ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT

Année 2013

ÉTUDE MORPHOMÉTRIQUE DU CHEVAL D'ENDURANCE DE RACE ARABE ET CROISÉ ARABE EN RELATION AVEC LA PERFORMANCE

THÈSE

Pour le

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE CRÉTEIL

Le…….

par

Pauline, Zoé, Marie TRIBOUT

Née le 16 mars 1986 à Châtenay-Malabry (Hauts-de-Seine)

JURY

Président : Pr
Professeur à la Faculté de Médecine de CRÉTEIL

Membres
Directeur : Mme Céline ROBERT
Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort
Assesseur : M Jean-François COURREAU
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort
Invité : Dr Eric BARREY

LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT

Directeur : M. le Professeur GOGNY Marc

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

Professeurs honoraires : Mme et MM. : BENET Jean-Jacques, BRUGERE Henri, BRUGERE-PICOUX Jeanne, BUSSIERAS Jean, CERF Olivier, CLERC Bernard, CRESPEAU François, DEPUTTE Bertrand, MOUTHON Gilbert, MILHAUD Guy, POUCHELON Jean-Louis, ROZIER Jacques

DEPARTEMENT D'ELEVAGE ET DE PATHOLOGIE DES EQUIDES ET DES CARNIVORES (DEPEC)

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

UNITE DE CARDIOLOGIE
- Mme CHETBOUL Valérie, Professeur *
- Mme GKOUNI Vassiliki, Praticien hospitalier

UNITE DE CLINIQUE EQUINE
- M. AUDIGIE Fabrice, Professeur
- M. DENOIX Jean-Marie, Professeur
- Mme DUMAS Isabelle, Maître de conférences contractuel
- Mme GIRAUDET Aude, Praticien hospitalier *
- M. LECHARTIER Antoine, Maître de conférences contractuel
- Mme MESPOULHES-RIVIERE Céline, Praticien hospitalier
- Mme TRACHSEL Dagmar, Maître de conférences contractuel

UNITE D'IMAGERIE MEDICALE
- Mme BEDU-LEPERLIER Anne-Sophie, Maître de conférences contractuel
- Mme STAMBOULI Fouzia, Praticien hospitalier

UNITE DE MEDECINE
- Mme BENCHEKROUN Ghita, Maître de conférences contractuel
- M. BLOT Stéphane, Professeur*
- Mme MAUREY-GUENEC Christelle, Maître de conférences

UNITE DE MEDECINE DE L'ELEVAGE ET DU SPORT
- Mme CLERO Delphine, Maître de conférences contractuel
- M. GRANDJEAN Dominique, Professeur *
- Mme YAGUIYAN-COLLIARD Laurence, Maître de conférences contractuel

DISCIPLINE : NUTRITION-ALIMENTATION
- M. PARAGON Bernard, Professeur

DISCIPLINE : OPHTALMOLOGIE
- Mme CHAHORY Sabine, Maître de conférences

UNITE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES
- M. BENSIGNOR Emmanuel, Professeur contractuel
- M. BLAGA Radu Gheorghe, Maître de conférences (rattaché au DPASP)
- M. CHERMETTE René, Professeur *
- M. GUILLOT Jacques, Professeur
- Mme MARIGNAC Geneviève, Maître de conférences
- M. POLACK Bruno, Maître de conférences

UNITE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE
- M. FAYOLLE Pascal, Professeur
- M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences
- M. MOISSONNIER Pierre, Professeur*
- M. NIEBAUER Gert, Professeur contractuel
- Mme RAVARY-PLUMIOEN Bérangère, Maître de conférences (rattachée au DPASP)
- Mme VIATEAU-DUVAL Véronique, Professeur
- M. ZILBERSTEIN Luca, Maître de conférences

DISCIPLINE : URGENCE SOINS INTENSIFS
- Vacant

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

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

UNITE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE
- M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Maître de conférences
- M. BOLNOT François, Maître de conférences *
- M. CARLIER Vincent, Professeur
- Mme COLMIN Catherine, Maître de conférences

2. UNITE DES MALADIES CONTAGIEUSES
- Mme DUFOUR Barbara, Professeur*
- Mme HADDAD/HOANG-XUAN Nadia, Professeur
- Mme PRAUD Anne, Maître de conférences
- Mme RIVIERE Julie, Maître de conférences contractuel

UNITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR
- M. ADJOU Karim, Maître de conférences *
- M. BELBIS Guillaume, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel
- M. HESKIA Bernard, Professeur contractuel
- M. MILLEMANN Yves, Professeur

3. UNITE DE REPRODUCTION ANIMALE
- Mme CONSTANT Fabienne, Maître de conférences
- M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences (rattaché au DEPEC)
- M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences (rattaché au DEPEC)
- Mme MASSE-MOREL Gaëlle, Maître de conférences contractuel
- M. MAUFFRE Vincent, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel
- M. NUDELMANN Nicolas, Maître de conférences (rattaché au DEPEC)
- M. REMY Dominique, Maître de conférences*

UNITE DE ZOOTECHNIE, ECONOMIE RURALE
- M. ARNE Pascal, Maître de conférences*
- M. BOSSE Philippe, Professeur
- M. COURREAU Jean-François, Professeur
- Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur
- Mme LEROY-BARASSIN Isabelle, Maître de conférences
- M. PONTER Andrew, Professeur

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PHARMACEUTIQUES (DSBP)

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

UNITE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES
- M. CHATEAU Henry, Maître de conférences*
- Mme CREVIER-DENOIX Nathalie, Professeur
- M. DEGUEURCE Christophe, Professeur
- Mme ROBERT Céline, Maître de conférences

DISCIPLINE : ANGLAIS
- Mme CONAN Muriel, Professeur certifié

UNITE DE BIOCHIMIE
- M. BELLIER Sylvain, Maître de conférences*
- M. MICHAUX Jean-Michel, Maître de conférences

DISCIPLINE : BIOSTATISTIQUES
- M. DESQUILBET Loïc, Maître de conférences

DISCIPLINE : EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE
- M. PHILIPS Pascal, Professeur certifié

DISCIPLINE : ETHOLOGIE
- Mme GILBERT Caroline, Maître de conférences

UNITE DE GENETIQUE MEDICALE ET MOLECULAIRE
- Mme ABITBOL Marie, Maître de conférences
- M. PANTHIER Jean-Jacques, Professeur*

UNITE D'HISTOLOGIE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE
- Mme CORDONNIER-LEFORT Nathalie, Maître de conférences*
- M. FONTAINE Jean-Jacques, Professeur
- Mme LALOY Eve, Maître de conférences contractuel
- M. REYES GOMEZ Edouard, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel

UNITE DE PATHOLOGIE GENERALE MICROBIOLOGIE, IMMUNOLOGIE
- M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur
- Mme LE ROUX Delphine, Maître de conférences
- Mme QUINTIN-COLONNA Françoise, Professeur*

UNITE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE
- Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur
- M. PERROT Sébastien, Maître de conférences
- M. TISSIER Renaud, Maître de conférences*

UNITE DE PHYSIOLOGIE ET THERAPEUTIQUE
- Mme COMBRISSON Hélène, Professeur
- Mme PILOT-STORCK Fanny, Maître de conférences
- M. TIRET Laurent, Maître de conférences*

UNITE DE VIROLOGIE
- M. ELOIT Marc, Professeur
- Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences *

*** responsable d'unité**

REMERCIEMENTS

Au Professeur de la Faculté de Médecine de Créteil
Qui m’a fait l’honneur d’accepter la présidence de ce jury de thèse,
Hommage respectueux.

Au Docteur ROBERT Céline,
Maître de conférences à l’Ecole Nationale Vétérinaire d’Alfort
Qui m’a fait l’honneur de diriger ce travail,
Merci pour votre aide, votre grande disponibilité ainsi que de m’avoir fait découvrir l’endurance équestre durant toutes mes années d’études vétérinaires.

Au Professeur COURREAU Jean-François,
Professeur à l’Ecole Nationale Vétérinaire d’Alfort,
Qui m’a fait l’honneur de participer à ce jury de thèse,
Merci pour votre rapidité et votre enthousiasme.

Au Docteur BARREY Eric,
Qui m’a fait l’honneur de participer à ce jury de thèse,
Merci pour vos conseils, pour le temps que vous m’avez accordé et pour votre rigueur.

A ma famille, mon Gaston et mes amis pour votre soutien et pour le bonheur d'être à vos côtés.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES 1
SOMMAIRE DES TABLEAUX 5
SOMMAIRE DES FIGURES 7
LISTE DES ANNEXES 9
LISTE DES ABREVIATIONS 11
INTRODUCTION 13
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE 15
1. Présentation de l'endurance équestre 17
1.1. Origine de l'endurance équestre 17
1.2. Epreuves d'endurance équestre 17
1.2.1. Types d'épreuves 18
1.2.2. Déroulement des épreuves 18
1.2.3. Principales causes d'élimination 20
2. Rappel physiologique de l'effort d'endurance 21
2.1. Production d'énergie nécessaire à l'effort d'endurance 21
2.2. Consommation d'énergie produite par le muscle 22
2.2.1. Différents types de fibres musculaires 22
2.2.2. Distribution des fibres musculaires 23
2.3. Thermorégulation lors de l'effort d'endurance 24
2.3.1. Production de chaleur au cours de l'exercice 24
2.3.2. Mécanismes de dissipation de la chaleur 25
3. Qualités du cheval d'endurance 27
3.1. Races adaptées à l'endurance 27
3.2. Age 27
3.3. Sexe 27
3.4. Qualités psychologiques 28
3.5. Qualités physiologiques 28
3.6. Qualités physiques 29

3.6.1. Morphologie 29
3.6.2. Allure 32
4. Critères de jugement de l'aptitude d'un cheval à l'endurance 33
4.1. Performances et indices génétiques 34
4.1.1. Indice de performance 34
4.1.2. Indices génétiques 35
4.2. Les concours de modèles et allures 36
4.2.1. Organisation 36
4.2.2. Critères de jugement et grilles de pointages 36
CONCLUSION 39
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE 41
INTRODUCTION 43
1. Matériels et méthodes : 45
1.1. Population de l'étude 45
1.2. Protocole expérimental 45
1.2.1. Information sur les chevaux 45
1.2.2. Mensurations 45
1.2.3. Mesure du poids 46
1.2.4. Notation de l'état corporel 46
1.2.5. Mesures photométriques 46
1.2.6. Détermination des robes 51
1.2.7. Calcul de la surface corporelle 51
1.2.8. Indices corporels 52
1.3. Traitement des données et analyse des résultats 53
2. Résultats 55
2.1. Caractéristiques des chevaux de l'étude 55
2.1.1. Age 55
2.1.2. Sexe 55
2.1.3. Race 56
2.2. Etude descriptive des résultats de l'étude 57
2.2.1. Mensurations 57
2.2.2. Poids 61

2.2.3. Notes d'état corporel 61
2.2.4. Résultats photométriques.....62
2.2.5. Robes 64
2.3. Modèles d'estimation du poids et de la surface corporelle 65
2.3.1. Equations d'estimation du poids.....65
2.3.2. Modèles d'estimation de la surface corporelle 66
2.4. Indices corporels 66
2.5. Evaluation de la performance 67
2.6. Etude analytique : relations entre les différents paramètres et la performance 68
2.6.1. Relation mensurations-performance 68
2.6.2. Relation poids-performance.....68
2.6.3. Relation note d'état corporel-performance.....68
2.6.4. Relation résultats photométriques-performance 69
2.6.5. Relation robes-performance.....69
2.6.6. Relation surface corporelle-performance 69
2.6.7. Relation indices corporels-performance.....70
3. Discussion 73
3.1. A propos de la population et du protocole de l'étude 73
3.1.1. La population d'étude.....73
3.1.2. Les paramètres mesurés sur le terrain 73
3.1.3. Comparaison des méthodes morphométriques en 2 et en 3 dimensions. 74
3.1.4. Originalité de l'étude morphométrique 76
3.2. Apports de l'étude.....76
3.2.1. Résultats morphométriques 76
3.2.2. Méthodes de calcul du poids.....82
3.3. Perspectives 83
CONCLUSION 85
BIBLIOGRAPHIE 87

SOMMAIRE DES TABLEAUX

Tableau 1. Epreuves d'endurance équestre (FFE) 18
Tableau 2 : Répartition des différents types de fibres musculaires en pourcentage selon la race (2, 20) 23
Tableau 3 : Caractéristiques des concours où ont été recrutés les chevaux 45
Tableau 4 : Echelle de notation de l'état corporel (INRA) 46
Tableau 5 : Définitions des variables de conformation mesurées par analyse d'images numériques 50
Tableau 6 : Pourcentage de la surface représenté par les différentes parties du corps (90) 52
Tableau 7 : Les indices corporels calculés 53
Tableau 8 : Valeurs des mesures photométriques réalisées sur 261 chevaux performeurs 63
Tableau 9 : Résultats des estimations de la surface corporelle 66
Tableau 10 : Valeurs des indices corporels selon différentes méthodes de calcul 66
Tableau 11 : Valeurs des indices de performance pour 273 chevaux de l'étude 67
Tableau 12: Relation mensurations-indices de performance 70
Tableau 13 : Relation mesures photométriques-indices de performance 71
Tableau 14 : relation rapport morphométrique - indices de performances 72
Tableau 15 : Relation surface - indices de performance 72
Tableau 16 : Relation indices surfaciques et corporels - indices de performance 72
Tableau 17: Comparaison des résultats morphométriques de notre étude avec les résultats d'autres études. 77
Tableau 18 : Comparaison des résultats morphométriques de notre étude avec les résultats d'autres études concernant d'autres disciplines. 80

SOMMAIRE DES FIGURES

Figure 1: Carte de suivi vétérinaire (33) 19
Figure 2 : Participation relative des différentes voies métaboliques selon la discipline du cheval (20) 21
Figure 3 : Représentation schématique de la filière aérobie 22
Figure 4: surface corporelle par rapport au poids chez le cheval et chez l'homme (68)..... 24
Figure 5 : Principaux modes d'échange de chaleur entre le cheval et son environnement (68)... 25
Figure 6 : La circulation de l'information au sein de la filière équine (53 33
Figure 7 : Grille de jugement concours d'élevage à orientation endurance..... 37
Figure 8 : Description des principales mesures effectuées..... 46
Figure 9 : Points anatomiques à prendre en compte pour le test de conformation (11) 47
Figure 10 : Repères anatomiques et mesures de la conformation des membres et de la ligne du dessus..... 49
Figure 11 : Répartition des chevaux de l'étude en fonction de leur âge 55
Figure 12 : Répartition des chevaux en fonction du sexe..... 56
Figure 13 : Répartition des chevaux en fonction de la race..... 56
Figure 14 : Distribution des chevaux en fonction de la hauteur au garrot (cm)..... 57
Figure 15 : Distribution des chevaux en fonction du périmètre thoracique (PT) (cm)..... 58
Figure 16: Distribution des chevaux en fonction de la longueur corporelle LC (cm) 59
Figure 17 : Distribution des chevaux en fonction de l'épaisseur du pli cutané (mm) 60
Figure 18 : Distribution des chevaux en fonction du poids (kg)..... 61
Figure 19 : Distribution des chevaux en fonction de la note d'état corporel..... 61
Figure 20 : Comparaison de la moyenne des estimations du poids calculées à l'aide des différentes équations d'estimation du poids et du poids mesuré à l'aide d'une balance (Poids Balance) :..... 65
Figure 21 : Grille de jugement proposée pour les concours modèles..... 84

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Feuille de résultats chiffrés après l'analyse morpho métrique par le logiciel EQUIMETRIX 93

Annexe 2 : Feuille de résultats graphiques après l'analyse morpho métrique par le logiciel EQUIMETRIX. 94

LISTE DES ABREVIATIONS

ACA = Association du Cheval Arabe.

ATP = Adenosine Triphosphate.

BLUP = Best Linear Unbiased Prediction

CCE = Concours Complet d'Equitation.

CNREE = Comité National des Raids Equestre d'Endurance.

CP = Coefficient de Précision.

CSO = Concours de Saut d'Obstacle.

ENVA = Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.

FEE = Fédération Française d'Equitation.

FEI = Fédération Equestre Internationale.

GECE = Groupement des Eleveurs de Chevaux d'Endurance.

HG = Hauteur au Garrot.

IC = Indice Corporel.

IS = Indice Surfacique

IFCE = Institut Français du Cheval et de l'Equitation.

INRA = Institut National de la Recherche Agronomique.

INSERM = Institut National de la Santé et Recherche.

IRE = Indices de performance en Raids d'Endurance.

IS = Indice surfacique.

LC = Longueur Corporel.

NEC = Note d'Etat Corporelle.

OI = Origine Inconnue.

ONC = Origine Non Constatée.

PC = Pli Cutané.

PEE = Programme d'Elevage Endurance.

PT = Périmètre Thoracique.

S = Surface.

SHF = Société Hippique Française.

SIRE = Système d'Information Relatif aux Equidés.

INTRODUCTION

L'intérêt des professionnels de la filière équine est d'identifier le plus tôt possible les chevaux performants afin d'éviter un investissement de temps et financier trop important sur des chevaux qui n'atteindront pas le niveau escompté. Aujourd'hui, le repérage de jeunes chevaux performants repose sur la performance des ascendants du cheval et sur son morphotype, c'est-à-dire sa morphologie et ses allures. La conformation et les allures d'un cheval sont les critères les plus anciens pour prédire la performance d'un jeune cheval. L'évaluation de ces critères se fait traditionnellement de manière subjective notamment lors de concours « modèles et allures ». Cependant, les données objectives concernant le cheval d'endurance sont inexistantes et les grilles de jugement utilisées dans les concours modèles et allures se basent sur des données empiriques.

Le projet GenEndurance résultant de la collaboration de trois équipes de recherche qui sont l'équipe de Biologie Intégrative et Génomique Equine du laboratoire GABI à l'INRA Jouy-en-Josas, l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort (ENVA) et l'Unité de Biologie Intégrative des Adaptations à l'Exercice à l'INSERM Genopole d'Evry et codirigé par le Docteur Céline Robert de l'ENVA et le Docteur Eric Barrey de l'INSERM, a pour objectif d'identifier les biomarqueurs et les déterminants génétiques permettant de caractériser les aptitudes sportives à l'exercice aérobie en course d'endurance. Il devrait permettre d'améliorer les méthodes de pointage des épreuves d'élevage avec des critères réellement associés à la performance, de caractériser les profils phénotypiques et génétiques des chevaux les plus performants et de mettre au point un test génétique permettant d'évaluer l'aptitude génétique d'un jeune cheval destiné à l'endurance.

Le travail suivant comporte dans un premier temps une partie bibliographique afin de présenter l'endurance équestre, la physiologie de l'effort d'endurance, la qualité d'un cheval d'endurance et les critères existants actuellement pour juger de l'aptitude d'un cheval à l'endurance. Dans un deuxième temps, une étude expérimentale portant uniquement sur l'aspect morphométrique du projet GenEndurance est présentée. Cette étude propose de caractériser la morphologie du cheval d'endurance et de comparer chaque paramètre morphologique mesuré à la performance afin de proposer aux éleveurs et aux associations de race des critères objectifs et pertinents pour apprécier l'aptitude des jeunes chevaux destinés à l'endurance.

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Présentation de l'endurance équestre

1.1. Origine de l'endurance équestre

Les raids guerriers sont à l'origine de l'endurance équestre. Le premier raid guerrier historique est attribué aux Hyksos venus d'Asie qui traversèrent la Syrie pour envahir l'Egypte et y introduire alors le cheval vers -1700 av. JC. Le cheval a alors permis à des populations devenues nomade de conquérir d'autres territoires et de parcourir ainsi de très grandes étendues (2). Les chevaux utilisés lors de ces raids guerriers sont des petits chevaux réputés infatigables et adaptés à un environnement rude.

La France a connu le cheval arabe lors des batailles contre les Maures au VIIIème siècle puis lors des croisades au Moyen-Orient durant lesquelles la cavalerie légère et endurante de l'armée arabe sera toujours supérieure à la cavalerie lourde chrétienne. Beaucoup plus tard, Napoléon restaure les Haras en 1806 et utilise un cheval importé d'Egypte afin d'alléger sa cavalerie. Dès lors, le cheval arabe est donc utilisé comme améliorateur de race et en race pure.

Parallèlement à son utilisation guerrière, le cheval est utilisé pour la communication. La poste à cheval fut marquée par le Pony-express qui relia le Missouri à la Californie d'avril 1860 à octobre 1861. Le parcours de 3 150 km comprenait 190 relais et obligeait les cavaliers à parcourir 125 km au petit galop.

L'utilisation sportive fut très progressive. Les raids furent tout d'abord exclusivement pratiqué par les militaires pour l'entrainement puis des raids militaires sportifs se sont développés. Le premier raid militaire sportif organisé fut le raid Berlin-Vienne en 1892 où les participants devaient parcourir 120 km par jour pendant 5 jours consécutifs. Beaucoup de chevaux meurent à la suite de la course, en raison du manque de connaissance de la physiologie sportive et de l'absence de contrôle vétérinaire. On remarque alors la supériorité des chevaux près du sang et orientaux. Ces raids furent ouverts aux civils dans les années 20. Le réel début de l'endurance sportive se fera aux USA avec la création de la Tevis Cup en 1955.

C'est seulement en 1975, dans le Sud de la France que la discipline est apparue avec un premier raid de 130 km : le raid de Florac. En 1976, le « Comité National des Raids Equestre d'Endurance » CNREE est créé et impose en 1980 des épreuves qualificatives empêchant les cavaliers et les chevaux non préparés de participer aux raids nationaux ; cette nouvelle règlementation fait suite aux « incidents de Florac » en 1979 où trois chevaux meurent à l'issue de l'épreuve. Depuis, les contrôles vétérinaires n'ont cessé de se développer pour une meilleure protection des chevaux.

En France, malgré son apparition tardive en tant que sport, l'endurance équestre est maintenant la deuxième discipline sportive équestre après le CSO en nombre de licenciés (72) et la première discipline équestre par les performances internationales.

1.2. Epreuves d'endurance équestre

Les épreuves d'endurance équestre sont réglementées en France par la Fédération Française d'Equitation (FFE) et par la Fédération Equestre Internationale (FEI) au niveau international.

1.2.1. Types d'épreuves

L'endurance équestre est pratiquée individuellement ou en équipe et consiste à parcourir en extérieur un itinéraire imposé et balisé. Il existe des épreuves de 10 à 160 km réalisées en 1 à 6 étapes selon le nombre de kilomètres et représentées dans le tableau 1 ci-dessous. Les vitesses sont imposées jusqu'à 90 km. Pour les courses de 90 à 160 km, la vitesse est libre et doit être de 12 km/h minimum. Une progression obligatoire en épreuves à vitesse imposée est nécessaire pour pouvoir participer aux épreuves à vitesse libre afin de juger de l'aptitude des chevaux et des cavaliers.

Tableau 1. Epreuves d'endurance équestre (FFE)

Divisions	Epreuves	Distance en kms	Vitesse en km/h
CLUB	Club A	10	6 à 8
	Club Poney 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 Epreuves ouvertes aux LFC Amateur et Pro	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 16
	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

1.2.2. Déroulement des épreuves

1.2.2.1. Accueil

A l'arrivée sur le lieu de la course, les participants reçoivent leur dossard, la carte vétérinaire du cheval (fig.1), la carte du parcours ainsi que le carnet de route. Le cavalier doit se renseigner sur les difficultés du parcours, les points de repos, les points de contrôle vétérinaire ou vet-gate ainsi que sur la longueur du parcours car une marge de 2 à 5 km en fonction du type d'épreuve est autorisée.

1.2.2.2. Départ

Avant le départ, le cavalier conduit son cheval à un premier contrôle vétérinaire réalisé par un vétérinaire choisi par les organisateurs. Ce dernier effectue un contrôle sanitaire. Il vérifie l'identité du cheval à l'aide d'un lecteur de puce électronique et les vaccinations obligatoires. Il réalise aussi un examen clinique métabolique et locomoteur afin de s'assurer que le cheval est apte à la course. Pour les épreuves de 120 à 160 km à vitesse libre, le cavalier doit passer à la pesée. Le poids du cavalier et du harnachement sans la bride doit être au minimum de 70kg. Les départs se font individuellement ou groupés pour les épreuves à vitesse imposée et obligatoirement groupés pour les épreuves à vitesse libre. L'heure du départ est notée sur la carte vétérinaire et le chronomètre est déclenché.

1.2.2.3. Assistance

Les cavaliers d'endurance sont entourés par leur équipe suiveuse ou d'assistance constituée le plus souvent de proches du cavalier. Cette équipe suiveuse est indispensable pour la réussite de la course. Elle part en voiture et attend le couple cavalier-cheval aux points d'assistance prévus avant la course et signalés sur le carnet de route et la carte du circuit, afin de réhydrater, alimenter ou refroidir le cheval et de vérifier son état général ainsi que donner des informations tactiques au cavalier.

1.2.2.4. Contrôles vétérinaires

Les contrôles vétérinaires se font avant, pendant et après la course au niveau des aires vétérinaires ou vet-gates. Le nombre de vétérinaires dépend du nombre de chevaux (1 vétérinaire pour 15 chevaux en moyenne) mais aussi de la difficulté du circuit. Si les contrôles vétérinaires ont pour objet principal de garantir la bonne santé des chevaux, leur résultat intervient également dans le classement final.

Au départ, le vétérinaire a un rôle sanitaire, il vérifie l'identité des chevaux. Chaque cheval doit être accompagné d'un carnet d'identification SIRE. Il vérifie également le protocole de vaccination contre la grippe équine.

Quelle que soit la longueur de la course, il y a un contrôle initial et un contrôle final. Le contrôle final est réalisé 30 minutes après l'arrivée. A partir des courses de 40 km il existe des contrôles intermédiaires.

Le vétérinaire réalise un examen clinique et un examen locomoteur sur un aller-retour de 30 mètres. L'examen clinique consiste à mesurer la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et le temps de réplétion capillaire, regarder la couleur des muqueuses, ausculter le transit, rechercher l'éventuelle présence d'un pouls digité et noter la présence d'éventuelles blessures ou autres anomalies. Pour les épreuves à vitesse libre, le chronomètre ne s'arrête que lorsque le cheval est présenté au contrôle intermédiaire avec une fréquence cardiaque inférieure à la limite autorisée (le plus souvent 64 battements par minute) ; le cavalier n'a le droit qu'à deux présentations maximum.

Le vétérinaire remplit la fiche vétérinaire du cheval (fig.1) à chaque passage et l'horaire de passage doit être indiqué.

Figure 1: Carte de suivi vétérinaire (33)

NUMÉRO DU DOSSARD	CONTRÔLE INITIAL .....h.....	DÉPART 1 .....h.....	DÉPART 2 .....h.....	DÉPART 3 .....h.....	DÉPART 4 .....h.....	DÉPART 5 .....h.....	DÉPART 6 .....h.....	BLOC NOTES
		ARRIVÉE 1 .....h.....	ARRIVÉE 2 .....h.....	ARRIVÉE 3 .....h.....	ARRIVÉE 4 .....h.....	ARRIVÉE 5 .....h.....	ARRIVÉE 6 .....h.....	
		ENTRÉE V-G 1 .....h.....	ENTRÉE V-G 1 .....h.....	ENTRÉE V-G 1 .....h.....	ENTRÉE V-G 1 .....h.....	ENTRÉE V-G 1 .....h.....	ENTRÉE V-G 1 .....h.....	
		2 .....h.....	2 .....h.....	2 .....h.....	2 .....h.....	2 .....h.....	2 .....h.....	
Délai de présentation		1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	
F - C	1	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	
F - R								
M - O								
PLI DE PEAU								
CAPILLAIRE								
TRANSIT								
ALLURES								
OBSERVATIONS								
REEXAMEN								
VISA VÉTO								

1.2.2.5. Classement

Le classement final est différent pour les épreuves à vitesse imposée et celles à vitesse libre.

