précis que le poids ou d'autres mesures corporelles. L'estimation de l'état corporel est fondée sur des critères visuels et manuels. L'échographie est également un bon indicateur des réserves adipeuses du cheval.

Cette notation est d'autant plus intéressante que les réserves adipeuses jouent un rôle fondamental dans le métabolisme de l'organisme. Elles participent à son isolation thermique et compensent les déficits énergétiques rencontrés dans certaines situations. La note d'état corporel permet de statuer sur l'adéquation du régime alimentaire et de l'activité du cheval.

2.2.1. Relation entre le poids de dépôts adipeux et la notation de l'état corporel

L'état corporel est positivement relié au pourcentage de tissu adipeux selon HENNEKE *et al.* en 1983. L'INRA a également démontré expérimentalement cette relation (figure 7). En revanche, il n'y a pas de corrélation significative entre le pourcentage de tissu adipeux et le poids, la hauteur au garrot ou le périmètre thoracique. Le système de notation de l'état corporel est indépendant de la conformation ou des mesures corporelles du cheval, il semble donc qu'il soit un indicateur plus précis des réserves adipeuses.

Figure 7 : Relation entre la note d'état corporel et les dépôts adipeux sous-cutanés et totaux (ARNAUD *et al.*, 1997)



2.2.2. Note d'état corporel

La notation de l'état corporel est basée sur des critères manuels (maniements) renforcés par des critères visuels. Des sites anatomiques ont été sélectionnés pour leur reflet des variations de la couverture grasseuse du cheval : processus épineux lombaires, côtes, attache de la queue, arrière de l'épaule, encolure et garrot. Une note d'état corporel est ensuite attribuée allant de 0 à 5 ou de 1 à 9 selon le système de notation utilisé. Les systèmes de notation seront présentés ultérieurement.

Critères visuels :

Il y a 7 sites anatomiques observables pour réaliser l'appréciation visuelle :

- Le chignon
- Le garrot
- La ligne du dos
- L'arrière de l'épaule
- Les côtes
- La croupe
- L'attache de la queue

Durant l'hiver, les poils longs et épais interfèrent avec l'appréciation visuelle, c'est pourquoi il est d'autant plus important de réaliser une appréciation manuelle.

Critères manuels :

L'appréciation manuelle se fait grâce aux maniements de sites anatomiques particuliers. Le maniement correspond à l'évaluation de l'importance des dépôts adipeux sous-cutanés (étendue, épaisseur et consistance) au moyen de palpations. Six sites anatomiques sont utilisés :

- Le chignon
- Le garrot
- La ligne du dos
- L'arrière de l'épaule
- Les côtes
- L'attache de la queue

Les côtes constituent le site majeur de maniement.

En pratique, le maniement est réalisé sur un cheval calme et bien positionné (tête et corps droits). Chaque site est palpé, l'étendue du dépôt sous-cutané, son épaisseur (évaluée par des pressions) et sa consistance (évaluée par des mouvements circulaires) sont appréciées.

La palpation de l'arrière de l'épaule et des côtes s'effectue par pression avec la paume ouverte, tandis que l'épaisseur est évaluée en faisant rouler la peau sous les doigts.

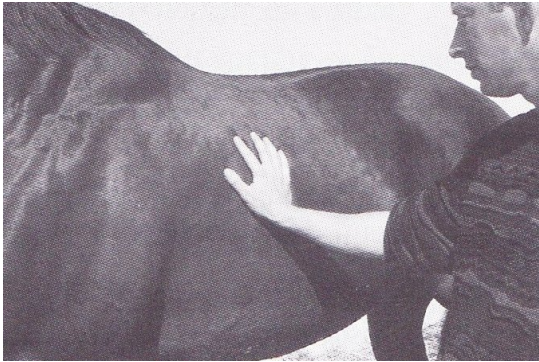
La palpation du chignon et du garrot s'effectue avec la paume de la main ouverte de part et d'autre de l'encolure.

La palpation de l'attache de la queue s'effectue par pression de manière verticale de chaque côté.

Les palpations des différentes zones sont représentées sur les photos 1.

Photo 1 : Palpation pour l'appréciation manuelle de la note d'état corporel
(ARNAUD et al., 1997)

Palpation des côtes



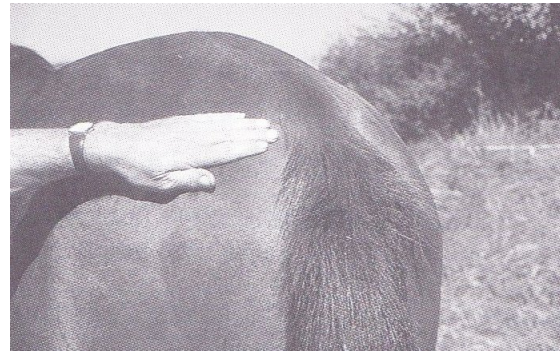
Palpation de l'arrière de l'épaule



Palpation du chignon



Palpation de l'attache de la queue



Le récapitulatif des sites anatomiques utilisés pour la notation de l'état corporel est présenté en figure 8 et dans le tableau 7.

Figure 8 : Récapitulatif des sites anatomiques utilisés pour la notation de l'état corporel (HENNEKE, 1985)

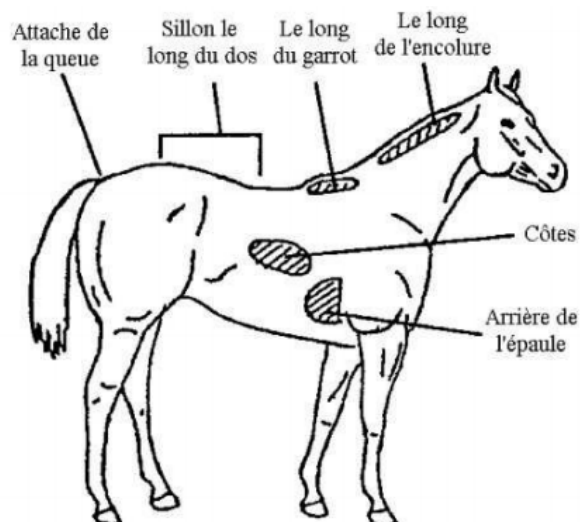


Tableau 7 : Récapitulatif des sites anatomiques et des critères utilisables pour la notation de l'état corporel

Sites	Visuel	Manuel
Chignon	Oui	Oui
Garrot	Oui	Oui
Ligne du dos	Oui	Oui
Arrière de l'épaule	Peu	Oui
Côtes	Oui	Oui
Croupe	Oui	Non
Attache de la queue	Peu	Oui

 Système de notation :

Il existe deux systèmes de notation de l'état corporel fondés sur les appréciations visuelles et manuelles. Le premier admis par le NRC (National Research Council) est développé par HENNEKE en 1985, il est détaillé dans le tableau 8. Ce système est inspiré du système NEBRASKA de WHITMAN (1975) utilisé chez les bovins. Les notes varient entre 1 et 9, la note de 1 étant attribuée à un cheval émacié et la note de 9 à un cheval extrêmement gras.

Tableau 8 : Système de notation de l'état corporel d'après HENNEKE (1985)

Note	Description
1 : émacié	Cheval extrêmement amaigri. Processus épineux, côtes, base de la queue, tuber coxae et ischiae très saillants. Structures osseuses du garrot, de l'épaule et de l'encolure facilement discernables. Absence de tissu adipeux palpable.
2 : très maigre	Cheval amaigri. Mince couverture grasseuse sur les processus épineux, processus transverses des vertèbres lombaires plus arrondis. Côtes, base de la queue, tuber coxae et ischiae saillants. Structures osseuses du garrot, de l'épaule et de l'encolure légèrement discernables.
3 : maigre	Couche grasseuse couvrant la moitié de la hauteur des processus épineux, processus transverses non palpable. Côtes visibles malgré une mince couverture grasseuse. Tuber coxae arrondi mais facilement discernable, tuber ischiae non distinguable. Base de la queue proéminente sans individualisation possible des vertèbres. Structures osseuses du garrot, de l'épaule et de l'encolure juste soulignées.
4 : Mince	Légère crête le long du dos. Contour des côtes juste discernable avec une couverture grasseuse palpable. Tuber coxae non discernable. Structures osseuses du garrot, de l'épaule et de l'encolure pas exagérément minces.
5 : Moyen	Dos plat (aucune crête visible). Côtes non discernable visuellement mais facilement palpables. Couverture grasseuse autour de la base de la queue spongieuse à la palpation. Garrot arrondi, épaule et encolure se marient avec le reste du corps.

6 : Modérément enrobé	Dos légèrement bombé. Côtes non discernables visuellement avec une graisse spongieuse palpable. Couverture grasseuse tendre autour de la base de la queue. Dépôt de graisse sur les côtés du garrot, derrière les épaules et le long de l'encolure.
7 : Enrobé	Dos bombé. Côtes palpables individuellement mais les espaces intercostaux sont visiblement remplis de graisse. Couverture grasseuse tendre autour de la base de la queue. Dépôt de graisse le long du garrot, derrière l'épaule et le long de l'encolure.
8 : Gras	Dos bombé. Côtes difficilement palpables. Couverture grasseuse très tendre autour de la base de la queue, le long du garrot et derrière les épaules. Epaississement visible de l'encolure. Dépôt de graisse sur l'intérieur des cuisses.
9 : Extrêmement gras	Dos très bombé. Côtes non palpables avec une couverture grasseuse inégale au dessus des côtes. Couverture grasseuse bombée autour de la base de la queue, le long du garrot, derrière les épaules et le long de l'encolure. Dépôt de graisse à l'intérieur des cuisses en contact, les flancs sont remplis de graisse.

Ce système de notation a été testé par plusieurs éleveurs et il s'est avéré facile à utiliser et fiable.
Des exemples de différents états corporels sont présentés en photos 2.

Photo 2 : Différents exemples d'état corporel selon le système
de notation de HENNEKE (1985)

Note 2



Note 3



Note 4



Note 5



Note 6



Note 7



Note 8



Le deuxième système de notation est développé par l'INRA en 1990. Les notes s'étalent de 0 à 5, la note de 0 étant attribuée à un cheval émacié et la note de 5 à un cheval obèse. Des demi-points peuvent également être attribués par des « notateurs » expérimentés. Le système de notation est présenté dans le tableau 9.

Tableau 9 : Système de notation de l'état corporel d'après l'INRA (ARNAUD et al. 1997)

En gras : caractéristiques les plus déterminantes

En italique : caractéristiques les moins déterminantes

En caractère romain : caractéristiques intermédiaires

Notes	Description
0 : Emacié	Garrot très saillant (tranchant). Croupe très émaciée, fonte musculaire très accentuée : os du bassin saillants, croupe « pointue ». Bord de l'encolure émacié, chignon inexistant, muscles secs plaqués sur l'ossature cervicale apparente. Forte dépression saillante très sèche en arrière de l'épaule et très forts creux intercostaux. Aucun dépôt adipeux palpable. Très mauvais poil. <i>Ligne du dos très marquée avec des processus épineux facilement identifiables, la peau très sèche et collée sur l'épine dorsale.</i> <i>Vertèbres de la queue saillantes, le ligament sacro-tubéral bien dégagé.</i>
1 : Très maigre	Garrot saillant, haut des omoplates visible. Contours de la croupe concaves, pointes des fesses et des hanches apparentes. Chignon à peine apparent, ossature cervicale discernable. Zone en arrière de l'épaule creuse laissant apparaître nettement le relief de l'épaule. Aucun dépôt adipeux n'est palpable. Côtes apparentes, creux intercostaux accentués, peau tendue et presque collée aux côtes. Processus épineux marqués avec une peau relativement tendue. Poil très terne (« piqué »). <i>Queue détachée nettement de la croupe, creux accentué de chaque côté de sa base. Vertèbres de la queue et ligaments sacro-tubéraux légèrement saillants. Aucun dépôt adipeux palpable.</i>
2 : Insuffisant	Côtes distinguables et individualisables sous une peau souple et un léger dépôt adipeux. Garrot marqué et sec, ses faces latérales sont plates. Chignon visible avec un léger sillon à sa base. Léger dépôt adipeux palpable en arrière de l'épaule mais relief de l'épaule discernable. Poil plutôt terne. <i>Ligne du dos marquée avec des processus épineux peu couverts mais à peine individualisables.</i> <i>Pointes des fesses et des hanches discernables.</i> <i>Attache de la queue fine, léger dépôt adipeux à peine décelable autour de la base, les vertèbres et les ligaments sacro-tubéraux sont à peines visibles.</i>

