Année 2015

CARACTÉRISATION DE LA MORPHOLOGIE DU JEUNE CHEVAL D'ENDURANCE (4 à 6 ANS)

CONTRIBUTION À LA DÉTERMINATION DE CRITÈRES EN RELATION AVEC LA PERFORMANCE

THÈSE

Pour le

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE CRÉTEIL

le.....

par

Maud, Colette, Denise, TRIQUENAUX

Née le 15 octobre 1989 à Lyon 3^{ème} (Rhône)

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, MIALOT Jean-Paul, 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, CHERMETTE René, 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)

Chef du département par intérim : M. GRANDJEAN Dominique, Professeur - Adjoint : M. BLOT Stéphane, Professeur

UNITE DE CARDIOLOGIE

- Mme CHETBOUL Valérie, Professeur *
- Mme GKOUNI Vassiliki, Praticien hospitalier
- Mme SECHI-TREHIOU Emilie, Praticien hospitalier

UNITE DE CLINIQUE EQUINE

- M. AUDIGIE Fabrice, Professeur
- Mme BERTONI Lélia, Maître de conférences contractuel
- Mme BOURZAC Céline, Maître de conférences contractuel
- M. DENOIX Jean-Marie, Professeur
- Mme GIRAUDET Aude, Praticien hospitalier *
- Mme MESPOULHES-RIVIERE Céline, Praticien hospitalier
- Mme TRACHSEL Dagmar, Maître de conférences contractuel

UNITE D'IMAGERIE MEDICALE

- Mme PEY Pascaline, Maître de conférences contractuel
- Mme STAMBOULI Fouzia, Praticien hospitalier

UNITE DE MEDECINE

- M. AGUILAR Pablo, Praticien hospitalier
- Mme BENCHEKROUN Ghita, Maître de conférences
- M. BLOT Stéphane, Professeur*
 M. CAMPOS Miguel, Maître de conférences associé
- Mme FREICHE-LEGROS Valérie, Praticien hospitalier
- Mme MAUREY-GUENEC Christelle, Maître de conférences

UNITE DE MEDECINE DE L'ELEVAGE ET DU SPORT

- Mme CLERO Delphine, Maître de conférences contractuel
- M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences
- M. GRANDJEAN Dominique, Professeur *
- Mme MAENHOUDT Cindy, Praticien hospitalier
- M. NUDELMANN Nicolas, Maître de conférences
- 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. BLAGA Radu Gheorghe, Maître de conférences (rattaché au DPASP)
 Mme COCHET-FAIVRE Noëlle, Praticien hospitalier
- M. GUILLOT Jacques, Professeur
- Mme MARIGNAC Geneviève, Maître de conférences
- M. POLACK Bruno, Maître de conférences
- Mme RISCO CASTILLO Véronica, Maître de conférences (rattachée au DSBP)

UNITE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE

- M. FAYOLLE Pascal, Professeur
- M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences
- M. MANASSERO Mathieu, Maître de conférences M. MOISSONNIER Pierre, Professeur*
- 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

- Mme STEBLAJ Barbara, Praticien Hospitalier

DISCIPLINE: NOUVEAUX ANIMAUX DE COMPAGNIE

- M. PIGNON Charly, Praticien hospitalier

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 QUALITE ET SECURITE DES ALIMENTS

- M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Professeur
- M. BOLNOT François, Maître de conférences *
- M. CARLIER Vincent, Professeur

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 DES ANIMAUX DE PRODUCTION

- M. ADJOU Karim, Maître de conférences
- M. BELBIS Guillaume, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel
- M. MILLEMANN Yves, Professeur
- Mme ROUANNE Sophie, Praticien hospitalier

UNITE DE REPRODUCTION ANIMALE

- Mme CONSTANT Fabienne, Maître de conférences*
- M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences (rattaché au DEPEC)
- Mme MASSE-MOREL Gaëlle, Maître de conférences contractuel
- M. MAUFFRE Vincent, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel Mme EL BAY Sarah, Praticien hospitalier

UNITE DE ZOOTECHNIE, ECONOMIE RURALE

- M. ARNE Pascal, Maître de conférences
- M. BOSSE Philippe, Professeur
- M. COURREAU Jean-François, Professeur
- Mme DE PAULA-REIS Alline, Maître de conférences contractuel
- Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur Mme LEROY-BARASSIN Isabelle, Maître de conférences
- M. PONTER Andrew, Professeur
- Mme WOLGUST Valérie, Praticien hospitalier

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*
- Mme LAGRANGE Isabelle, Praticien hospitalier
- 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, Maître de conférences

UNITE DE PATHOLOGIE GENERALE MICROBIOLOGIE, **IMMUNOLOGIE**

- M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur
- Mme LE ROUX Delphine, Maître de conférences
- Mme OUINTIN-COLONNA Francoise, Professeur*

UNITE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE

- Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur
- M. PERROT Sébastien, Maître de conférences
- M. TISSIER Renaud, Professeur

UNITE DE PHYSIOLOGIE ET THERAPEUTIQUE

- Mme COMBRISSON Hélène, Professeur
- Mme PILOT-STORCK Fanny, Maître de conférences
- M. TIRET Laurent, Professeur

DISCIPLINE: VIROLOGIE

Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences *

DISCIPLINE: SCIENCES DE GESTION ET DE MANAGEMENT

Mme FOURNEL Christelle, Maître de conférences contractuel

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 temps et votre disponibilité lors de cette thèse, Merci pour vos enseignements en anatomie, clairs et organisés, Merci pour nous avoir fait découvrir l'endurance équestre.