Le classement final des épreuves à vitesse imposée est calculé de la manière suivante :

$$\frac{(\text{Vitesse x 2})-(\text{Vitesse minimale}) \text{ x } 100}{\text{Fréquence cardiaque final}}$$

Le concurrent le mieux classé est celui qui obtient le résultat le plus élevé, donc celui dont le cheval a la fréquence cardiaque la plus basse et qui se rapproche le plus de la vitesse imposée.

Le classement final des épreuves à vitesse libre est obtenu selon l'ordre de franchissement de la ligne d'arrivée sous réserve du contrôle vétérinaire final et validation par le président du jury (33).

1.2.3. Principales causes d'élimination

Les causes d'élimination peuvent être la présence de troubles métaboliques, de troubles locomoteurs ou l'abandon. L'étude de BURGER et DOLLINGER citée par BERGERO *et al.* (13) montre que sur 7 117 départs sur des courses internationales, seulement 50% des participants finissent la course et 30% sont éliminés. Parmi ces 30%, 63% sont éliminés pour boiteries et 24% sont éliminés pour causes métaboliques. Les boiteries sont généralement les causes d'élimination les plus fréquentes. L'étude de NAGY *et al.* (75) réalisée dans 9 pays sur 4 326 départs confirme que la cause la plus fréquente d'élimination est la boiterie suivi par des causes métaboliques et ce pour les 9 pays de l'étude.
Deux types de critères d'inspection sont retenus :
Les **critères de type A** sont des critères directement mesurables. Il s'agit de :

- Une fréquence cardiaque supérieure à 64 battements par minute à l'issue du temps de récupération imparti (20 à 30 minutes selon les épreuves), reflétant une mauvaise récupération du cheval donc des signes de fatigues, de souffrance ou de déshydratation.
- Une fréquence respiratoire élevée avec une température rectale supérieure à 39.5°C.

Les **critères de type B** sont des critères qualitatifs tels que la détection des boiteries, la présence d'une déshydratation (pli de peau persistant), la couleur des muqueuses, le temps de réplétion capillaire, les bruits digestifs, les bruits cardiaques ou des mouvements respiratoires anormaux ainsi que la présence de plaies ou de blessures diverses susceptibles de s'aggraver ou d'engendrer une souffrance.
Le couple sera éliminé Boiterie « B » si la boiterie est constante au test des allures ou éliminé Métabolique « M ».
Si le cheval présente un critère de type A, il est éliminé systématiquement et la décision d'un seul vétérinaire est nécessaire. L'élimination Boiterie requière la décision d'au moins deux vétérinaires. C'est la combinaison de plusieurs critères physiologiques défavorables de type B qui entraîne l'élimination Métabolique d'un cheval.
L'endurance est une discipline à risque pour le cheval, surtout à haut niveau. C'est pourquoi les contrôles vétérinaires y sont fréquents et que l'on oblige le couple cavalier/cheval à se qualifier sur des épreuves nationales avant de participer à des épreuves de niveau international. Le cheval d'endurance est donc un athlète complet et tout son organisme est mobilisé pendant l'effort.

2. Rappel physiologique de l'effort d'endurance

NEUMANN en 1990 cité par BERGERO *et al.* (13) classe les efforts sportifs selon la durée. Il distingue donc les efforts courts de 35 secondes à 2 minutes, les efforts moyens de 2 à 10 minutes et les efforts longs de plus de 10 minutes. Les chevaux d'endurance, de concours complet et les trotteurs réalisent des efforts longs (20). L'effort d'endurance ne consiste pas à résister mais à retarder et limiter l'apparition de la fatigue, créée notamment par des déchets métaboliques tels que le lactate, qui empêchera le cheval de poursuivre l'effort (2).

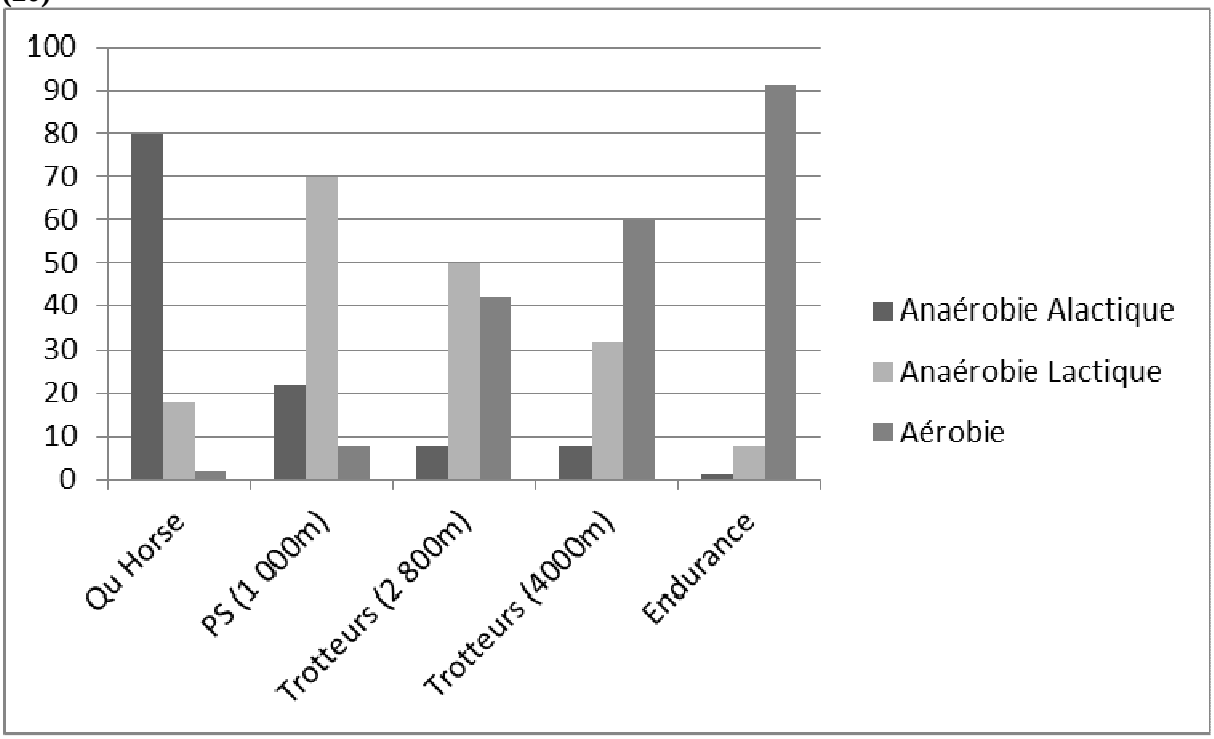
2.1. Production d'énergie nécessaire à l'effort d'endurance

La source immédiate d'énergie est l'ATP. Il existe trois voies métaboliques de production (2, 20) :

- La **voie anaérobie alactique** fournit de l'énergie rapidement pour des efforts courts et intenses comme pour les courses de quater horse.
- La **voie anaérobie lactique** est utilisée pour les efforts un peu plus longs et moins intenses. Plus la distance augmente, moins cette voie est utilisée.
- La **voie aérobie** est utilisée par les trotteurs, les chevaux de concours complets et les chevaux d'endurance pour les efforts de longue durée.

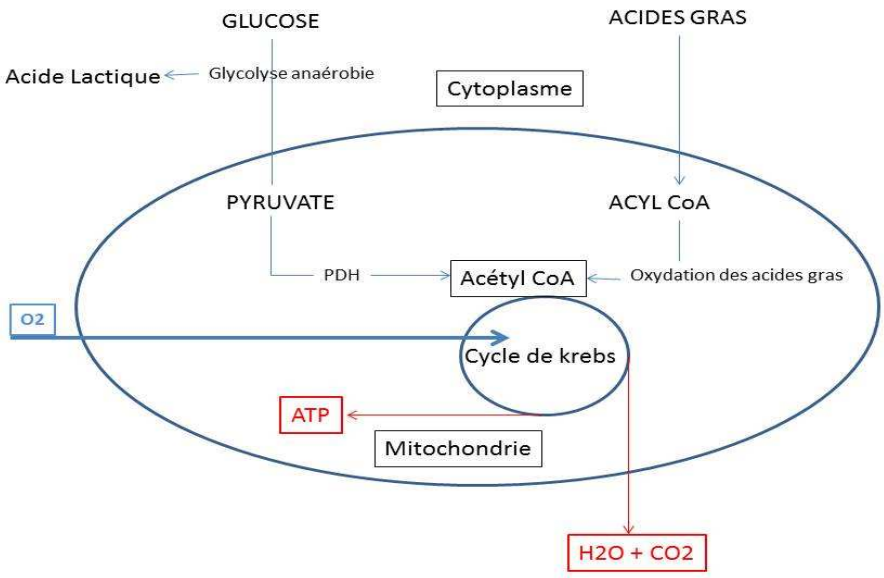
La figure 2 ci-dessous montre que la participation des voies métaboliques est différente selon la discipline et l'entraînement du cheval.

Figure 2 : Participation relative des différentes voies métaboliques selon la discipline du cheval (20)



La filière aérobie est la voie privilégiée de l'effort d'endurance. Cette voie utilise la dégradation du glycogène hépatique ou musculaire et des triglycérides contenus dans les muscles (31) et le tissu adipeux pour produire de l'ATP en présence d'oxygène grâce à la respiration mitochondriale.
La filière aérobie est représentée schématiquement par la figure 3 ci-dessous.

Figure 3 : Représentation schématique de la filière aérobie



Le métabolisme anaérobie intervient néanmoins au cours de l'effort d'endurance lorsque l'organisme a besoin d'une grande quantité d'énergie rapidement, lors de sprint ou de forte déclivité par exemple ; il y a donc toujours formation de déchets (lactate et H^+). L'organisme peut neutraliser l'acidité produite par des systèmes tampons et oxyder les lactates en pyruvates jusqu'à un certain seuil. Au-delà de ce seuil, les déchets sont responsables de l'impossibilité de poursuivre l'effort, de mauvaise récupération ou de désordres métaboliques graves. Ce seuil est variable d'un individu à l'autre et dépend de l'entrainement.

2.2. Consommation d'énergie produite par le muscle

L'énergie chimique sous forme d'ATP est consommée par le muscle pour être transformée en énergie mécanique.

2.2.1. Différents types de fibres musculaires

Le muscle est composé de différents types de fibres musculaires, les fibres lentes de type I et les fibres rapides de type II.
Il existe deux types de fibres rapides chez le cheval, les fibres IIA et les fibres IIX (2, 68, 79, 80, 81, 82, 89).

Les **fibres lentes I** ont une faible vitesse de contraction et de relâchement. Le métabolisme énergétique est exclusivement aérobie et il consomme plus particulièrement les acides gras. Ces fibres fournissent des contractions peu puissantes mais de longue durée. Elles sont donc utilisées pour des efforts longs et modérés tels que l'endurance.

Les **fibres rapides IIA** sont des fibres intermédiaires pouvant fournir des contractions rapides, plus puissantes que les fibres I et avec une certaine résistance à la fatigue. Elles utilisent principalement la glycolyse aérobie. Les fibres IIA sont les fibres de la performance car elles permettent à la fois vitesse et endurance.

Les **fibres rapides IIX** sont les plus rapides avec une capacité aérobie faible. Elles utilisent la voie anaérobie et sont donc peu résistantes à la fatigue. Elles permettent des efforts rapides et puissants : accélérations importantes et sauts.

2.2.2. Distribution des fibres musculaires

Les fibres musculaires se répartissent différemment selon les muscles, la race, l'individu et la discipline pratiquée. Le pourcentage de fibres I et de fibres II est déterminé génétiquement à la naissance (68, 81). La répartition des fibres selon la race est représentée par le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Répartition des différents types de fibres musculaires en pourcentage selon la race (2, 20)

RACE	TYPE I	TYPE IIA	TYPE IIX	IIA/IIX
Pur-sang	9,9	58,9	31,2	1,89
Trotteur	20,9	52,4	26,8	1,96
Quater horse	8,7	51	40,3	1,27
Pur-sang Arabe	14,4	47,8	37,8	1,26
Poney	22	39,9	38,1	1,05

Les chevaux endurants, ont une forte proportion de fibre I et un rapport IIA/IIX élevé (68, 80, 81). C'est le cas pour les trotteurs et les chevaux arabes dont les muscles sont optimisés pour fonctionner à l'économie d'énergie (2, 20, 21, 68). Au contraire, les quater horse qui font des efforts très violents sur des temps très courts ont très peu de fibres I et beaucoup de fibres IIX. Le muscle squelettique a également un potentiel considérable d'adaptation à l'entraînement (2, 68, 82). Ainsi, un entrainement d'endurance favorisera l'augmentation des fibres IIA par la transformation des fibres IIX en IIA et l'amélioration des capacités du métabolisme aérobie.

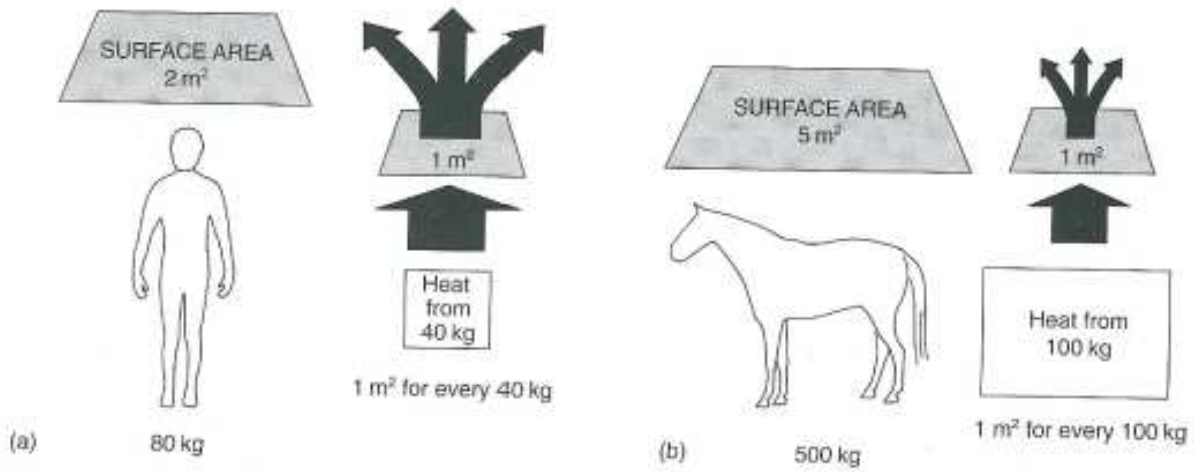
Ce sont donc les fibres I et IIA à métabolisme aérobie qui interviennent principalement lors d'un effort d'endurance. Les fibres IIX interviennent lors d'épuisement des substrats métaboliques utilisés par les fibres I et IIA (glycogène, triglycérides) ou lors d'accélérations rapides.

2.3. Thermorégulation lors de l'effort d'endurance

2.3.1. Production de chaleur au cours de l'exercice

Le rendement de la transformation de l'énergie chimique en énergie mécanique est très mauvais (2, 47, 61, 68). En effet, 75 à 80% de l'énergie chimique est transformée en chaleur qui augmente la température corporelle. Le métabolisme du cheval durant l'exercice est 20 à 25 fois supérieur à celui au repos. Sur une course d'endurance de 160 km, si aucune chaleur n'était dissipée, la température du corps augmenterait de 15° par heure.
Le cheval possède donc une très grande capacité métabolique mais une très petite surface corporelle pour dissiper la chaleur (61, 68), ceci est représenté sur la figure 4 ci-dessous.

Figure 4: surface corporelle par rapport au poids chez le cheval et chez l'homme (68)

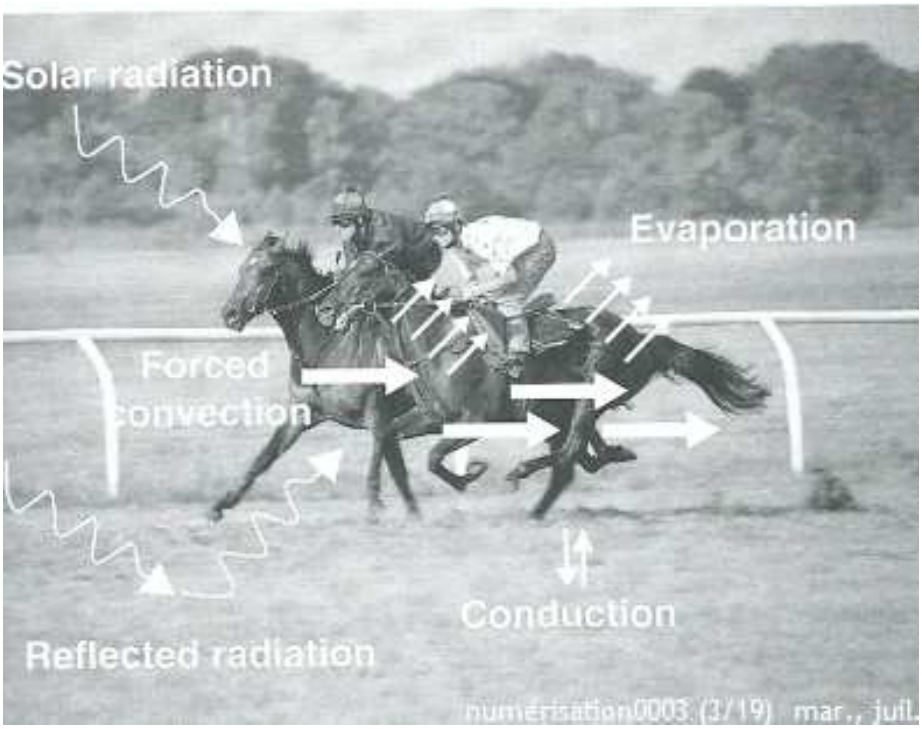


Le cheval a donc 2,5 fois plus de chaleur à dissiper à travers chaque mètre carré de surface corporelle qu'un homme.
Des mécanismes de thermorégulation doivent être activés afin d'éviter l'augmentation trop importante de la température corporelle qui pourrait être dangereuse pour le cheval.

2.3.2. Mécanismes de dissipation de la chaleur

La chaleur en excès peut être dissipée de différentes manières comme le représente la figure 5.

Figure 5 : Principaux modes d'échange de chaleur entre le cheval et son environnement (68)



La chaleur peut donc être dissipée par (2, 47, 61, 68) :

- Conduction : la chaleur du corps chaud est cédée au corps froid par contact direct. Contrairement à l'eau, l'air n'est pas un bon conducteur et ce mode de dissipation intervient donc très peu chez le cheval d'endurance.

- Radiation : Le cheval perd de la chaleur par rayonnement electromagnétique si l'environnement est plus froid. Ces pertes de chaleur sont négligeables pendant un effort.

- Convection : L'air réchauffé au contact de la peau tend à se déplacer vers le haut car il devient plus léger que l'air ambiant plus froid. Ce renouvellement constant, ou convection, permet d'évacuer l'air réchauffé par le corps et de le remplacer par de l'air plus frais, de la chaleur est évacuée par convection. Ce mécanisme est augmenté en présence de vent. La présence de poil constitue une couche isolante qui emprisonne l'air et diminue ce phénomène de dissipation de la chaleur.

- Evaporation : Il s'agit du mode d'évacuation de la chaleur qui intervient le plus chez le cheval d'endurance. La chaleur est perdue par évaporation à l'aide de deux

mécanismes physiologiques qui sont la transpiration et l'évaporation de l'eau au niveau de l'appareil respiratoire.

Le mécanisme principal de dissipation de la chaleur est l'évaporation. En effet environ 85% de la chaleur est dissipée grâce à la transpiration chez le cheval (68) et entre 15 et 25% de la chaleur est dissipée grâce à l'évaporation de l'eau au niveau de l'appareil respiratoire (47). Le cheval et l'homme sont les seules espèces pour lesquelles la transpiration est la principale voie de thermorégulation. Celle-ci est considérable chez le cheval qui possède un très grand nombre de glandes sudoripares apocrines sous contrôle adrénergique, essentiellement au niveau de l'encolure, des flancs et du pli de l'aine. Le cheval d'endurance peut perdre environ 7 à 8 litres d'eau par heure par ce mécanisme, d'où la nécessité d'une bonne réhydratation lors des points d'assistance et aux vet-gates (68). Une course d'endurance sous un climat chaud et humide limite le mécanisme d'évaporation ce qui rend ces courses très difficiles pour le cheval.
La sueur du cheval contrairement à celle de l'homme est hypertonique. Les besoins de la thermolyse sont un des principaux facteurs limitant lors des courses d'endurance car ils aboutissent à une déshydratation ainsi qu'à des désordres électrolytiques et acido-basiques (2, 68).

3. Qualités du cheval d'endurance

Chaque discipline hippique demande au cheval des qualités psychologiques, physiologiques et physiques particulières. Ces qualités peuvent être propres à une race ou un individu (10)

3.1. Races adaptées à l'endurance

L'Homme élève différentes races de chevaux afin de sélectionner des propriétés morphologiques ou locomotrices particulières. Il existe une différence considérable de morphologie et d'allures entre différentes races (17). Alors que certaines races sont très spécialisées, les races représentées en endurance sont loin d'être homogènes. Chaque race présente des avantages et des inconvénients en fonction de la longueur de la course, de son profil et des conditions climatiques (2).
Néanmoins, lorsque l'on regarde les chevaux classés dans les 5 premiers en endurance l'année 2011, on constate que le pur-sang arabe représente 54.8%, le demi-sang arabe représente 18.9% et l'anglo-arabe 8.9% de l'effectif total (16).
Le pur-sang arabe et les croisements arabes excellent dans ce sport (2, 36, 66).

3.2. Age

Un cheval ne peut commencer un programme d'entrainement intensif avant l'âge de 4 ans. (66). Il est préférable de commencer l'entraînement chez des sujets jeunes pour atteindre le haut niveau, afin que les adaptations physiques et physiologiques se mettent en place. Un jeune cheval de moins de 12 ans se classe plus fréquemment qu'un cheval de plus de 12 ans (4,77) mais plus le cheval vieillit, plus il va vite. Si on combine la vitesse et le taux de classement, le cheval atteint son plus haut niveau entre 9 et 12 ans (2, 77). A partir de 12 ans, le taux de classement est nettement plus faible et la vitesse diminue progressivement. Le nombre de départs en course est un facteur favorisant les éliminations pour boiterie surtout mais aussi pour raison métabolique.

3.3. Sexe

Les hommes ont généralement des meilleurs résultats sportifs que les femmes (30, 93). Ces différences résultent d'une morphologie, d'une physiologie et d'un système hormonal différent pour les deux sexes. Pour une taille donnée, le pourcentage plus élevé de graisse, un volume sanguin et un taux d'hémoglobine plus bas ainsi qu'une plus faible capacité de transport de l'oxygène chez la femme, la rendraient moins performante dans les épreuves d'endurance. Cependant, pour les ultra marathons, les femmes seraient avantagées et résisteraient mieux à la fatigue musculaire que les hommes (8, 93). Mais qu'en est-il chez les chevaux ?
Des études sur les Pur-sang de course aux USA, en France et en Australie montrent que les mâles non castrés présentent un avantage de par leur plus grande vitesse, sur les hongres et les femelles (29, 59). Chez les trotteurs, la supériorité des mâles sur les femelles s'observerait pour les temps, les records, les gains et le taux de classement (59).

Les études scientifiques concernant l'effet du sexe sur la performance des chevaux d'endurance sont inexistantes. Au temps des raids guerriers, les arabes-nomades préféraient les juments qu'ils jugeaient plus calmes, plus faciles à manier et plus endurantes (2). Actuellement, les entiers sont naturellement moins performants que les hongres et les femelles (2, 4, 77). En effet, ceux-ci auraient un instinct de survie supérieur les poussant à arrêter la course plus rapidement. De plus, il semblerait qu'ils se laisseraient davantage distraire par le milieu extérieur, se fatiguant inutilement et seraient plus difficiles à gérer (2, 4, 73, 77). Les femelles peuvent être en chaleur le jour de la course, ce qui peut diminuer les performances. Cependant, si le taux de classement des femelles est légèrement inférieur à celle des hongres, la vitesse n'est pas significativement différentes entre les hongres et les femelles contrairement aux autres disciplines (77).

3.4. Qualités psychologiques

Le succès de la carrière sportive d'un cheval est corrélé avec la volonté du cheval, monté ou à la manipulation, de coopérer avec le cavalier et lors de son apprentissage (10, 39). Un cheval d'endurance doit être franc, volontaire et impatient de courir sans être incontrôlable (66). Il doit également être peu émotif. Il ne doit pas être trop vif pour ne pas s'épuiser dès les premiers efforts (2). Les chevaux s'alimentant et s'abreuvant beaucoup en toutes conditions donc qui sont peu sensibles au stress seront favorisés car ils récupèrent correctement aux vet-gates.

3.5. Qualités physiologiques

Les particularités physiologiques de l'effort d'endurance ont été traitées précédemment et seront donc évoquées rapidement. Les qualités physiologiques du cheval d'endurance se déduisent de la nécessité de l'aérobiose. La capacité aérobie peut être développée par l'entraînement mais la capacité d'adaptation est déterminée génétiquement (10).

La capacité aérobie est représentée par l'absorption maximale d'oxygène (VO2max) exprimée le plus souvent en millilitre par minute et en fonction du poids du cheval c'est-à-dire en ml/min/kg. La capacité aérobie s'améliore avec l'entraînement mais la VO2max est essentiellement déterminée génétiquement. Le cheval a une VO2max élevée, jusqu'à 175 ml/min/kg pour un pur-sang et possède un transport et une extraction efficace de l'oxygène (10). Plus la VO2max est élevée, plus le cheval est capable d'effectuer des efforts intenses et prolongés.
La VO2max dépend du débit cardiaque, de la qualité du système respiratoire et de la concentration sanguine en hémoglobine (2, 10, 32). L'étude de FRAIPONT *et al.* (35) sur 38 chevaux d'endurance, a montré que les chevaux avec de mauvaises performances sont affectés par des maladies subcliniques touchant l'appareil respiratoire, musculo-squelettique ou cardiaque.

Le cheval à l'effort augmente sa ventilation d'environ 50% et la consommation d'O2 à l'effort est supérieure à 30 fois celle au repos. Le cheval a une respiration nasale stricte et l'intégrité des voies respiratoires supérieures est importante pour assurer un passage d'air suffisant. A l'effort, la fréquence respiratoire augmente afin d'assurer les échanges gazeux nécessaires et une partie de la thermorégulation. Une pathologie de l'appareil respiratoire même minime peut avoir des conséquences énormes sur les performances (2, 20, 35, 68).

Le muscle cardiaque doit être intègre et puissant. Les chevaux de sang sont réputés pour avoir un cœur proportionnellement plus gros (et donc plus efficace) que les chevaux lourds (2, 66, 85). Les chevaux d'endurance doivent avoir une très bonne récupération cardiaque et la fréquence cardiaque après un effort doit revenir rapidement à la fréquence cardiaque au repos (2, 35, 66, 85). Une étude de ROBERT *et al.* (83) a été réalisée sur 489 chevaux d'endurance sur des courses de 130 et 160 km. La fréquence cardiaque a été prise pendant la phase de récupération avant le dernier vet-gate. Le taux d'élimination est plus important chez les chevaux présentant alors une fréquence cardiaque supérieure à 60 battements par minute.