3 : Optimum	Côtes non visibles à peine palpables avec un dépôt adipeux sur les processus transverses des vertèbres. Chignon bien dessiné, le garrot ressort légèrement. Zone en arrière de l'épaule plate avec un dépôt adipeux bien délimité roulant sous la main, individualisation de l'épaule. <i>Ligne du dos juste apparente, processus épineux non individualisables.</i> <i>Croupe peu arrondie avec des contours convexes, pointes des fesses et des hanches légèrement discernables.</i> <i>Attache de la queue relativement dégagée, léger dépôt adipeux ferme de chaque côté.</i>
4 : Gras	Côtes impalpables, dépôt adipeux continu palpable au niveau des côtes et de la ligne des processus transverses des vertèbres. Bord supérieur de l'encolure préhensible à pleine main, chignon épais. Zone en arrière de l'épaule légèrement convexe avec un dépôt adipeux épais et mou. Attache de la queue peu détachée avec un dépôt adipeux épais et mou. <i>Garrot noyé.</i> <i>Croupe bien arrondie, pointes des fesses et des hanches difficilement localisables.</i>
5 : Suiffard-obèse	Bord supérieur de l'encolure très arrondi et noyé dans la masse de l'encolure, chignon arrondi. Zone en arrière de l'épaule bombée avec un dépôt adipeux important qui tremble au palper, l'épaule s'efface dans une zone nettement bombée. Côtes recouvertes d'un épais « matelas » où la peau et le tissu adipeux roulent sous la main. Croupe rebondie, éventuellement « double » (sillon médian). Attache de la queue massive entourée d'un dépôt adipeux spongieux au toucher. Poil brillant. <i>Garrot noyé, ses faces latérales sont bien rondes.</i> <i>Ligne du dos noyée dans la masse.</i>

Les différents sites n'ont pas la même importance relative pour l'attribution de la note d'état corporel comme cela est décrit dans le tableau 10. Le site des côtes et de l'arrière de l'épaule sont plus importants pour l'appréciation des notes moyennes. Les sites de l'encolure, du garrot et de la croupe sont plus discriminants pour les notes basses. L'encolure et la croupe sont également importantes pour l'appréciation des notes élevées.

Tableau 10 : Importance relative des différents sites dans l'attribution de la note de l'état corporel
(ARNAUD et al., 1997)

Notes	Encolure	Garrot	Arrière de l'épaule	Côtes	Ligne du dos	Croupe	Attache de la queue
0	++	+++		+		++	
1	+	+++		++	++	+	
2		+	++	+++			
3	+		++	+++			
4	++		++	+++			+
5	+++		+	++		++	++

Ce système de notation a été testé par de nombreux experts et néophytes et il s'est avéré facile à utiliser, précis et répétable. Des exemples de notation sont présentés en photo 3.

Photo 3 : Différents exemples d'état corporel selon le système de notation de l'INRA (Haras Nationaux)

Note 1



Note 2



Note 3



Note 4



Note 5



Pièges à éviter :

Les conditions extérieures, la morphologie et l'état du cheval influencent le jugement du « notateur », c'est pourquoi il est important de fonder sa notation sur des critères précis et détaillés. Tout d'abord, une des premières erreurs est d'attribuer la note la plus haute au cheval le plus gras observé et la note la plus basse au cheval le plus maigre.

Un mauvais éclairage peut accentuer ou atténuer les effets de relief et donc fausser la notation de l'état corporel. La notation doit également se faire sur un cheval calme, en effet le jugement visuel et manuel du « notateur » sera faussé sur un cheval stressé et contracté.

L'état du poil des chevaux peut aussi influencer le jugement du notateur. La masse musculaire peut aboutir à des erreurs de notation : les individus peu gras mais fortement musclés sont facilement sur-notés. En revanche des individus plus « osseux » ont tendance à être sous-notés. Le volume abdominal va lui aussi influencer la notation : un cheval efflanqué risque d'être jugé maigre alors qu'une poulinière risque d'être jugée grasse.

2.2.3. Evaluation échographique

L'utilisation de l'échographie pour évaluer la couverture grasseuse totale du corps est bien documentée chez les ovins, porcins et bovins. Les mesures sont réalisées sur les sites de prédilection de dépôt du tissu adipeux. Quelques études ont été réalisées chez le cheval.

Une étude réalisée par WESTERVELT *et al.* en 1976 a mis en évidence la relation entre le gras extractible et l'épaisseur du tissu adipeux mesuré à l'échographie. Des mesures ont été réalisées sur 3 sites (arrière de la scapula, entre la 12^{ème} et la 13^{ème} côte à 5 cm de la ligne du dos et au niveau de la croupe : à mi-distance entre la base de la queue et la première vertèbre sacrée, 5 cm latéralement). L'épaisseur du tissu adipeux au niveau de la croupe mesurée à l'abattoir à l'aide d'un compas d'épaisseur, est hautement corrélée à l'épaisseur mesurée à l'échographie ($r = 0,85$). L'épaisseur de tissu adipeux de la croupe est hautement corrélée avec la teneur en tissu adipeux obtenu après analyse de la carcasse (extraction par l'éther).

On obtient une équation reliant le gras extractible (Y en %) et l'épaisseur de tissu adipeux mesurée à l'échographie (X en cm) sur la croupe : $Y = 8,64 + 4,7 X$ pour les chevaux ($r = 0,93$) et $Y = 3,83 + 5,58 X$ pour les poneys ($r = 0,63$).

D'autres études ont ensuite été réalisées. Elles démontrent que la couverture grasseuse sur la croupe n'est pas le meilleur indicateur de l'état corporel du cheval et lui préfèrent l'attache de la queue. KANE *et al.* (1987) ont réalisé des mesures sur 5 sites (site 1 : 6 cm crânialement à l'attache de la queue et site 5 : apex de la croupe) ; ils ont démontré que l'épaisseur de tissu adipeux diminue progressivement vers l'apex de la croupe. De même la corrélation entre la teneur en tissu adipeux et l'épaisseur de tissu adipeux mesurée à l'échographie est plus faible à l'apex de la croupe. Une équation du même type que dans l'étude de WESTERVELT *et al.* est déterminée :

Pourcentage de graisse corporelle = $2,47 + 5,47 E$ (épaisseur du tissu adipeux en cm).

GENTRY *et al.* en 2004 retrouvent les mêmes résultats, l'attache de la queue apparaît être le meilleur indicateur des changements d'état corporel (mesure réalisée 7,62 cm en moyenne crânialement à la base de la queue et 5 cm latéralement).

3. Relation entre état corporel et performance en course d'endurance

Chez les humains, plusieurs études ont démontré que l'état corporel influence la performance en course, et que notamment un excès de tissu adipeux est défavorable (WILMORE, 1983 ; LOHMAN, 1982). Plusieurs études ont donc été réalisées chez les chevaux d'endurance afin de déterminer si le poids et surtout l'état corporel influence la performance.

3.1. Etudes à l'étranger

LAWRENCE *et al.* (1992) ont démontré que les chevaux ayant les meilleures performances ont un état corporel plus bas que les chevaux éliminés ou plus lents ($p < 0,05$). Cette étude a été réalisée sur une course de 150 miles dans le Kentucky se déroulant sur 2 jours avec 61 chevaux partants dont 25 chevaux finissants. L'état corporel moyen est de 4,67 selon le système d'HENNEKE et le pourcentage de tissu adipeux corporel moyen est de 7,8% (mesuré à l'échographie au niveau de la croupe). Les chevaux finissant dans les premiers présentent également un pourcentage de tissu adipeux corporel inférieur ($p < 0,1$; 6,5 % en moyenne contre 11% chez les chevaux éliminés). Ces résultats sont logiques puisque un cheval plus « gras » doit fournir plus d'énergie qu'un autre pour un travail identique. De plus ses capacités de thermorégulation sont réduites par l'épaisseur de tissu adipeux qui forme une couche isolante plus importante.

Une étude réalisée par GARLINGHOUSE et BURRILL (1999) donne des résultats légèrement différents. Dans cette étude des mesures ont été réalisées sur 360 chevaux réalisant une course de 160 km en Californie en 1995 et 1996. Il a été démontré que le poids du cavalier n'influence pas la performance de manière significative à la différence du poids vif et de l'état corporel du cheval ($p < 0,001$). Les chevaux les plus lourds ont été plus éliminés pour boiterie que les autres ($p < 0,001$). Les chevaux éliminés pour des raisons métaboliques présentent une note d'état corporel plus basse (système de notation d'HENNEKE : 2,88 +/- 0,81) que les chevaux éliminés pour boiterie (4,33 +/- 0,42) ou que les chevaux finissant l'épreuve (4,6 +/- 0,53). Les chevaux ayant un état corporel inférieur à 3 ont tous été éliminés alors que des chevaux présentant un état corporel de 5 et 5,5 présentent un taux de réussite plus important (respectivement 90,7 et 100%). La distance parcourue avec succès augmente de 31,81 km pour chaque point d'état corporel avec un maximum de 5,5. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'un cheval trop maigre manque de réserves en substrats énergétiques pour accomplir un effort d'endurance.

D'autres études réalisées chez des Trotteurs et des Pur-Sangs (KEARNS *et al.*, 2002 a et b) corroborent ces résultats. Le pourcentage de tissu adipeux est proche de celui déterminé par LAWRENCE *et al.*, 8,8 % pour les Trotteurs et 8,4 % pour les Pur-Sangs, ce qui suggère qu'il y a peu de différence entre les races et que les chevaux concourant à haut niveau ont une composition corporelle assez similaire. Le pourcentage de tissu adipeux et la masse corporelle maigre sont là aussi corrélés négativement à la performance en course. Aucun pourcentage optimal de tissu adipeux n'a encore été suggéré mais dans les précédentes publications les meilleures performances ont été réalisées par des chevaux présentant environ 5 % de tissu adipeux.

3.2. Etudes en France

Lors d'une étude épidémiologique sur le développement des troubles métaboliques réalisée en 2003 (LANGLOIS, 2006), la hauteur au garrot, le poids vif et l'état corporel ont été démontrés comme des facteurs influençant la performance. Les chevaux de gabarit plus grand ($\geq 1,54\text{m}$) ou plus gras (estimés « ronds » par leur propriétaire) que la moyenne ont développé plus de troubles métaboliques (respectivement 2,2 et 2,8 fois plus de risque que les individus normaux). En effet, ces individus doivent fournir un effort supérieur pour accomplir le même exercice et les mécanismes de thermorégulation sont détériorés par la présence importante de tissu adipeux. Les chevaux plus légers ($< 410\text{ kg}$) que la moyenne ont 1,2 fois plus de risque que les individus normaux de développer des troubles métaboliques. Ceci s'explique notamment par le déficit en réserve de substrats énergétiques.

L'effort d'endurance est particulièrement éprouvant pour l'organisme des chevaux et peut générer des désordres métaboliques parfois graves. Malgré la réglementation de la discipline avec la mise en place de contrôles vétérinaires tout au long des épreuves, 10 à 30 % des chevaux éliminés présentent des troubles métaboliques. Des études menées en France et à l'étranger ont démontré que certains facteurs individuels modifiant les capacités de thermorégulation seraient significativement liés à une augmentation des troubles métaboliques ; c'est le cas notamment de l'état corporel du cheval. Pour permettre le suivi du poids du cheval, des méthodes ont été développées à partir de mesures corporelles pour établir des équations d'estimation du poids vif. De plus des systèmes de notation de l'état corporel, fondés sur une appréciation visuelle et manuelle de certaines régions, permettent le suivi des réserves adipeuses du cheval.

Deuxième Partie : ETUDE EXPERIMENTALE

Relations entre les mesures corporelles, le poids, l'état corporel et la performance chez des chevaux d'endurance concourant sur des épreuves de 120 à 160 km. Détermination expérimentale du « poids de forme ».