Au Professeur COURREAU Jean-François, Professeur émérite à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,

Qui m'a fait l'honneur de participer à ce jury de thèse, Merci pour votre relecture.

Au Docteur BARREY Eric,

Qui m'a fait l'honneur de participer à ce jury de thèse, Merci pour votre temps.

A ma famille, mes amis et Ludo,

Merci

TABLE DES MATIERES

SC	MMAIF	RE DES TABLEAUX	4
SC	MMAIF	RE DES FIGURES	8
LIS	STE DE	ES ANNEXES	10
LIS	STE DE	S ABBREVIATIONS	11
IN	ΓRODU	CTION	12
PR	EMIER	E PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
l.	Prése	entation de la discipline	13
	1. Le	s différents types d'épreuves	13
	1.1	Les épreuves FFE (Fédération Française d'Equitation, 2013)	13
	1.2	Le circuit des épreuves jeunes chevaux ou épreuve d'élevage SHF (Société Hippique Française, 2013)	15
	1.3	Concours d'élevage dotés par l'institut français du cheval et de l'équitation (D'après Institut français du cheval et de l'équitation, 2010)	17
2	2. Dé	roulement d'une épreuve d'endurance (D'après Fédération Française d'Equitation, 20	013).18
	2.1	Les étapes de la courses	18
	2.2	Déroulement des contrôles vétérinaires	19
II.	Relati	ion entre conformation et performance chez le cheval d'endurance	19
	1. Re	elation entre conformation, performance, contre performance et longévité	19
2	2. Re	elation entre conformation et locomotion	31
3	3. Ev	olution de la conformation chez le jeune cheval	34
III.	Appoi	rt de l'étude des jeunes chevaux pour la sélection du cheval d'endurance	40
,		ppels théoriques nécessaires à la compréhension de la mise en place d'un plan sélection.	40
	1.1	La performance, un caractère régi par les lois de la génétique quantitative	40
	1.2	Le progrès génétiques et ses paramètres (D'après Verrier et al., 2001)	43
	1.3	Les quatre grandes modalités de sélection et leurs incidences sur le progrès génét	ique.44
2	2. Mi	se en place de la sélection du cheval de sport et d'endurance en France	47
	2.1	Les étapes d'un plan de sélection (D'après Verrier et al., 2001)	47
	2.2	Gestion administrative de la sélection en France	47
	2.3	Les objectifs de sélection	48
	2.4	Evaluation des reproducteurs : indices génétiques.	54
	2.5	Evaluation des jeunes chevaux	55

DEUXIEN	E PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE	66
I. Maté	iels et méthodes	65
1. Po	pulation de l'étude	65
2. Pr	otocole expérimental	65
2.1	Information sur les chevaux	65
2.2	Mensurations	66
2.3	Mesure du poids	66
2.4	Notation de l'état corporel	66
2.5	Mesures photométriques	66
2.6	Indices corporels	69
2.7	Calcul de la surface corporelle	69
2.8	Rapports corporels	69
3. Tr	aitement des données et analyse des résultats	69
II. Résu	tats	72
1. Ca	ractéristiques des chevaux de l'étude	72
1.1	Age	72
1.2	Sexe	72
1.3	Race	72
2. Et	ude descriptive des résultats de l'étude	73
2.1	Mensurations	73
2.2	Poids	75
2.3	Note d'état corporel	75
2.4	Résultats photométriques	76
2.5	Rapports, indices corporels et surface	77
2.6	Corrélations entre les mesures	77
3. Inf	luence de l'âge, de la race et du sexe sur les mensurations	79
3.1	Groupes d'âge	79
3.2	Groupes d'âge : comparaison des chevaux arabes uniquement	81
3.3	Groupes de race	83
3.4	Groupes de sexe	86
4. Ev	aluation de la performance	87
5. Et	ude analytique : relations entre les différents paramètres et la performance	92
5.1	Relation mensurations, poids, NEC-performance	92
5.2	Relation mesures photométriques-performance	95
5.3	Relation indices corporels-performance	98
5.4	Relation surface corporelle et indices surfaciques-performance	100
5.5	Relations rapports corporels - performance	102

Discuss	sion	.106
. Prot	ocole d'étude	.106
1.1	Recrutement des chevaux et population d'étude	.106
1.2	Paramètres mesurés sur le terrain	.107
1.3	Validité de la mesure des performances	.108
1.4	Analyses statistiques	.109
. Rés	ultats	.110
2.1	Apports de l'étude	.110
2.2	Limites	.126
. Pers	spectives	.126
3.1	Perspectives pratiques	.126
3.2	Perspectives scientifiques	.126
NCLUSI	ON	.127
LIOGRA	NPHIE	.129
NEXES		.134
	. Prot 1.1 1.2 1.3 1.4 . Rési 2.1 2.2 . Pers 3.1 3.2 NCLUSI	1.1 Recrutement des chevaux et population d'étude 1.2 Paramètres mesurés sur le terrain 1.3 Validité de la mesure des performances 1.4 Analyses statistiques Résultats 2.1 Apports de l'étude 2.2 Limites Perspectives 3.1 Perspectives pratiques