Le cheval d'endurance doit présenter une bonne réponse hématologique lors de l'effort, avec notamment une importante augmentation de sa concentration sanguine d'hématies grâce à la splénocontraction. L'hématocrite peut alors doubler chez le cheval à l'effort (20) Le cheval d'endurance doit être capable d'augmenter son volume plasmatique avec l'entraînement (38). La diminution du volume plasmatique avec l'augmentation de l'âge expliquerait pourquoi les chevaux âgés ont une thermorégulation moins efficace et sont plus sensibles à la déshydratation (71). Les chevaux déshydratés avant la course avec un taux d'hématocrite et de protéines totales supérieur sont plus sensibles aux problèmes métaboliques (9, 92). Un déséquilibre hydro-électrolytique avant la course d'endurance est un facteur prédisposant à l'élimination pour trouble métabolique (9).

La thermolyse provoque une déshydratation hypertonique et limite également les capacités aérobies. Les chevaux d'endurance doivent donc avoir un système de thermorégulation efficace.

Comme cela a été développé précédemment, le cheval d'endurance doit avoir un taux de fibre I et IIA plus important afin d'utiliser au maximum la filière aérobie et favoriser les efforts d'endurance et la résistance (2, 10, 68, 79, 85). Le système musculo-squelettique doit être intègre. Le dosage de la CPK peut révéler une fragilité et une souffrance musculaire (2, 19, 32).

Les réserves en glycogène et en triglycérides doivent être également suffisantes car l'épuisement de ces réserves limite la capacité aérobie (2, 20, 68).

3.6. Qualités physiques

3.6.1. Morphologie

3.6.1.1. Poids et tissu adipeux

La morphologie type d'un cheval d'endurance est mal documentée. De plus, les qualités morphologiques à rechercher peuvent être différentes selon le type de course, le dénivelé ou encore le climat.
L'excèdent de poids constitue un frein à la performance et ce dans toutes les disciplines sportives. Or, le composant le plus variable du poids entre plusieurs chevaux est le tissu adipeux (64, 97). L'excèdent de masse graisseuse est un handicap pour l'endurance. En effet, le tissu adipeux situé en surface, forme une couche isolante et constitue un frein à l'évacuation de chaleur et donc à la thermorégulation (61). De plus, cette masse graisseuse augmente le poids à porter par le cheval et a un effet négatif sur les capacités aérobies (64). L'étude de LAWRENCE *et al.* en 1992 (62) réalisée sur 61 chevaux partant sur une course de 150 miles, a démontré que les chevaux les plus performants étaient ceux qui avaient le plus faible pourcentage de tissus adipeux et un état corporel inférieur. Cependant, le cheval

d'endurance ne doit pas être trop maigre. En effet, une étude réalisée sur 360 chevaux participant à une épreuve de 160 km a montré que les chevaux maigres (note d'état corporel inférieure à 3.5 sur 9 selon le système de notation de HENNEKE) ne finissaient pas la course pour des raisons métaboliques, sans doute par manque de réserves énergétiques (37).

3.6.1.2. Morphologie musculaire

Si l'on compare les chevaux spécialisés en endurance et ceux spécialisés en course de vitesse comme les quater horse, les premiers ont une musculature longue et peu marquée alors que les seconds ont une masse musculaires très développée (20, 65, 98). Il semblerait que les fibres I n'aient pas tendance à s'hypertrophier avec un exercice d'endurance ce qui expliquerait la différence de morphologie entre un sprinter et un marathonien (76).

3.6.1.3. Taille

Les chevaux d'endurance sont des petits chevaux comparés aux autres disciplines. Ils mesureraient entre 1,40 et 1,55 m selon l'ouvrage de LOVING (66). Une étude de METAYER *et al.* (73) réalisée sur 31 chevaux d'endurance et 8 chevaux non-qualifiés, a montré que le cheval d'endurance était en effet un petit modèle, mesurant 1,52m en moyenne. Le cheval d'endurance doit donc être petit afin de limiter le travail pour se déplacer mais pas trop afin de ne pas avoir de trop petites foulées et de rester suffisamment porteur (2, 66, 73). Plus un cheval est petit, plus sa surface corporelle sera relativement grande et donc plus cela favorisera les mécanismes de thermorégulation (2, 47, 66, 68, 73).

3.6.1.4. Peau et couleur de robe

La peau et la couleur de robe interviennent dans les mécanismes de thermorégulation. La peau intervient dans l'isolation et la perte de chaleur par évaporation. La quantité de glandes sudoripares peut varier d'une espèce à une autre et au sein d'une espèce. Ainsi, les chevaux nordiques adaptés au froid ont moins de glandes sudoripares et sont donc moins capable d'évacuer la chaleur produite pendant un effort sans une période d'acclimatation (61). Ce phénomène s'observe aussi lorsque l'on compare le nombre de glandes sudoripares plus élevé chez les zébus que chez les vaches européennes (41)
Les chevaux de sang sont réputés avoir une peau plus fine avec des vaisseaux sanguins très apparents comme c'est le cas chez le pur-sang arabe (2, 36, 61, 66). Cela favorise ainsi les transferts caloriques vers l'extérieur au cours de l'effort et diminue le temps de refroidissement.

L'étude de STACHURSKA *et al.* (91) sur 1103 pur-sang et 796 pur-sang arabes a montré qu'il n'y avait pas de différence significative pour la performance en course de galop entre les chevaux gris et non gris, mais il n'existe pas d'étude similaire chez le cheval d'endurance pour lequel la thermolyse joue un grand rôle dans la performance.
Le pelage intervient dans le transfert de chaleur par conduction et convection (61) de par ses propriétés structurales, optiques et isolantes (74, 96). Différentes études ont montré au sein de plusieurs espèces, que les animaux de couleur noire présentaient davantage d'intolérance à la chaleur (1, 44, 45). Ceci s'expliquerait par le fait que les pelages foncés absorbent davantage les ondes courtes que les pelages clairs, augmentant alors le gain de chaleur (34, 41, 61). C'est pourquoi certains admettent que les chevaux gris présentent un avantage pour les courses d'endurance car ils présentent un gain de chaleur inférieur pendant la course (61, 66).
Cependant, le gain de chaleur ne s'explique qu'en partie par la couleur du pelage. En effet, le gain de chaleur solaire dépend également des caractéristiques optiques, structurales et isolantes du pelage et des caractéristiques optiques de chaque poil. Ainsi, une différence de 40% de gain de chaleur solaire peut être observée entre deux animaux de même couleur (96).

La relation entre la couleur du cheval et les transferts de chaleur n'est pas simple et on ne peut donc pas affirmer qu'un cheval de couleur claire présente une meilleure thermolyse qu'un cheval de couleur foncée.

3.6.1.5. Avant main

60 à 65% du poids est porté par l'avant main (67). La conformation de l'avant main aurait donc une grande importance. L'encolure du cheval a un rôle de balancier cervico-céphalique. Il dynamise l'impulsion et assure l'équilibration du mouvement (25). L'encolure du cheval d'endurance doit être assez longue afin de jouer son rôle de balancier correctement notamment au galop sans pour autant surcharger l'avant-main (6, 25, 66).
Certains indiquent néanmoins que l'encolure ne doit pas dépasser plus d'1.5 fois la longueur du dos (42). Si l'encolure est trop longue, la force de levier développée est trop importante et gêne l'équilibre par rapport au centre de gravité (66, 85).
Il est préférable que l'épaule soit inclinée, c'est-à-dire horizontale, car cela permet une économie d'énergie malgré l'augmentation du rythme des foulées (2, 66, 73). L'étude de CANO *et al.* (17) a montré que la plus grande différence entre le cheval andalou, l'anglo-arabe et l'arabe, est l'inclinaison de l'épaule. L'Arabe a une épaule plus horizontale ce qui contribuerait à la très grande performance de celui-ci en endurance en diminuant le risque de développer une boiterie (17). Plusieurs études ont montré qu'une épaule longue diminue le risque de fracture des antérieurs chez les chevaux de course (3, 70).

Il semble qu'un thorax profond favorise une bonne ventilation (2, 36, 66, 85, 88). Les pur-sang arabes sont réputés pour avoir un thorax plus profond et pour ainsi avoir une meilleure ventilation avec un cœur et un poumon proportionnellement plus grand.

3.6.1.6. Dos

Il est préférable que le dos soit court. En effet un dos court est réputé comme étant un dos solide (2, 36, 66, 73, 94). De plus, les chevaux avec un dos plus long ont des foulées plus longues et moins fréquentes ce qui augmente le travail énergétique à fournir pour un effort d'endurance (73). Le pur-sang arabe a un dos plus court car il ne possèderait que 17 vertèbres dorsales et 5 vertèbres lombaires contre respectivement 18 et 6 pour les autres races (36).
Il est préférable que le garrot soit saillant, sans excès pour éviter les plaies dues au harnachement. En effet, plus le garrot est saillant, plus les processus épineux sont hauts ce qui permet aux muscles du dos durant l'extension ou de l'encolure durant la flexion d'exercer des bras de levier plus efficaces.

3.6.1.7. Arrière main

L'étude des différences morphométriques entre les Arabes de show et d'endurance réalisée par CERVANTES *et al.* (18) a montré que la différence la plus significative se situait au niveau du triangle postérieur formé par la pointe de la hanche, la pointe de la fesse et le grasset. Ce triangle postérieur joue un grand rôle dans la propulsion (73). Le bassin d'un cheval d'endurance est incliné permettant au cheval d'engager ses postérieurs facilement sous sa masse et d'économiser de l'énergie au galop.

3.6.1.8. Membres

D'après Jean-Marie DENOIX (7) « la qualité du cheval, c'est le dessus jusqu'au genou et au jarret. En dessous c'est la longévité ». Plus les rayons osseux proximaux sont longs, plus les corps musculaires sont longs. Le raccourcissement de ces corps musculaires entraînent un grand déplacement actif et permettent une plus grande amplitude de déplacement passif de par

le plus grand allongement généré (25). Une angulation des membres idéale répond à deux objectifs (25), qui sont la solidité et l'efficacité de l'appareil locomoteur. L'efficacité et l'amplitude du mouvement dépend de la position en station des rayons osseux alors que la résistance de l'appareil locomoteur dépend de l'équilibre et de la répartition des contraintes sur l'appareil ostéo-articulaire et musculo-tendineux.
Les chevaux d'endurance sont plutôt prêts du sol avec des membres courts. Un avant-bras court favorise les gestes rasants et donc participe à l'économie d'énergie (66, 73).
Les chevaux d'endurance auraient une flexion du coude et du carpe plus réduite ce qui diminue l'élévation des antérieurs et contribue également à une diminution du travail musculaire (17, 73).
Le cheval spécialisé en endurance a un fémur long et un jarret fermé ce qui favorise la propulsion et les mouvements horizontaux (73).
L'angle du paturon est idéalement de 45 à 50°. Les petits angles favorisent les maladies naviculaires et les angles plus importants sont inacceptables en endurance car cela solliciterait trop les tendons (67). Cependant, cette dernière affirmation est controversée. En effet, selon Jean-Marie DENOIX (25), les chevaux bas-jointés contrairement aux droit-jointés ont plus de tension sur leurs tendons, notamment sur le perforé. Pourtant, c'est souvent le cheval droit jointé qui fera une tendinite du perforé car son tendon n'est pas habitué à travailler.
Le pur-sang arabe est réputé avoir des membres solides de par sa forte densité osseuse et ses articulations larges ce qui est un atout en endurance (2, 36, 42, 66) mais les chevaux de trait auraient en réalité une densité osseuse supérieure de 20% (67).
Le cheval d'endurance doit avoir de préférence de bons aplombs (2, 7, 36) et les pieds doivent être solides.

3.6.2. Allure

En endurance, l'allure doit être la plus économique possible. Ce n'est donc pas la qualité de l'allure est recherchée mais son efficacité. Elle doit être régulière, symétrique et peu relevée. L'allure doit être la plus rasante possible c'est-à-dire avec le moins de mouvement dorso-ventral. Les chevaux qui billardent, qui harpent, qui relèvent les genoux ou qui frappent le sol se fatiguent inutilement.
Un cheval d'endurance performant a donc des foulées rapides au trot et une cadence régulière au galop. Il a une forte puissance propulsive qui limite son activité dorso-ventrale et favorise les déplacements longitudinaux (METAYER, ANCELET, LOVING, CANO, BIAU).

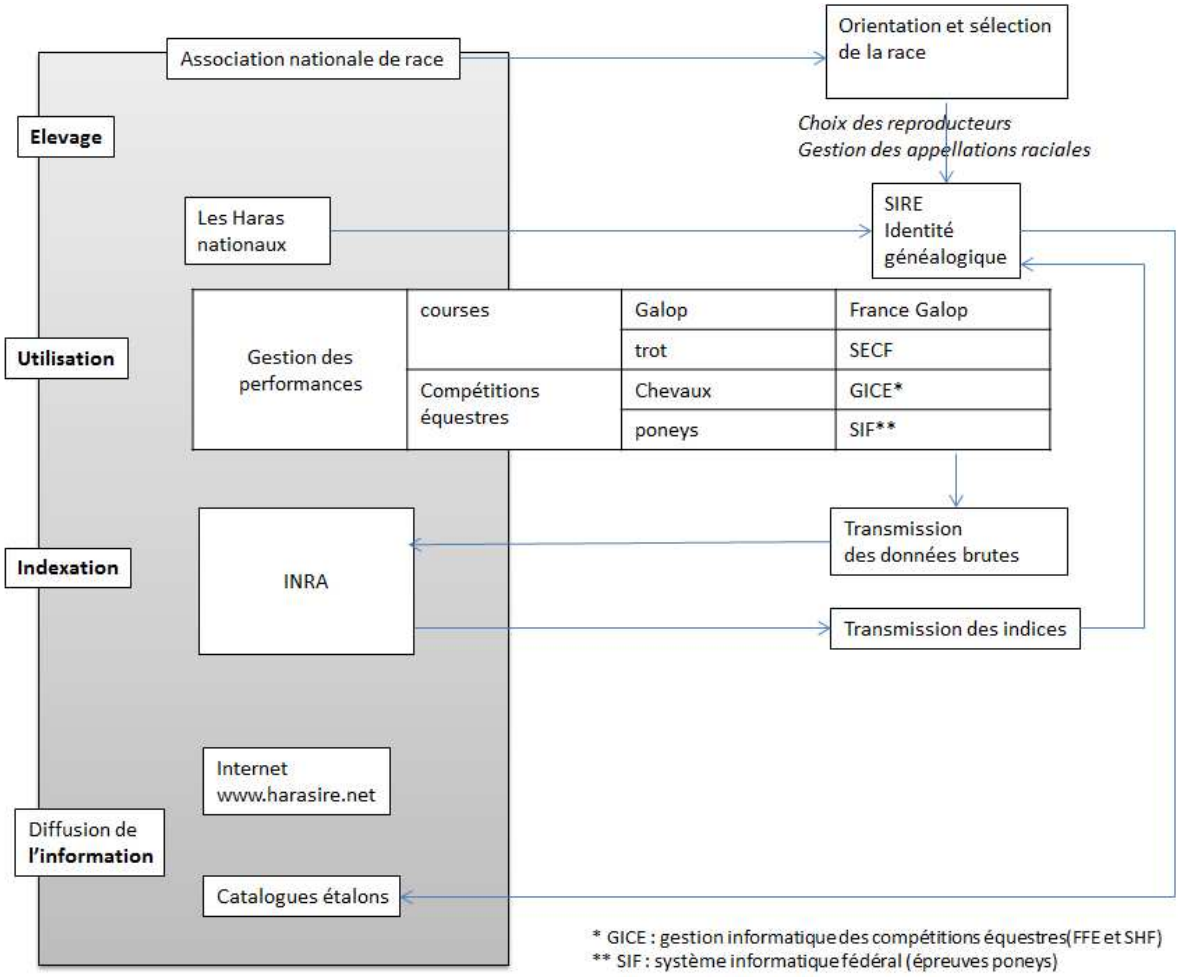
Il est difficile de définir un profil type du cheval d'endurance. Beaucoup de critères entrent en compte dans la performance et un cheval avec une morphologie défectueuse par exemple peut se révéler être très performant. On peut donc se demander quels sont donc les critères qui permettent de juger l'aptitude d'un cheval d'endurance.

4. Critères de jugement de l'aptitude d'un cheval à l'endurance

Le cheval est une espèce sélectionnée depuis longtemps pour ses capacités sportives.

En France, les associations de race agréées sont à l'origine de la sélection et de l'amélioration génétique. Elles élaborent les textes du Stud-book de la race et des programmes d'élevage. Les Haras Nationaux apportent leur expertise scientifique et technique et assurent la gestion de la base nationale de données relative aux équidés : SIRE. Le ministère de l'agriculture possède le droit exclusif de validation par des textes réglementaires. (22). L'organisation de la sélection et la mise en circulation des informations sont représentées par la figure 6 ci-dessous.

Figure 6 : La circulation de l'information au sein de la filière équine
(53)



La valorisation des jeunes chevaux se fait également par l'intermédiaire de la SHF. Elle est la Société Mère des épreuves de jeunes chevaux et poneys de sport de 4, 5 et 6 ans en France et est elle aussi, agréée par le Ministère de l'Agriculture pour intervenir dans la sélection et l'amélioration génétique des races de chevaux et poneys de sport et comme organisme

représentant les éleveurs, propriétaires et cavaliers de jeunes chevaux et poneys de sport. Elle organise chaque année dans chaque discipline et pour chaque tranche d'âge des Finales Nationales notamment à Uzès pour l'endurance.
Ces événements sont des lieux de sélection, de valorisation, d'échanges et de commerce incontournables pour les socioprofessionnels de la filière.
L'objectif de sélection consiste en une amélioration génétique d'un ou plusieurs caractères qui permettent une augmentation de la performance pour une discipline ou pour une race (52, 95). Il conduit ainsi les éleveurs, disposant alors d'informations sur les reproducteurs, à un choix raisonné des accouplements. Il convient alors de définir les critères sur lesquels les éleveurs peuvent se baser afin de juger de l'aptitude d'un cheval à l'endurance.

4.1. Performances et indices génétiques

Pour les disciplines olympiques qui sont le Concours de Saut d'Obstacle (CSO), le dressage et le Concours Complet d'Equitation (CCE), la sélection se base sur deux types d'indices : les indices de performance et les indices génétiques. Les indices de performance sont publiés depuis 1972. Les indices génétiques ne sont publiés que depuis 1989 pour le CSO et 1997 pour le dressage et le CCE. (76) Les indices de performance sont utiles pour comparer le niveau des chevaux les uns par rapport aux autres au sein d'une discipline, évaluer la qualité d'un cheval lors d'un achat et sélectionner les reproducteurs (23, 24, 78).

La sélection basée sur ces indices en endurance est très récente. C'est à partir de 2003 que les éleveurs de chevaux d'endurance représentés par l'Association du Cheval Arabe (ACA) ont montré leur motivation pour la création d'indices de performance et d'indices génétiques pour l'endurance. Les Haras Nationaux ont donc chargé l'INRA d'élaborer ces indices (23).

4.1.1. Indice de performance

Depuis 2006, un indice de performance, l'IRE, a été calculé pour l'endurance sur les performances enregistrées par la Fédération Française d'Equitation (FFE) de 2002 à 2005, transmises au SIRE puis à l'INRA. Cet indice ne concerne donc pour l'instant que les chevaux français, concourant en France et sous couleur française. Il est calculé selon trois critères, qui sont : (4, 77)

- La vitesse : elle n'intervient pas dans le classement des courses à vitesse imposée, seules les performances en course à vitesse libre sont donc prises en compte. La vitesse varie selon la difficulté de la course, ce n'est donc pas la valeur absolue de la vitesse qui est utilisée mais la comparaison de la vitesse absolue à la vitesse moyenne des chevaux classés. La vitesse est également corrigée par le niveau moyen des autres chevaux de chaque course. De ce fait, le niveau de concurrence et la difficulté de la course sont pris en compte.

- Le classement noté de façon binaire avec un code 0/1 si le cheval est respectivement non classé (élimination ou abandon) ou classé. Des corrections sont effectuées selon le taux de chevaux classés dans l'épreuve. Cela permet de prendre en compte la difficulté de l'épreuve et le niveau de concurrence.

- La distance parcourue est le dernier critère pris en compte pour le calcul de l'indice.

A partir des trois indices concernant la vitesse, le classement et la distance, un indice global est calculé (53). La pondération retenue dans le calcul de l'indice global est de : 30% pour la vitesse, 30% pour le classement et 40% pour la distance.

L'indice calculé est ensuite corrigé pour prendre en compte l'effet de l'âge et le sexe. En effet, les jeunes chevaux courent à des vitesses moins importantes que les chevaux plus âgés mais sont plus souvent classés. De même, les chevaux entiers sont naturellement moins performants que les hongres.

Chaque indice est accompagné d'un coefficient de précision (CP) qui indique la précision de l'indice calculé. Sa valeur varie entre 0 et 1 selon la quantité et la qualité des informations disponibles pour le cheval. Ainsi, plus le CP est proche de 1 plus l'indice est précis.

La moyenne est toujours représentée par l'indice 100. Ainsi 50% des chevaux ont un indice supérieur à 100.

Un cheval d'endurance de haut niveau sort en moyenne deux fois par an en compétition ce qui est très peu par rapport aux autres disciplines (77, 78). Les indices de performance sont comme pour les autres disciplines, actualisés chaque année, mais ils prennent en compte l'ensemble des résultats en course d'endurance du cheval depuis le début de sa carrière. L'IRE reflète donc la carrière du cheval en endurance et non pas seulement sa performance dans l'année.

4.1.2. Indices génétiques

Environ 15 à 25% de la performance en concours hippique est d'origine héréditaire, 25% en course de trot et 35% en courses de plat (10). Les indices génétiques ou BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) permettent d'estimer la valeur génétique d'un cheval afin de raisonner la sélection génétique et améliorer la génétique de la race. Le cheval est la première espèce pour laquelle la méthode BLUP a été appliquée en France depuis 1985 (53). Les indices génétiques permettent donc de réaliser des accouplements raisonnés. Les indices génétiques existent pour le CSO, le CCE et le Dressage. Ils sont calculés annuellement et prennent en compte les performances du cheval dans une discipline donnée ainsi que celles de ses apparentés (parents, collatéraux et descendants). Ces indices génétiques sont calculés par l'INRA. A la naissance, le poulain est affecté d'un BLUP égal à la moyenne arithmétique des BLUP de ses géniteurs. Le BLUP évolue ensuite chaque année selon la performance du cheval lui-même, de ses parents et de ses descendants. Le BLUP est exprimé en points positifs et négatifs. Pour être améliorateur, un cheval doit avoir un BLUP positif. Le BLUP est de plus accompagné d'un Coefficient de Détermination, compris entre 0 et 1, qui indique la précision avec laquelle l'indice génétique a été calculé. Plus on dispose d'information, plus le CD est proche de 1.
L'indice génétique n'est pas encore disponible en endurance car les données des performances des parents des chevaux qui concourent aujourd'hui ne sont pas disponibles. (24, 53, 76, 78)

Pour l'instant, les indexations pour les chevaux d'endurance sont encore imparfaites. L'objectif retenu par l'INRA est le calcul simultané des indices de performances et génétiques pour la période 2002-2011. Une réflexion est donc en cours pour définir les causes de non-classement et les classer selon leur gravité. Ainsi l'abandon sera jugé moins grave que la boiterie elle-même moins grave que les causes métaboliques. Les chevaux français montés

sous couleur étrangère ou courant à l'étranger seront pris en compte. Les jeunes chevaux seront alors également indicés ce qui permettra par exemple de suivre de près les reproducteurs prometteurs.

4.2. Les concours de modèles et allures

4.2.1. Organisation

Le Programme d'Elevage Endurance (PEE) a été initié par l'ACA en 2005. L'ACA a été agréée par le ministère de l'agriculture en 2003 pour intervenir dans la sélection. Le PEE est tourné vers l'endurance et non vers une race. Ainsi tous les chevaux destinés à l'endurance sont inscriptibles au PEE quelle que soit leur race. Les chevaux d'Origine Inconnue (OI), Origine Non Constatée (ONC) et d'Origine Constatée (OC) ne peuvent être inscrits néanmoins que sous certaines conditions. Le PEE accompagne toute la filière de production des chevaux d'endurance et a pour objectif, d'orienter la sélection, d'améliorer les conditions techniques et pratiques d'élevage, de favoriser la mise en valeur des produits et de favoriser la commercialisation (4). Dans le cadre du PEE, des concours d'élevage d'endurance sont organisés par les GECE (Groupements d'Eleveurs de Chevaux d'Endurance) en partenariat avec les délégations IFCE (Institut Français du Cheval et de l'Equitation). L'inscription aux concours se fait par l'intermédiaire du site France Cheval Sport, de préférence par l'éleveur lui-même.
Les concours d'élevage d'endurance sont destinés à améliorer la commercialisation des produits et la connaissance du modèle et des allures des reproducteurs (5). Les chevaux sont jugés sur leur modèle, c'est-à-dire leur morphologie, et leurs allures. A l'issue de ces concours, des primes calculées par l'IFCE sont versées en fin d'année sur le compte du bénéficiaire selon la note attribuée au sujet présenté. Les concours sont d'abord locaux puis régionaux et les meilleurs participent aux finales nationales.

Les chevaux participant à ces concours modèles et allures d'endurance doivent être inscrits au PEE et sont des chevaux de 2 et 3 ans ainsi que des poulinières de 4 à 18 ans saillies ou suitées. Les chevaux sont présentés en main et sont jugés sur des critères morphologiques et sur les allures.
Le jury doit être composé de trois juges minimum qui sont : un juge référent ACA qui est le président du jury, un représentant de l'IFCE et au moins un juge de « liste B ». Les juges de liste B peuvent juger dans leur région mais sont tenus de se retirer en cas de conflit d'intérêt.
Les juges évaluent les chevaux en utilisant des grilles de pointages élaborées et validées par l'ACA.

4.2.2. Critères de jugement et grilles de pointages

La grille de pointage dont se servent les juges est formée de trois volets. Le cheval est ainsi jugé pour son « expression d'ensemble », « le modèle » et « les allures » (fig.7).