1. Objectifs de l'étude

Les chevaux éliminés pour des raisons métaboliques sont encore trop nombreux en course d'endurance notamment sur des courses de haut niveau. Le poids et l'état corporel ont été décrits comme des facteurs liés significativement aux troubles métaboliques. Cependant beaucoup de cavaliers et entraîneurs ont une appréciation erronée de l'état corporel de leur cheval. Notre travail a pour objectif de mettre en place des méthodes standardisées d'évaluation du poids et de l'état corporel des chevaux d'endurance utilisables par le cavalier ou l'entraîneur et de déterminer les mensurations optimales pour la réussite en course. Ces outils pourront leur permettre de suivre l'état corporel de leur cheval afin de le maintenir dans les conditions optimales.

2. Matériel et méthodes

Une étude préliminaire a été réalisée pour évaluer la répétabilité de la prise des mesures corporelles.

2.1. Population d'étude

2.1.1. Etude préliminaire

L'étude préliminaire a été réalisée sur 12 chevaux d'un centre équestre. Le choix des chevaux a été effectué en fonction de leur tempérament et de leur disponibilité.

2.1.2. Etude de terrain

L'étude est réalisée en France entre mai 2007 et juillet 2008 sur 4 sites de concours différents et sur des épreuves CEI** (120 km) et CEI*** (160km) : Rambouillet CEI***, Compiègne CEI** Championnat du Monde Jeunes Chevaux et CEI***, Monpazier CEI** et CEI*** et Moulins-Engilbert 130km Pro et Amateur et 160 km Pro et Amateur. Le choix des courses a été effectué en fonction des disponibilités des manipulateurs, de la localisation géographique et de la disponibilité d'une balance. Sur chaque course les chevaux ont été sélectionnés sur la base du volontariat.

2.2. Protocole

2.2.1. Etude préliminaire

Les mesures de l'étude préliminaire ont été effectuées un mois avant la réalisation des premières mesures de l'étude de terrain. Les mesures corporelles suivantes ont été effectuées sur chaque cheval (longueur du corps, hauteur au garrot, périmètre thoracique, circonférence du canon, largeur de la queue et pli cutané en arrière de l'épaule). L'ensemble des mesures corporelles est détaillé dans l'étude de terrain et illustré dans la figure 9. Deux personnes ont réalisé indépendamment les mesures deux fois à 1 mois d'intervalle.

2.2.2. Etude de terrain

Les mesures de l'étude de terrain ont été effectuées la veille des épreuves avant ou après le contrôle vétérinaire initial.

Pour chaque cheval les données suivantes sont recueillies :

+ Informations sur le cheval : âge, race, sexe

+ Mesure du poids :

Poids vif en kg, mesuré à l'aide d'une balance pour grands animaux à affichage digital (précision +/- 1 kg) (photo 4)

+ Mesures corporelles :

L'ensemble des mesures corporelles est illustré dans la figure 9.

- Longueur du corps (LC) en cm, mesurée à l'aide d'un décimètre de la pointe de l'épaule à la pointe de la fesse (photo 5)
- Hauteur au garrot (HG) en cm, mesurée à l'aide d'une toise à niveau au point le plus haut du garrot, cheval situé sur une surface plane et avec une hauteur de tête normale (photo 6)
- Périmètre thoracique (PT) en cm, mesuré à l'aide d'un décimètre au niveau du passage de sangle après l'expiration (photo 7)
- Circonférence du canon (CC) en cm, mesurée avec un mètre-ruban à mi-distance du canon (photo 8)
- Largeur de la queue en mm, mesurée à l'aide d'un pied à coulisse à la base de la queue (photo 9)
- Epaisseur du pli cutané en arrière de l'épaule en mm, mesurée avec un pied à coulisse au niveau du dépôt adipeux en arrière de l'épaule (jonction 1/3 supérieur - 1/3 moyen du thorax) (photo 10)

Photo 4 : Pesée des chevaux



Photo 5 : Mesure de la longueur
du corps (LC)



Photo 6 : Mesure de la hauteur au garrot (HG)



Photo 7 : Mesure du
périmètre thoracique (PT)



Photo 8 : Mesure de la
circonférence du canon (CC)



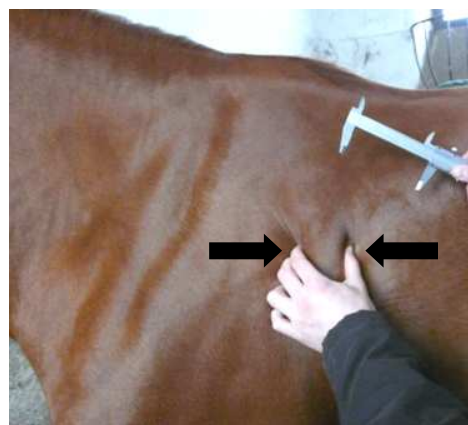
Photo 9 : Mesure de la largeur de la queue



Photo 10 : Mesure de l'épaisseur du pli cutané en arrière de l'épaule



1 : Mesure de 10 cm au niveau de la zone de dépôt adipeux

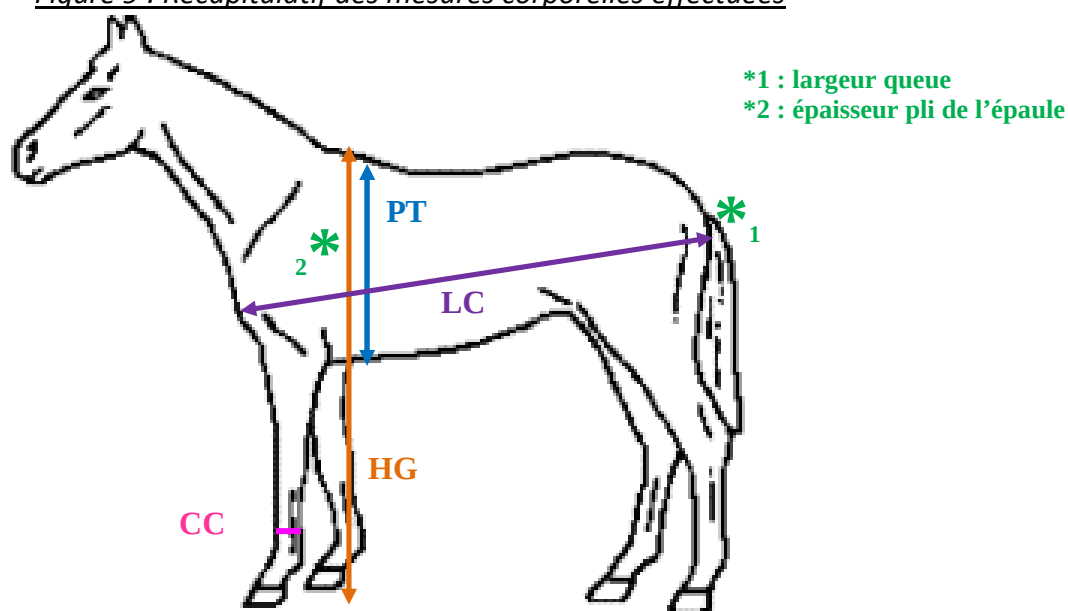


2 : Pincement maximal de la zone mesurée



3 : Mesure de l'épaisseur du pli cutané pincé

Figure 9 : Récapitulatif des mesures corporelles effectuées



Les indices corporels suivants ont été calculés à partir de ces mesures :

- Indice corporel de profil (ICP) : $ICP = HG/LC$
- Indice dactylo-thoracique (IDT) : $IDT = CC/PT$
- Indice de compacité (Icomp) : $Icomp = Poids/HG$
- Indice de conformation (Iconf) : $Iconf = (PT^2/HG)/100$
- Rapport corporel (RpC) : $RPC = PT/HG$

Notation de l'état corporel :

- Notation visuelle pour les sites anatomiques suivants : encolure, garrot, dos, côtes, arrière de l'épaule, ventre, creux du flanc, croupe et base de la queue
- Maniement pour les sites anatomiques suivants : encolure, garrot, arrière de l'épaule, côtes, base de la queue
- Attribution d'une note d'état corporel selon le système de HENNEKE par la même personne

Photographies numériques du cheval au placier (de face, de profil et de dos)

Il est également demandé à chaque cavalier une estimation du poids actuel de son cheval et une évaluation de son état corporel (Maigre, Fit, Normal ou Enrobé).

Pour certains chevaux certaines données sont manquantes du fait du caractère du cheval ou du refus de certains propriétaires, c'est par exemple le cas du poids mesuré.

2.3. Analyse des données

2.3.1. Etude préliminaire

L'ensemble des données pour chaque manipulateur et chaque cheval est saisi dans un tableur Excel.

Les données sont comparées entre les 2 manipulateurs et entre les 2 séries de mesures de chacun des manipulateurs. Les données sont analysées grâce à un logiciel de statistiques (Statview), un test T de Student est réalisé après vérification de l'absence de différence significative entre les variances.

2.3.2. Etude de terrain

L'ensemble des données pour chaque cheval est également saisi dans un tableur Excel.

Les chevaux sont répartis en 4 groupes : 1^{er} tiers des classés, 2^{ème} et 3^{ème} tiers des classés, éliminés pour troubles locomoteurs et éliminés pour troubles métaboliques. Les groupes sont comparés deux à deux.

La relation entre chaque paramètre et la performance est étudiée. Les données qualitatives sont analysées avec un test de χ^2 pour chacun de ces groupes. Les données quantitatives sont analysées avec un test T de Student après vérification de l'absence de différence significative entre les variances. Ces analyses sont effectuées grâce au logiciel de statistiques : StatView.

Des coefficients de corrélation sont calculés pour étudier la relation entre le poids et l'état corporel estimés par les cavaliers et les mesures effectuées (poids, note d'état), de même pour la relation entre les mesures corporelles effectuées et le poids mesuré.

Une équation d'estimation du poids vif est déterminée pour les Pur-Sang Arabe à partir de nos données expérimentales (régression linéaire multiple sur Excel). Le pourcentage d'erreur par rapport au poids mesuré est calculé pour les équations de CARROLL et HUNTINGTON (1988), MARTIN-ROSSET (1990) et les 3 équations de BLANCHARD *et al.* (2005).

3. Résultats

3.1. Résultats de l'étude préliminaire

Aucune différence significative n'a été observée entre les opérateurs et entre les 2 séries de mesures. Les mesures apparaissent facilement répétables.

3.2. Caractéristiques des courses d'endurance étudiées

L'étude s'est faite sur 4 sites géographiques et 7 courses différentes. Le détail des lieux, dates et distances des épreuves est reporté dans le tableau 11. 414 concurrents étaient engagés sur ces épreuves ; selon la courses les candidats étaient plus ou moins nombreux (10 à 108 partants). 239 concurrents ont participé à notre étude soit environ 58 % des participants, avec plus de 50% de participation à chaque course à l'exception du Championnat du Monde des jeunes chevaux de Compiègne (26%). Ceci peut s'expliquer par une proportion plus importante de candidats étrangers dans cette course (67%). 27 % des concurrents partants étaient de nationalités étrangères.

La proportion de chevaux éliminés sur les épreuves est de 47,6 % en moyenne toutes causes confondues (de 38 à 67% selon les courses). Pour les chevaux ayant participé à notre étude, la proportion de chevaux éliminés est de 45,6 % avec 62 % d'éliminés pour troubles locomoteurs, 20 % d'éliminés pour troubles métaboliques et 18 % d'abandons. Aucune différence significative n'a été observée entre la proportion d'éliminés et le lieu de la course, de même pour chaque motif d'élimination.