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Les différentes catégories d'épreuves pour les niveaux club et amateur (FFE, 2013) Tableau 2 - Conditions à remplir par le cavalier pour s'engager sur des courses à vitesse	
imposée (FFE, 2013)	
vitesse libre (FFE,2013)	
(FFE, 2013) Tableau 5 - Qualifications recquises pour l'engagement du cheval sur une course (FFE, 2013)	15
Tableau 6 - Les différents types d'épreuves jeunes chevaux (Société Hippique Française, 2013) Tableau 7 - Conditions d'attribution des points en championnat (Société Hippique Française, 2013) Tableau 8 - Correspondance entre l'appréciation obtenue par le cheval et le nombre de	.17
points obtenus en championnat (Société Hippique Française, 2013)	17
performanceTableau 10 - Synthèse bibliographique des études relatives au lien entre conformation et	21
contre-performance	28
Tableau 11 - Evolution du poids et de la hauteur du poulain en % de la taille ou du poids adulte (Martin-Rosset, 2012)	35
Tableau 12Evolution du poids au cours de la croissance du cheval pur-sang arabe de Pologne en comparaison avec des chevaux prussiens et mecklenburg (Flade, 1958)	39
Tableau 13 - Valeurs de l'héritabilité et conséquences pratiques pour l'amélioration génétique (D'après Hallais, 2012)	42
Tableau 14 - Incidence des méthodes de sélection sur les trois paramètres techniques du	
progrès génétique (D'après Verrier, 2004)	46
(D'après Ricard <i>et al.</i> , 2000 ; Ricard et Chanu, 2001 ; Ricard et Touvais, 2007)	50
(D'après Saastamoinnen et Barrey, 2000)	52
(D'après Saastamoinen et Barrey 2000)	53
Tableau 18 - Héritabilités estimées pour quelques critères mesurés par la méthode Equimétrix, sur des chevaux de selle francais (D'après Danvy, 2008)	53
Tableau 19 - Héritabilité de quelques trait morphologiques évalués par morphologie 3D sur des chevaux de selle Français (D'après Danvy, 2008)	54
Tableau 20 - Héritabilité (diagonale) corrélations génétiques (triangle supérieur) et phénotypiques (triangle inférieur) en CSO pour le Log(gain annuel) selon l'âge	
(D'après Danvy, 2008)	
en compétition de dressage à l'âge adulte	
en compétition de CSO à l'âge adulte Tableau 23 - Organisation des tests jeunes chevaux, destinés au dressage et CSO,	
en Europe (D'après Thoren-hellsten et al., 2006)	62
(différence exprimée en % par rapport au schéma de référence) (D'après Dubois et Ricard, 2001) cités par (Danvy, 2008)	63
Tableau 25 - Caractéristiques des lieux de recrutement des chevaux de l'étude	65

Tableau 27 - Définitions des variables de conformation mesurées par analyse d'images	
numériques	68
Tableau 28 - Modalités d'attribution des points championnats (Société hippique française, 2013)	70
Tableau 29 - Modalités d'attribution des appréciations en fonction de l'âge des chevaux	
(Société hippique française, 2013)	
Tableau 30 - Répartition des 533 chevaux de l'étude selon leur race	73
Tableau 31 - Valeurs des mesures photométriques calculées pour 528 jeunes chevaux	
(Les mesures sont exprimées en m et les angles en degré)	76
Tableau 32 - Valeurs des rapports corporels, surfaces et indices surfaciques calculées sur 528	
jeunes chevaux	77
Tableau 33 - Corrélations entre les mensurations, poids et NEC des chevaux	78
Tableau 34 - Synthèse des mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes entre	
les groupes d'âge	79
Tableau 35 - Synthèse des mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement	
différentes entre les groupes d'âge	79
Tableau 36 - Synthèse des indices et rapports corporels (valeurs moyennes)	
significativement différents entre les groupes d'âge	80
Tableau 37 - Synthèse des mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes entre	
les groupes d'âge de race arabe	81
Tableau 38 - Synthèse des mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement	
différentes entre les groupes d'âge de race arabe	82
Tableau 39 - Synthèse des indices et rapports corporels (valeurs moyennes)	
significativement différents entre les groupes d'âge de race arabe	83
Tableau 40 - Synthèse des mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes entre	
les groupes de race	83
Tableau 41 - Synthèse des mesures photométriques (valeurs moyennes)	00
significativement différentes entre les groupes de race	84
Tableau 42 - Synthèse des indices et rapports corporels (valeurs moyennes)	07
significativement différents entre les groupes de race	85
Tableau 43 - Synthèse des mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes entre	00
les groupes de sexe	86
Tableau 44 - Synthèse des mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement	00
	86
différentes entre les groupes de sexe	00
Tableau 45 - Synthèse des indices et rapports corporels (valeurs moyennes)	07
significativement différents entre les groupes de sexe	01
Tableau 46 - Mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes selon la qualification	00
du cheval (chevaux de 4 ans)	92
Tableau 47 - Mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes entre les	00
groupes d'appréciation (« Non qualifiés » inclus) (chevaux de 4 ans)	93
Tableau 48 - Mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes entre les	00
groupes d'appréciation (« Non qualifiés » exclus) (chevaux de 4 ans)	93
Tableau 49 - Mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes entre les	
groupes d'appréciation (« Non qualifiés inclus ») (chevaux de 5 ans)	94
Tableau 50 - Mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes entre les	
groupes d'appréciation (« Non qualifiés » exclus) (chevaux de 5 ans)	94
Tableau 51 - Mensurations (valeurs moyennes) significativement différentes entre les	_
groupes d'appréciation (« Non qualifiés » exclus) (chevaux de 6 ans)	94
Tableau 52 - Corrélations significatives entre la fréquence cardiaque à l'arrivée et les	
mensurations (chevaux de 5 ans)	95
Tableau 53 - Mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement différentes selon	
la qualification du cheval (chevaux de 4 ans)	95
Tableau 54 - Mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement différentes entre	
les groupes d'appréciation (« Non qualifiés » inclus) (chevaux de 4 ans)	95