Figure 7 : Grille de jugement concours d'élevage à orientation endurance

GRILLE DE JUGEMENT
CONCOURS D'ELEVAGE A ORIENTATION ENDURANCE

N° Dos. :
Nom : Age :
Race : Taille :
Père
Mère : Par :
Nom du Juge :

POINTS EXPRESSION D'ENSEMBLE :	/15
POINTS ALLURES:	/30
POINTS MODELE:	/55
TOTAL GENERAL	/100

Commentaires :

Points forts	Points faibles

1 - EXPRESSION D'ENSEMBLE DU CHEVAL D'ENDURANCE

(harmonie fonctionnelle) (œil, proportions, sang, look, sérénité)	Note 0 à 10	coef.	total
		x 1,5	/15

2 - MODELE

	note 0 à 10	coef.	total
Arriére-main (dos, bassin, croupe, cuisse, liberté de la queue)		x 2	
Avant-main (épaule, encolure, poitrine,garrot)		x 1	
Membres et Pieds (aplombs, articulations,qualité de la corne, taille et forme des pieds)		x 2	
Tissus (vascularisation, sécheresse, "trempé")		x 0,5	
TOTAL MODELE sur 55 points:			/55

3 - ALLURES

(Dans un but d'utilisation endurance)

	Note 0 à 10	coef.	total
symétrie - rectitude (en main au pas et au trot)		x 1	
aisance - amplitude - énergie naturelle (en main au pas et au trot ou monté aux trois allures)		x 2	
TOTAL ALLURES sur 30 points :			/30

L'expression d'ensemble du cheval est notée suivant l'œil, les proportions, le sang, le « look » et la sérénité. On cherche ici une homogénéité des points de force, un état corporel correct. Le stress est ici pénalisé (6).
Les juges notent ensuite le modèle caractérisé par l'arrière-main, l'avant-main, les membres et les pieds et les tissus.
Les allures enfin sont notées en fonction de leur symétrie et rectitude puis en fonction de leur aisance, amplitude et énergie naturelle.
Des notes de 0 à 10 sont attribuées pour chaque critère par les trois juges utilisant la même grille de pointage. Les critères ont des coefficients différents selon leur importance en endurance. Ainsi, l'arrière main, les membres et les pieds ainsi que l'amplitude des allures héritent du coefficient le plus élevé, 2.
Selon Stephan Chazel (6), les notes à utiliser sont :

3-4 : défectueux
5-6 : moyen, correct
7 : bon
8-9 : très bon voire excellent.

Malgré un effort d'harmonisation des notes et d'orientation endurance dans la mise en place des grilles de pointage et l'organisation de formations de juges spécialisés, la notation reste peu précise et très subjective. Une étude menée par MAGNUSSON citée par HOLMSTRÖM

et al. (48) a montré que pour les mêmes chevaux évalués par des juges expérimentés, de grands désaccords existaient pour la plupart des jugements de conformation. La conformation idéale du cheval d'endurance et sa relation avec la performance sont peu connues et leur appréciation est surtout basée sur l'expérience et les croyances (70). Les grilles devraient probablement être plus détaillées. Si on prend l'exemple de l'avant main, l'épaule peut être excellente et l'encolure défectueuse et la note finale ne rend pas compte de ces nuances. Une étude de MAWDSLEY *et al.* (69) s'est inspirée de la notation linéaire réalisée pour les vaches Holstein. Les chevaux ont été jugés pour 27 critères morphologiques durant 7 jours consécutifs. Alors que les critères étaient très détaillés, MAWDSLEY *et al.* (69) ont montré que la répétabilité de certains critères importants comme certains aplombs étaient trop faible. Cependant LANGLOIS *et al.* (60) ont montré que les concours de modèles et allures pour 645 chevaux de saut d'obstacle de 1971 à 1975 déterminait seulement 4% de la valeur génétique d'un cheval alors que la performance estimée selon les gains en explique 20% et celle estimé par l'étude de la descendance des étalons en explique 60%.

CONCLUSION

L'endurance est une discipline très spécifique dans le sens où c'est la discipline équestre qui sollicite le plus le métabolisme. Les capacités métaboliques du cheval étant difficiles à apprécier, l'évaluation des jeunes chevaux d'endurance est donc calquée sur les autres disciplines et est réalisée lors de concours « modèles et allures ». Cependant, alors que de nombreuses études scientifiques qualifient le morphotype (morphologie et allure) d'un cheval performant pour diverses disciplines, les connaissances concernant celui du cheval d'endurance sont inexistantes. L'introduction d'une méthode de mesure quantitative pour évaluer la conformation apparait être une amélioration du jugement traditionnel pour la prédiction de la performance (48). Ainsi, l'évaluation du morphotype des chevaux d'endurance se base encore aujourd'hui sur des méthodes empiriques (86, 94). Il ressort de l'étude de LANGLOIS *et al.* (60) sur les chevaux de saut d'obstacle que la sélection sur les performances individuelles et sur les ascendants doit être préférée à une sélection se basant sur le modèle. Cependant, il est montré que des mensurations objectives peuvent compléter les appréciations des juges qui peuvent être influencés par le cheval ou le présentateur.

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

INTRODUCTION

Cette étude expérimentale s'inscrit dans le projet de recherche GenEndurance. Ce projet résulte de la collaboration de trois équipes de recherche, l'équipe de Biologie Intégrative et Génomique Equine du laboratoire GABI à l'INRA Jouy-en-Josas, l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort (ENVA) et l'Unité de Biologie Intégrative des Adaptations à l'Exercice à l'INSERM Genopole d'Evry. Il est codirigé par le Docteur Céline Robert de l'ENVA et le Docteur Eric Barrey rattaché à la fois à l'INRA et à l'INSERM. Ce projet se déroule sur 4 ans de 2011 à 2014 et est soutenu financièrement par le fonds EPERON, l'IFCE et l'ACA.

Si des indices génétiques existent pour caractériser le niveau de performance des chevaux d'endurance, il n'existe pas de critères de sélection précoce, avant l'âge de 6 ans pour caractériser l'aptitude d'un cheval en course d'endurance. Ce projet a donc pour objectif d'identifier les biomarqueurs et les déterminants génétiques permettant de caractériser les aptitudes sportives à l'exercice aérobie en course d'endurance. Il devrait permettre d'améliorer les méthodes de pointage des épreuves d'élevage avec des critères réellement associés à la performance, de caractériser les profils phénotypiques et génétiques des chevaux les plus performants et de mettre au point un test génétique permettant d'évaluer l'aptitude génétique d'un jeune cheval destiné à l'endurance.

L'étude est réalisée sur tout cheval ayant au moins un ascendant de race Arabe et des performances en endurance en France sur des courses de 90 kilomètres ou plus, sur la base du volontariat. Elle consiste à réaliser une prise de sang pour le genotypage ainsi que des mesures morphométriques, une photographie de profil et un test d'allure pour le phénotypage.

L'étude expérimentale suivante porte uniquement sur l'aspect morphométrique du projet GenEndurance. Cette étude propose de caractériser la morphologie du cheval d'endurance afin de proposer aux éleveurs et aux associations de race des critères objectifs et pertinents pour apprécier les jeunes chevaux destinés à l'endurance.

1. Matériels et méthodes :

1.1. Population de l'étude

L'étude est réalisée en France entre avril et novembre 2011 sur 367 chevaux d'endurance ayant au moins un ascendant direct de race arabe et qualifiés sur des courses d'au moins 90 kilomètres et sur la base du volontariat. L'étude exclut les chevaux participant aux épreuves jeunes chevaux. Les mesures ont été réalisées la veille de la course sur 7 concours ainsi que dans plusieurs écuries dont les détails se trouvent dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques des concours où ont été recrutés les chevaux

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

1.2. Protocole expérimental

Les mesures ont toutes été effectuées soit la veille de la course, soit dans l'écurie directement.

1.2.1. Information sur les chevaux

Pour chaque cheval, grâce aux données des Haras Nationaux, nous disposons des informations suivantes : Nom, numéro d'identification SIRE, âge, sexe, race, noms des ascendants directs (père et mère) ainsi que l'indice de performance 2011 établit par l'INRA. Le numéro de puce de chaque cheval est vérifié le jour des mesures par un transpondeur.

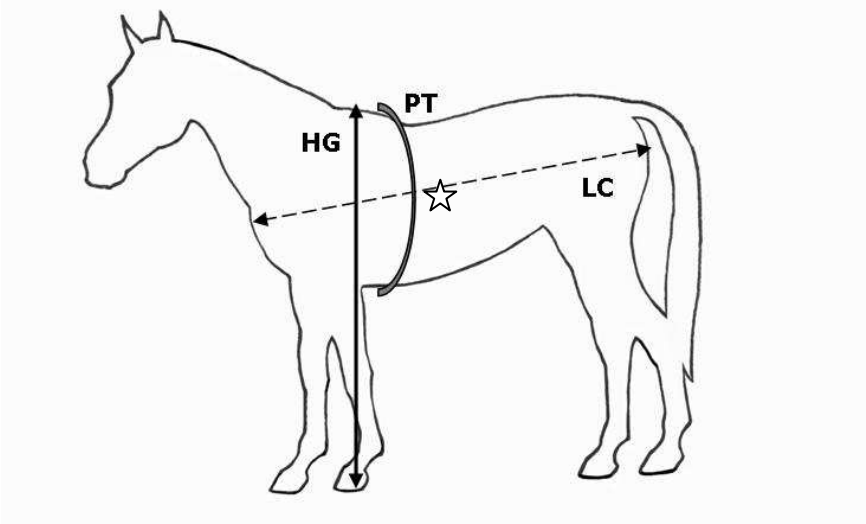
1.2.2. Mensurations

La prise des mensurations consiste à mesurer directement sur le cheval :

- la hauteur au garrot (HG) en cm, mesurée à l'aide d'une toise ;
- la longueur du corps (LC) en cm, mesurée à l'aide d'un ruban de mesure entre la pointe de l'épaule et la pointe de la fesse ;
- le périmètre thoracique (PT) en cm, mesuré à l'aide d'un mètre ruban au niveau du passage de sangle en fin d'expiration ;
- l'épaisseur du pli cutané en arrière de l'épaule (PC) en mm, mesurée à l'aide d'un pied à coulisse à mi-hauteur du thorax derrière le triceps.

Les mensurations sont illustrées sur la figure 8.

Figure 8 : Description des principales mesures effectuées



1.2.3. Mesure du poids

Les chevaux ont été pesés à l'aide d'une balance pour chevaux. Les résultats sont exprimés en kilogramme.

1.2.4. Notation de l'état corporel

La notation de l'état corporel a été réalisée selon le système de notation validé depuis 1988 par l'Institut du Cheval, l'Institut de l'Elevage et l'INRA sur un grand nombre de chevaux de plus de 18 mois. Cette notation consiste en l'évaluation par palpation du dépôt adipeux au niveau de certains points précis tels que le chignon, le garrot, l'arrière de l'épaule, les côtes et l'attache de la queue et par une appréciation visuelle globale. La note est attribuée sur une échelle de 0 à 5 (tableau 4)

Tableau 4 : Echelle de notation de l'état corporel (INRA)

Notes	État corporel
0	Émacié
1	Très maigre
1,5	Maigre
2	Insuffisant
2,5 3 3,5	Optimum selon le type d'animaux
4	Gras
4,5	Très gras
5	Suiffard - Obèse

1.2.5. Mesures photométriques

Certaines mesures de conformation ont été réalisées à partir d'une photographie de profil du cheval à l'arrêt grâce à un logiciel informatique.

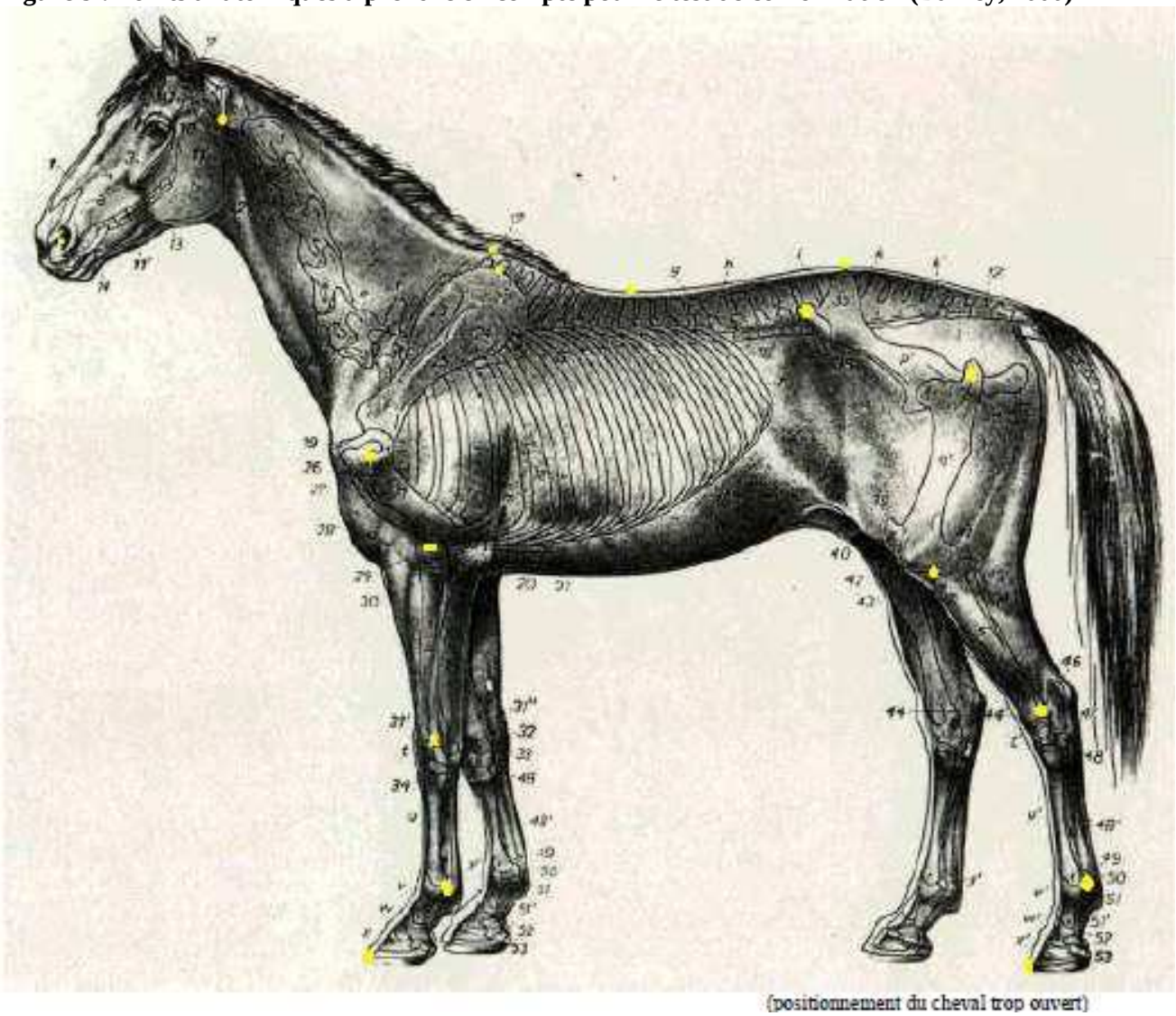
1.2.5.1. Placer du cheval et des repères

Six points anatomiques peu visibles ont été repérés sur le cheval par palpation puis marqués à l'aide de gommette de couleur rouge pour les chevaux à robe claire et de couleur blanche pour les chevaux à robe foncée. Le cheval doit être calme et bien positionné pour la pose des gommettes. Les points marqués sont :

- Le sommet de l'épaule : sommet de la scapula à l'extrémité du cartilage, dans le prolongement de l'épine scapulaire ;
- La pointe de l'épaule : au niveau de la convexité du tubercule majeur de l'humérus ;
- Le coude : à l'insertion humérale du ligament collatéral latéral ;
- La pointe de la hanche : sur la tubérosité dorso-craniale de l'épine iliaque ;
- La hanche sur la convexité du grand trochanter ;
- Le grasset : à l'insertion proximale du ligament patellaire latéral.

Les différents points anatomiques à prendre en compte sont représentés sur la figure 9.

Figure 9 : Points anatomiques à prendre en compte pour le test de conformation (Barrey, 2000)



(positionnement du cheval trop ouvert)

Une fois les gommettes collées, le cheval, préalablement toisé afin d'établir une échelle métrique de l'image, est placé de profil, du côté gauche. Le placer du cheval est très important ; il doit être parfaitement de profil avec la tête et l'encolure bien dans le plan longitudinal, les canons doivent être verticaux et les sabots doivent dessiner un rectangle au sol.
L'appareil photographique doit être éloigné de 10 mètres perpendiculairement à l'axe du cheval. Dans la mesure du possible, un sol plat, un lieu bien éclairé et un fond d'image neutre sont choisis.
Plusieurs photographies sont réalisées et celles de meilleures qualités seront choisies lors du traitement informatique.

1.2.5.2. Traitement informatique

Les photos numériques doivent avoir le format JPEG avec la définition 640 x 480 pixels. Les repères anatomiques sont pointés sur la photo à l'aide du logiciel EQUIMETRIX dans l'ordre suivant (figure 10) :

- **La ligne du dessus** : centre du naseau, aile de l'atlas, sommet du garrot, point le plus bas du dos, sommet de la croupe.
- **Le membre antérieur :** extrémité proximale de la scapula, convexité du tubercule majeur de l'humérus, insertion du ligament collatéral latéral de l'articulation du coude, processus styloïde ulnaire du radius, intersection entre la partie distale de la branche latérale du ligament suspenseur et du ligament annulaire palmaire, extrémité distale de la pince.
- **Le membre postérieur :** tubérosité supérieure de l'épine iliaque antérieure, convexité du grand trochanter du fémur, insertion proximale du ligament patellaire latéral, malléole latérale du tibia, intersection entre la partie distale de la branche latérale du ligament suspenseur et le ligament annulaire plantaire et extrémité distale de la pince.

Figure 10 : Repères anatomiques et mesures de la conformation des membres et de la ligne du dessus

De nombreuses mesures sont alors calculées et définies ci-dessous (tableau 5).

Tableau 5 : Définitions des variables de conformation mesurées par analyse d'images numériques

Variables	Définitions	Unités
TAILLE		
TAILLEC	Taille au sommet de la croupe	m
VIDESSTE	Vide sous-sternal	m
THORAX	Hauteur de la poitrine	m
LIGNE DU DESSUS		
TETE	Longueur atlas-naseau	m
ENCOLURE	Longueur atlas-garrot	m
LONGUEUR	Longueur épaule-hanche	m
LONGUEURtot	Longueur base de l'encolure-pointe de la fesse	m
IEPAULEPOINTEHANCHE	Inclinaison épaule-pointe de la hanche/horizontale	degrés
ICOUDEGRASSET	Inclinaison coude-grasset/horizontale	degrés
DOS		
DOSAV	Longueur garrot-creux du dos	m
DOSARR	Longueur creux du dos-sommet croupe	m
ADOS	Angle garrot-creux du dos-sommet de la croupe	degrés
HGARROT	Hauteur du garrot/creux du dos	m
IGARROT	Inclinaison creux du dos-garrot/horizontale	degrés
POSTERIEURS		
Segments		
COXAE	Longueur pointe de la hanche-hanche	m
SACRE	Longueur sommet de la croupe-hanche	m
FEMUR	Longueur du fémur	m
TIBIA	Longueur du tibia	m
METATARS	Longueur du canon postérieur	m
PHALANGP	Longueur boulet-pince postérieure	m
Angles et inclinaisons		
IBASSIN	Inclinaison du bassin/horizontale	degrés
IFEMUR	Inclinaison du fémur/horizontale	degrés
AHANCHE	Angle bassin/fémur	degrés
AGRASSET	Angle du grasset	degrés
AJARRET	Angle du jarret	degrés
ANTERIEURS		
Segments		
SCAPULA	Longueur de l'épaule	m
HUMERUS	Longueur de l'avant-bras	m
RADIUS	Longueur du bras	m
METACARP	Longueur du canon antérieur	m
PHALANGP	Longueur boulet-pince antérieure	m
Angles et inclinaisons		
IEPAULE	Inclinaison de l'épaule	degrés
IHUMERUS	Inclinaison de l’humérus	degrés
AEPAULE	Angle de l'épaule	degrés
ACOUDE	Angle du coude	degrés
AGENOU	Angle du genou (carpe)	degrés

1.2.6. Détermination des robes

Les robes des chevaux sont déterminées à l'aide de la nouvelle nomenclature des robes selon l'arrêté du 1/12/1999 (14, 84). On désigne ainsi la couleur de la robe du cheval par :

- La robe de base qui est la couleur de la robe sans poils blancs : noir, bai, isabelle, souris, alezan brulé, alezan café au lait, palomino, blanc, gris, crème ou chocolat.
- La nuance de la robe de base : indique la présence de poils blancs (mélangé), de poils noirs (fumé), la nuance de couleur de la robe de base (clair, moyen ou foncé) et les panachures (pie ou tacheté).
- La présence ou non d'adjonctions telles que truité, pommelé ou charbonneux.

La description des robes est réalisée à partir des photos par une seule personne.

1.2.7. Calcul de la surface corporelle

La surface corporelle intervient dans les mécanismes de thermorégulation.
Sarrus et Rameaux en 1838 ont établi « la loi de surface » stipulant que le métabolisme de base d'un être vivant n'est non pas proportionnel au poids mais à la surface corporelle (57). A partir de là, les scientifiques ont commencé à s'intéresser aux calculs de la surface d'un être vivant. Meeh en 1879 a donc établit selon des principes mathématiques que la surface d'un être vivant était la suivante : $S = k.M^{2/3}$, où S est la surface en centimètre carré, M est la masse en gramme et k varie selon la forme de l'être vivant.
Plus tard, les autres scientifiques se sont inspirés de la formule de Meeh afin de déterminer le k pour différentes espèces ou d'établir des nouvelles formules en utilisant les techniques suivantes :

- Prendre des mensurations in vivo d'un être vivant et simplifier la forme de celui-ci en plusieurs formes géométriques dont on est capable de calculer la surface.
- Des animaux ont été tués puis dépecés et la surface de la peau a alors été mesurée soit à l'aide d'un planimètre ou en la déposant sur un papier, puis en découpant le papier en suivant les contours puis en le pesant (26, 49, 57)
- Recouvrir la surface corporelle par des moulages de papier ou de diverses substances comme par exemple de la paraffine (27, 54)
- Par méthodes photographiques (55)
- Recouvrir la surface corporelle par de la peinture ou de la craie à l'aide d'un rouleau à peinture de longueur connue ou des éponges de surface connue (15, 90)

Les données concernant les chevaux sont quasi-inexistantes. De plus, les résultats du calcul de surface pour un même animal avec différentes méthodes peuvent varier de 60% (15). Le calcul de surface par ces méthodes est très chronophage et n'a une précision que de 10 à 20%. Les mesures sur animaux vivants doivent être privilégiées car la peau est élastique et les mesures sur des peaux dépecées ne sont donc pas précises. De plus, le k de Meeh varie pour un même animal suivant qu'il est obèse ou cachectique. Aucune étude n'a validé la pertinence de ces méthodes de mesure (43, 50, 57)
Pour cette étude, la surface S a été calculée de différentes façons :

- En considérant que le corps du cheval est un cylindre dont la longueur est la longueur du corps LC et le diamètre le périmètre thoracique PT et que l'encolure est un cône dont la hauteur est la longueur de l'encolure et le rayon du disque de la base correspond à la longueur hanche-grasset. La longueur hanche-grasset a été calculée grâce aux relations trigonométriques dans le triangle formé par la longueur pointe de la hanche-hanche et la longueur du fémur. La surface calculée est appelée S_{geo} par référence à la méthode géométrique utilisée.

- En utilisant la formule de HODGSON (non published data) $S_{hodgson} = 1.09 + 0.008xP$ où P est le poids en kg. La surface s'estime en mètre carré.

- En utilisant la formule de BRODY : $S_{brody} = 0.1xP^{0.64}$ où P est le poids en gramme et la surface S est en centimètre carré.

- En mesurant la surface du cheval sans les membres à l'aide du logiciel IMAGE J. En effet sur les photographies disponibles, le contour du cheval est tracé et la surface de la forme ainsi délimitée est calculée automatiquement par le logiciel. On multiplie par deux la surface obtenue pour avoir l'ensemble du cheval. Il est évident que ce calcul sous-estime la surface car celle-ci est prise en compte en deux dimensions seulement. La surface ainsi calculée est appelée S_{photo} par la suite.

- SNEDDON *et al.* (90) ont mesuré la surface de chevaux en recouvrant ceux-ci de craie à l'aide d'une éponge de surface connue. Ils ont ainsi estimé la surface des chevaux et ont cherché à établir une formule indépendante du poids en fonction de la surface de l'épaule. La surface de l'épaule est définie comme étant la surface entre la marge antérieure du muscle supra-épineux et du muscle pectoral subclavier et la marge postérieure du muscle triceps.

$$S_{sneddon} = \frac{(\text{Surface de l'épaule x } 2)}{10} \text{ x}100$$

Dans cette étude, la surface de l'épaule a été estimée à partir des photographies à l'aide du logiciel IMAGE J.

Cette étude présente donc 5 méthodes d'estimation de la surface d'un cheval. Deux d'entre elles, S_{photo} et $S_{géo}$ ne prennent pas en compte la surface des membres du cheval mais on suppose que ces régions interviennent peu dans les mécanismes de thermorégulation. SNEDDON *et al.* (90) ont calculé le pourcentage de la surface que représentent les différentes parties du corps. Ces pourcentages sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Pourcentage de la surface représenté par les différentes parties du corps (90)

Régions du corps	Pourcentage
Tête	7,5
Encolure	14
Epaule	10
Tronc	26,5
Croupe	15
Postérieurs	15
Antérieurs	12
Total	100

Ainsi $S_{géo}$ représente 65.5% de la surface corporelle totale et S_{photo} 73%.

1.2.8. Indices corporels

Les indices suivants ont été calculés en utilisant les résultats précédents :

- L'indice corporel relatif : $IC_{relatif}$ = Périmètre thoracique (PT) / longueur du corps (LC). MARCQ *et al.* cités par GUEDAOURAS *et al.* (40) rapportent que le meilleur indice de compacité oscille entre 0.85 à 0.9. Au-dessus de 0.9, les chevaux sont considérés comme à tendance lourde.

- L'indice corporel de profil : IC_{profil} = Hauteur au garrot (HG) / longueur du corps (LC). Plus l'IC de profil est proche de 1, plus le cheval s'inscrit dans un carré. On distingue ainsi les chevaux brévilignes (IC profil<1), les chevaux médiolignes (IC profil=1) et les chevaux longilignes (IC profil>1).

- L'indice de compacité : $IC_{compacité}$ = Hauteur au garrot (HG) / Poids en cm/kg. Par exemple, les chevaux arabes barbes sont moins compacts que les demi-sang Normand et les anglo-arabes (19). En-dessous de 2,85 cm/kg, il s'agit de chevaux légers.

- L'indice surfacique pour chacune des surfaces estimées respectivement, IS_{geo}, IS_{photo}, $IS_{sneddon}$, $IS_{hodgson}$ et IS_{brody} avec IS = Poids/S en kg/m².

Les différents indices calculés sont résumés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Les indices corporels calculés

Indice	Formule	Unité
Indice corporel relatif	$IC_{relatif}$ = PT/LC	_
Indice corporel de profil	IC_{profil} = HG/LC	_
Indice corporel de compacité	$IC_{compacité}$ = Poids/S	cm/kg
Indice surfacique	IS = Poids/S	Kg/m²

1.3. Traitement des données et analyse des résultats

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

Les données qualitatives sont analysées à l'aide des analyses de variance et les données quantitatives à l'aide des analyses de corrélations grâce au logiciel statistique NCSS 2007.