Tableau 11 : Caractéristiques des courses d'endurance étudiées

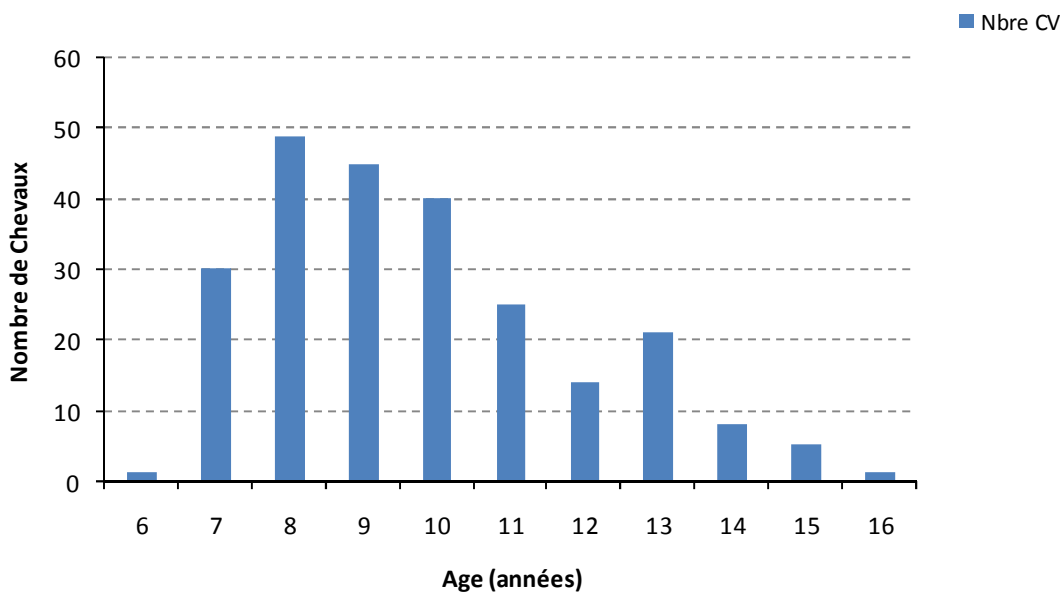
Lieu	Date	Distance (km)	Type d'épreuve	Nombre de partants	Nombre de classés	Nombre d'éliminés	Nombre de troubles locomoteurs	Nombre de troubles métaboliques	Nombre d'abandons
Rambouillet	26/05/2007	160	CEI ***	50	27 (54%)	23 (46%)	15	4	4
Compiègne	24/08/2007	160	CEI ***	84	46 (55 %)	38 (45%)	21	11	6
Compiègne Championnat du Monde jeunes chevaux	26/08/2007	120	CEI **	108	56 (52%)	52 (48%)	29	14	9
Monpazier	21/09/2007	160	CEI ***	35	11 (33%)	24 (67%)	15	0	9
Monpazier	22/09/2007	120	CEI **	76	47 (62%)	29 (38%)	20	4	5
Moulins-Engilbert	25/07/2008	160	Amateur et Pro Elite GP	10	6 (60%)	4 (40%)	3	1	0
Moulins-Engilbert	25/07/2008	130	Amateur et Pro Elite	55	27 (51%)	28 (49%)	15	8	5

3.3. Caractéristiques des chevaux de la population d'étude

3.3.1. Age

Les chevaux ayant participé à l'étude sont âgés en moyenne de 9,8 +/- 2,1 ans. Les âges s'étalent de 6 à 16 ans. La répartition des chevaux en fonction de leur âge est présentée dans la figure 10.

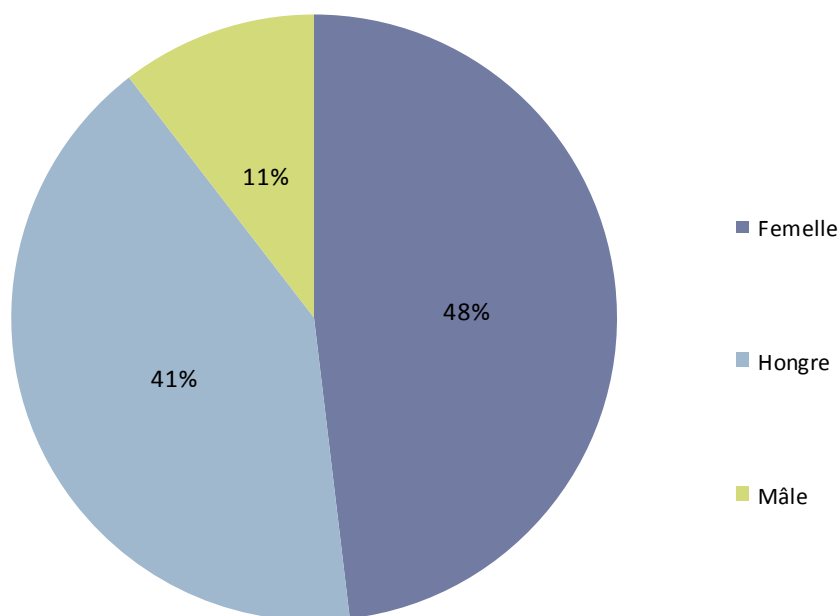
Figure 10 : Répartition des chevaux en fonction de l'âge



3.3.2. Sexe

La figure 11 représente la répartition des chevaux en fonction de leur sexe. On constate que la majorité des chevaux ayant participé à l'étude sont des femelles (48%). Les mâles ne représentent que 11%.

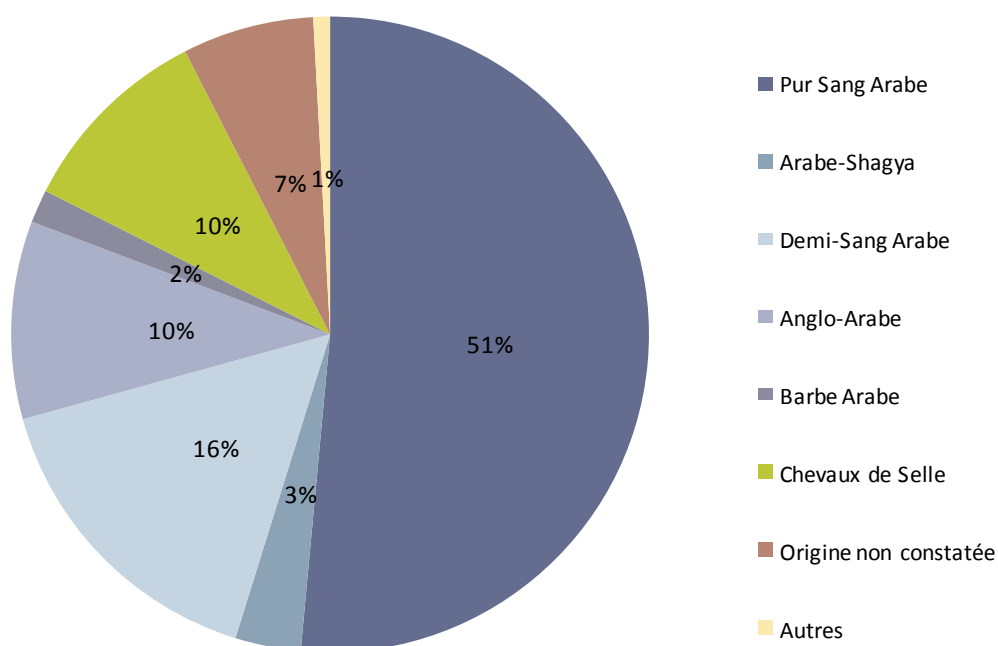
Figure 11 : Répartition des chevaux en fonction du sexe



3.3.3. Race

Comme le montre la figure 12, la majorité des chevaux ayant participé à l'étude sont des Pur-Sang Arabes ou des croisés Pur-sang Arabes (83%).

Figure 12 : Répartition des chevaux en fonction de la race

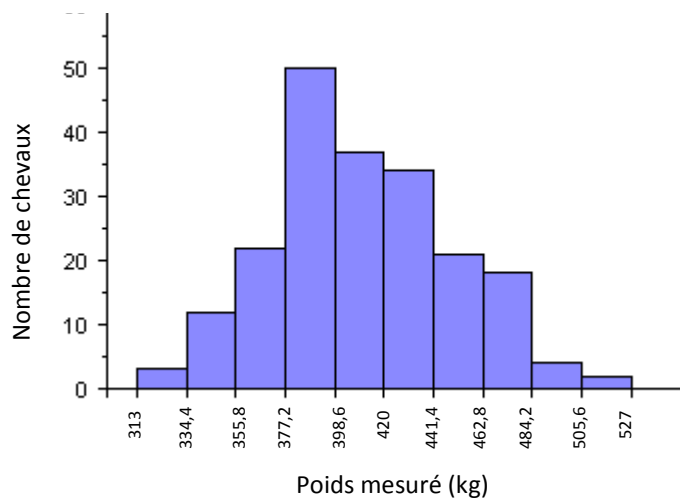


3.3.4. Mesure du Poids

Le poids a été mesuré pour 203 chevaux sur les 239 ayant participé à l'étude. En effet, certains chevaux ont refusé de monter sur la balance ou certains propriétaires ne souhaitent pas peser leur cheval la veille de l'épreuve, craignant un accident.

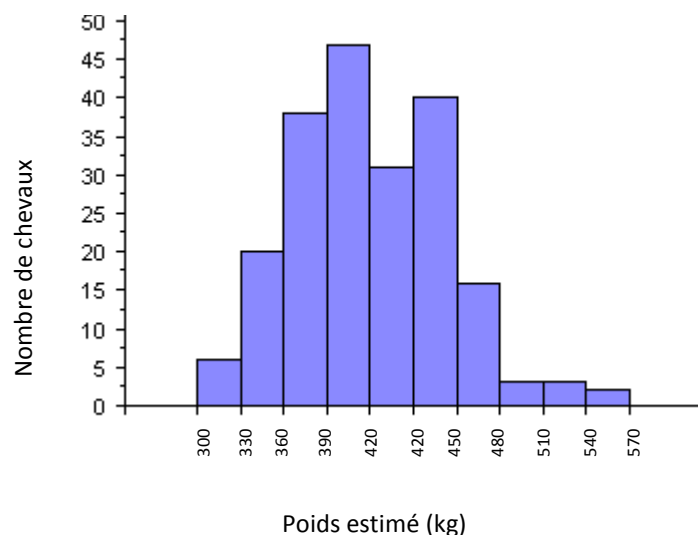
Le poids moyen est de 410,9 +/- 39,2 kg. Les poids s'étalent de 313 kg à 527 kg. La distribution des poids est illustrée dans la figure 13.

Figure 13 : Distribution du poids mesuré à la balance



Nous avons demandé une estimation du poids de leur cheval à chaque cavalier, les résultats sont présentés dans la figure 14. 206 cavaliers ont répondu sur les 239, la plupart des cavaliers ne souhaitant pas peser leurs chevaux n'ont pas donné d'estimation du poids de leur cheval. Le poids moyen estimé est de 415 +/- 51 kg, les poids s'étalant de 300 à 600 kg. Le coefficient de corrélation entre le poids estimé par les cavaliers et le poids mesuré est de 0,72.

Figure 14 : Distribution du poids estimé par les cavaliers

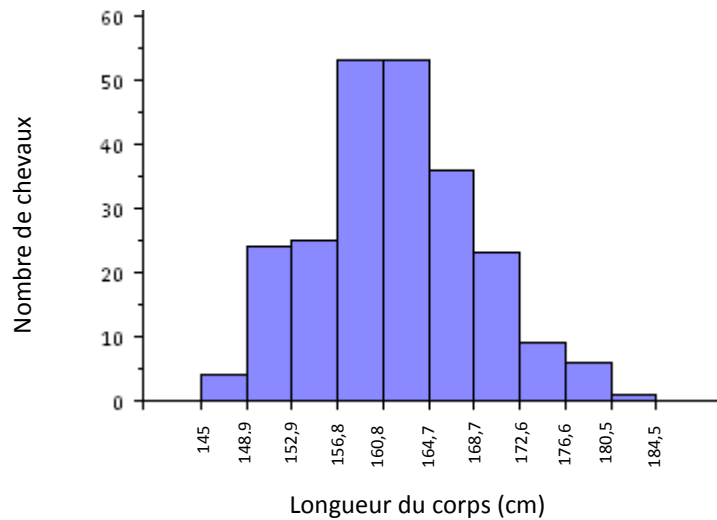


3.4. Mesures corporelles

3.4.1. Longueur du corps

La longueur du corps a été mesurée sur 234 chevaux. La longueur moyenne est de 161,7 +/- 7,1 cm. Les valeurs s'étalent de 145 à 184 cm. La distribution des mesures est présentée en figure 15.