Tableau 55 - Mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement différentes entre	
les groupes d'appréciation (« Non qualifiés » exclus) (chevaux de 4 ans)	96
Tableau 56 - Mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement différentes entre	
les groupes d'appréciation (« Non Qualifiés » inclus) (chevaux de 5 ans)	96
Tableau 57 - Mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement différentes entre	
les groupes d'appréciation (« Non Qualifiés » exclus) (chevaux de 5 ans)	96
Tableau 58 - Mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement différentes entre	
les groupes d'appréciation (« Non qualifiés » inclus) (chevaux de 6 ans)	96
Tableau 59 - Mesures photométriques (valeurs moyennes) significativement différentes entre	
les groupes d'appréciation (« Non qualifiés » exclus) (chevaux de 6 ans)	97
Tableau 60 - Corrélations significatives entre la fréquence cardiaque à l'arrivée et les	
mesures photométriques (chevaux de 4 ans)	97
Tableau 61 - Correlations significatives entre la vitesse moyenne sur la course et les	
mesures photométriques (chevaux de 4 ans)	97
Tableau 62 - Corrélations significatives entre la vitesse moyenne sur la course et les	
mesures photométriques (chevaux de 5 ans)	98
Tableau 63 - Corrélations significatives entre les mesures morphologiques et les indices IRE	
vitesse	98
Tableau 64 - Corrélations significatives entre les mesures photométriques et les indices IRE	
globaux	98
Tableau 65 - Indices et rapports corporels (valeurs moyennes) significativement différents entre	
les groupes d'appréciation (« Non qualifiés inclus ») (chevaux de 4 ans)	99
Tableau 66 - Indices et rapports corporels (valeurs moyennes) significativement différents entre	
les groupes d'appréciation (« Non qualifiés exclus ») (chevaux de 4 ans)	99
Tableau 67 - Indices et rapports corporels (valeurs moyennes) significativement différents entre	
les groupes d'appréciation (« Non qualifiés inclus ») (chevaux de 5 ans)	99
Tableau 68 - Indices et rapports corporels (valeurs moyennes) significativement différents entre	
les groupes d'appréciation (« Non qualifiés exclus ») (chevaux de 5 ans)	99
Tableau 69 - Indices et rapports corporels (valeurs moyennes) significativement différents entre	
les groupes d'appréciation (« Non qualifiés » exclus) (chevaux de 6 ans)	100
Tableau 70 - Surfaces corporelles et indices surfaciques (valeurs moyennes)	
significativement différents entre les groupes d'appréciation (« Non qualifiés » inclus)	
(chevaux de 4 ans)	100
Tableau 71 - Surfaces corporelles et indices surfaciques (valeurs moyennes)	
significativement différents entre les groupes d'appréciation (« Non qualifiés » exclus)	
(chevaux de 4 ans)	101
Tableau 72 - Surfaces corporelles et indices surfaciques (valeurs moyennes)	
significativement différents entre les groupes d'appréciation (« Non qualifiés » inclus)	
(chevaux de 5 ans)	101
Tableau 73 - Surfaces corporelles et indices surfaciques (valeurs moyennes)	
significativement différents entre les groupes d'appréciation (« Non qualifiés » exclus)	
(chevaux de 5 ans)	101
Tableau 74 – Indices et rapports corporels significativement différents (valeurs moyennes) selon	
la qualification du cheval (chevaux de 4 ans)	102
Tableau 75 – Indices et rapports corporels significativement différents (valeurs moyennes) selon	
la qualification du cheval (chevaux de 5 ans)	102
Tableau 76 – Indice et rapports significativement différents (valeurs moyennes) entre les	
groupes d'appréciation (« Non qualifié » exclus) (chevaux de 4 ans)	102
Tableau 77 - Corrélations significatives entre la fréquence cardiaque à l'arrivée et les	
rapports corporels (chevaux de 4 ans)	103
Tableau 79 - Tableau récapitulatif des résultats	
Tableau 80 - Répartition de l'ensemble des engagés (engagés tardifs exclus) sur les	
finales d'endurance jeunes chevaux 2011, 2012 et 2013 en fonction de leur sexe	106

Tableau 81 - Répartition de l'ensemble des engagés (engagés tardifs exclus) sur les	
finales d'endurance jeunes chevaux 2011, 2012 et 2013 en fonction de leur race	.106
Tableau 82 - Taux de participation aux mesures GenEndurance pendant les finales jeunes	
chevaux endurance	.107
Tableau 83 - Résultats de l'analyse de variance testant l'effet du facteur « session de mesure »	.107
Tableau 84 - Répartition des chevaux en fonction de leur race ou de leur sexe dans les	
échantillons de (Tribout, 2013) (colonne chevaux ≥7ans)	
et de notre étude (colonne jeunes chevaux)	.111
Tableau 85 - Résultat du test de Student comparant les moyennes des mensurations des	
échantillons de (Tribout, 2013) (colonne chevaux ≥7 ans) et de l'échantillon des jeunes	
chevaux de notre étude (colonne jeunes chevaux)	.112
Tableau 86 - Résultat du test de Student comparant les moyennes des mesures photométriques	
des échantillons de (Tribout, 2013) (colonne chevaux ≥7 ans) et de l'échantillon des jeunes	
chevaux de notre étude (colonne Jeunes chevaux)	.115
Tableau 87 - Résultat du test de Student comparant les moyennes des indices et rapports	
corporels des échantillons de (Tribout, 2013) (colonne chevaux ≥7 ans) et de l'échantillon des	
jeunes chevaux de notre étude (colonne Jeunes chevaux)	.116
Tableau 88 - Coefficient d'allométrie des segments osseux du membre antérieur	
(D'après Julliand et Rosset, 2005)	.119
Tableau 89 - Coefficient d'allométrie des segments osseux du membre posterieur	
(D'après Julliand et Rosset, 2005)	.119