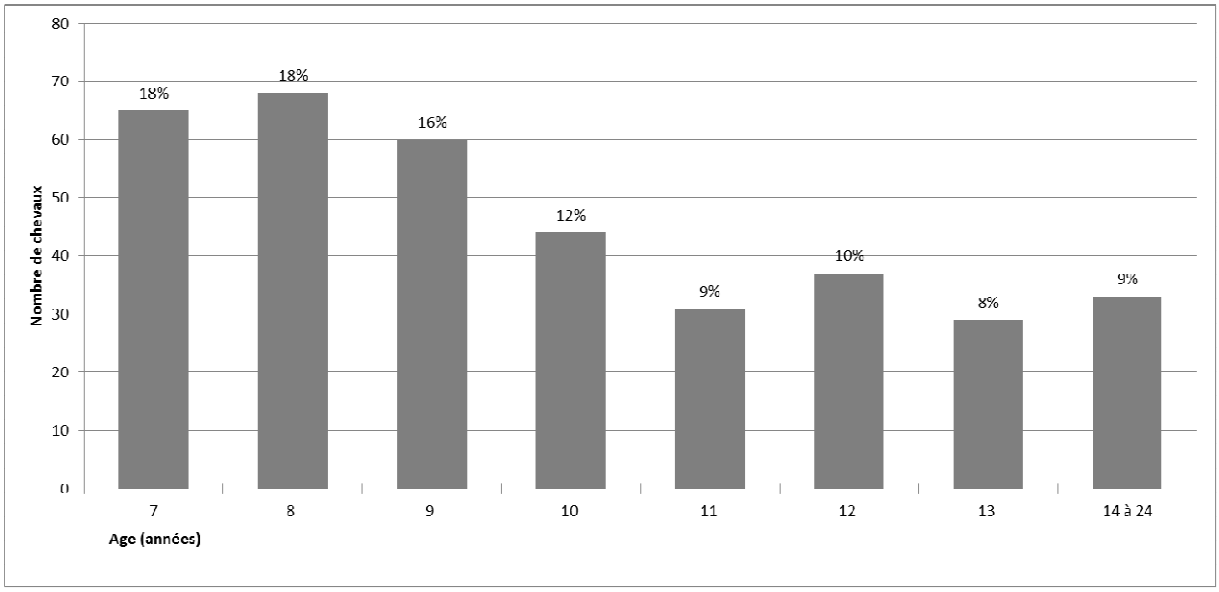
2. Résultats

2.1. Caractéristiques des chevaux de l'étude

2.1.1. Age

Les jeunes chevaux de moins de 7 ans étant exclus de l'étude, les chevaux de l'étude sont ainsi âgés de 7 à 24 ans avec 133 chevaux de 7 et 8 ans, 135 chevaux de 9 à 11 ans et 99 chevaux de plus de 12 ans. La moyenne d'âge est de 10 ans (écart type de 2,9). La répartition des âges est représentée dans la figure 11.

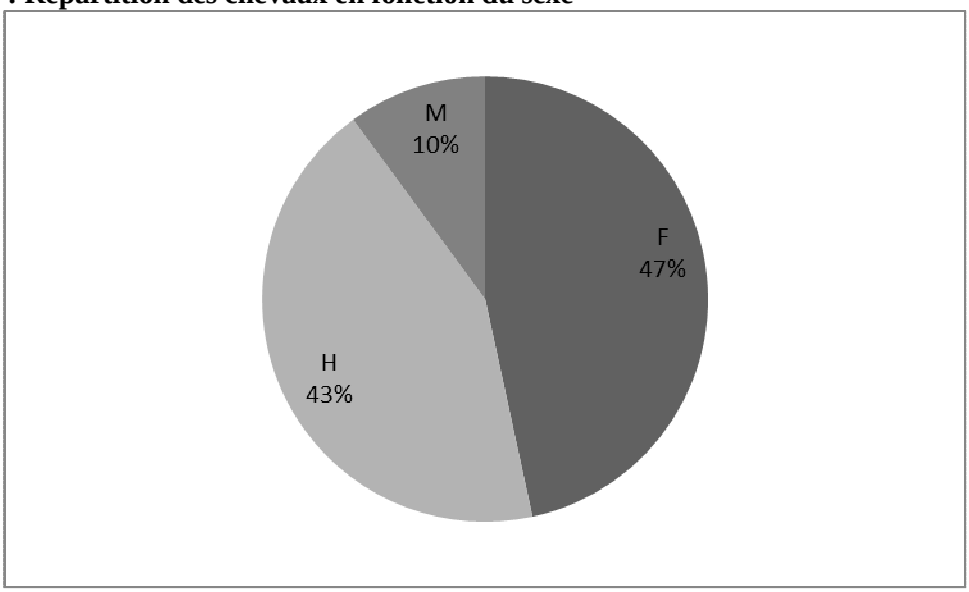
Figure 11 : Répartition des chevaux de l'étude en fonction de leur âge



2.1.2. Sexe

La répartition des chevaux de l'étude en fonction du sexe est représentée sur la figure 12. L'étude comprend 171 femelles (F), 159 hongres (H) et 37 mâles (M). Les mâles représentent seulement 10% des chevaux de l'étude contre 47 et 43 % pour les femelles et les hongres respectivement.

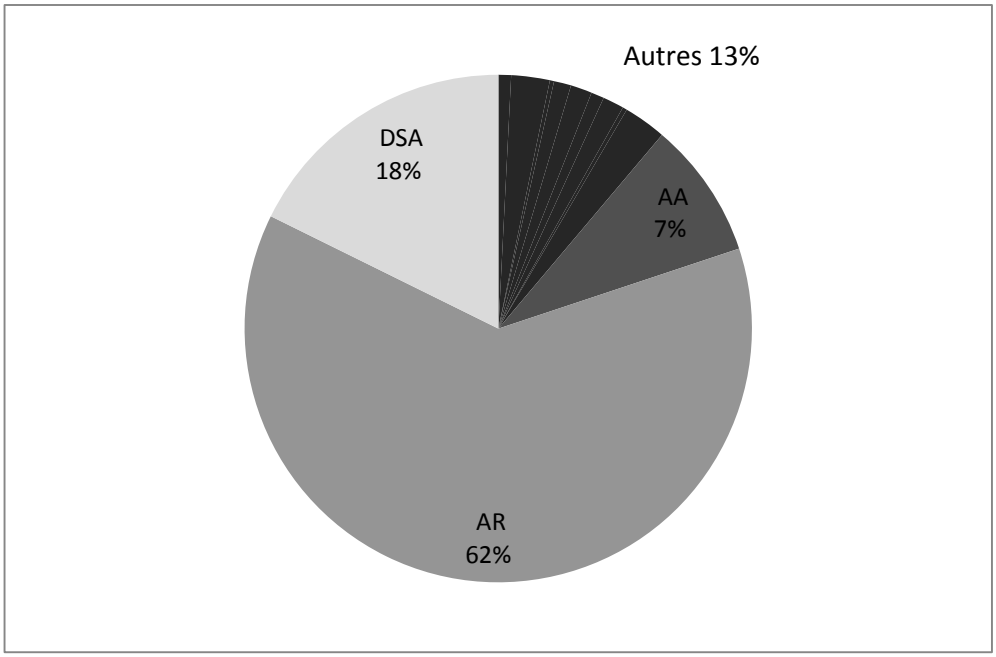
Figure 12 : Répartition des chevaux en fonction du sexe



2.1.3. Race

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

Figure 13 : Répartition des chevaux en fonction de la race



2.2. Etude descriptive des résultats de l'étude

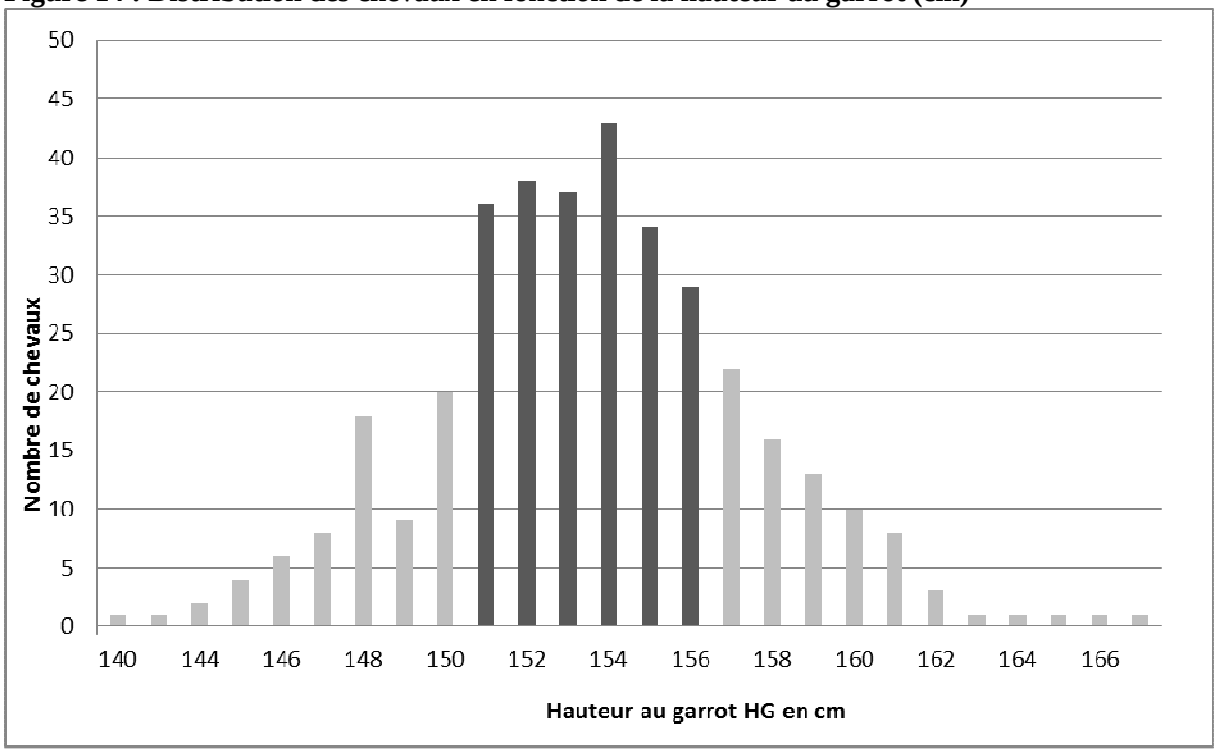
2.2.1. Mensurations

Certaines mensurations n'ont pas pu être obtenues sur l'ensemble de la population d'étude à cause du caractère de certains chevaux.

2.2.1.1. Hauteur au garrot

La hauteur au garrot a été mesurée pour 363 chevaux et est exprimée en centimètre. La moyenne est de 153,5 cm (écart type de 4,09) avec des valeurs extrêmes de 140 et 167 cm.
La distribution de la hauteur au garrot est représentée dans la figure 14.
Les classes en gris foncé représentent 50% de l'effectif.

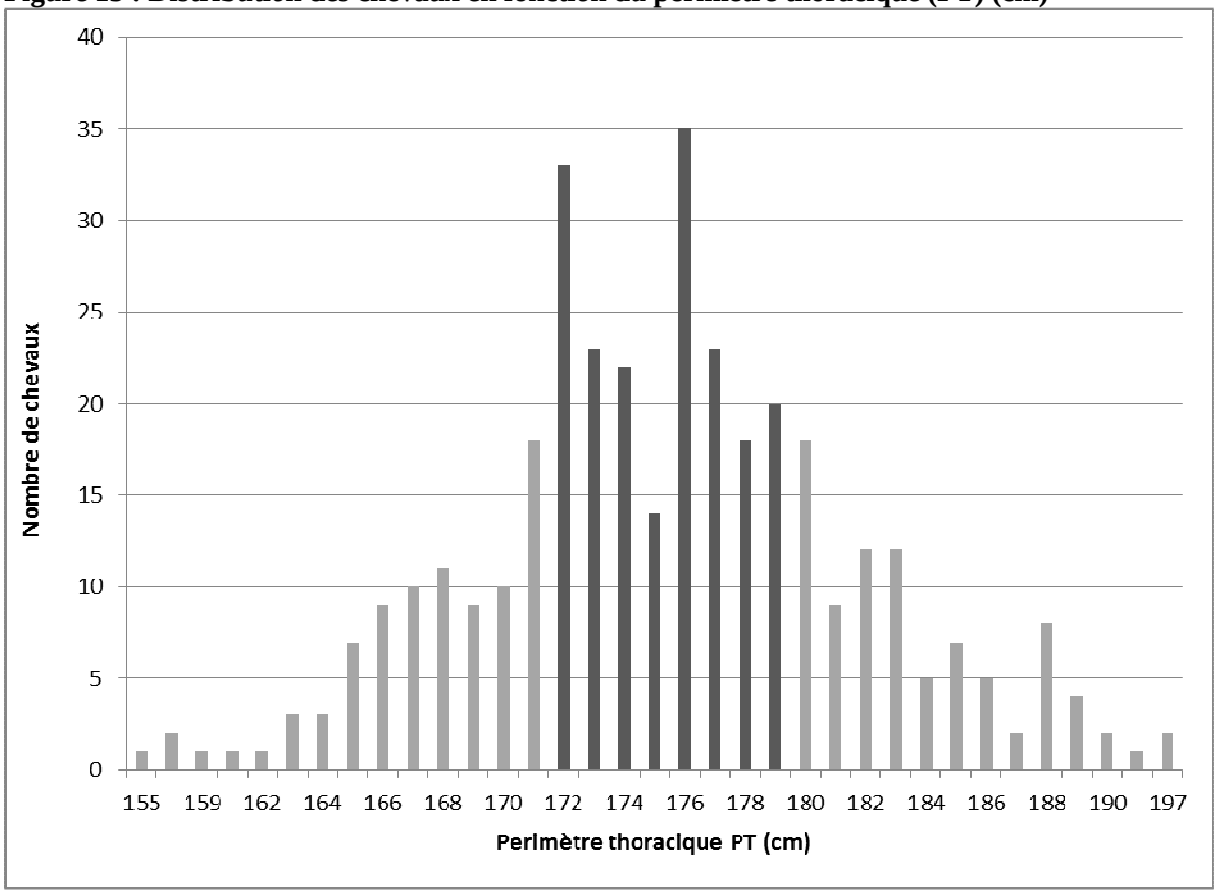
Figure 14 : Distribution des chevaux en fonction de la hauteur au garrot (cm)



2.2.1.2. Périmètre thoracique (PT)

Le périmètre thoracique (PT) a été mesuré pour 361 chevaux et est exprimé en centimètre. La moyenne est de 175,4 cm (écart type de 6,44) avec des valeurs entre 155 à 197 cm.
La distribution du périmètre thoracique est représentée dans la figure 15.
Les classes en gris foncé représentent 50% de l'effectif.

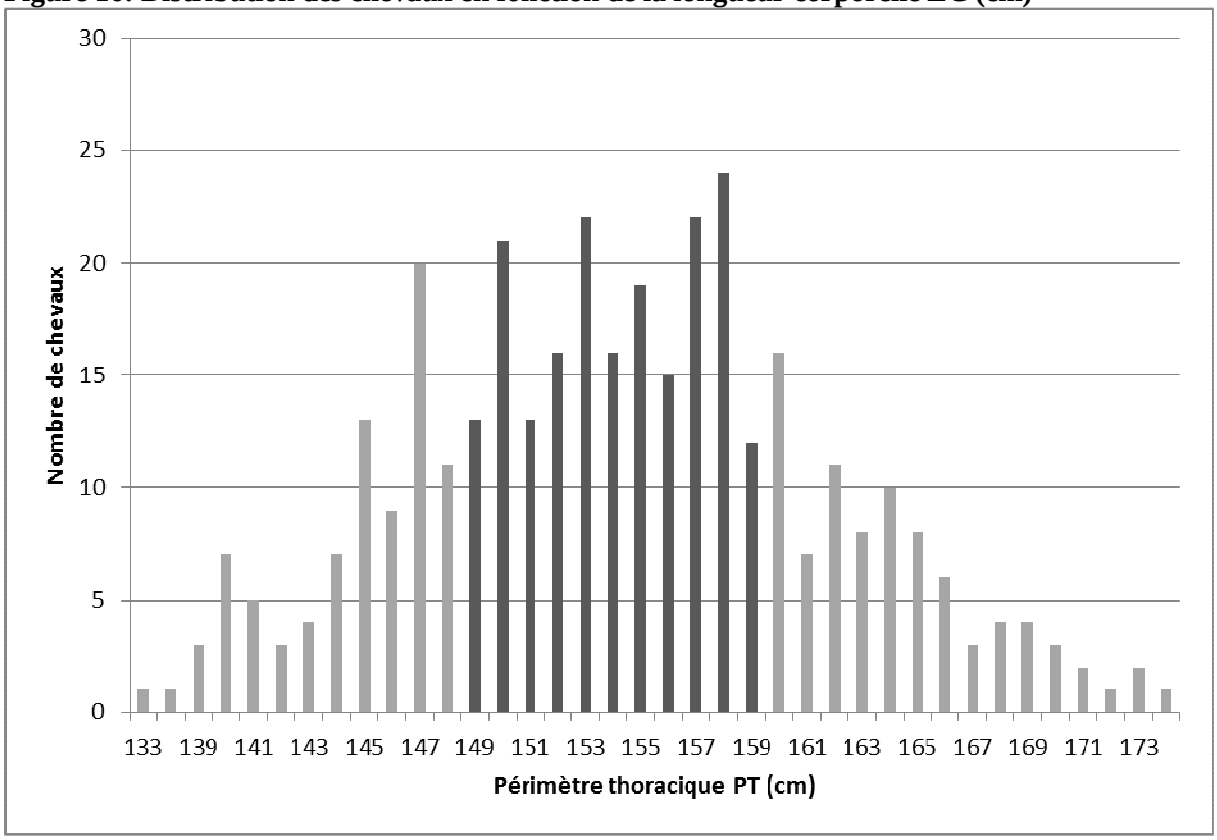
Figure 15 : Distribution des chevaux en fonction du périmètre thoracique (PT) (cm)



2.2.1.3. Longueur corporelle (LC)

La longueur corporelle (LC) a été mesurée pour 363 chevaux et est exprimée en centimètre. La moyenne est de 154,3 cm (écart type de 7,44) avec des valeurs entre 133 à 174 cm.
La distribution de la longueur corporelle est représentée dans la figure 16.
Les classes en gris foncé représentent 50% de l'effectif.

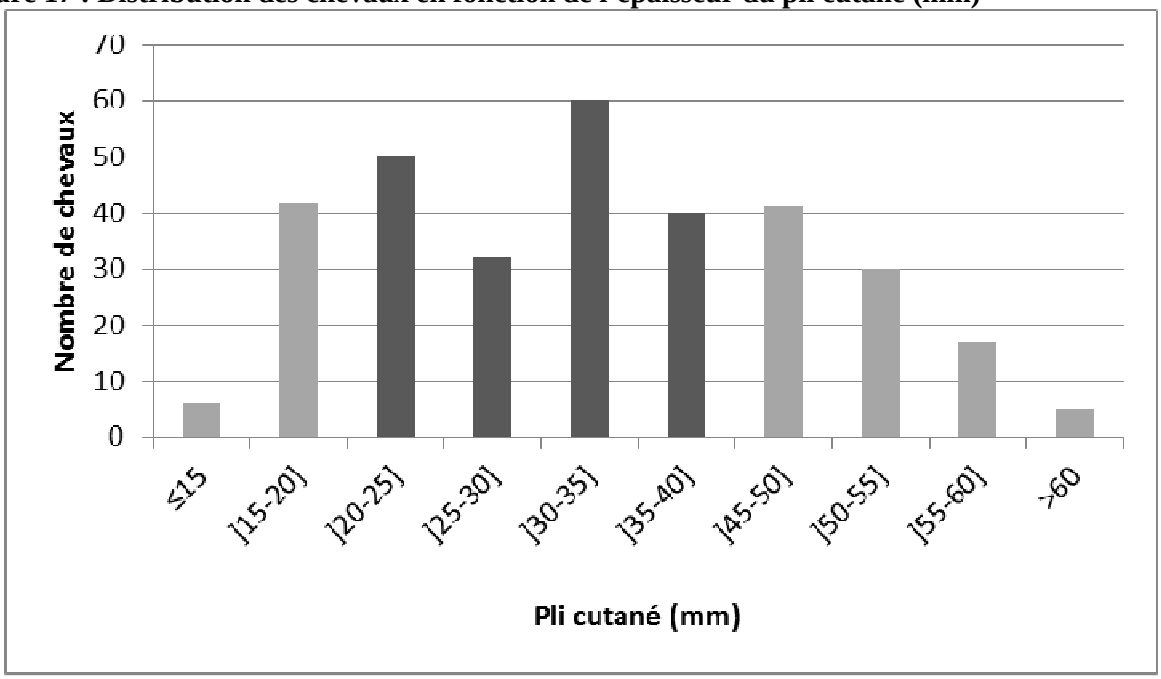
Figure 16: Distribution des chevaux en fonction de la longueur corporelle LC (cm)



2.2.1.4. Pli cutané PC

Le pli cutané a été mesuré pour 323 chevaux et est exprimée en millimètre. La moyenne est de 33,04 mm (écart type de 10,91) avec des valeurs entre 11 et 60 mm.
La distribution de l'épaisseur du pli cutané est représentée dans la figure 17.
Les classes en gris foncé représentent 50% de l'effectif.

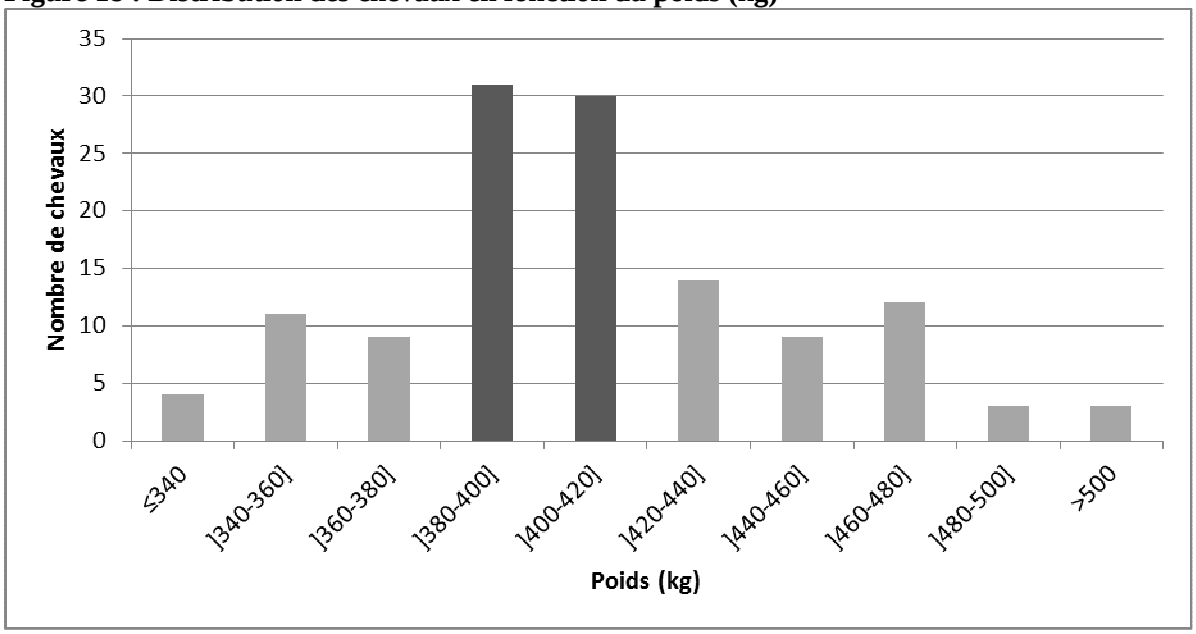
Figure 17 : Distribution des chevaux en fonction de l'épaisseur du pli cutané (mm)



2.2.2. Poids

Le poids a été mesuré pour 126 chevaux et est exprimé en kilogramme. La balance très lourde et encombrante n'a pas pu être amenée sur chaque course. Le poids moyen est de 441,19 kg (écart type de 41,07) avec des valeurs de 328 à 552 kg.
La distribution du poids est représentée dans la figure 18.
Les classes en gris foncé représentent 50% de l'effectif.

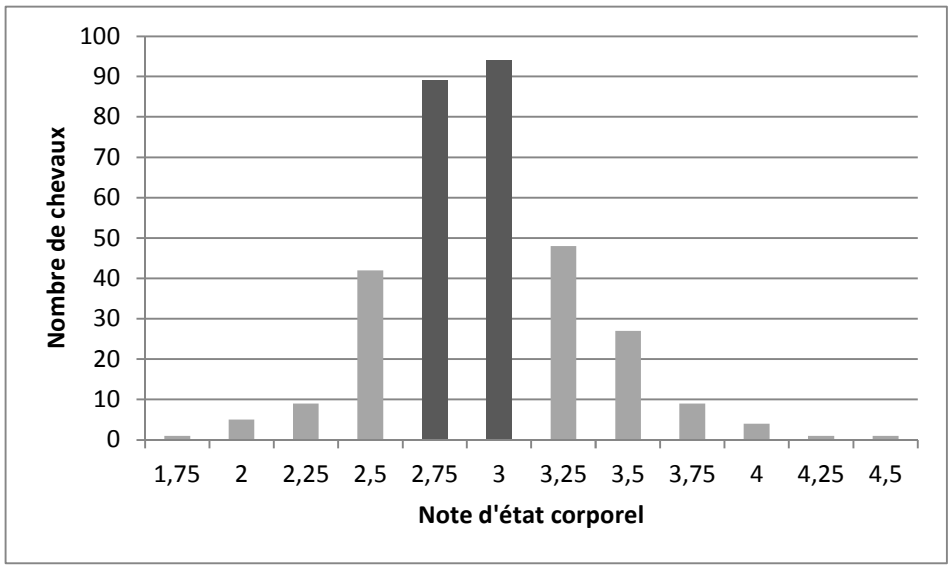
Figure 18 : Distribution des chevaux en fonction du poids (kg)



2.2.3. Notes d'état corporel

La note d'état corporel a été estimée pour 330 chevaux. La moyenne est de 2,95 (écart type de 0,39). Les notes vont de 1,75 à 4,5.
La distribution des notes est représentée dans la figure 18.
Les classes en gris foncé représentent 50% de l'effectif.

Figure 19 : Distribution des chevaux en fonction de la note d'état corporel



2.2.4. Résultats photométriques

Les résultats des mesures photométriques sont représentés dans le tableau 8. Ces résultats ont été obtenus sur 261 chevaux. Pour chaque mesure, la valeur minimale, la valeur maximale, la moyenne et l'écart type sont indiqués.

Tableau 8 : Valeurs des mesures photométriques réalisées sur 261 chevaux performeurs.