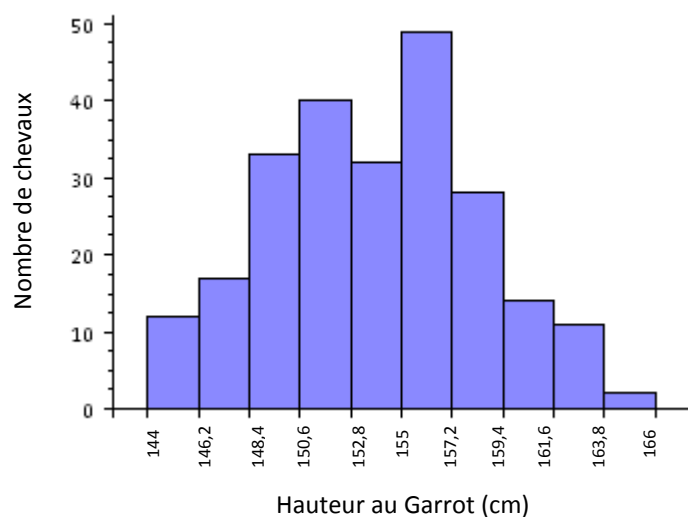
Figure 15 : Distribution de la longueur du corps



3.4.2. Hauteur au garrot

La hauteur au garrot a été mesurée sur 238 chevaux. La hauteur moyenne est de 153,8 +/- 4,5 cm. Les valeurs s'étalent de 144 à 166 cm. La distribution des mesures est présentée en figure 16.

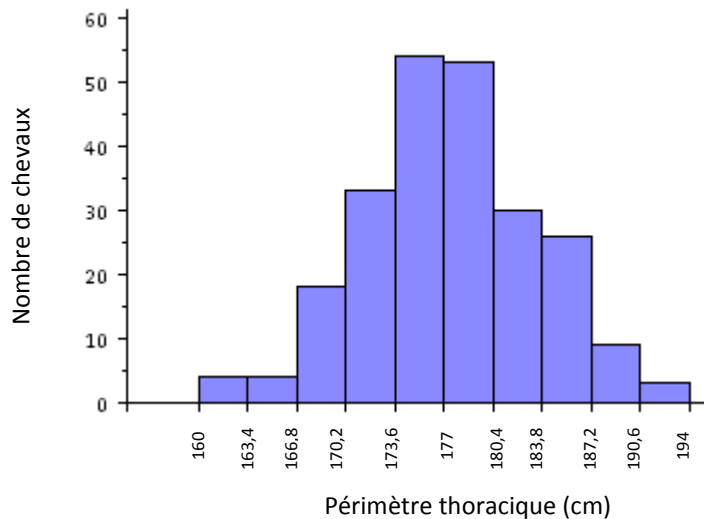
Figure 16 : Distribution de la hauteur au garrot



3.4.3. Périmètre thoracique

Cette mesure a été faite sur 234 chevaux. Le périmètre moyen est de 177,4 +/- 6,1 cm. Les valeurs s'étalent de 160 à 194 cm. La répartition des mesures est illustrée en figure 17.

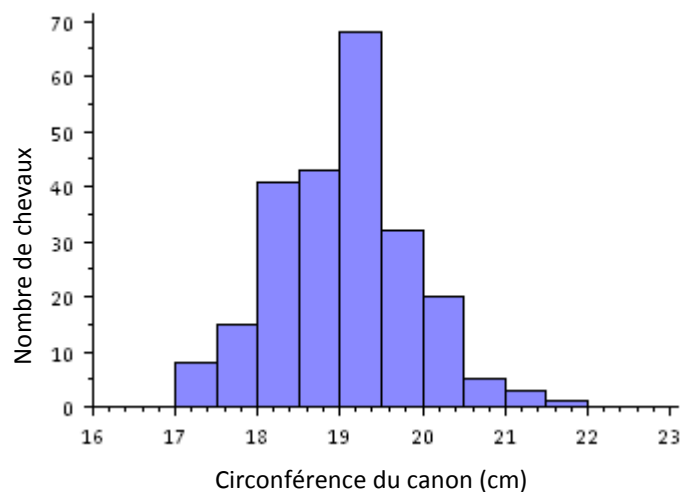
Figure 17 : Distribution du périmètre thoracique



3.4.4. Circonférence du canon

Cette mesure a été réalisée sur 236 chevaux. La circonférence moyenne est de 18,9 +/- 0,8 cm. Les valeurs s'étalent de 17 à 22 cm. La répartition des mesures est illustrée en figure 18.

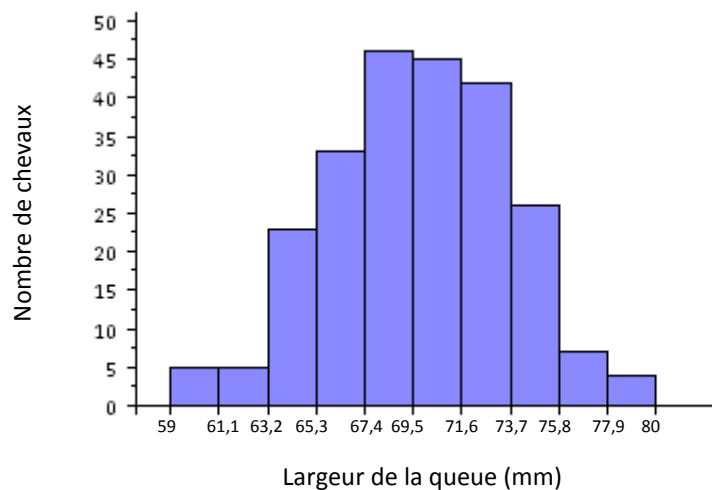
Figure 18 : Distribution de la circonférence du canon



3.4.5. Largeur de la queue

La largeur de la queue a été mesurée sur 236 chevaux. La largeur moyenne est de 69,6 +/- 3,8 mm. Les valeurs s'étalent de 59 à 80 mm. La distribution des mesures est présentée en figure 19.

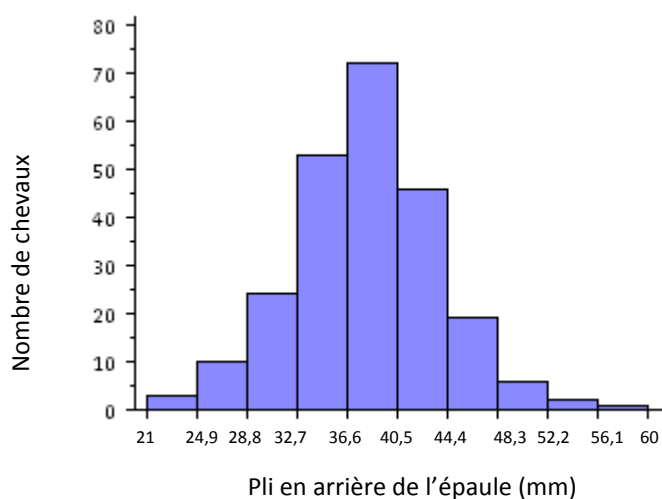
Figure 19 : Distribution de la largeur de la queue



3.4.6. Pli cutané en arrière de l'épaule

Cette mesure a été réalisée sur 236 chevaux. La valeur moyenne est de 38 +/- 5,9 mm. Les valeurs s'étalent de 21 à 60 mm. La répartition des mesures est illustrée en figure 20.

Figure 20 : Distribution du pli cutané en arrière de l'épaule



3.4.7. Indices Corporels

Les valeurs des différents indices corporels calculés sont présentées dans le tableau 12.

Tableau 12 : Valeurs des indices corporels calculés

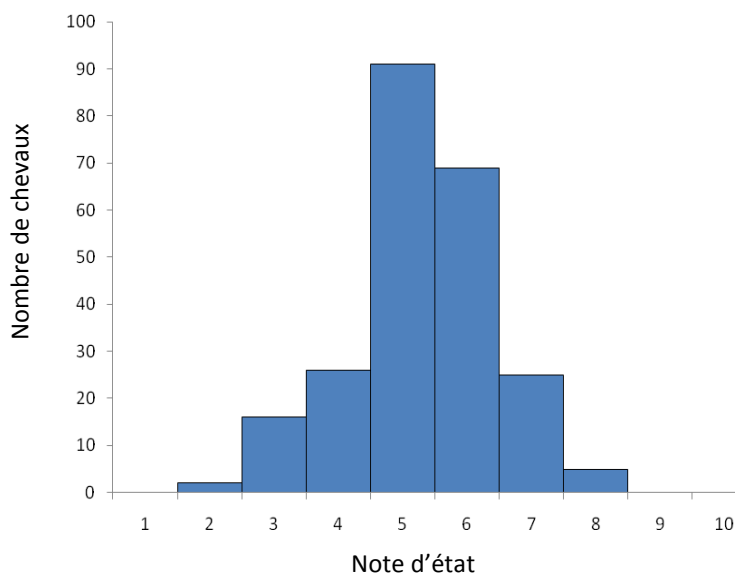
Indices corporels	Nombre de chevaux	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
ICP	234	0,953	0,036	0,843	1,043
IDT	233	0,106	0,008	0,000	0,126
Icomp	203	2,657	0,282	0,000	3,314
Iconf	234	2,046	0,115	1,673	2,428
RpC	234	1,153	0,033	1,046	1,252

3.5. Notation de l'état corporel

L'attribution d'une note d'état corporel a été réalisée pour 234 chevaux. La note d'état corporel moyenne est de 5,32 +/- 0,08. Les notes minimale et maximale attribuées sont respectivement 2 et 8.

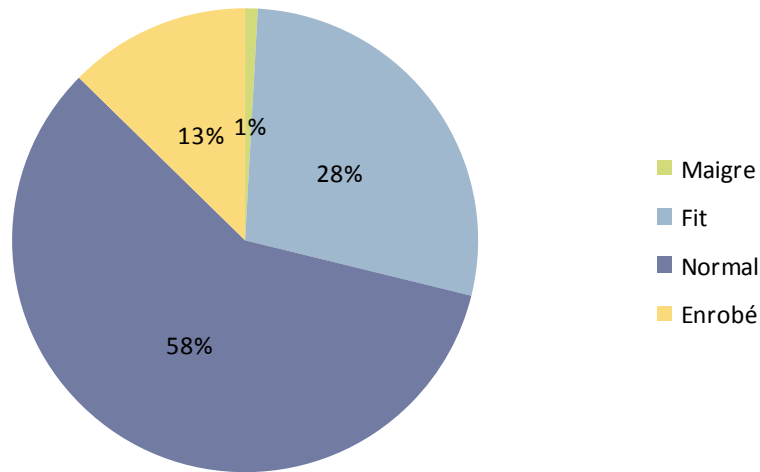
La distribution des notes d'état corporel est présentée en figure 21.

Figure 21 : Distribution des notes d'état corporel



Une estimation de l'état corporel du cheval a été demandée à chaque participant. Les résultats sont illustrés dans la figure 22.

Figure 22 : Estimation de l'état corporel par les cavaliers



3.6. Equations d'estimation du poids vif

3.6.1. Détermination d'une équation d'estimation du poids vif pour les Pur-Sang Arabes

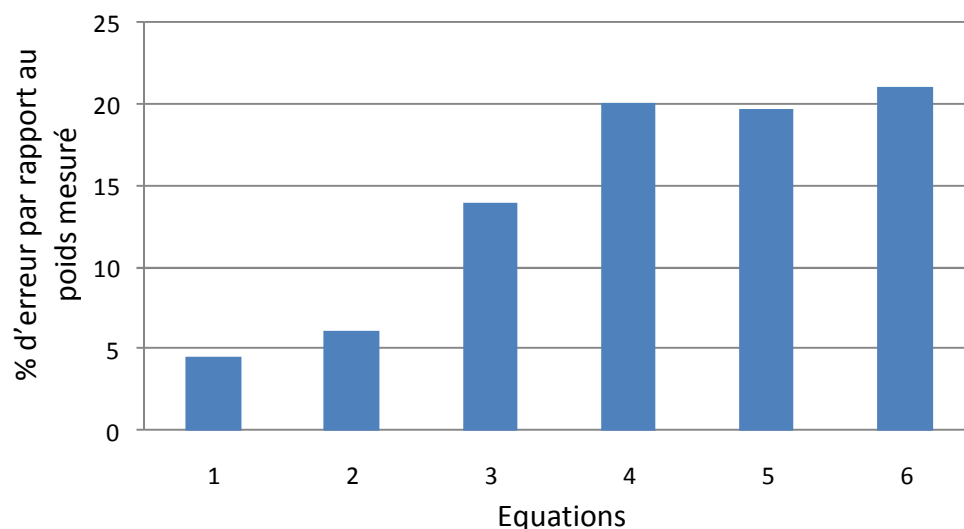
L'équation est établie à partir des données des chevaux Pur-Sang Arabe et Arabe Shagya soit 111 chevaux. On obtient la formule suivante :

$$\text{Poids vif (kg)} = 2,33 \text{ HG} + 2,72 \text{ PT} - 435 \text{ (+/- 26 kg)}$$

3.6.2. Comparaison aux équations préexistantes :

Dans notre étude, le pourcentage d'erreur des équations préexistantes estimant le poids vif à partir de mesures corporelles est inférieur à 21 %. C'est la formule de CARROLL et HUNTINGTON (1988) qui donne le pourcentage d'erreur le plus faible 5 % alors que les formules de BLANCHARD *et al.* (2005) donnent le pourcentage le plus grand 21 %. Le pourcentage d'erreur moyen par rapport au poids mesuré est présenté en figure 23 pour chaque équation.