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Effets d'un changement de 5° de l'inclinaison de l'épaule	
Figure 2 - Comparaison des angulations du membre en fonction de la qualité du trot - Schéma de	
l'antérieur au moment où le pied entre en contact avec le sol, au trot (Holmstrom, 2001)	33
Figure 3 - Evolution du poids vif et de la hauteur au garrot du cheval de selle en fonction de son	
âge (Martin-Rosset, 2012)	
Figure 4 - Evolution du format de la naissance à l'âge adulte (Julliand et Martin-Rosset, 2005)	36
Figure 5 - Niveau de croissance des principaux tissus en fonction du temps et selon la précocite de	9
la race (Hammond,1932) cité par (Devillard, 2003)	37
Figure 6 - Croissance relative du squelette entre la naissance et 30 mois. Coefficients	
d'allométrie des régions anatomiques du squelette (Julliand et Martin-Rosset, 2005)	38
Figure 7 - Croissance relative des régions musculaires entre la naissance et 30 mois	
Coefficients d'allométrie des parties anatomiques de la musculature (Julliand et Rosset, 2005)	38
Figure 8 - Facteurs du milieu à prendre en compte lors de l'évaluation d'une performance	
sportive (D'après Courreau, 2010)	40
Figure 9 - Ecart type de la valeur génétique additive du caractère selectionné	
(D'après Verrier et al., 2001)	44
Figure 10 - Intervalle de génération en fonction des espèces (en années)	
(D'après Verrier et al., 2001)	44
Figure 11 - Organisation administrative de la filière équine française (Danvy, 2008)	47
Figure 12 - Extrait du catalogue des étalons ACA 2014 (Association du Cheval Arabe, 2014)	51
Figure 13 - Placement des gommettes sur les points anatomiques à prendre en compte pour le	
test de conformation (Barrey,2000)	67
Figure 14 - Traitement informatique des images	
Figure 15 - Répartition des 533 chevaux de l'étude selon leur âge au moment des mesures	
Figure 16 - Répartition des 533 chevaux de l'étude selon leur sexe	
Figure 17 - Distribution des 533 chevaux de l'étude selon la race	
Figure 18 - Distribution des 533 chevaux en fonction de la hauteur au garrot (cm)	
Figure 19 - Distribution des 533 chevaux en fonction du périmètre thoracique PT (m)	
Figure 20 - Distribution des 532 chevaux en fonction de la longueur corporelle LC (m)	
Figure 21 - Distribution des chevaux en fonction de l'épaisseur du pli cutané (mm)	
Figure 22 - Distribution des 477 chevaux en fonction du poids (kg)	
Figure 23 - Distribution des chevaux en fonction de leur note d'état corporel	
Figure 24 - Distribution des fréquences cardiaques à l'arrivée des chevaux de 4 ans	
Figure 25 - Distribution des vitesses moyennes des chevaux de 4 ans	
Figure 26 - Proportion des chevaux de 4 ans qualifiés et non qualifiés	
Figure 27 - Répartition des appréciations dans le groupe des 117 chevaux de 4 ans	
Figure 29 - Distribution des vitesses moyennes des chevaux de 5 ans	
Figure 30 - Proportion des chevaux de 5 ans qualifiés et non qualifiés	
Figure 32 - Distribution des fréquences cardiaques à l'arrivée des chevaux de 6 ans	
Figure 33 - Distribution des vitesses moyennes des chevaux de 6 ans	
Figure 34 - Proportion des chevaux de 6 ans qualifiés et non qualifiés	
Figure 35 - Répartition des appréciations dans le groupe des 204 chevaux de 6 ans	
Figure 36 - Représentation de la moyenne, médiane et interquartiles de la hauteur au garrot au	
sein de l'échantillon de jeunes chevaux de notre étude et au sein de l'échantillon de chevaux	
adultes de (Tribout, 2013)adultes de l'adultes de l	112
Figure 37 - Représentation de la moyenne, médiane et interquartiles du périmètre thoracique au	112
sein de l'échantillon de jeunes chevaux de notre étude et au sein de l'échantillon de chevaux adultes de (Tribout, 2013)	112
Figure 38 - Représentation de la moyenne, médiane et interquartiles du poids au sein de	113
l'échantillon de jeunes chevaux de notre étude et au sein de l'échantillon de chevaux adultes	
de (Tribout, 2013).	112
UC TITIDOUL &OTOT	. I I O

Figure 39 - Représentation de la moyenne, médiane et interquartiles de la longueur corporelle	au
sein de l'échantillon de jeunes chevaux de notre étude et au sein de l'échantillon de chevaux	
adultes de (Tribout, 2013)	113
Figure 40 - Récapitulatif de l'évolution des mensurations avec l'âge	117
Figure 41 - Récapitulatif de l'évolution des proportions du membre antérieur avec l'âge	118
Figure 42 - Récapitulatif de l'évolution des proportions du membre postérieur	119
Figure 43 - Récapitulatif des associations entre longueur corporelle et perfomance	121
Figure 44 - Récapitulatif des associations entre format et performance	121

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Corrélations entre les mesures photométriques