Variables	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne	écart-type
TAILLE				
TAILLEC	1,38	1,66	1,53	0,052
VIDESSTE	0,73	0,93	0,81	0,03
THORAX	0,65	0,81	0,73	0,028
LIGNE DU DESSUS				
TETE	0,38	0,57	0,47	0,032
ENCOLURE	0,53	0,89	0,7	0,061
LONGUEUR	1,22	1,54	1,37	0,058
LONGUEURtot	1,37	1,69	1,54	0,054
IEPAULEPOINTEHANCHE	-10	2	-4,37	2,01
ICOUDEGRASSET	-11	2	-4,79	1,92
DOS				
DOSAV	0,24	0,45	0,34	0,039
DOSARR	0,38	0,62	0,51	0,046
ADOS	146	162	153,95	2,87
HGARROT	0,07	0,15	0,11	0,016
IGARROT	9	24	17,73	2,62
POSTERIEURS				
Segments				
COXAE	0,28	0,44	0,36	0,029
SACRE	0,25	0,39	0,31	0,028
FEMUR	0,33	0,49	0,41	0,029
TIBIA	0,4	0,6	0,49	0,038
METATARS	0,29	0,45	0,36	0,023
PHALANGP	0,15	0,27	0,22	0,02
Angles et inclinaisons				
IBASSIN	4	34	17,85	4,81
IFEMUR	49	76	60,49	4,87
AHANCHE	58	101	78,3	6,2
AGRASSET	100	145	119,77	6,95
AJARRET	133	168	151,84	4,31
ANTERIEURS				
Segments				
SCAPULA	0,4	0,56	0,48	0,03
HUMERUS	0,22	0,37	0,3	0,024
RADIUS	0,32	0,46	0,38	0,024
METACARP	0,26	0,35	0,31	0,019
PHALANGP	0,17	0,28	0,22	0,017
Angles et inclinaisons				
IEPAULE	49	70	59,62	3,83
IHUMERUS	31	59	43,76	4,76
AEPAULE	90	121	103,35	4,99
ACOUDE	121	156	137,15	6,18
AGENOU	174	186	179,29	1,74

Pour chaque cheval testé, on dispose (Annexe 1 et 2) :
- d'une feuille de résultats chiffrés avec la valeur de chaque variable mesurée sur le cheval ainsi qu'une colonne « Norme » qui est la moyenne des étalons de race Arabe mesurés lors d'une étude précédente ;
- d'une feuille de résultats graphiques qui présente comment le cheval testé se situe par rapport à la moyenne des étalons de race Arabe. La valeur 100 représente la moyenne de la race et chaque ligne pointillée représente un écart type.

2.2.5. Robes

L'étude a permis de déterminer la robe de 312 chevaux dans les élevages ou sur les photos. Parmi ces chevaux, on compte 151 gris, 85 alezans, 67 bai, 7 noirs, 1 isabelle et 1 aubère. Les gris représentent 48% de l'effectif. Parmi les 85 Alezans, 6 sont des Alezan mélangés ou fortement mélangés. Parmi les Bais, 13 sont des bais mélangés. La moitié des chevaux de l'étude sont donc gris.

2.3. Modèles d'estimation du poids et de la surface corporelle

2.3.1. Equations d'estimation du poids

Une équation de poids a déjà été établie sur des chevaux français de selle. Cette dernière figure sur les rubans à mesurer le poids. Cette formule utilise uniquement le périmètre thoracique :

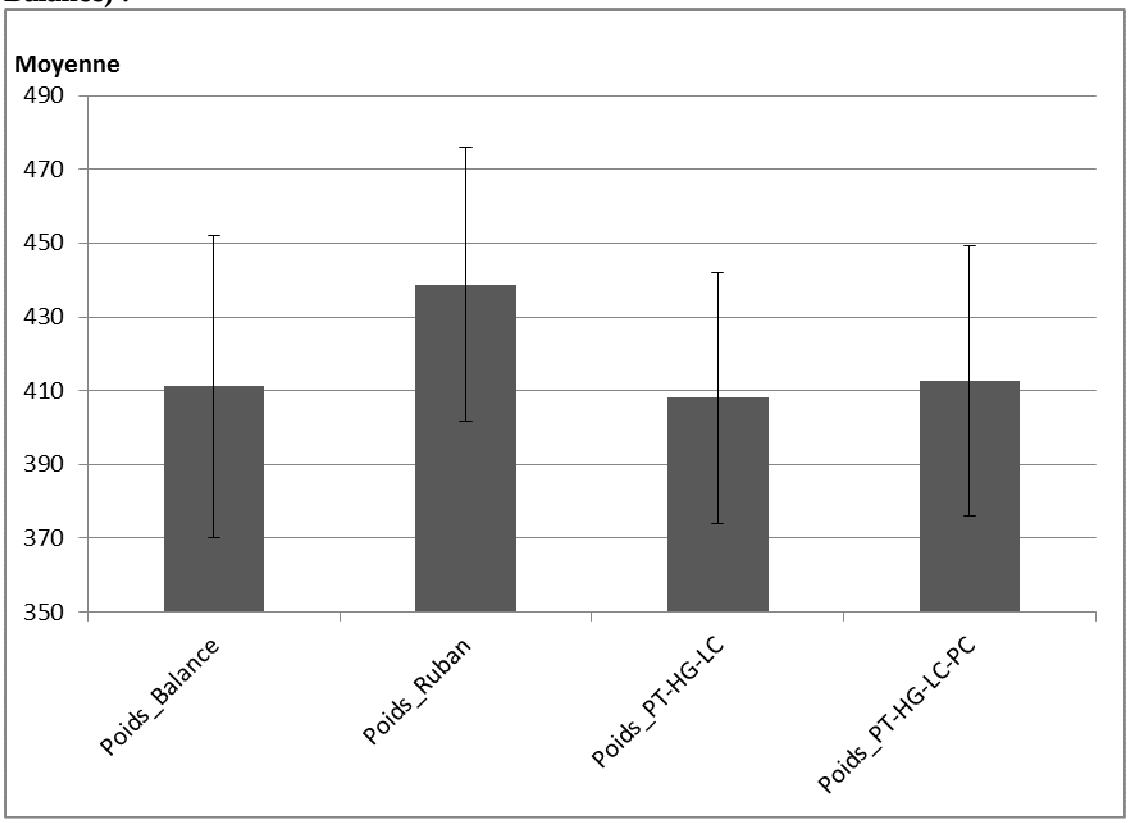
Poids_ruban (kg) = 574,29*PT-568,66 (r^2=0.86)

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

Poids PT-HG-LC (kg) = -716, 0012+1, 535555*HG+ (3, 279784*PT) + (2, 028037*LC) (r^2=0.69)

Poids PT-HG-LC-PC = -764,5398+(1,146989*HG)+(4,41823*PT)+(1,667748*LC)+(-1,030442*PC) (r^2=0.84)

Figure 20 : Comparaison de la moyenne des estimations du poids calculées à l'aide des différentes équations d'estimation du poids et du poids mesuré à l'aide d'une balance (Poids Balance) :



L'équation se mesurant à l'aide du ruban n'est pas la plus adaptée pour les chevaux d'endurance. L'équation prenant en compte le périmètre thoracique, la hauteur au garrot, la longueur corporelle et le pli cutané est celle qui calcule avec le plus de précision le poids réel du cheval d'endurance (r^2=0,84).

2.3.2. Modèles d'estimation de la surface corporelle

La valeur minimale, la valeur maximale, la moyenne et l'écart type sont représentés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Résultats des estimations de la surface corporelle

Méthode d'estimation de la surface corporelle	Valeur minimale (m²)	Valeur maximale (m²)	Moyenne (m²)	Ecart type (m²)
$S_{hodgson}$	3,7	5,5	4,4	0,33
$S_{sneddon}$	4,1	7,1	5	0,43
S_{brody}	4,1	5,7	4,7	0,3
$S_{géo}$	2,6	3,7	3,1	0,2
S_{photo}	1,9	3,0	2,3	0,2

2.4. Indices corporels

La valeur minimale, la valeur maximale, la moyenne et l'écart type sont représentés dans le tableau 9 ci-contre.

Tableau 10 : Valeurs des indices corporels selon différentes méthodes de calcul

Indice	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne	Ecart type	Unités
$IC_{relatif}$ (PT/LC)	0,92	1,34	1,14	0,055	_
IC_{profil} (HG/LC)	0,87	1,12	0,99	0,044	_
$IC_{compacité}$ (HG/P)	2,2	3,5	2,67	0,23	cm/kg
ICS_{geo}	109,25	162,31	128,98	8,65	kg/m²
ICS_{photo}	117,55	217,77	174,69	14,53	kg/m²
ICS_{brody}	80,48	97,07	87,21	3,1	kg/m²
$ICS_{sneddon}$	50,88	104,84	82,37	8,40	kg/m²
$ICS_{hodgson}$	88,31	100,25	93,72	2,29	kg/m²

Le cheval moyen a un IC_{profil} de 0,99 (écart type 0,044) ce qui est très proche de 1. La longueur du cheval moyen est très proche de la hauteur au garrot, on dit que le cheval s'inscrit dans un carré. L'indice corporel relatif moyen est de 1,14. Selon GUEDAOURAS, alors que les chevaux de traits sont brévilignes et les chevaux de course type pur-sang sont longilignes, le cheval moyen de cette étude est médioligne.

2.5. Evaluation de la performance

La performance a été évaluée pour 273 chevaux de l'étude grâce aux indices de carrière de 2011 élaborés par l'INRA. Comme cela a été vu précédemment, un indice vitesse, classement et distance est calculé puis un indice final où l'indice distance intervient pour 40% de l'indice final et l'indice vitesse et classement pour chacun 30% de l'indice final.
L'indice distance est donc celui qui intervient le plus dans l'indice final.
Des corrections sont effectués pour intégrer l'effet sexe, l'effet race et l'effet âge.

Tableau 11 : Valeurs des indices de performance pour 273 chevaux de l'étude

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

Le cheval moyen a un indice de 100 (77, 78). Les indices de performance des chevaux de l'étude sont donc en moyenne discrètement au-dessus du cheval moyen malgré une grande dispersion autour de la moyenne des différents indices au regard des écarts type importants (tableau 11).

2.6. Etude analytique : relations entre les différents paramètres et la performance

2.6.1. Relation mensurations-performance

2.6.1.1. Hauteur au garrot

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance, une hauteur au garrot a été mesurée pour 271 d'entre eux. Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre la performance et la hauteur au garrot.

2.6.1.2. Périmètre thoracique

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance, un périmètre thoracique a été mesuré pour 269 d'entre eux. Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre la performance et le périmètre thoracique.

2.6.1.3. Longueur corporelle

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance, une longueur corporelle a été mesurée pour 269 d'entre eux. La longueur corporelle est modérément corrélée à l'Indice distance ($r=0,13$ et $p=0,035$). Ainsi plus la longueur corporelle augmente, plus l'Indice distance serait élevé. Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre l'Indice classement, l'Indice vitesse et l'Indice final et la longueur corporelle.

2.6.1.4. Pli cutané

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance, le pli cutané a été mesuré pour 196 d'entre eux. Le pli cutané est discrètement corrélé à l'Indice distance ($r =-0,15$ et $p=0,032$). Ainsi, plus la mesure du pli cutané est grande, plus l'Indice distance est faible. Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre l'Indice classement, l'Indice vitesse et l'Indice final et le pli cutané.

2.6.2. Relation poids-performance

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance, le poids a été mesuré pour 89 d'entre eux. Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre la performance et le poids.

2.6.3. Relation note d'état corporel-performance

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance, une note d'état corporel a été attribuée pour 248 d'entre eux. Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre la performance et la note d'état corporel.

2.6.4. Relation résultats photométriques-performance

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance, une analyse morphométrique a été effectuée pour 196 d'entre eux.

2.6.4.1. Longueurs corporelles

Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre la performance et les longueurs corporelles mesurées par la méthode photométrique.

2.6.4.2. Angles corporels

L'angle du grasset est discrètement corrélé à l'indice distance ($r = -0,14$ et $p<0,04$). L'inclinaison du fémur est quant à elle discrètement corrélés à l'indice vitesse ($r = -0,14$ et $p = 0,05$).
Aucune autre corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre la performance et les angles corporels mesurés par la méthode photométrique.

2.6.4.3. Rapports

Après discussion avec des juges de concours modèles et allures pour chevaux d'endurance, des rapports morphométriques semblent les intéresser plus particulièrement et ont donc été étudié.

Il s'agit de la longueur du radius par rapport à la longueur du métacarpe (radius/métacarpe) et par rapport à la taille au garrot (radius/HG), la hauteur du thorax par rapport à la taille au garrot (thorax/HG) et enfin des rapports entre les différents segments formant ce qu'on appelle le triangle postérieur formé par la longueur du fémur (fémur), la longueur entre l'articulation de la hanche et la pointe de la hanche (coxae) et la longueur entre le grasset et la pointe de la hanche.

Ces rapports ont été calculés et comparés aux indices de performance. Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre la performance et les rapports mesurés par la méthode photométrique.

2.6.5. Relation robes-performance

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance, la couleur de la robe a été déterminée pour 226 d'entre eux.
Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre la performance et la couleur de la robe.

2.6.6. Relation surface corporelle-performance

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance, $S_{géo}$ a été calculée pour 194 d'entre eux, S_{brody} et $S_{hodgson}$ pour 89 d'entre eux et S_{photo} et $S_{sneddon}$ pour 207 d'entre eux.
Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre les surfaces calculées et la performance.

2.6.7. Relation indices corporels-performance

Parmi les 273 chevaux disposant d'indices de performance :

- $IS_{géo}$ a pu être calculée pour 79 d'entre eux,
- $IS_{hodgson}$, IS_{brody} et $IC_{compacité}$ ont pu être calculés pour 89 d'entre eux,
- $IS_{sneddon}$ et IS_{photo} ont pu être calculés pour 84 d'entre eux,
- IC_{profil} a pu être calculé pour 268 d'entre eux,
- $IC_{relatif}$ a pu être calculé pour 269 d'entre eux,

L'indice corporel de profil est discrètement corrélé à l'Indice distance (r = 0,11 et p=0,059). Ainsi, plus l'indice corporel de profil est grand, plus l'Indice distance augmente. Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre l'Indice classement, l'Indice vitesse et l'Indice final et l'indice corporel de profil.
Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre les indices surfaciques et l'indice corporel relatif et la performance.

Les résultats d'analyses statistiques sont présentés dans les tableaux 11, 12, 13, 14 et 15 suivants :

Tableau 12: Relation mensurations-indices de performance

		IND_FINAL		IND_VIT		IND_CLAS		IND_DIST	
	n	r	p	r	p	r	p	r	p
HG	271	0,01	0,86	0,042	0,48	-0,034	0,57	0,012	0,84
PT	269	0,075	0,22	0,059	0,33	0,049	0,41	0,064	0,29
LC	269	0,067	0,27	0,03	0,62	0,03	0,62	**0,13**	**0,035**
PC	196	-0,12	0,1	-0,092	0,2	-0,051	0,47	**-0,15**	**0,032**
Poids_Balance	89	-0,031	0,77	0,0097	0,83	-0,061	0,57	-0,023	0,83
NEC	248	0,048	0,45	0,049	0,44	0,06	0,34	-0,05	0,44

Tableau 13 : Relation mesures photométriques-indices de performance

		IND_FINAL		IND_VIT		IND_CLAS		IND_DIST	
	n	r	p	r	p	r	p	r	p
TAILLE									
taillec	196	-0,0037	0,96	0,017	0,81	-0,049	0,49	0,042	0,56
videsste	196	-0,032	0,65	0,038	0,59	-0,08	0,26	-0,067	0,35
thorax	196	-0,017	0,81	-0,03	0,68	-0,018	0,8	0,04	0,58
LIGNE DU DESSUS									
tête	196	0,0224	0,74	0,064	0,37	-0,018	0,8	-0,017	0,8
encolure	196	0,013	0,85	0,058	0,42	-0,046	0,52	0,01	0,89
longueur	196	0,02	0,78	0,059	0,41	-0,032	0,65	0,018	0,8
longueurtot	196	0,037	0,6	0,083	0,24	-0,029	0,68	0,025	0,72
iepaulepointehanche	196	0,018	0,8	-0,033	0,64	0,075	0,3	-0,0073	0,92
icoudegrasset	196	-0,089	0,41	-0,042	0,56	-0,04	0,58	-0,07	0,34
DOS									
dosav	196	-0,017	0,81	-0,021	0,76	0,021	0,77	-0,058	0,42
dosarr	196	0,058	0,42	0,1	0,15	-0,016	0,82	0,026	0,72
ados	196	0,041	0,56	-0,00085	0,99	0,061	0,39	0,044	0,54
hgarrot	196	-0,074	0,3	-0,029	0,68	-0,066	0,36	-0,1	0,15
igarrot	196	-0,056	0,44	-0,013	0,85	-0,076	0,29	-0,047	0,51
POSTERIEURS									
Segments									
coxae	196	-0,033	0,64	0,03	0,68	-0,094	0,19	-0,0078	0,91
sacre	196	-0,01	0,89	0,042	0,56	-0,071	0,32	0,018	0,8
femur	196	0,0096	0,89	-0,003	0,97	0,019	0,79	0,005	0,94
tibia	196	-0,017	0,81	0,0014	0,98	-0,053	0,46	0,032	0,66
metatars	196	0,09	0,21	0,1	0,14	0,017	0,81	0,092	0,2
phalangp	196	0,071	0,32	0,019	0,79	0,079	0,27	0,082	0,25
Angles et inclinaisons									
ibassin	196	-0,012	0,86	0,095	0,18	-0,099	0,17	-0,073	0,31
ifemur	196	-0,061	0,4	**-0,14**	**0,051**	0,05	0,48	-0,035	0,62
ahanche	196	-0,064	0,37	-0,043	0,55	-0,042	0,55	-0,087	0,22
agrasset	196	-0,13	0,071	-0,12	0,082	-0,050	0,49	**-0,14**	**0,041**
ajarret	196	-0,12	0,081	-0,074	0,3	-0,12	0,1	-0,11	0,12
ANTERIEURS									
Segments									
scapula	196	-0,021	0,77	-0,0024	0,97	-0,045	0,52	0,019	0,79
humérus	196	0,054	0,45	0,11	0,14	-0,0074	0,92	-0,016	0,82
radius	196	0,031	0,66	0,09	0,21	-0,06	0,4	0,049	0,49
metacarp	196	-0,067	0,35	0,012	0,86	-0,099	0,16	-0,11	0,12
phalanga	196	-0,0075	0,92	-0,071	0,32	0,041	0,57	0,045	0,53
Angles et inclinaisons									
iepaule	196	-0,012	0,87	-0,034	0,63	0,028	0,69	-0,035	0,63
ihumerus	196	0,027	0,71	-0,018	0,8	0,061	0,39	0,017	0,81
aepaule	196	0,021	0,76	-0,047	0,51	0,091	0,2	-0,0045	0,95
acoude	196	0,0013	0,98	-0,019	0,79	0,0086	0,9	0,023	0,74
agenou	196	0,0075	0,992	-0,012	0,86	0,021	0,77	0,0097	0,89

Tableau 14 : relation rapport morphométrique - indices de performances

		IND_FINAL		IND_VIT		IND_CLAS		IND_DIST	
	n	r	p	r	p	r	p	r	p
radius/HG	**196**	0,053	0,46	0,10	0,16	-0,034	0,64	0,059	0,41
radius/metac	**196**	0,070	0,33	0,052	0,46	0,033	0,64	0,10	0,14
thorax/HG	**196**	0,012	0,87	-0,047	0,51	0,047	0,51	0,073	0,31
coxae/fémur	**196**	-0,049	0,50	0,038	0,62	-0,13	0,077	-0,015	0,83
coxae/grasset-pointe de la hanche	**196**	0,033	0,64	0,051	0,48	-0,021	0,77	0,073	0,31
fémur/grasset-pointe de la hanche	**196**	0,094	0,19	0,024	0,74	0,11	0,12	0,11	0,13

Tableau 15 : Relation surface - indices de performance

		IND_FINAL		IND_VIT		IND_CLAS		IND_DIST	
	n	r	p	r	p	r	p	r	p
Sgéo	194	0,0044	0,95	0,054	0,46	-0,051	0,48	-0,0036	0,96
Shodgson	89	-0,055	0,6	-0,0084	0,94	-0,076	0,48	-0,049	0,65
Sbrody	89	-0,029	0,79	0,0096	0,93	-0,057	0,6	-0,02	0,84
Sphoto	207	-0,025	0,72	-0,027	0,7	-0,033	0,63	0,026	0,71
Ssneddon	207	-0,014	0,84	-0,036	0,6	-0,021	0,77	0,072	0,3

Tableau 16 : Relation indices surfaciques et corporels - indices de performance

		IND_FINAL		IND_VIT		IND_CLAS		IND_DIST	
	n	r	p	r	p	r	p	r	p
Ishodgson	89	-0,021	0,84	0,0043	0,97	-0,042	0,7	-0,0097	0,93
Isbrody	89	-0,027	0,8	0,0074	0,94	-0,053	0,62	-0,018	0,87
Isphoto	84	0,09	0,41	0,013	0,9	0,13	0,22	0,046	0,67
Issneddon	84	0,1	0,36	0,042	0,7	0,13	0,23	0,012	0,91
Isgéo	79	0,13	0,27	-0,0031	0,98	0,19	0,086	0,12	0,27
Icprofil	268	-0,05	0,4	0,006	0,92	-0,05	0,42	-0,11	0,059
Iccompacité	89	-0,04	0,7	-0,025	0,82	-0,036	0,74	-0,022	0,83
Icrelatif	269	-0,0047	0,94	0,017	0,78	0,01	0,87	-0,071	0,24

En résumé, la longueur corporelle et l'indice corporel de profil sont positivement corrélés alors que le pli cutané et l'angle du grasset sont négativement corrélés à l'indice distance. L'inclinaison du fémur est quant à elle négativement corrélée à l'indice vitesse. Néanmoins, ces corrélations sont faibles et il s'agit surtout de tendance.

3. Discussion

3.1. A propos de la population et du protocole de l'étude

3.1.1. La population d'étude

L'étude est réalisée sur 367 chevaux ce qui est un nombre satisfaisant pour réaliser des études statistiques. Les chevaux sont sélectionnés sur la base du volontariat et non par échantillonnage ce qui limite la représentativité de l'étude du point de vue statistique. Les résultats de l'étude constituent néanmoins une base de données des paramètres morphologiques des chevaux adultes de haut niveau en endurance qui pourra être utilisée par des études ultérieures.

3.1.2. Les paramètres mesurés sur le terrain

3.1.2.1. Poids

La méthode la plus fiable pour déterminer le poids d'un cheval est la balance. Le poids a été déterminé par la balance pour seulement 126 chevaux. En effet, la balance n'a pas pu être transportée sur chaque lieu où les mesures ont été prises car elle est lourde et très encombrante. De plus, la mesure du poids par cette méthode s'est révélée impossible pour certains chevaux qui ont refusé de monter sur la balance.

3.1.2.2. Mensurations

La hauteur au garrot, la longueur corporelle et le périmètre thoracique ont été mesurés à l'aide d'une toise ou d'un ruban de mesure.
Ces longueurs dépendent des repères où l'on place le ruban de mesure ou la toise.
La hauteur au garrot et le périmètre thoracique se mesurent à ce qu'on appelle communément le point le plus haut du garrot ; or le garrot forme une courbe sigmoïde et il n'y a donc pas de point le plus haut mais un point d'inflexion où la courbe change de concavité. Ce point d'inflexion est difficile à voir à l'œil nu et de petites erreurs peuvent être faites.
Ces mesures peuvent varier d'un opérateur à l'autre et dépendent de l'expérience de l'opérateur. LAMAS *et al.* (58) ont montré que la taille au garrot varie d'1,88 centimètres quand la mesure est réalisée par trois personnes différentes et d'1,06 centimètres quand la mesure est réalisée par une personne.
La hauteur au garrot varie selon l'état de décontraction du cheval. En effet, selon l'étude de HODGES *et al.* (46), la taille au garrot est supérieure en moyenne d'1,75 (+/- 0,86) centimètres après un trotting par rapport au repos et le cheval revient à sa taille au garrot de repos en 7 minutes. De même, l'étude de LAMAS *et al.* (58) montre que la taille au garrot diminue de 0,84 centimètres lorsque le cheval s'adapte à son environnement.
Lors des manipulations, le pli cutané mesuré derrière l'épaule à l'aide d'un cutimètre s'est révélé très manipulateur dépendant et peu répétable. Ainsi l'écart type de 10,9 mm avec des valeurs s'étendant de 11 à 60 mm pourrait éventuellement s'expliquer par le fait que plusieurs manipulateurs sont intervenus sur les différentes dates de mesure. Cependant, aucune analyse statistique de répétabilité n'a été réalisée dans cette étude.

3.1.2.3. Note d'état corporel

La note d'état corporel attribuée aux chevaux de cette étude est subjective. Aucune corrélation n'a été mise en évidence entre la performance et la note d'état corporel dans cette étude contrairement aux études de LELEU *et al.* (64), LAWRENCE *et al.* (62) et MENAGER (72). Néanmoins, il s'agit d'une mesure instantanée qui, au contraire de HG et LC varie au cours du temps en fonction de l'état d'embonpoint du cheval. Il n'est donc pas étonnant que l'on trouve des corrélations entre la NEC et la performance réalisée concomitamment à la mesure, tandis que dans notre étude, la performance est évaluée sur toute la carrière du cheval, indépendamment du jour de la mesure.

3.1.2.4. Calcul de la surface corporelle

Comme vu précédemment, la surface corporelle joue un grand rôle dans les mécanismes de thermorégulation. La surface corporelle a été estimée selon 5 méthodes. Il serait intéressant d'approfondir ces méthodes de calcul notamment en créant par exemple des modèles en trois dimensions et en calculant la surface à l'aide d'un logiciel informatique. Cette méthode a été envisagée mais le nombre de mesure était insuffisant pour créer un modèle géométrique en trois dimensions. Il est important de noter que la méthode de calcul de la formule d'HODGSON n'a jamais été publiée.

3.1.2.5. Indice de performance

Le fait que la performance des chevaux de cette étude soit mesurée à l'aide d'un indice de performance est un réel atout pour cette étude. De ce fait, la performance est représentée par une valeur quantitative ce qui facilite les analyses statistiques. De plus, l'indice de performance reflète la carrière du cheval en prenant en compte l'ensemble des résultats en course d'endurance du cheval depuis le début de sa carrière.
L'indice de performance est calculé à partir d'un indice vitesse, d'un indice classement ainsi qu'un indice distance. Des corrections sont apportées pour intégrer l'effet de l'âge et du sexe afin de rendre tous les chevaux comparables.
Nous avons pu comparer chaque paramètre morphologique non seulement avec l'indice de performance final mais aussi l'indice vitesse, classement et distance.
Cependant, cet indice ne concerne pour l'instant que les chevaux français, concourant en France et sous couleur française ce qui limite le nombre de chevaux étudiés.

3.1.3. Comparaison des méthodes morphométriques en 2 et en 3 dimensions.

Les méthodes morphométriques en 2 ou en 3 dimensions sont des méthodes quantitatives qui permettent toutes deux d'améliorer le jugement traditionnel se basant sur des critères subjectifs et empiriques (28, 94, 98) La morphométrie 3 dimensions mis au point par l'UMR BPLC de l'ENVA-INRA en 1999-2000, consiste à filmer les chevaux au pas, sans marqueurs, à l'aide de quatre caméras vidéo. Les films sont ensuite numérisés, synchronisés puis analysés.
Selon VAN WEEREN et CREVIER-DENOIX (94), le système de mesure idéal doit répondre aux trois critères suivants :
- Les mesures ne doivent pas dépendre de la position du cheval.
- Les mesures doivent être réalisées dans trois dimensions.
- L'enregistrement des données doit prendre peu de temps.

3.1.3.1. Intérêts de la morphométrie 2-D par rapport à la 3-D

La méthode 2D est très accessible sur le terrain et nécessite un matériel très peu coûteux et peu encombrant. La méthode 3D nécessite également peu de matériel sur place soit 4 caméras et une structure de calibration composée de tiges en PVC qui une fois assemblées forment une structure parallélépipédique dont les points de repères sont connus et qui sert à la calibration des mesures. La structure de calibration peut se démonter mais reste encombrante car elle est composée de deux socles de 6 mètres. Ce matériel aurait été difficilement transportable pour notre étude. De plus, la méthode 3D nécessite une piste plate et en ligne droite de 30 mètres de longueur sur environ 10 mètres de largeur. Une piste comme celle-ci est parfois difficile à trouver sur le terrain. En effet, les mesures étaient réalisées sur le site de course d'endurance et pour faciliter le recrutement des participants, le lieu de mesure devait être à proximité des box, sans gêner la circulation des chevaux.