Figure 23 : Pourcentage d'erreur moyen de 5 équations par rapport au poids mesuré



- 1 : Equation de CARROLL et HUNTINGTON (1988)
- 2 : Equation de CARROLL et HUNTINGTON en fonction de l'état corporel (1988)
- 3 : Equation de MARTIN-ROSSET (1990)
- 4 : Equation de BLANCHARD *et al.* pour les Pur-Sangs (2005)
- 5 : Equation de BLANCHARD *et al.* pour les Selle-Français (2005)
- 6 : Equation de BLANCHARD *et al.* pour les Trotteur-Français (2005)

3.7. Relations entre les différents paramètres et la performance

3.7.1. Relation entre les caractéristiques des chevaux et la performance :

Aucune différence significative n'a été observée concernant l'âge, le sexe et la race des chevaux pour chacun des groupes. A l'exception des chevaux classés dans le 1^{er} tiers qui semblent être plus âgés que le reste des chevaux classés (respectivement 10,26 et 9,52 ans, $p < 0,08$).

3.7.2. Relation entre le poids et la performance

Aucune différence significative concernant le poids mesuré n'a été observée entre les groupes.

3.7.3. Relations entre les mesures corporelles et la performance

Les chevaux éliminés présentent un pli cutané en arrière de l'épaule significativement plus épais que les chevaux classés (respectivement 38,94 et 37,28 mm, $p<0,05$). On retrouve également cette relation chez les chevaux éliminés pour troubles locomoteurs (39,32 et 37,28 mm, $p<0,05$).

La longueur du corps des chevaux classés dans le 1^{er} tiers est significativement plus grande que pour les autres chevaux classés (respectivement 163,76 et 160,31 cm, $p<0,05$). Il apparaît également que la circonférence du canon semble être plus grande chez les chevaux classés dans le 1^{er} tiers (19,16 et 18,87 cm, $p<0,08$).

L'indice corporel de profil (ICP) est significativement plus petit chez les chevaux classés dans le 1^{er} tiers que les autres classés (respectivement 0,946 et 0,962, $p<0,05$). Aucune différence significative n'a été observée pour les autres indices corporels.

3.7.4. Relations entre l'état corporel et la performance

Les chevaux éliminés semblent présenter une note d'état corporel plus élevée que les chevaux classés (respectivement 5,46 et 5,20, $p<0,1$).

On retrouve des différences significatives entre les chevaux classés et éliminés pour les notes des régions suivantes : le garrot, le dos, la croupe et l'attache de la queue. En effet, les chevaux éliminés présentent une note significativement plus élevée pour les régions du dos, de la croupe et de l'attache de la queue ($p<0,05$). De plus, les chevaux éliminés pour troubles locomoteurs présentent des notes significativement plus élevées pour le garrot ($p<0,05$). Les chevaux éliminés pour troubles métaboliques présentent une différence significative seulement en ce qui concerne les notes du dos (note plus élevée $p<0,05$).

Les résultats des analyses statistiques sont présentés dans les tableaux 13, 14 et 15

Tableau 13 : Récapitulatif des résultats pour les paramètres qualitatifs (test de χ^2)

n : effectif

p : degré de signification

** : paramètres influençant significativement la performance ($p \leq 0,05$)

* : paramètres pouvant influencer la performance ($p \leq 0,1$)

Paramètres	Classés / Eliminés			Classés / Eliminés Métabolique			Classés / Eliminés Boiterie			Classés / 1 ^{er} tiers		
	n	p	significatif	n	p	significatif	n	p	significatif	n	p	significatif
Sexe	239	0,5113		152	0,4382		197	0,2511		130	0,3124	
Race	239	0,3280		152	0,7015		197	0,3455		130	0,4519	
Lieu	239	0,4484		152	0,4373		197	0,6406		130	0,8759	

Tableau 14 : Récapitulatif des résultats pour les paramètres quantitatifs (test-t de Student)

n : effectif

p : degré de signification

** : paramètres influençant significativement la performance ($p \leq 0,05$)

* : paramètres pouvant influencer la performance ($p \leq 0,1$)

Paramètres	Classés / Eliminés			Classés / Eliminés Métabolique			Classés / Eliminés Boiterie			Classés / 1 ^{er} tiers		
	n	p	significatif	n	p	significatif	n	p	significatif	n	p	significatif
Age	237	0,9733		150	0,7699		195	0,7151		128	0,0776	*
Poids	201	0,6099		127	0,3179		165	0,7998		109	0,4219	
HG	236	0,1679		149	0,5063		194	0,4631		127	0,3316	
PT	232	0,6167		146	0,9803		191	0,9788		125	0,3318	
LC	232	0,6248		146	0,5339		191	0,2664		125	0,0107	**
CC	234	0,4589		147	0,4702		192	0,9256		125	0,0663	*
Largeur queue	234	0,4639		147	0,5157		193	0,3150		126	0,6947	
Pli épaule	234	0,0324	**	147	0,4503		193	0,0225	**	126	0,2453	
Encolure	232	0,1304		147	0,9034		191	0,1103		125	0,4117	
Garrot	231	0,0539	*	145	0,6442		190	0,0354	**	124	0,3253	
Dos	231	0,0065	**	145	0,0087	**	160	0,0490	**	124	0,4173	
Côtes	230	0,5863		145	0,5912		189	0,9249		124	0,1676	
Arrière épaule	231	0,5906		145	0,8722		190	0,6154		124	0,0975	*
Croupe	232	0,006	**	146	0,0997	*	191	0,0103	**	125	0,1678	
Attache queue	232	0,0202	**	145	0,1759		190	0,0206	**	124	0,0733	*
Note d'état	232	0,1013	*	146	0,1611		191	0,2449		125	0,1311	
ICP	234	0,1038		148	0,1772		193	0,0774	*	127	0,0281	**
IDT	233	0,5251		147	0,9708		192	0,4759		126	0,3205	
Icom	203	0,7145		118	0,6287		167	0,4060		111	0,4634	
Iconf	234	0,9301		148	0,7132		193	0,7055		127	0,4506	
RpC	234	0,4371		148	0,4622		193	0,4723		127	0,7465	

Tableau 15 : Récapitulatif général des valeurs pour chaque paramètre

n : effectif

p : degré de signification

Paramètres	Classés				1 ^{er} tiers				Éliminés Métabolique				Éliminés Boiterie			
	n	moyenne	Ecart-type	p	n	moyenne	Ecart-type	p	n	moyenne	Ecart-type	p	n	moyenne	Ecart-type	p
Age (ans)	237	9,8	2,2	0,9733	128	10,3	2,2	0,0776	150	9,9	1,8	0,7699	195	9,6	2,1	0,7151
Poids (kg)	201	412,2	39,7	0,6099	109	416,7	41,2	0,4219	127	402,1	38,7	0,3179	165	413,8	39,4	0,7998
HG (cm)	236	154,2	4,6	0,1679	127	154,8	4,7	0,3316	149	153,5	4,1	0,5063	194	153,7	4,3	0,4631
PT (cm)	232	177,5	6,4	0,6167	125	178,3	5,8	0,3318	146	177,6	4,6	0,9803	191	177,6	6,0	0,9788
LC (cm)	232	161,5	7,2	0,6248	125	163,8	7,8	0,0107	146	162,5	5,1	0,5339	191	162,7	7,5	0,2664
CC (mm)	234	19	0,8	0,4589	125	19,2	0,8	0,0663	147	18,8	0,7	0,4702	192	19	0,8	0,9256
Largeur queue (mm)	234	69,5	3,7	0,4639	126	69,7	4,1	0,6947	147	70,1	4,5	0,5157	193	70	3,7	0,3150
Pli épaule (mm)	234	37,3	5,5	0,0324	126	36,5	5	0,2453	147	38,3	7,1	0,4503	193	39,3	6,6	0,0225
Encolure (note/5)	232	2,6	0,7	0,1304	125	2,5	0,7	0,4117	147	2,6	0,7	0,9034	191	2,8	0,8	0,1103
Garrot (note/5)	231	2,5	0,7	0,0539	124	2,5	0,7	0,3253	145	2,6	0,6	0,6442	190	2,8	0,6	0,0354
Dos (note/5)	231	3,1	0,6	0,0065	124	3,0	0,6	0,4173	145	3,5	0,5	0,0087	160	3,3	0,5	0,0490
Côtes (note/5)	230	2,8	0,6	0,5863	124	2,7	0,6	0,1676	145	2,9	0,7	0,5912	189	2,8	0,7	0,9249
Arrière épaule (note/5)	231	3,0	0,6	0,5906	124	2,8	0,6	0,0975	145	3,0	0,6	0,8722	190	3,0	0,6	0,6154
Croupe (note/5)	232	3,0	0,6	0,006	125	2,9	0,5	0,1678	146	3,2	0,6	0,0997	191	3,2	0,5	0,0103
Attache queue (note/5)	232	3,1	0,6	0,0202	124	3,0	0,5	0,0733	145	3,3	0,5	0,1759	190	3,3	0,5	0,0206
Note d'état (note/10)	232	5,2	1,2	0,1013	125	5,0	1,0	0,1311	146	5,4	1,2	0,1611	191	5,4	1,1	0,2449
ICP (=HG/LC)	234	0,957	0,037	0,1038	127	0,946	0,037	0,0281	148	0,945	0,021	0,1772	193	0,947	0,037	0,0774
IDT (=CC/PT)	233	0,106	0,010	0,5251	126	0,105	0,17	0,3205	147	0,106	0,03	0,9708	192	0,107	0,05	0,4759
Icom (= Poids/HG)	203	2,62	0,328	0,7145	111	2,617	0,493	0,4634	118	2,611	0,215	0,6287	167	2,690	0,213	0,4060
Iconf (=PT²/HG/100)	234	2,045	0,118	0,9301	127	2,056	0,114	0,4506	148	2,055	0,093	0,7132	193	2,052	0,115	0,7055
RcP (=PT/HG)	234	1,151	0,033	0,4371	127	1,153	0,035	0,7465	148	1,157	0,033	0,4622	193	1,155	0,034	0,4723

4. Discussion

4.1. A propos de la population étudiée

4.1.1. Représentativité de l'étude

Notre travail avait pour objectif d'étudier spécifiquement une population de référence de chevaux de haut niveau et non pas d'obtenir une représentativité de l'ensemble des chevaux d'endurance courant en France. On ne peut donc pas à proprement parler d'échantillonnage mais plutôt d'une récolte des données exhaustive. De part l'absence d'échantillonnage aléatoire et le mode de recrutement (volontariat), la représentativité des résultats de l'étude est limitée d'un point de vue statistique. Cependant, les épreuves sélectionnées sont globalement représentatives des épreuves françaises de haut niveau. En effet, plusieurs sites étaient représentés, les courses avaient lieu à des moments différents dans l'année et le nombre de kilomètres variait peu (120 à 160 km). De plus aucune différence significative n'a été notée entre les courses pour chaque paramètre.