LISTE DES ABBREVIATIONS

ACA = Association Nationale Française du Cheval Arabe pur-sang et demi-sang

BLUP = Best Linear Unbiased Prediction

CCE = Concours Complet d'Equitation

CNREE = Comité National des Raids Equestre d'Endurance

CSO = Concours de Saut d'Obstacle

ENVA = Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort

FFE = Fédération Française d'Equitation

FEI = Fédération Equestre Internationale

GECE = Groupement des Eleveurs de Chevaux d'Endurance

HG = Hauteur au Garrot

IC = Indice Corporel

IFCE = Institut Français du Cheval et de l'Equitation

INRA = Institut National de la Recherche Agronomique

INSERM = Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

IRE = Indices de performance en Raids d'Endurance

IS = Indice surfacique

LC = Longueur Corporelle

NEC = Note d'Etat Corporel

PC = Pli Cutané

PEE = Programme d'Elevage Endurance

PT = Périmètre Thoracique

S = Surface

SD = Standard Deviation

SHF = Société Hippique Française

SIRE = Système d'Information Relatif aux Equidés

L'endurance équestre est une pratique sportive en pleine évolution. Le but des épreuves d'endurance est d'amener le cheval le plus rapidement possible sur de longues distances tout en conservant un parfait état de santé.

Lors des jeux équestres mondiaux 2014, 3 % les chevaux qui ont pris le départ de la course sont nés et ont été entraînés en France. Sur les 15 premiers classés, il y avait 12 chevaux français. Face à ce succès des chevaux d'endurance français, les acteurs de la filière sont désireux de structurer et d'améliorer la sélection du cheval d'endurance en France. Pour le moment, en dehors du cycle jeunes chevaux et de la sélection sur performance, il n'y a pas d'éléments de sélection spécifiques de la discipline.

C'est ainsi qu'est né le projet GenEndurance, dont le but est de développer des outils de sélection précoces et efficaces, qui pourront être intégrés aux actuels PEE (Programme Elevage Endurance) mis en place par l'ACA (Association Nationale Française du Cheval Arabe pur-sang et demi-sang).

Le projet GenEndurance résulte 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 Génopole d'Evry et codirigé par le Docteur Céline Robert de l'ENVA et le Docteur Eric Barrey de l'INSERM. Le projet 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 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.

Notre travail porte sur l'aspect morphométrique du programme GenEndurance et complète le travail de (Tribout, 2013). Il cherche à répondre aux questions suivantes : existe—t—il une conformation corrélée à la performance en course, que les éleveurs pourraient repérer dès le plus jeune âge des chevaux ? Les critères morphologiques liés à la performance mis en évidence par (Tribout, 2013) sont-ils similaires chez les jeunes chevaux ?

Tout d'abord, la partie bibliographique de notre travail présente la discipline, puis fait le point sur les relations entre conformation et performance déjà mises en évidence dans la littérature ; elle rappelle l'évolution de la morphologie du jeune cheval de la naissance à l'âge adulte, explique l'intérêt de l'étude des jeunes chevaux et enfin, expose les bases théoriques de la mise en place d'un programme de sélection. L'étude expérimentale vise à évaluer l'évolution de la morphologie du jeune cheval d'endurance avec l'âge et à rechercher chez les jeunes chevaux des critères morphologiques éventuellement liés à la performance.

PARTIE 1: Etude bibliographique

I. PRESENTATION DE LA DISCIPLINE

L'endurance équestre est une discipline d'extérieur, où le couple cavalier cheval, court seul ou en groupe, sur un itinéraire balisé, à vitesse libre ou imposée. La course est interrompue par des examens vétérinaires validant ou non la capacité du cheval à continuer la course.

1. LES DIFFERENTS TYPES D'EPREUVES

1.1 Les épreuves FFE (Fédération Française d'Equitation, 2013)

Ces épreuves d'endurance sont ouvertes aux chevaux à partir de 4 ans. Il existe différents types d'épreuves en fonction de la distance à parcourir (de 10 km à 160 km) et en fonction de la vitesse à laquelle la course se déroule. Soit la vitesse est imposée (de 6-8 km/h à 12-16 km/h), soit la vitesse est libre, avec une vitesse minimale de 12 km/h.

Les épreuves sont classées en trois catégories : le circuit club, le circuit amateur et le circuit international. Les catégories club et amateur sont réglementées par la FFE (Fédération française d'équitation) tandis que le circuit international est réglementé par la FEI (Fédération équestre internationale). Le tableau 1 présente les différentes catégories d'épreuves de niveau club et amateur.

TABLEAU 1 - LES DIFFERENTES CATEGORIES D'EPREUVES POUR LES NIVEAUX CLUB ET AMATEUR (FFE, 2013)

Divisions	Epreuves	Distance (km)	Vitesse (km/h)
	Club A	10	6 à 8
	Club A Relais	2 x 10	6 à 8
	Club Poney 4	10	8 à 10
	Club Poney 4 Relais	2 x 10	8 à 10
	Club 4	10	10 à 12
CLUD	Club 4 Relais	2 x 10	10 à 12
CLUB _	Club 3	20	10 à 12
	Club 3 Relais	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 4	20	12 à 15
	Amateur 4 Spéciale	30	12 à 15
AMATEUR	Amateur 3	40	12 à 15
Epreuves ouvertes	Amateur 2	60	12 à 15
aux licenciés	Amateur 1	90	12 à 16
Amateur et Pro	Amateur 1 GP	90	Libre, 12km/h minimum
	Amateur Elite	130	Libre, 12km/h minimum
	Amateur Elite GP	160	Libre, 12km/h minimum

Pour participer à une course d'endurance, chevaux et cavaliers doivent remplir certaines conditions, variables en fonction du niveau de la course. Pour l'ensemble des épreuves d'endurance (sauf club A), le cheval et le cavalier doivent s'être qualifiés, ensembles ou séparément, dans une course de distance inférieure. Autrement dit, cheval et cavalier doivent obligatoirement s'être qualifiés sur une 20 km avant de pouvoir s'engager sur une 40 km, et se qualifier sur une 40 km pour pouvoir courir une 60 km, et ainsi de suite. Les qualifications pour le cavalier et le cheval au niveau national

sont à durée illimitée. Les conditions de participation aux courses sont résumées dans les tableaux 2 et 3 (FFE, 2013).