Les deux méthodes permettent de réaliser les mesures sur les photos ou les vidéos et non sur le cheval directement. Ceci permet de diminuer le temps de manipulation du cheval constituant un atout pour motiver les propriétaires à participer à l'étude d'une part et de réaliser un grand nombre de mesure sur la même journée d'autre part.

Le traitement des images à l'aide du logiciel EQUIMETRIX est d'environ 10 minutes par cheval contre 1 heure par cheval pour la méthode 3D (28) et constitue un avantage non négligeable pour le choix de cette méthode. Dans notre étude, le placement préalable des gommettes sur le terrain par palpation facilite le repérage des marqueurs proximaux qui sont difficilement visibles sur les photos. La morphométrie 2D permet un gain de temps considérable. Néanmoins, cette dernière présente des limites qui ne sont pas négligeables.

3.1.3.2. Limites de la morphométrie 2D par rapport à la 3D

Quelle que soit la méthode employée, le pointage des repères anatomiques est imprécis. Cela vient du fait que certains repères osseux ne sont pas facilement palpables. La précision du placement des marqueurs a été évaluée en plaçant des aiguilles à l'endroit du marqueur (98). Pour les régions distales situées en dessous du coude et du jarret, l'aiguille placée a été repérée par radiographie puis par dissection afin d'évaluer la précision du placé de l'aiguille par rapport au repère osseux que l'opérateur voulait identifier. Pour les régions proximales, la position de l'aiguille par rapport au repère osseux a été déterminée par dissection. Il a alors été montré que la distance entre l'aiguille et le marqueur osseux était très faible pour les régions distales (<0,5 cm) mais beaucoup plus grandes pour les régions proximales. Cela vient du fait qu'en région proximale, les marqueurs osseux sont recouverts par du tissu musculaire et graisseux rendant difficile la palpation. La précision de placement des marqueurs peut être améliorée néanmoins par l'expérience. Une autre erreur inhérente à la pause des marqueurs vient du fait que les marqueurs sur la peau peuvent être décalés par rapport au marqueur osseux du fait de l'élasticité de la peau lorsque le cheval se met en mouvement (98). Par contre, les erreurs de la localisation des marqueurs à l'aide de la souris d'ordinateur seraient négligeables (51). Toutefois, que ce soit avec la méthode en 3D ou la méthode en 2D, certains marqueurs sont difficiles à pointer sur les zones sombres. Ainsi, les saillies osseuses sont difficilement visibles sur un membre noir et cela peut conduire à des erreurs d'identification des repères osseux.

La morphométrie en 2D comporte plusieurs limites. Tout d'abord, lorsqu'une image réelle est transformée en 2D, des erreurs géométriques apparaissent du fait par exemple de l'éventuel décalage des membres par rapport à la ligne médiane et de la déformation de l'image par la lentille de l'appareil photographique (28, 98). Ces erreurs ont été estimées d'environ 2 centimètres dans l'étude de WELLER *et al.* (98). De plus, la compression des images après leur digitalisation peut réduire la précision des mesures. Enfin, si le rapport

longueur/largeur des pixels n'est pas égal à un, la conversion de la mesure en pixel en unité physique est erronée (28).

La méthode morphométrique en 2 dimensions dépend beaucoup de la position du cheval. Le positionnement du cheval doit être standardisé au maximum. Le cheval doit être parfaitement de profil et au carré ce qui est difficile à réaliser surtout sur des jeunes chevaux. Plusieurs photographies pour le même cheval ont été prises et une sélection de la meilleure photographie a été réalisée par la suite. Malgré cela, le positionnement de certains chevaux s'est révélé très difficile, de plus la queue, le harnachement ou un sol trop meuble ou avec de l'herbe peuvent cacher les repères ajoutant une source d'erreur aux mesures de l'étude.
On peut noter également que les aplombs antérieurs et postérieurs n'ont pas pu être évalués car il aurait fallu pour se faire prendre des photographies en se plaçant devant et derrière le cheval.

3.1.4. Originalité de l'étude morphométrique

L'originalité de l'étude vient du fait qu'elle comprend un effectif assez important. De plus, l'étude concerne uniquement des chevaux d'endurance de haut niveau d'âge adulte et permet de décrire de manière objective la morphologie du cheval d'endurance dont les données sont quasiment inexistantes. La population est donc homogène et permet de tracer le profil moyen du cheval d'endurance adulte de haut niveau. De plus, les indices de performance réévalués en 2012, ont pu être disponibles et permettent de quantifier la performance des chevaux. La relation entre la performance et la morphologie des chevaux d'endurance a donc pu être objectivée.

3.2. Apports de l'étude

3.2.1. Résultats morphométriques

3.2.1.1. Modèle morphométrique du cheval d'endurance moyen

Les études sur les mensurations du cheval d'endurance sont peu nombreuses. Dans notre étude, il s'agit de petits chevaux de 153,3 cm au garrot en moyenne. Leurs corps s'inscrivent quasiment dans un carré. Cela se traduit par un indice corporel HG/LC très proche de 1. Le tableau 17 compare nos résultats morphométriques avec les résultats d'autres études.

Tableau 17: Comparaison des résultats morphométriques de notre étude avec les résultats d'autres études.

	GenEndurance (2011)	CANO *et al.* (2001)	CERVANTES *et al.* (2009)	METAYER *et al.* (2004)	Unités
Population d'étude	**Chevaux d'endurance de race arabes ou ayant un ascendant arabe**	**Chevaux de race arabe**	**Chevaux arabes**	**Chevaux d'endurance de race arabe, Selle Français et chevaux de Selle**	
Nombre de chevaux	**261**	**7**	**171**	**31**	
LC	1,54		1,47		m
PT	1,75		1,72		m
TAILLE					
TAILLEG	1,53	1,66	1,49	1,52	
TAILLEC	1,53			1,52	m
VIDESSTE	0,81			0,81	m
THORAX	0,73			0,72	m
LIGNE DU DESSUS					
TETE (55)	0,47		0,55	0,48	m
ENCOLURE	0,7		0,67	0,68	m
DOS					
DOSAV	0,34			0,29	m
DOSARR	0,51			0,51	m
ADOS	153,95			153,19	degrés
HGARROT	0,11			0,09	m
IGARROT	17,73			16,81	degrés
POSTERIEURS					
Segments					
COXAE	0,36			0,29	m
SACRE	0,31			0,3	m
FEMUR	0,41			0,41	m
TIBIA	0,49			0,45	m
METATARS	0,36		0,55	0,37	m
PHALANGP	0,22			0,26	m
Angles et inclinaisons					
IBASSIN	17,85	21,6		12,25	degrés
IFEMUR	60,49		62,05	65,69	degrés
AHANCHE	78,3	106,7		78,12	degrés
AGRASSET	119,77	149,7		124,19	degrés
AJARRET	151,84	152,2	138,59	152,37	degrés
ANTERIEURS					
Segments					
SCAPULA	0,48		0,6	0,45	m
HUMERUS	0,3		0,34	0,29	m
RADIUS	0,38		0,25	0,39	m
METACARP	0,31			0,28	m
PHALANGP	0,22			0,25	m
Angles et inclinaisons					
IEPAULE	59,62	54,8	49,67	63,06	degrés
IHUMERUS	43,76		30,74		degrés
AEPAULE	103,35	101,1		115	degrés
ACOUDE	137,15	133,5		145,12	degrés
AGENOU	179,29	177,6			degrés

Ce tableau nous donne une indication des mesures morphométriques des chevaux arabes ou d'endurance d'études précédentes. Cependant, si ces résultats permettent d'approfondir les nôtres, il faut garder en tête que les populations d'études sont différentes. En effet, dans l'étude de CANO *et al.* (17), il s'agit de chevaux de race arabe dont la discipline n'est pas connue. CANO *et al.* (17) remarquent également que ses chevaux sont relativement grands pour la race arabe. Les chevaux de l'étude de CERVANTES et al (18) sont âgés de 3 à 14 ans. Hors, les chevaux de 3 ans n'ont pas terminé leur croissance et il aurait fallu les séparer des chevaux adultes. De plus, CANO *et al.* (17) et CERVANTES *et al.* (18) utilisent des méthodes de mesures différentes des nôtres.

L'étude avec laquelle la comparaison avec la nôtre est la plus juste est l'étude de METAYER *et al.* (73). En effet, il s'agit de chevaux d'endurance et les mesures ont été prises avec la même méthode. Cependant, la population de cette étude est composée de plusieurs races de chevaux différentes. Les chevaux de notre étude et ceux de METAYER *et al.* (73) ont une taille au garrot, à la croupe et du thorax similaires. La morphologie du dos et de la ligne du dessus sont très proches. Les différences se trouvent tout d'abord dans les longueurs des segments supérieurs. Ainsi, les chevaux de notre étude ont une longueur pointe de la hanche-hanche, un tibia et une scapula plus longue. Les chevaux de notre étude ont donc des rayons osseux supérieurs plus longs ce qui favorise des allures rasantes. Les allures rasantes et économiques en énergie sont recherchées en endurance (73). Le bassin plus incliné des chevaux de notre étude, permet un engagement des postérieurs sous la masse et donc un galop plus économique en énergie. Cependant, les chevaux de l'étude de METAYER *et al.* (73) ont une épaule et un fémur plus inclinés. METAYER *et al.* (73) ont montré que plus l'épaule est inclinée, plus l'amplitude du mouvement dorso-ventrale est limité et donc plus le cheval a des gestes rasants. Au contraire, un fémur faiblement incliné améliore l'amplitude des foulées mais diminue le rythme hors un cheval d'endurance doit avoir plutôt un rythme de foulée soutenu.

3.2.1.2. Comparaison avec les autres disciplines

Les résultats morphométriques de notre étude sont comparés avec les résultats morphométriques concernant d'autres disciplines équestres dans le tableau 18.

Tableau 18 : Comparaison des résultats morphométriques de notre étude avec les résultats d'autres études concernant d'autres disciplines.

	Genendurance	HOLMSTRÖM *et al.* (1990)			LEGAULT (1977)		BARREY *et al.* (2002)	
Population d'étude	**Chevaux d'endurance de race arabes ou ayant un ascendant arabe**	**Chevaux de selle suédois de club**	**Chevaux de selle suédois de dressage de haut niveau**	**Chevaux de selle suédois de saut d'obstacle de haut niveau**	**Trotteurs Français**	**Pur Sang Anglais**	**Selle français de dressage**	**Unités**
Nombre de chevaux	**261**	**100**	**33**	**28**	**40**	**42**	**61**	
LC	1,54	1,66	1,68	1,7	1,64	1,62		m
PT	1.75							m
TAILLE								
TAILLEG	1.53	1,63	1,64	1,66	1,64	1,63	1,68	
TAILLEC	1,53	1,6	1,61	1,63	1,63	1,62	1,66	m
VIDESSTE	0,81				0,78	0,77	0,89	m
THORAX	0,73						0,8	m
LIGNE DU DESSUS								
TETE	0,47						0,52	m
ENCOLURE	0,7	0,74	0,71	0,75	0,8	0,82	0,8	m
LONGUEUR	1,37	1,66	1,68	1,7			1,48	m
LONGUEURtot	1,54							m
IEPAULEPOINTEHANCHE	-4,37							degrés
ICOUDEGRASSET	-4,79							degrés
DOS								
DOSAV	0,34						0,34	m
DOSARR	0,51						0,56	m
ADOS	153,95						155	degrés
HGARROT	0,11							m
IGARROT	17,73						16	degrés
POSTERIEURS								
Segments								
COXAE	0,36	0,58	0,58	0,58	0,28	0,26	0,36	m
SACRE	0,31							m
FEMUR	0,41	0,37	0,38	0,38	0,35	0,36	0,41	m
TIBIA	0,49	0,49	0,49	0,51			0,51	m
METATARS	0,36	0,27	0,27	0,27			0,37	m
PHALANGP	0,22						0,27	m
Angles et inclinaisons								
IBASSIN	17,85	31,4	29,9	29,5	32,5	24,5	23	degrés
IFEMUR	60,49	88,3	59,4	87,2	71	61	71	degrés
AHANCHE	78,3	119,7	119,3	116,7			94	degrés
AGRASSET	119,77	156,6	157,8	156,5			127	degrés
AJARRET	151,84	156,8	159,1	159			155	degrés
ANTERIEURS								
Segments								
SCAPULA	0,48	0,41	0,41	0,4	0,46	0,46	0,53	m
HUMERUS	0,3	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,33	m
RADIUS	0,38	0,37	0,37	0,38	0,44	0,45	0,44	m
METACARP	0,31	0,22	0,22	0,22	0,26	0,27	0,27	m
PHALANGP	0,22						140	m
Angles et inclinaisons								
IEPAULE	59,62	66,3	65,3	64,4	67	63,2	59	degrés
IHUMERUS	43,76				38,5	39		degrés
AEPAULE	103,35	124,9	125,4	125,7			104	degrés
ACOUDE	137,15	148,5	150	149			140	degrés
AGENOU	179,29							degrés

Les chevaux d'endurance ont une taille au garrot nettement inférieure aux chevaux de selle des autres études. En endurance, un cheval de grande taille doit fournir un travail plus important pour se déplacer ce qui constitue une perte énergétique non négligeable. Pour les épreuves de saut d'obstacle, les petits chevaux rencontrent davantage de difficultés à couvrir les obstacles, s'en rapprochant davantage et pouvant alors perdre du temps sur les parcours d'obstacle. Ils rencontrent également des difficultés à régler leurs foulées lors de combinaison d'obstacle.
Les chevaux de selle de haut niveau, que ce soit en dressage ou en saut d'obstacle, ont selon HOLMSTROM *et al.* (48) une épaule moins inclinée par rapport à l'horizontale et un angle du jarret plus grand que les chevaux de loisir. En effet, un angle du jarret trop petit favoriserait l'apparition de boiterie. Les chevaux de dressage ont une encolure plutôt courte. L'angle de la hanche est plus grand et le bassin est plus incliné par rapport à l'horizontal ce qui permet un engagement des postérieurs sous la masse plus important et un meilleur équilibre.
Les chevaux de saut d'obstacle ont une épaule longue et moins inclinée par rapport à l'horizontale ce qui leur permet d'avoir des plus grands mouvements de protraction. De plus, une épaule trop verticale favoriserait l'apparition de boiterie. Les chevaux de saut d'obstacle ont également un fémur long et incliné vers l'avant ce qui favorise la propulsion.
LEGAULT (63) compare la morphologie des Trotteurs Français et des Pur-sang Anglais ayant une activité de course de plat. Les trotteurs sont plus compacts avec un squelette plus épais que les Pur-sang Anglais. Les trotteurs ont une croupe fuyante, c'est-à-dire moins horizontale, ce qui favorise le passage des postérieurs vers l'extérieur. Le fait que l'épaule des trotteurs soit courte et droite permet une extension plus puissante et plus rapide au trot (62, 73). Le radius des trotteurs est court ce qui permet également une flexion antérieure rapide. Les trotteurs ont une allure rasante et contrairement aux galopeurs peuvent réaliser des efforts sur des durées plus longues.
Des enrênements sont utilisés chez les trotteurs, maintenant l'encolure et le dos en hyperextension. Ces derniers limitent les mouvements verticaux en particulier pour le bassin qui effectue des mouvements horizontaux et favorisent l'extension de l'épaule.
Les galopeurs effectuent des efforts courts et très intenses. La propulsion et l'extension du rachis sont favorisées par un bassin faiblement incliné et un ischium long. La scapula est plus horizontale ce qui permet une meilleure extension.
L'étude de LEGAULT (63) est néanmoins biaisée par le fait que le seul critère de sélection est que le cheval appartienne au Stud-Book de la race. Ainsi l'étude comprend beaucoup de chevaux de réforme n'étant plus à l'entraînement notamment des poulinières dont la morphologie ne correspond plus à celle d'un cheval en plein entraînement.
Les chevaux d'endurance de notre étude ont une encolure plutôt longue par rapport à leur faible hauteur au garrot et longueur corporelle.
Ils ont également une scapula horizontale, un fémur long et horizontal avec un angle du jarret petit ce qui favorise la propulsion et les mouvements horizontaux ce qui permet d'avoir des allures économiques.

3.2.1.3. Relation entre les résultats morphométriques et la performance

Dans la présente étude, peu de corrélations entre les résultats morphométriques et la performance ont été mises en évidence. De plus, ces corrélations sont très faibles.

La **longueur corporelle** semblerait être corrélée positivement à l'indice distance. Cela montre qu'un cheval long a plus de chance d'être qualifié sur de longues distances. Ceci peut s'expliquer par le fait que plus la longueur corporelle augmente, plus la surface du tronc serait grande. Hors on a vu que la surface corporelle joue un grand rôle dans les mécanismes de thermorégulation et que plus celle-ci est grande, plus ces mécanismes sont efficaces. De plus,

une grande longueur corporelle permet une plus grande amplitude de foulée au galop ce qui peut améliorer l'efficacité des allures.

Le **pli cutané** est également faiblement corrélé négativement à l'indice distance. Le pli cutané rend compte de l'état d'embonpoint. Hors l'excèdent de masse graisseuse a déjà été montré comme facteur limitant la performance en endurance. En effet, l'excédent de masse graisseuse constitue un frein à l'évacuation de chaleur diminuant ainsi les mécanismes de thermorégulation (61), augmente le poids à porter par le cheval et diminue les capacités aérobies (64) et augmente le risque d'apparition des troubles métaboliques (37, 62). Le pli cutané prend également en compte la finesse de la peau ; une peau plus fine assure une meilleure évacuation de la chaleur qu'une peau épaisse (61).

L'**inclinaison du fémur** par rapport à l'horizontale est négativement corrélée à l'indice vitesse. Ainsi, plus le fémur sera incliné par rapport à l'horizontale, plus l'indice vitesse sera faible. La faible inclinaison du fémur par rapport à l'horizontale améliore l'amplitude des foulées et défavorise leur rythme. Ainsi, les chevaux à l'inclinaison du fémur moins prononcée, effectuent un déplacement dorsoventral plus important au galop (73) ce qui peut sembler défavorable à l'obtention d'une allure économique nécessaire à l'endurance mais plutôt favorable à l'obtention d'une allure puissante favorisant la vitesse.

Les chevaux ayant un **angle du grasset fermé** auraient un meilleur indice distance. Ce résultat ne se retrouve pas dans la littérature. Hors, selon CANO *et al.* (17), un angle de grasset fermé diminuerait la propulsion et une mobilisation d'une plus grande masse musculaire est nécessaire lors de la propulsion. CANO *et al.* (17) ne distinguent cependant pas la propulsion verticale de la propulsion horizontale. Selon METAYER *et al.* (73), le cheval d'endurance a une plus grande propulsion horizontale lui permettant des gestes rasants vers l'avant. Il faudra donc comparer les résultats morphométriques avec les résultats de l'étude sur les allures afin de mieux déterminer en quoi un angle du grasset fermé serait un facteur de performance favorable en endurance.

3.2.2. Méthodes de calcul du poids

Deux formules d'évaluation du poids adaptées au cheval d'endurance sont proposées dans cette étude et présentées ci-dessous :

1) **Poids PT-HG-LC (kg) = -716,0012+1,535555*HG + (3,279784*PT) + (2,028037*LC) (r^2=0.69)**
2) **Poids PT-HG-LC-PC= -764,5398+(1,146989*HG)+(4,41823*PT)+(1,667748*LC)+(-1,030442*PC) (r^2=0.84)**

Bien que la deuxième formule soit la plus précise, le pli cutané est très variable d'un opérateur à l'autre et d'une mesure à l'autre. Cette variabilité rend la deuxième formule moins pratique d'utilisation.

La première quant à elle tient compte de paramètres morphologiques facilement mesurables. Cette formule adaptée aux chevaux d'endurance de race arabe peut éventuellement être utilisée par les propriétaires afin de suivre régulièrement le poids du cheval et d'établir ainsi son « poids de forme ». HG et LC étant constantes chez un cheval, il suffit de mesurer régulièrement le PT pour suivre l'évolution du poids du cheval. Avec cette formule, 1 cm de PT correspond à 3,3 kg.

3.3. Perspectives

Cette étude seule est insuffisante. Le fait qu'elle ne concerne que les chevaux adultes est un avantage car on peut caractériser la morphologie d'une population homogène. Cependant, les chevaux adultes ont le désavantage d'avoir déjà été sélectionnés et d'avoir une morphologie plus homogène. De plus, la morphologie a été influencée par d'autres facteurs comme par exemple l'environnement ou l'entraînement. L'étude sur les jeunes chevaux, en suivant leur performance à long terme est donc indispensable pour affiner nos résultats.
La sélection d'un cheval sur sa morphologie seule est insuffisante. Afin de déterminer un morphotype complet du cheval d'endurance, il faudra compléter nos résultats avec l'étude des allures réalisée sur les mêmes chevaux en parallèle.
L'objectif à plus long terme de cette étude est également de déterminer d'éventuels biomarqueurs et des déterminants génétiques des chevaux performants et de créer des tests génétiques afin d'évaluer l'aptitude génétique d'un jeune cheval pour l'endurance. Les données de notre étude permettront de savoir si les locis de caractères quantitatifs (QTL) identifiés par PCR et associés à la performance, interviennent dans la morphologie du cheval ou dans les mécanismes de thermorégulation.
L'objectif à court terme est d'améliorer les grilles de jugement des concours d'élevage d'endurance, ces dernières faisant appel à beaucoup d'empirisme et de subjectivité. En s'inspirant de la grille de jugement existante et de nos résultats, la grille de jugement suivante peut être proposée (figure 21). Les parties grisées correspondent aux caractères non étudiés dans notre étude.

Figure 21 : Grille de jugement proposée pour les concours modèles

1 - EXPRESSION D'ENSEMBLE DU CHEVAL D'ENDURANCE

	Note 0 à 10	QUALITES	DEFAUTS
Proportion HG/LC		**Rapport proche de 1**	**Rapport > ou < à 1.**
Etat d'embonpoint		**2,5<NEC<3,25**	**NEC<2,5 (trop maigre), NEC > 3,25 (trop gras).**
Musculature		Absence d'amyotrophie, muscles fins et longs.	Amyotrophie
Hauteur au garrot		**Cheval de taille moyenne**	**Cheval trop grand, trop petit**
Longueur de l'encolure		Encolure longue.	encolure courte (<1,5 fois LC).
Longueur corporelle		**Cheval plutôt long.**	**Cheval court**

2 - MODELE

		note 0 à 10	QUALITES	DEFAUTS
Arriére-main				
Dos			Dos rectiligne.	Dos carpé, ensellé.
Bassin, croupe			**Bassin incliné, symétrie**	**Bassin verticale, asymétrie**
Fémur			**Fémur long et incliné vers l'avant.**	**Fémur court.**
Grasset			**Angle grasset fermé.**	**Angle grasset ouvert.**
Avant-main				
Encolure			Bien orientée et bien soutenue, bien implantée	Encolure implantée bas, mal orientée
Epaule			**Epaule longue et inclinée.**	**Epaule courte, verticale.**
Poitrine			Thorax profond	Thorax peu profond.
Garrot			Garrot saillant	Garrot noyé
Membres et Pieds				
Aplombs	**Antérieurs**		Conforme aux lignes d'aplomb de face et en mouvement.	Cagneux, panards, genoux ouverts, genoux fermés.
	Postérieurs		Conforme aux lignes d'aplomb d'arrière et en mouvement.	Cagneux, panards, jarrets ouuverts, jarrets fermés.
Antérieurs			Articulations sèches et larges. Axe du paturon environ 50°	Présence de tares dures ou molles. Droit, court, long ou bas jointés, Genoux creux ou arqués.
Postérieurs			Ariculations sèches et larges. Axe du paturon environ 50°.	Présence de tares dures ou molles. Droit, court, long ou bas jointés. Jarrets coudés, jarrets ouverts.
Pieds			Symétrie, corne de bonne qualité.	Asymétrie, corne de mauvaise qualité, présence de seimes.
Tissus			Peau fine, bonne vascularisation, sécheresse	Sudation importante, peau epaisse

CONCLUSION

Cette étude préliminaire suggère que certains critères morphologiques tels que la longueur corporelle, l'épaisseur du pli cutané, l'inclinaison du fémur et l'angle du grasset sont corrélés à la performance d'un cheval d'endurance. Ces critères sont cependant peu nombreux et la corrélation avec la performance est très faible. Cela rejoint les études précédentes sur le fait que la morphologie n'est pas à elle seule un facteur de prédiction de performance. Cette étude constitue cependant une base de données fiable pour caractériser la morphologie du cheval d'endurance. Cette étude sera complétée par l'étude sur les allures, le génotype et la morphologie des jeunes chevaux. On pourra ainsi espérer améliorer les critères de sélection des chevaux d'endurance et mettre en place des systèmes d'accouplements raisonnés se basant non seulement sur le morphotype mais aussi sur le génotype des chevaux et permettre ainsi aux éleveurs d'augmenter leur chance de produire un cheval performant tout en gardant en mémoire que d'autres facteurs tels que l'entraînement et les techniques d'élevage sont tout aussi décisives pour la performance.

BIBLIOGRAPHIE

1. **ACHARYA RM, GUPTA UD, SEHGAL JP, SINGH M.** Coat characteristics of goats in relation to heat tolerance in the hot Tropics. *Small Ruminant Research*, 1995, **18**, 245-248.
2. **ANCELET E.** Les raids d'endurance équestre. Crépin-Leblond, Paris, 2003, 294 p.
3. **ANDERSON TM, MCILWRAITH CW, DOUAY P.** The role of conformation in musculoskeletal problems in the racing thoroughbred. *Equine vet. J.*, 2004, **36**(7), 571-575.
4. **Association Nationale Française du Cheval Arabe pur-sang et demi sang.** [http://www.acafrance.org/] [En ligne] (Consulté le 28 décembre 2012).
5. **Association Nationale Française du Cheval Arabe pur-sang et demi sang.** Règlement des concours d'élevage. |En ligne] [http://www.acafrance.org/] (Consulté le 28 décembre 2012)
6. **Association du Cheval Arabe de Bretagne.** Formation des juges de Modèle et Allures (MA) Endurance Saint Pierre du Lorouër (près du Mans) : samedi 14 et dimanche 15 novembre 2009. [En ligne] **[**http://www.aca-bretagne.com/Stockage/2009-11 14CR_selection_juges_MA_endurance_Mans.pdf] (Consulté le 10 janvier 2012).
7. **ATGER F, LUCHEZ R, CHAZEL S.** Formation des juges de Modèle et Allures (MA) Endurance Saint Pierre du Lorouër (près du Mans) : samedi 14 et dimanche 15 novembre 2009. [En ligne] [http://www.gecel-endurance.fr] (Consulté le 14 décembre 2011).
8. **BAM J., NOAKES TD., JURITZ J, DENNIS SC.** Could women outrun men in ultramarathon races? *Med Sci Sports Exerc.*, 1997, **29**(2), 244-247.
9. **BARNES A, KINGSTON J, BEETSON S, KUIPER C.** Endurance veterinarians detect physiologically compromised horses in a 160 km ride. *Equine Vet. J. Suppl.*, 2010, **38**, 6-11.
10. **BARREY E.** Evaluation de l'aptitude sportive chez le cheval : application à la définition de critères précoces de sélection. *INRA Prod. Anim.*, hors série « Eléments de génétique quantitative et application aux populations animales », 1992, 167-173.
11. **BARREY E.** Méthode Equimétrix : Procédure du test de conformation, 2000, 8p.
12. **BARREY E, DESLIENS F, BLOUIN C, LANGLOIS B**. Mesures du modèle, des allures et du saut des étalons nationaux par la méthode Equimetrix. 28 ème journée d'étude, les haras nationaux, 2002, 157-176.
13. **BERGERO D, ASSENZAB A, CAOLAB G**. Contribution to our knowledge of the physiology and metabolism of endurance horses. *Livestock Production Science*, 2005, **92**, 167-176.
14. **BERSINGER I.** Nouvelle nomenclature des robes. *Equ'idée*, 2000, n°38, 18-19.
15. **BRODY S.** Bioenergetics and growth. New York, Reinhold, 1945, 1023p.
16. **BUFFET A.** Pourcentage et nombre de chevaux classés dans les 5 premier par année et par race [en ligne] [http://www.endurance-pedigrees.com/Races.aspx] (Consulté le 15 décembre 2012).
17. **CANO MR, VIVO J, MIRO F, MORALES JL, GALISTEO AM.** Kinematic characteristics of Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses: a comparative study. *Research in Veterinary Science*, 2001, **71**, 147-153.