4.1.2. Caractéristiques des courses étudiées

La proportion de chevaux éliminés dans notre étude est de 47,6 % toutes causes confondues, cette valeur est tout à fait comparable aux autres courses de haut niveau. La répartition des motifs d'élimination est aussi similaire à celle de la plupart des courses : prédominance des boiteries (FREGIN, 1979 ; BURGER et DOLLINGER, 1998 ; LANGLOIS, 2006) à l'exception de certaines courses où les troubles métaboliques prédominent (course rapide ou à climat chaud). Dans notre étude on retrouve 20 % d'éliminés pour troubles métaboliques, cette valeur est similaire aux autres publications. Cette valeur est généralement sous-estimée en raison de l'apparition tardive de certains troubles et de la difficulté à différencier une boiterie d'une affection métabolique débutante comme une myopathie ou une fourbure.

4.1.3. Caractéristiques de la population étudiée

La moyenne d'âge des chevaux de notre étude est d'environ 10 ans avec des écarts d'âge importants (6 à 16 ans). Ces valeurs correspondent aux autres publications même si des âges plus importants sont parfois observés (jusqu'à 24 ans) (FREGIN, 1979 ; GARLINGHOUSE et BURRILL, 1999). La réglementation impose un âge minimum de 6 ans pour concourir dans les épreuves de haut niveau, en revanche aucun âge maximal n'est imposé.

Comme dans la bibliographie, les deux sexes les plus représentés sont les femelles et les hongres (89% dans notre étude). En effet, les mâles sont plus difficiles à maîtriser dans les épreuves d'endurance où la promiscuité des chevaux est fréquente (départ, contrôles vétérinaires...).

Dans notre étude la majorité des chevaux sont des Pur-Sang Arabe ou des croisés (83%) ; on retrouve les mêmes résultats dans la littérature. En effet, cette race est particulièrement adaptée à l'effort d'endurance. Sa capacité de travail aérobie est particulièrement élevée (LANGLOIS, 2006) et sa proportion en fibres musculaires de type I et IIA est importante (BENAMOU-SMITH, 2003).

4.2.A propos des paramètres étudiés

4.2.1. Poids

Le poids moyen est relativement modeste (environ 411 kg). Cette valeur est assez proche de celle des autres études. En effet le gabarit du cheval d'endurance est plutôt petit. On peut noter que les cavaliers ont une assez bonne estimation du poids de leur cheval (coefficient de corrélation : 0,72).

Dans notre étude aucune différence significative de poids n'est mise en évidence entre les groupes. C'est globalement ce que l'on retrouve dans la littérature. En effet, le poids rentre moins en compte dans la performance que l'état corporel.

Cependant quelques études (GARLINGHOUSE et BURRILL, 1999 ; LANGLOIS, 2006) ont démontré qu'un poids trop faible était lié à une augmentation des risques de développer des troubles métaboliques (faibles réserves énergétiques).

4.2.2. Mesures corporelles

L'ensemble des valeurs des mesures corporelles (HG, PT, LC...) sont assez proches des valeurs obtenues dans la littérature. En effet les chevaux d'endurance sont souvent des Pur-Sang Arabe et donc de même gabarit.

L'épaisseur du pli cutané en arrière de l'épaule est apparue dans notre étude significativement plus grande chez les chevaux éliminés notamment pour boiterie que chez les chevaux classés. L'épaisseur du pli cutané est plus importante chez un cheval gras (zone spécifique de dépôts de tissu adipeux). Mais contrairement à ce que l'on aurait pu penser, ce paramètre n'est pas significatif chez les chevaux éliminés pour troubles métaboliques.

Ce paramètre semble tout de même intéressant à suivre par les cavaliers et entraîneurs pour prévenir les troubles locomoteurs. D'autres études seraient nécessaires pour mieux connaître son éventuelle implication dans l'apparition des troubles métaboliques.

Les chevaux classés dans le 1^{er} tiers présentent dans notre étude une longueur du corps significativement plus grande que le reste des classés ainsi qu'un indice corporel de profil (ICP) plus petit. Cela n'a pas été le cas dans les autres publications (LAWRENCE *et al.*, 1992 ; GARLINGHOUSE et BURRILL, 1999 ; KEARNS *et al.*, 2002 a et b). Ainsi, les chevaux au gabarit plus long ont des plus grandes foulées, ils sont donc plus rapides pour une dépense d'énergie moindre.

4.2.3. Notation de l'état corporel

Dans la notation de l'état corporel, il est important de souligner la part non négligeable de la subjectivité du notateur. En effet, les critères de notation ne sont pas mesurables et aisément objectivables. Les chevaux éliminés semblent présenter dans notre étude une note d'état corporel plus élevée que les chevaux classés (respectivement 5,46 et 5,20, $p < 0,1$). Ces résultats sont en accord avec la littérature. Dans les études réalisées en France et à l'étranger la note d'état était significativement liée à la performance de façon significative ($p < 0,05$). Ces résultats s'expliquent par le fait qu'un cheval plus gras devra fournir une dépense énergétique supérieure pour le même effort. Sa couverture graisseuse limite également la thermorégulation et favorise l'apparition de troubles métaboliques (LAWRENCE *et al.*, 1992 ; GARLINGHOUSE et BURRILL, 1999 ; KEARNS *et al.*, 2002 a et b ; LANGLOIS, 2006). Dans notre étude ce sont les notes des régions du garrot, du dos, de la croupe et de l'attache de la queue qui sont réellement significativement plus élevées chez les chevaux éliminés ($p < 0,05$). Ces régions anatomiques sont plus discriminantes dans les états corporels extrêmes (HENNEKE, 1985 ; ARNAUD, 1997).

4.3. Biais et Limites de l'étude

Notre étude comporte un certain nombre de biais nous obligeant à pondérer nos résultats. Tout d'abord, elle n'a aucune valeur de représentativité de la population générale des chevaux d'endurance : puisqu'aucun échantillonnage n'a été réalisé (absence de tirage au sort). Nous avons également comparé des groupes de chevaux dont aucune comparabilité n'était garantie. C'est pourquoi nous n'avons mis en évidence que des relations statistiques entre différents paramètres et la performance. Une étude plus représentative serait intéressante mais sa mise en œuvre semble contraignante surtout dans le cadre de compétitions.

Le nombre de chevaux présentant des troubles métaboliques a été sous-estimé dans notre étude puisque certains concurrents n'ont manifesté des signes que tardivement. De plus, il aurait été intéressant de connaître la proportion de chevaux ayant nécessité des soins vétérinaires parmi les éliminés pour troubles métaboliques.

L'intervention de plusieurs notateurs aurait été également intéressante pour l'attribution des notes d'état corporel et en particulier l'intervention de notateurs expérimentés. Cependant le but de notre étude est notamment de permettre à des personnes non expérimentées de pouvoir juger de l'état corporel de leurs chevaux, même si des erreurs d'appréciation sont inéluctables.

La mesure du tissu adipeux à l'aide de l'échographie aurait été souhaitable. Malheureusement, cela n'a pas été réalisable dans notre étude, en effet aucune mesure n'était possible sans tonte préalable (attache de la queue, croupe). Il est compréhensible que les cavaliers ne souhaitent pas voir leur cheval tondu lors d'une compétition.

On peut regretter également que le suivi d'un groupe de chevaux tout au long de l'année n'a pas été possible. Ceci permettrait de mieux corréler l'état corporel au niveau d'entraînement et à la performance.

Cette étude a permis d'établir une équation de prédiction du poids chez le cheval Arabe d'endurance plus représentative du poids réel que les équations préexistantes. La mise en relation des valeurs de chaque mesure avec le résultat en course (classé vs. éliminé) a permis de montrer que le pli cutané en arrière de l'épaule est significativement plus épais chez les chevaux éliminés et notamment chez ceux éliminés pour boiterie. La répartition du tissu adipeux sur les zones du garrot, du dos, de la croupe et de l'attache de la queue apparaît également significativement liée à la performance (note plus élevée chez les chevaux éliminés). Les chevaux éliminés semblent également présenter une note d'état corporel plus élevée que les chevaux classés. Une autre étude pourrait être menée sur une plus grande population afin de confirmer les résultats obtenus et de préciser certaines relations, de plus le suivi d'un groupe de chevaux lors d'une saison de concours serait intéressant.

CONCLUSION

L'endurance équestre connaît un véritable essor depuis les années 90 avec une augmentation quasi-permanente du nombre de concours et de participants. La santé et le bien-être des chevaux n'étaient pas prioritaires aux débuts de cette discipline. L'endurance est maintenant un sport réglementé et des contrôles vétérinaires sont obligatoires tout au long de l'épreuve. Ces contrôles ont pour but de s'assurer du bon état général du cheval. De nombreux progrès ont été réalisés avec la professionnalisation de la discipline notamment sur l'entraînement et le rationnement des chevaux afin d'optimiser leurs performances en course.

L'endurance est une discipline qui sollicite fortement l'organisme en épuisant progressivement ses réserves énergétiques, et en recourant à des mécanismes de thermolyse. Ces phénomènes ont des répercussions sur le métabolisme et peuvent aboutir à l'apparition de troubles métaboliques chez certains chevaux pendant ou après l'épreuve. Ces troubles métaboliques peuvent avoir des conséquences graves sur la carrière sportive du cheval. 10 à 30 % des chevaux éliminés sur les courses d'endurance présentent des troubles métaboliques, ces résultats demeurent encore trop élevés à l'heure actuelle. Des études ont démontré que certains facteurs individuels étaient significativement liés à une augmentation des troubles métaboliques, c'est le cas notamment de l'état corporel du cheval.

Notre étude a été réalisée pour permettre aux cavaliers et entraîneurs de suivre le poids et l'état corporel de leurs chevaux. Ainsi ils pourront présenter leurs chevaux dans les meilleures conditions pour être performant en course. Notre étude a été réalisée en France sur 239 chevaux participant à des épreuves de haut niveau. L'état corporel apparaît être lié à la performance. En effet, les chevaux éliminés semblent présenter une note d'état corporel plus élevée que les chevaux classés. La répartition du tissu adipeux sur les zones de la croupe et de l'attache de la queue sont plus discriminantes et apparaissent significativement liées à la performance (notes plus élevées chez les chevaux éliminés). Le pli cutané en arrière de l'épaule est significativement plus grand chez les chevaux éliminés et notamment chez ceux éliminés pour boiterie. Cette mesure est facilement réalisable par les cavaliers et entraîneurs, elle pourrait permettre un suivi de l'état corporel optimal du cheval.

Ces résultats justifient tout à fait l'intérêt de surveiller l'état corporel et notamment l'état d'embonpoint des chevaux de haut niveau. Les critères développés ici permettent d'adapter au mieux l'activité et l'alimentation des chevaux afin de les maintenir dans les conditions optimales pour être performant en course.

BIBLIOGRAPHIE

ARNAUD G, DUBROEUCQ H, RIVOT D. (1997) Notation de l'état corporel des chevaux de selle et de sport : *Guide pratique*. Paris : Institut de l'élevage, 40p.

ART T, AMORY H, LEKEUX P. (2000) Notion de base de physiologie de l'effort. *Pratique Vétérinaire Equine*, **32** (numéro spécial), 7-13.

Association Française des Vétérinaires d'Endurance Equestre. (2005) *Manuel du Vétérinaire*, 50p.

BENAMOU-SMITH A. (2003) Affections métaboliques du cheval d'endurance. In : *Proceeding du Congrès de l'AVEF*, Montpellier, France, 30-31-1^{er} Octobre-Novembre 2003, 202-206.

BENAMOU-SMITH A. (2006) La réhydratation du cheval d'endurance. *Enseignement postuniversitaire : Vétérinaire d'endurance*, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.

BLANCHARD G, VALETTE JP, ROBERT C, DENOIX JM, PARAGON BM. (2005) Linear measurements for weight prediction in broodmares of three breeds. *Pferdeheilkunde*. **21** (conference), 127-128.

BURGER D, DOLLINGER S. (1998) Raisons d'élimination, état de santé et carrière sportive des chevaux d'endurance dans les raids d'endurance en Europe et dans les pays arabes : approche statistique. *Pratique Vétérinaire Equine*, **30** (118), 9-12.

BURLIN A, ART T, AMORY H, VOTION D, LEKEUX P. (1994) Tests standardises de routine pour l'évaluation de la conduite physique chez les chevaux d'endurance. *Pratique Vétérinaire Equine*, **26** (1), 25-30.

CARLSON GP. (1994) Atlanta 1996-Heat, humidity and horses. *Br Vet J.*, **150** (3), 211-213.