TABLEAU 2 - CONDITIONS A REMPLIR PAR LE CAVALIER POUR S'ENGAGER SUR DES COURSES A VITESSE IMPOSEE (FFE, 2013)

Epreuves	Qualifications	Age minimum
Club A, Club Poney 4, Club 4, Club 3,Club 2	Galop 2 pour cavalier de 18 ans et moins	- 12 ans ou plus jeune
Club 2 Spéciale, Cub 1, Club Elite	1 classement minimum en Club 2 ou en Amateur 4	si accompagné par un concurrent majeur
Club Elite GP	1 classement minimum en Club 2 Spéciale ou en Club Elite ou en Amateur 4 Spéciale, Amateur 3	oondaren majear
Amateur 4	-	
Amateur 3, Amateur 4 Spéciale	1 classement minimum en Club 2 ou en Amateur 4 - Pas de classement obligatoire pour les licenciés Pro	12 ans OU 11 et 10 ans si accompagné par un concurrent
Amateur 2	1 classement minimum en Club 2 Spéciale, ou en Club Elite ou en Amateur 4 Spéciale, Amateur 3	majeur
Amateur 1	1 classement minimum en Club Elite GP ou en Amateur 2	12 ans

TABLEAU 3 - CONDITIONS A REMPLIR PAR LE CAVALIER POUR S'ENGAGER SUR DES COURSES A VITESSE LIBRE (FFE, 2013)

Epreuves	Qualifications minimum	Poids	Age minimum
Amateur 1 GP	1 classement en Amateur 1	Libre	
Amateur Elite	1 classement en A mateur 1 GP ou CEI*	70kg	14 ans
Amateur Elite GP	1 classement en Amateur Elite en couple ou CEI**	75kg	

Les tableaux 4 et 5 présentent les conditions à remplir par le cheval pour pouvoir l'engager sur une course. Des conditions d'âge, de taille et de qualifications doivent être remplies par le cheval. Il existe aussi un maximum de courses que le cheval peut courir par jour en fonction de son âge et de la distance de la course.

TABLEAU 4 - CONDITIONS D'AGE ET DE TAILLE A REMPLIR PAR LE CHEVAL POUR S'ENGAGER SUR UNE COURSE (FFE, 2013)

Epreuves	Tailles	Age minimum	
Club A	A		
Club Poney 4	B, C, D	4 ans	
Club 4, Club 3, Club 1, Club Elite, Amateur 4, Amateur 3,	BCDE	4 ans	
Amateur 4 Spéciale	B, C, D, E		
Club Elite GP, Amateur 2, Amateur 1, Amateur 1 GP	C, D, E	5 ans	
Amateur Elite	C, D, E	6 ans	
Amateur Elite GP	C, D, E	7 ans	

TABLEAU 5 - QUALIFICATIONS RECQUISES POUR L'ENGAGEMENT DU CHEVAL SUR UNE COURSE (FFE, 2013)

Epreuves	Qualifications minimum		
Epreuves à vitesse imposée			
Club A, Club Poney 4, Club 4, Club 3, Club 2	-		
Club 2 Spéciale, Club 1, Club Elite	1 classement en Club 2 ou en Amateur 4		
Club Elite GP	1 classement en Club Elite ou en Club 2 Spéciale ou en Amateur 3 ou en Amateur 4 Spéciale		
Amateur 4	-		
Amateur 3, Amateur 4 Spéciale	1 classement en Club 2 ou en Amateur 4 - Pas de classement préalable obligatoire pour les licenciés Pro		
Amateur 2	1 classement en Club Elite ou en Club 2 Spéciale ou en Amateur 3 ou en Amateur 4 Spéciale		
Amateur 1	1 classement en Club Elite GP ou en Amateur 2		
	Epreuves à vitesse libre		
Amateur 1 GP	1 classement en Amateur 1		
Amateur Elite	1 classement dans les 12 derniers mois en Amateur 1 GP ou en CEI* OU 1 classement dans les 24 derniers mois en Amateur 1 GP ou en CEI * + 1 classement au minimum en épreuve Amateur 2 dans les 12 derniers mois		
Amateur Elite GP	1 classement dans les 12 derniers mois en Amateur Elite ou en CEI** OU 1 classement dans les 24 derniers mois en Amateur Elite ou en CEI ** + 1 classement au minimum en épreuve Amateur 2 dans les 12 derniers mois		

1.2<u>Le circuit des épreuves jeunes chevaux ou épreuve d'élevage SHF</u> (Société Hippique Française, 2013)

Les épreuves dites "jeunes chevaux" sont organisées par la Société hippique française (SHF), dont le but est de promouvoir l'élevage en France. Ces épreuves sont réservées aux chevaux de 4, 5 et 6 ans inscrits au livre généalogique des races reconnues en France. Ces épreuves jeunes chevaux sont distinctes des épreuves FFE ou FEI. Elles se déroulent à l'écart des autres types d'épreuves, en général la veille ou le lendemain d'épreuves FFE ou FEI. Un organisateur qui programmerait le même jour des épreuves FFE et des épreuves élevage se verrait privé des aides financières de fonctionnement apportées par la SHF.