18. **CERVANTES I, BAUMUNG R, MOLINA A, DRUML T, GUTIÉRREZ J.P., SÖLKNER J, VALERA M**. Size and shape analysis of morphofunctional traits in the Spanish Arab horse, *Livestock Science*, 2009, **125**, 43-49.
19. **CHABCHOUB A, LANDOLSI F et JARY Y**. Étude des paramètres morphologiques de chevaux Barbes de Tunisie. *Revue Méd. Vét.*, 2004, **155**(1), 31-37
20. **COUROUCE-MALBLANC A**. La médecine sportive appliquée au cheval athlète. Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, unité pédagogique de pathologie équine, 2011, 113 p.
21. **CROOK TC, CRUICKSHANK SE, MCGOWAN CM, STUBBS N, WILSON AM, HODSON-TOLE E, PAYNE RC.** A comparison of the moment arms of pelvic limb muscles in horses bred for acceleration (Quarter Horse) and endurance (Arab). *J Anat., 2010*, **217**(1), 26-37.
22. **DANVY S.** Organisation de la sélection des équidés en France. Janvier 2011. [En ligne] [http://www.haras-nationaux.fr/information/accueil-equipaedia/genetique/selection-genetique/organisation-de-la-selection.html] (Consulté le 28 décembre 2012).
23. **DANVY S, GRISON AC.** Indices de performances sports. Février 2011. |En ligne] | http://www.haras-nationaux.fr/information/accueil-equipaedia/genetique/les-indices/indices-de-performances.html]. (Consulté le 30 décembre 2012).
24. **DANVY S, GRISON AC.** Indices génétiques sport. Février 2011. |En ligne] | http://www.haras-nationaux.fr/information/accueil-equipaedia/genetique/les-indices/indices-genetiques-sport.html]. (Consulté le 30 décembre 2012).
25. **DENOIX JM.** Extérieur et examen physique du cheval, CIRALE-Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, unité pédagogique de pathologie équine, 2001, 249p.
26. **DEROTH L, BISAILLON A.** Determination of body surface area in neonatal swine. *Lab Anim Sci.*, 1979, **29**(2), 249-50.
27. **DIACK SL.** The determination of the surface area of the white rat. *J. Nutr., 1*930, **3**(3), 289-296.
28. **DOUCET, M.** Présentation et évaluation d'une méthode de mesure morphométrique en 3 dimensions. *Thèse méd vét.*, 2007, 113p.
29. **DUBOIS C.** Modélisation des programmes de sélection dans l'élevage du cheval de sport Français. *Thèse AgroParisTech*, 2007, 275p.
30. **ENTIN P**. Do racehorses and greyhound dogs exhibit a gender difference in running speed ? *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 2007, **4**(3/4), 135–140.
31. **ESSÉN-GUSTAVSSON B, KARLSTRÖM K, LINDHOLM A.** Fiber types, enzyme activities and substrate utilization in skeletal muscles of horses competing in endurance rides. *Equine Vet J.*, 1984, **16**(3), 97-202.
32. **EVANS DL**. Physiology of equine performance and associated tests of function. *Equine Vet. J.*, 2007, **39**(4), 373-383.
33. Fédération Française d'Equitation. Règlement des épreuves d'endurance 2009, [en ligne], PARIS : FFECompet, [http://www.ffe.com/ffe/Disciplines-Equestres/General/ Endurance/Règlement].
34. **FINCH VA, BENNETT IL, HOLMES CR.** Coat colour in cattle: effect on thermal balance, behaviour and growth, and relationship with coat type. *The Journal of Agricultural Science*, 1984, **102,** 141-147.
35. **FRAIPONT A, VAN ERCK E, RAMERY E, RICHARD E, DENOIX JM, LEKEUX P, ART T.** Subclinical diseases underlying poor performance in endurance horses: diagnostic methods and predictive tests. *Vet Rec*, 2011, **169**(6), 154.
36. **GALLETIER A.** Le Pur-Sang Arabe, Evreux, Editions Atlas, 2011, 125p.

37. **GARLINGHOUSE SE, BRAY RE, COGGER EA AND WICKLER SJ.** The influence of body measurements and condition score on performance results during the 1998 Tevis Cup. |en ligne] [http://www.shady-acres.com/susan/tevis98.shtml] (consulté le 6 novembre 2011).
38. **GEOR RJ, MCCUTCHEON LJ.** Thermoregulatory adaptations associated with training and heat acclimation. *Vet Clin North Am Equine Pract.*, 1998, **14**(1), 97-120.
39. **GORECKA-BRUZDA A, CHRUSZCZEWSKI MH, JEZIERSKI T, MURPHY J**. Behaviour-related traits of Polish sport horse stallions participating in 100-day performance tests. *Livestock Science*, 2011, **136**, 207–215.
40. **GUEDAOURA S., CABARAUX J.-F, MOUMENE A, TAHRAOUI A, NICKS B.** Evaluation morphométrique de chevaux de race Barbe et dérivés en Algérie. *Ann. Méd. Vét.*, 2011, **155**, 14-22.
41. **HANSEN PJ.** Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Reproduction Science*, 2004, **82–83**, 349–360.
42. **HEDGE J, WAGONER D.** Equine photos drawings for conformation anatomy. Tyler, Texas : equine research inc., 1999, 484 p.
43. **HILL RC AND SCOTT KC.** Energy requirements and body surface area of cats and dogs. *JAVMA*, 2004, **225**(5), 689-694.
44. **HILLMAN PE, LEE CN, CARPENTER JR, BAEK KS, PARKHURST A.** Impact of Hair Color on Thermoregulation of Dairy Cows to Direct Sunlight. [En ligne] Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan. [www.asabe.org] (consulté le 16 janvier 2012).
45. **HOCHSCHEID S, GREMILLET D, WANLESS S, DU PLESSIS MA.** Black and white under the South African sun: are juvenile Cape gannets heat stressed? *Journal of Thermal Biology*, 2002, **27**, 325–332.
46. **HODGES AA, HARRISON AG, WATHES CM.** Exercise and the height of horses. *Vet Rec.*, 1986, **118**(5), 121-123.
47. **HODGSON DR, DAVIS RE, MCCONAGHY FF**. Thermoregulation in the horse in response to exercise. *Br Vet J*., 1994, **150(**3), 219-235.
48. **HOLMSTRÖM M, MAGNUSSON LE, PHILIPSSON J**. Variation of Swedish Warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses. *Equine Vet J.*, 1990, **22**(3), 186-193.
49. **HONG CC, EDIGER RD, RAETZ R, DJURICKOVIC S.** Measurement of guinea pig body surface area. *Lab Anim Sci.*, 1977, **27**(4), 474-476.
50. **HUGNET C.** Les médicaments anticancéreux en pratique vétérinaire ; problématique d'utilisation. *Bull. Acad. Vét. France*, 2008, **161**, 49-54.
51. **HUNT WF, V. G. THOMAS VG, STIEFEL W.** Analysis of video-recorded images to determine linear and angular dimensions in the growing horse. *Equine Vet. J.*, 1999, **31**(5)**,** 402-410.
52. **INRA.** Alimentation des chevaux. Ed. Martin-Rosset W - INRA Éditions Paris, 1990, 232 p.
53. **JUSSIAU R, MONTMEAS L, PAPET A.** Amélioration génétique des animaux d'élevage. Bases scientifiques, sélection et croisements. Dijon (fra) : Educagri Editions, 2006, 322p.
54. **KANOH S, NAKAJIMA T.** Determining specific gravity, specific heat, and surface area of rabbits for a possible thermodynamic approach to body temperature change. *Biol Pharm Bull.*, 1998, **21**(6), 565-568.

55. **KELLEY KW, CURTIS SE, MARZAN GT, KARARA EHM AND ANDERSON CR.** Body surface area of female swine. *Journal of animal science*, 1973, **36**, n°5, 927-930.
56. **KIBLER HH, BRODY S, WORSTELL D.** Surface area and metabolism of growing guinea pigs. *J Nutr.*, 1947, **33**(3), 331-338.
57. **KLEIBER M.** Body size and metabolic rate. *Physiol rev*, 1947, **27**, 511-541.
58. **LAMAS LP, GIOVAGNOLI G, HEATH MF, JEFFCOTT LB.** Some factors affecting the accuracy and variability of measurements of the height of ponies. *Vet Rec.*, 2007, **160**(20), 691-694.
59. **LANGLOIS B, POIREL D, TASTU D, ROSE J**. Analyse statistique et génétique des gains des pur-sang Anglais de trois ans dans les courses plates françaises. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 1975, **7**(4), 387-408.
60. **LANGLOIS B, FROIDEVAUX J, LAMARCHE L, LEGAULT C, LEGAULT P, TASSENCOURT L, THERET M.** Analyse des liaisons entre la morphologie et l'aptitude au galop et au trot et au saut d'obstacle chez le cheval. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 1978, **10**(2), 443-474.
61. **LANGLOIS B.** Inter breed variation in the horse with regard to cold adaptation: a review. *Livestock production science*, 1994, **40**, 1-7.
62. **LAWRENCE LM, JACKSON S, KLINE K, *et al.*** Observations on body weight and condition of horses in a 150-mile endurance ride. *J. Equine Vet. Sci*., 1992, **12**, 320-324.
63. **LEGAULT, P.** Contribution à l'étude de la morphologie comparée des chevaux de pur-sang anglais et trotteurs français. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. Thèse Méd. Vét. 1977.71p.
64. **LELEU C., COTREL C.** Body composition in young Standardbreds in training: relationships to body condition score, physiological and locomotor variables during exercise. *Equine vet. J. Suppl.*, 2006, **36**, 98-101.
65. **LOPEZ-RIVERO JL, SERRANO AL, DIZ AM and GALISTEO AM.** Variability of muscle fibre composition and fibre size in the horse gluteus medius: an enzyme-histochemical and morphometric study. *J. Anal.*, 1992, **181**, 1-10.
66. **LOVING NS.** Tenir la distance, tout sur le cheval d'endurance. Acte Sud, 2004, 350 p.
67. **MARKS D**, Conformation and Soundness, AAEP proceedings, 2000, **46**, 39-46 [En ligne], [*www.ivis.org/proceedings/aaep/2000/39.pdf]*
68. **MARTIN D, NANKERVIS K**. Equine Exercise Physiology. London, Blackwell Publishing, 2002, 296p.
69. **MAWDSLEY A, KELLY EP, SMITH FH, BROPHY PO**. Linear assessment of the thoroughbred horse: an approach to conformation evaluation. *Equine Vet J.* 1996, **28**(6), 461-467.
70. **MCILWRAITH CW, ANDERSON TM and SANSCHI EM.** Conformation and musculoskeletal problems in the racehorse. *Clinical Techniques in Equine Practice,* 2003, **2**(4), 339-347.
71. **MCKEEVER KH, EATON TL, GEISER S, KEARNS CF and LEHNHARD RA.** Age related decreases in thermoregulation and cardiovascular function in horses. *Equine vet. J. Suppl.*, 2010, **38**, 220-227.
72. **MENAGER S.** Méthode d'évaluation du poids chez le cheval d'endurance. Détermination expérimentale du « poids de forme ». Thèse Méd. Vét., Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Maisons-Alfort, 2010, 74p.

73. **METAYER N, BIAU S, COCHET JL, BARREY E.** Etude des facteurs locomoteurs et morphologiques de la performance du cheval d'endurance. 30ème Journée de la recherche Equine, Paris 3 mars 2004, 67-76.
74. **MOSTERT HJ, LUND RJ, GUTHRIE AJ, CILLIERS PJ.** Integrative model for predicting thermal balance in exercising horses. *Equine Vet. J. Suppl.*, 1996, **22**, 7-15.
75. **NAGY A, MURRAY JK, DYSON S.** Elimination from elite endurance rides in nine countries: a preliminary study. *Equine Vet. J. Suppl.*, 2010, **38**, 637-643.
76. **PREVEIRAUD L.** Etude bibliographique comparée de la physiologie du coureur de fond et du cheval d'endurance : métabolismes énergétiques et musculaires et thermorégulation. Thèse Méd. Vét., Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, Lyon, 2003, 167p.
77. **RICARD A, TOUVAIS M.** Des indices pour l'endurance ? *Equ'idée*, 2005, n°53, 42-44.
78. **RICARD A, BLOUIN C, DANVY S, TAVERNIER L**. Des indices 2008 chevaux de sport revisités. *Equ'idée*, 2009, n°66, 52-54.
79. **RIVERO J.L.L, RUZ M.C, SERRANO A.L, DIZ A.M.** Effects of a 3 month endurance training programme on skeletal muscle histochemistry in Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses. *Equine Vet. J.*, 1995, **27,** 51-59.
80. **RIVERO JL, HENCKEL P.** Muscle biopsy index for discriminating between endurance horses with different performance records. *Res.Vet.Sci.*, 1996, **61**(1), 49-54.
81. **RIVERO JLL, SERRANO AL, QUIROZ-ROTHE E and AGUILERA-TEJERO E.** Coordinated changes of kinematics and muscle fibre properties with prolonged endurance training. *Equine Vet. J. Suppl.*, 2001, **33**, 104-108.
82. **RIVERO JL.** A scientific background for skeletal muscle conditioning in equine practice. *J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med.*, 2007, **54**(6), 321-332.
83. **ROBERT C., BENAMOU-SMITH A., LECLERC J.L.** Use of the recovery check in long-distance endurance rides. *Equine Vet. J. Suppl.*, 2002, **34**, 106-111.
84. **ROBERT C.** Le signalement du cheval Généralités. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. Unité Pédagogique d'Anatomie, 2011, 14p.
85. **ROBIN N.** Contribution à l'étude du cheval pur-sang arabe**.** Thèse Méd. Vét., Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, Toulouse, 2004, 312p.
86. **ROSSDALE PD, BUTTERFIELD RM.** Conformation: a step along the pathway to objective assessment. *Equine Vet. J.*, 2006, **38**(7), 588-590.
87. **SAASTAMOINEN MT, BARREY E.** Genetics of conformation, locomotion and physiological traits. The genetics of the horse. *Ann T. Bowling and Anatoly Ruvinsky*, 2000, 527p.
88. **SADEK M.H, AL-ABOUD A.Z., ASHMAWY A.A**. Factor analysis of body measurements in Arabian horses. *J. Anim. Breed. Genet.*, 2006, **123**, 369–377.
89. **SERRANO AL, PETRIE JL, RIVERO JL, HERMANSON JW**. Myosin isoforms and muscle fiber characteristics in equine gluteus medius muscle. *Anat Rec.*,1996, **244**(4), 444-451.
90. **SNEDDON JC, WALTON R, BOND A.** A simple field technique for estimation of body surface area in horses and ponies. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 2004, **1**, 51-60.
91. **STACHURSKA A, PIETA M, LOJEK J, SZULOWSKA J**. Performance in racehorses of various colours. *Livestock Science*, 2007, **106** (2-3), 282-286.
92. **TRIGO P, CASTEJON F, RIBER C, MUÑOZ A.** Use of biochemical parameters to predict metabolic elimination in endurance rides. *Equine Vet. J. Suppl.*, 2010, **38**, 142-146.

93. **VAN DAMME R, ENTIN P, VANHOOYDONCK B AND HERREL A.** Causes of sexual dimorphism in performance traits: a comparative approach. *Evolutionary Ecology Research*, 2008, **10**, 229–250.
94. **VAN WEEREN PR, CREVIER-DENOIX N.** Equine conformation: clues to performance and soundness? *Equine Vet. J.*, 2006, **38**(7), 591-596.
95. **VERRIER E.** Qu'est-ce que l'amélioration génétique, pourquoi et comment améliorer les races ? *Equ'idée*, 2011, n°75, 55-68.
96. **WALSBERG GE.** Coat Color and Solar Heat Gain. *Animals BioScience*, 1983, **33**, N° 2, 88-91.
97. **WEBB AI, WEAVER BM.** Body composition of the horse. *Equine Vet. J.*, 1979**,** **11**(1), 39-47.
98. **WELLER R, PFAU T, MAY SA, WILSON AM.** Variation in conformation in a cohort of National Hunt racehorses. *Equine Vet. J.*, 2006, **38**(7), 616-621.

Annexe 1 : Feuille de résultats chiffrés après l'analyse morpho métrique par le logiciel EQUIMETRIX

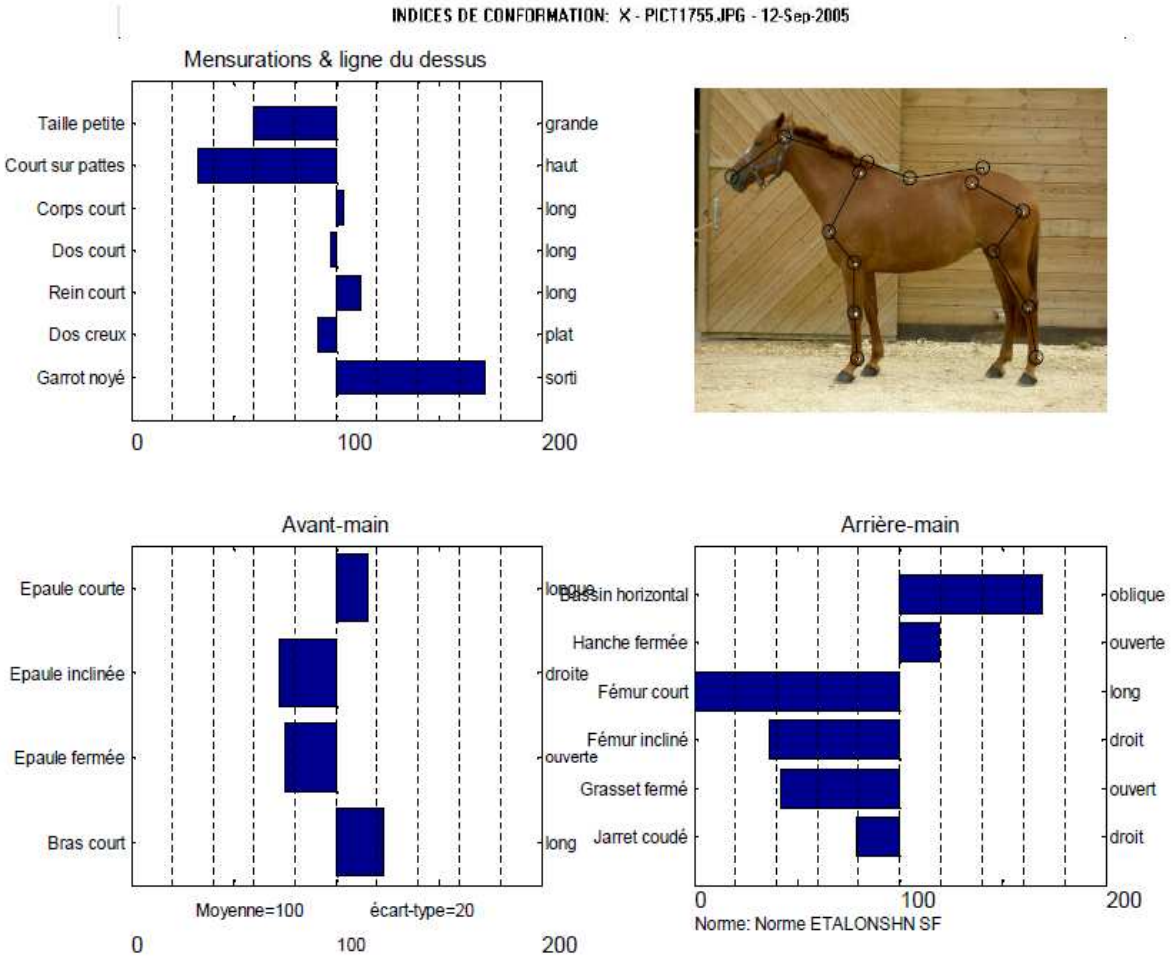
EQUIMETRIX CONFORMATION: X essai 2 PICT1755.JPG 12-Sep-2005

MENSURATIONS :	***Longueurs***	***Normes***	***Angles & hauteurs***		***Normes***
Taille au garrot	1.60 m	1.68	Profondeur de poitrine	0.79 m	0.77
Taille à la croupe	1.58 m	1.66	Vide sous-sternal	0.81 m	0.91
Longueur du corps (épaule-hanche)	1.50 m	1.49			
CONFORMATION DES ANTERIEURS :					
Longueur de l'épaule (scapula)	50 cm	48	Inclinaison de l'épaule / horizontale	61 deg	65
Longueur du bras (humérus)	30 cm	29	Angle de l'épaule	112 deg	117
Longueur de l'avant-bras (radius)	37 cm	41	Angle du coude	141 deg	146
Longueur du canon ant (métacarpe)	33 cm	33	Angle du genou	179 deg	
Longueur du doigt ant (phalanges 1,2 et 3)	24 cm	29			
CONFORMATION DES POSTERIEURS :					
Longueur du bassin dorsal (trochanter-tuber sacrale)	44 cm	41	Inclinaison du bassin / horizontale	27 deg	14
Longueur du bassin ventral (trochanter-tuber coxae)	44 cm	37	Angle de la hanche	81 deg	78
Longueur de la cuisse (femur)	37 cm	50	Inclinaison du fémur / horizontale	54 deg	63
Longueur de la jambe (tibia)	49 cm	49	Angle du grasset	111 deg	122
Longueur du canon post (métatarse)	37 cm	38	Angle du jarret	155 deg	158
Longueur du doigt post (phalanges 1,2 et 3)	24 cm	29			
CONFORMATION DE LA LIGNE DU DESSSUS :					
Longueur de la tête (naseau-atlas)	50 cm	51	Angle du dos	153 deg	154
Longueur de l'encolure (atlas-scapula)	67 cm	80	Inclinaison du garrot / horizontale	20 deg	15
Longueur du dos	35 cm	35	Sortie du garrot / creux du dos	13 cm	9
Longueur du rein	57 cm	55	Inclinaison coude-grasset	-4 deg	
Longueur poitrail-pointe fesse	166 cm		Inclinaison 1/3 épaule-pointe hanche	-4 deg	

Norme: Norme ETALONSHN SF

Copyright CENTAURE METRIX 2002

Annexe 2 : Feuille de résultats graphiques après l'analyse morpho métrique par le logiciel EQUIMETRIX.



ÉTUDE MORPHOMÉTRIQUE DU CHEVAL D'ENDURANCE DE RACE ARABE ET CROISÉ ARABE EN RELATION AVEC LA PERFORMANCE.

Nom et prénom : **TRIBOUT Pauline.**

Résumé :

La sélection des jeunes chevaux se base sur le pedigree mais également sur la conformation et les allures. L'évaluation de ces deux derniers critères se fait traditionnellement de manière subjective notamment lors de concours « modèles et allures ». Cependant, les données objectives concernant le cheval d'endurance sont inexistantes et les grilles de jugement utilisées dans les concours modèles et allures reposent sur des données empiriques.

L'objectif de cette étude était de mesurer la conformation de chevaux d'endurance de haut niveau et d'origine Arabe puis de déterminer d'éventuelles corrélations entre ces mesures et la performance. Ainsi, dans le cadre du projet GenEndurance, 367 chevaux d'origine Arabe engagés sur des épreuves de 90 km ou plus ont fait l'objet des mesures directes suivantes : hauteur au garrot (HG), périmètre thoracique (PT), longueur pointe de l'épaule-pointe de la fesse (LC), épaisseur du pli cutané (PC), note d'état corporel (NEC) et poids. Une photographie des chevaux à l'arrêt a également été effectuée. Les mesures d'angles et de longueurs des rayons osseux ont alors pu être déterminées à l'aide du logiciel Equimétrix. Les indices de performances composés d'un indice vitesse, d'un indice distance et d'un indice classement ont permis d'évaluer les corrélations entre la performance et les mensurations.

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

L'analyse statistique par régression linéaire montre que les chevaux ayant l'indice distance le plus élevé ont une LC plus élevée, un PC plus faible et un angle du grasset plus fermé. Les chevaux ayant l'indice vitesse le plus élevés ont quant à eux un fémur moins incliné par rapport à l'horizontale.

Cette étude est un premier pas dans la détermination des critères associés à la performance en endurance. Elle doit être complétée par la même approche chez les jeunes chevaux ainsi que par les mesures d'allures et la détermination du génotype sur les mêmes sujets.

Mots clés : MORPHOMETRIE, MORPHOLOGIE, CONFORMATION, POIDS, SURFACE, THERMOREGULATION, ENDURANCE, PERFORMANCE, RACE EQUINE, EQUIDE, CHEVAL, PUR SANG ARABE.

Jury :

Président : Pr

Directeur : Dr Céline ROBERT

Assesseur : Pr Jean-François COURREAU

Invité : Dr Eric BARREY

MORPHOMETRIC STUDY OF ENDURANCE ARABIAN HORSE RELATED TO PERFORMANCE

SURNAME: **TRIBOUT**
Given name : **Pauline**

Summary:
Selection of young horses is based on the pedigree, conformation and gait analysis. Evaluation of the last two criteria is very subjective and objective data are lacking. Assessment grids used in breed show are based on empirical data. The objective of this study was to measure the conformation of horses from Arabian origin involved in 90 km or more endurance races in order to determine correlations between these body measurements and performance. As part of the GenEndurance project, 367 horses were evaluated for the following body measurements: withers height (WH), chest girth (CG), length of the body (BL), thickness of the skin fold (SF), body condition score (BCS) and weight. Skeletal conformation measurements were also made by photographic analysis using the Equimétrix® software. The "performance index" was used to determine correlations between measurements and performance. It is composed of a speed index, a distance index and a rank index.
This study allowed to develop a database on the morphology of high level endurance horses and to establish a specific weight equation based on several body measurements.
The statistical analysis by linear regression showed that the horses having the highest distance index have a higher BL, a thinner SF and a smaller stifle angle. Horses having the highest speed index have a more horizontal femur. This study is a first step in determination of performance associated criteria in endurance horses. Other studies must be performed in young animals, using gait analysis and genetic assay.

Keywords: MORPHOMETRY, MORPHOLOGY, CONFORMATION, WEIGHT, SURFACE, THERMOREGULATION, ENDURANCE, PERFORMANCE, HORSE BREED, EQUINE, HORSE, ARABIAN HORSE.

Jury:

Président : Pr
Directeur : Dr Céline ROBERT
Assesseur : Pr Jean-François COURREAU
Invité : Dr Eric BARREY