CARROLL CL, HUNTINGTON PJ. (1988) Body condition scoring and weight estimation of horses. *Equine Veterinary Journal*, **20** (1), 41-45.

COUROUCE-MALBLANC A. (2007) *Médecine sportive*. Polycopié. Ecoles Nationales Vétérinaires de Nantes, Toulouse et Maisons Alfort, 3^{ème} cycle professionnel court dominante « Pathologie équine », 48p.

EATON MD. (1994) Energetics and performance. In : *The Athletic Horse*. Philadelphia : WB Saunders, 50- 61.

ELLIS JM, HOLLANDS T. (1998) Accuracy of different methods of estimating the weight of horses. *The Veterinary Record*, **143**, Issue 12, 335-336.

ENSMINGER ME. (1977) *Horses and Horsemanship*, 7th Ed, Danville, IL : The Interstate Printers, 1999, 598 p.

Fédération Française d'Équitation. Règlement des épreuves d'endurance 2009, [en ligne], PARIS : FFECompét, [<http://www.ffe.com/ffe/Disciplines-Equestres/General/Endurance/Reglement>], (consulté le 03/02/09)

FELDMAN J. (1994) Principles of sports medicine for the endurance and eventing horse. *Journal of Equine Veterinary Science*, **14** (6), 331-332.

FLAMINO MJ, GAUGHAN EM, GILLEPSIE JR. (1996) Exercise intolerance in endurance horses. *Veterinary Clinics of North America : Equine Practice*, **12** (3), 565-580.

FREGIN GF. (1979) General discussion of physiologic observations recorded on 117 horses during 100-mile endurance rides. In : *55th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners*, Miami, Florida, December 1979, 315-321.

GARLINGHOUSE SE, BURRILL MJ. (1999) Relationship of body condition score to completion rate during 160 km endurance races. *Equine Veterinary Journal*, supplement **30**, 591-595.

GENTRY LR, THOMPSON DL, GENTRY GT, DEL VECCHIO RP, DAVIS KA, DEL VECCHIO PM. (2004) The relationship between body condition score and ultrasonic fat measurements in mares of high versus low body condition. *Journal of Equine Veterinary Science*, **24**, n°5, 198-203.

HARAS NATIONAUX. Estimer l'état corporel, [en ligne], ARNAC-POMPADOUR : Haras Nationaux, [<http://www.haras-nationaux.fr/portail/particuliers/sinformer/la-librairie/nutrition.html>], (consulté le 22/01/07)

HENNEKE DR, POTTER GD, KREIDER JL, YEATES BF. (1983) Relationship between condition score, physical measurements and body fat percentage in mares. *Equine Veterinary Journal*, **15** (4), 371-372.

HENNEKE DR. (1985) A condition score system for horses. *Equine practice*, **7**, n°8, 13-15.

HODGSON D. (2000) Thermorégulation chez le cheval à l'effort. *Pratique Vétérinaire Equine*, **32** (numéro spécial), 15-20.

JONES RS, LAWRENCE TJL, VEEVERS A, CLEAVE N, HALL J. (1989) Accuracy of prediction of the liveweight of horses from body measurements. *The Veterinary Record*, November 25, **125**, 22, 549-553.

JONES JH, CARLSON GP. (1995) Estimation of metabolic energy cost and heat production during a 3-day-event. *Equine Veterinary Journal*, supplement **20**, 23-30.

KANE RA, FISHER M, PARRETT D, LAWRENCE LM. (1987) Estimating fatness in horses. In : *Proceeding 10 th Equine Nutrition Physiology Symposium*, Ft. Collins, CO, 127-131.

- KEARNS CF, McKEEVER KH, KUMAGAI K, ABE T. (2002 a) Fat-free mass is related to one-mile race performance in elite Standardbred horses. *The Veterinary Journal*, **163**, 260-266.
- KEARNS CF, McKEEVER KH, ABE T. (2002 b) Overview of horse body composition and muscle architecture : implications for performance. *The Veterinary Journal*, **164**, 224-234.
- KOHN CW, HINCHCLIFF KW, McCUTCHEON LJ, GEOR R, FOREMAN J, ALLEN AK et al. (1995) Physiological responses of horses competing at a modified 1 Star 3-day-event. *Equine Veterinary Journal*, supplement **20**, 97-104.
- LANGLOIS C. (2006) *Développement de troubles métaboliques chez les chevaux d'Endurance lors de courses de longue distance : Etude Epidémiologique sur les épreuves Françaises en 2003*. Thèse Méd. Vét., Alfort, n°44, 113p.
- LAWRENCE L, JACKSON S, KLINE K, MOSER L, POWELL D, BIEL M. (1992) Observations on body weight and condition of horses in a 150-mile endurance ride. *Equine Veterinary Science*, **12** (5), 320-324.
- LECLERC JL, ROBERT C. (2006) Use of electrolytes during long distance endurance rides about the French experience. *In : 7th International Conference on Equine Exercise Physiology* Fontainebleau, France, p 5.
- LOHMAN T. (1982) Body composition methodology in sports medicine. *The Physician and Sports Medicine*, **10** : 47.
- MARCENAC LN, AUBLET H. (1964) *Encyclopédie du Cheval*. Compiègne : Maloine, 1185p.
- MARLIN D, NANKERVIS K. (2002) *Equine Exercise Physiology*. Oxford : Blackwell Science, 306p.
- MARTIN-ROSSET W. (1990) *L'alimentation des chevaux*. Paris : Ed INRA, 232p.
- McMIKEN D. (1983) An energetic basis of equine performance. *Equine Veterinary Journal*, **15**, 2, 123-133.
- MEYRIER S. (2003) *Les causes d'élimination en épreuves d'endurance équestre : Etude rétrospective menée en France en 2001*. Thèse Méd. Vét., Toulouse, n°3, 90p.
- MILNER J, HEWITT D. (1969) Weight of horses : improved estimates based on girth and length. *Canadian Veterinary Journal*, **10**, n°12, 314-316.
- PREVEIRAUD L. (2003) *Etude bibliographique comparée de la physiologie du coureur de fond et du cheval d'endurance : Métabolismes énergétique et musculaire, et thermorégulation*. Thèse Méd Vét., Lyon, n°24, 166p.
- REAVELL DG. (1999) Measuring and estimating the weight of horses with tapes, formulae and visual assessment. *Equine Veterinary Education*, **11** (6), 314-317.

ROBERT C. (2003) Facteurs de risque et développement de troubles métaboliques chez le cheval en course d'endurance. In : *Proceeding du congrès de l'AVEF*, Montpellier, France, 30-31-1^{er} Octobre-Novembre 2003, 197-198.

ROBINSON DL, McDONALD CA, HAMMOND K, TURNER JW. (1992) Live animal measurement of carcass traits by ultrasound : assessment and accuracy of sonographers. *Journal of Animal Science*, **70**, 1667-1676.

SENA A. (2007) *Suivi clinique de chevaux d'endurance en course de niveau national (CEN, CEI) : contribution à la détermination des paramètres les plus pertinents*. Thèse Méd. Vét., Alfort, 143p.

WESTERVELT RG, STOUFFER JR, HINTZ HF, SCHRYVER HF. (1976) Estimating fatness in horses and ponies. *Journal of Animal Science*, **43**, n°4, 781-785.

WHITMAN R.W. (1975) *Weight change, body condition and beef cow reproduction*. PhD thesis. Colorado State University, Fort Collins.

WILMORE JH. (1983) Body composition in sport and exercise : directions for future research. *Medicine Science Sports Exercise*, **15**, 21.

WOLTER R. (1999) *Alimentation du Cheval*. 2^{ème} Ed. Tours : Editions France Agricole, 478p.

MÉTHODES D'ÉVALUATION DU POIDS CHEZ LE CHEVAL D'ENDURANCE. DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DU « POIDS DE FORME ».

NOM et Prénom : MENAGER Sarah

Résumé

L'effort d'endurance sollicite fortement l'organisme des chevaux et peut générer des désordres métaboliques parfois graves. Malgré les contrôles vétérinaires tout au long des épreuves, 10 à 30 % des chevaux éliminés présentent des troubles métaboliques. Certains facteurs individuels modifiant les capacités de thermorégulation seraient significativement liés à une augmentation des troubles métaboliques ; c'est le cas notamment de l'état corporel du cheval.

Cette étude porte sur 239 chevaux engagés sur des épreuves d'endurance de haut niveau en France en 2007 et 2008 et a pour objectif d'évaluer l'influence du poids et de l'état corporel sur la performance. Plusieurs mesures sont réalisées sur chaque cheval : poids, hauteur au garrot, périmètre thoracique, longueur du corps, circonférence du canon, mesure de l'épaisseur du pli cutané en arrière de l'épaule et largeur de la queue. Une note d'état général et une note par région anatomique sont également attribuées. Ces données permettent de proposer une équation d'évaluation du poids chez le cheval Arabe d'endurance à partir de mesures corporelles. La mise en relation des valeurs de chaque mesure avec le résultat en course (classé vs. éliminé) montre que le pli cutané en arrière de l'épaule est significativement plus épais chez les chevaux éliminés et notamment chez ceux éliminés pour boiterie ($p < 0,05$). La répartition du tissu adipeux sur les zones du dos, de la croupe et de l'attache de la queue apparaît également significativement liée à la performance (note plus élevée chez les chevaux éliminés). Les chevaux éliminés semblent également présenter une note d'état corporel plus élevée que les chevaux classés ($p < 0,1$).

Il apparaît donc pertinent de surveiller l'état d'embonpoint des chevaux d'endurance. L'épaisseur du pli cutané en arrière de l'épaule semble un critère fiable et facilement mesurable par les cavaliers et entraîneurs pour suivre l'état corporel de leur cheval.

Mots clés : POIDS, ÉTAT CORPOREL, PERFORMANCE, MESURE CORPORELLE, ENDURANCE, TROUBLE MÉTABOLIQUE, RACE CHEVALINE, ÉQUIDÉ, CHEVAL, CHEVAL DE COURSE, PUR SANG ARABE.

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Dr. Céline ROBERT

Assesseur : Dr. Céline MESPOULHES-RIVIERE

Adresse de l'auteur :

Melle MENAGER Sarah

36 Quai Blanqui

94140 ALFORTVILLE

BODYWEIGHT EVALUATION OF ENDURANCE HORSE. EXPERIMENTAL DETERMINATION OF “OPTIMAL WEIGHT”.

SURNAME and Given name : MENAGER Sarah

Summary

Equestrian endurance strongly solicits horses' body and can generate serious metabolic disorders. Despite veterinary checks along the ride, 10 to 30% of eliminated horses present metabolic troubles. Some individual factors modifying thermoregulation capacities have been significantly associated with an increase in metabolic disorders: the body condition of the horse is one of the most frequently cited.

This study was performed on 239 high-level endurance horses in France in 2007 and 2008 and aims to determine the influence of the bodyweight and body condition on performance. Several measurements were carried out for each horse: bodyweight, height at the withers, chest girth, body's length, circumference of front canon bone, thickness of the skin fold behind the shoulder, width of tailhead. A general condition score and a score by anatomical areas were also assigned. These data were used to propose an equation in order to assess the weight in Arabian endurance horses using body measurements. Comparison of each measurement with the performance during the race (finishers vs. eliminated) revealed that the cutaneous fold behind the shoulder is significantly thicker in eliminated horses, especially in those eliminated for lameness ($p < 0,05$). Body fat on the back, rump and tailhead appear significantly linked to performance (higher note in eliminated horses $p < 0,05$). The body condition score also appeared higher in eliminated horses compared to finishers ($p < 0,1$).

It seems thus relevant to follow body condition of endurance horses. Measurement of the cutaneous fold back of the shoulder seems to a reliable and easily achievable indicator for riders and trainers.

Keywords : WEIGHT, BODY CONDITION, PERFORMANCE, BODY MEASUREMENTS, ENDURANCE, METABOLIC DISORDER, RACE, HORSE, PUR SANG ARABE.

Jury :

President : Pr.

Director : Dr. Céline ROBERT

Assessor : Dr. Céline MESPOULHES-RIVIERE

Author's address:

Melle MENAGER Sarah

36 Quai Blanqui

94140 ALFORTVILLE