Le circuit des épreuves d'élevage d'endurance comporte des épreuves régionales, interrégionales (facultatives) et nationales. La finale est traditionnellement organisée en automne à Uzès (Gard).

TABLEAU 6 - LES DIFFERENTS TYPES D'EPREUVES JEUNES CHEVAUX (SOCIETE HIPPIQUE FRANÇAISE, 2013)

Type d'épreuve	Age des chevaux participants	Distance de l'épreuve	Vitesse imposée pour l'épreuve	
	4 ans	20 km	10 à 12 km/h	
	5 ans	20 km	12 à 15 km/h	
	5 alls	40 km	12 a 15 kill/ll	
Régionale		20 km		
	6 ans	40 km	12 à 15 km/h	
	o ans	60 km		
		90 km	12 à 16 km/h	
	4 ans	20 km	12 à 15 km/h	
Interrégionale	5 ans	40 km	12 à 15 km/h	
	6 ans	90 km	12 à 16 km/h	
	5 ans	60 km	12-15 km/h.	
Finale Nationale	Cons	00 lenn	12 à 16 km/h	
	6 ans	90 km	Vitesse libre	

Pour participer aux épreuves jeunes chevaux, les cavaliers doivent s'être qualifiés sur des épreuves FFE ou jeunes chevaux de niveaux inférieurs : pour pouvoir s'engager sur une 40 km, le cavalier doit s'être qualifié sur une 20 km ; pour s'engager sur une 60 km, il doit s'être qualifié sur une 40 km. Le passage par une course interrégionale est facultatif pour accéder aux finales nationales. Pour les chevaux, la qualification doit se faire sur une épreuve d'élevage de niveau inférieur.

1.2.1 Epreuves jeunes chevaux 4 ans

Comme le montre le tableau 6, le circuit des épreuves de 4 ans comporte des épreuves régionales et interrégionales. Il n'y a pas de classement sur les épreuves 4 ans. La **course régionale** se court sur une distance de 20 km à la vitesse imposée de 10 à 12 km/h. Les **courses interrégionales** d'élevage sont constituées d'une course de 20 km (vitesse imposée 12 à 15 km) et d'un test de modèle et allure. Ce test a lieu après la course. Il consiste en une présentation montée aux trois allures au cours de laquelle le jury évalue l'aisance, l'amplitude et l'engagement du cheval et d'une présentation en main, qui permet de noter le modèle du cheval (arrière-main, avant-main, membres et pieds) ainsi que la symétrie et rectitude des allures. A l'issue de l'épreuve de présentation, chaque cheval reçoit une appréciation : Excellent, Très bon, Bon ou Sans mention. De plus, le jury signale les points forts et les points faibles de chaque cheval.

1.2.2 Epreuves jeunes chevaux 5 ans

Le circuit des épreuves de 5 ans comporte des épreuves régionales, interrégionales et une finale nationale. Aucun classement n'est effectué sur les épreuves de 5 ans.

Lors des **épreuves régionales**, les 5 ans concourent sur 20 km puis sur 40 km. Les épreuves **interrégionales** se courent sur 40 km. La **finale nationale 5 ans** est ouverte aux chevaux s'étant qualifiés sur une épreuve d'élevage de 40 km. La finale nationale des 5 ans est une course de 60 km à vitesse imposée comprise entre 12 km/h et 15 km/h. Tous les jeunes chevaux classés en finale concourent pour le **championnat**.

1.2.3 Epreuves jeunes chevaux 6 ans

Lors des **épreuves régionales**, les 6 ans concourent sur 20 km (12-15 km/h sans classement), puis sur 40 km (12-15 km/h sans classement), puis sur 60 km (12-15 km/h, classement selon les règles des épreuves F.F.E.) et sur 90 km vitesse imposée (12-16 km/h sans classement). Les épreuves **interrégionales** 6 ans se courent sur 90 km (12-16 km/h avec classement selon les règles des épreuves F.F.E.). La **finale nationale 6 ans vitesse imposée** se court sur 90 km entre 12 km/h minimum et 16 km/h maximum. Il n'y a pas de classement au chronomètre lors de cette épreuve.

Tous les jeunes chevaux classés à l'épreuve finale sur 90 km concourent pour le championnat 6 ans vitesse imposée. La finale nationale 6 ans vitesse libre se court sur 90 km. Tous les jeunes chevaux classés en finale concourent pour le championnat jeune chevaux 6 ans vitesse libre.

1.2.4 Championnat

Le championnat ne concerne que les jeunes chevaux s'étant classés sur une des épreuves finales suivantes : jeune chevaux 5 ans, 6 ans vitesse imposée ou 6 ans vitesse libre. Le championnat catégorise les jeunes chevaux en fonction des critères de vitesse, de capacité de récupération et d'allure générale. L'attribution des points diffère en fonction des catégories d'épreuves (tableau 7).

TABLEAU 7 - CONDITIONS D'ATTRIBUTION DES POINTS EN CHAMPIONNAT (SOCIETE HIPPIQUE FRANÇAISE, 2013)

	Championnat 5 ans	Championnat 6 ans, vitesse imposée	Championnat 6 ans, vitesse libre
Point vitesse	Un point pour les chevaux ayant bouclé le parcours à une vitesse ≥ à 14 km/h et ≤ à 15 km/h.	/	Deux points pour les chevaux ayant bouclé le parcours à une vitesse ≥ à 17,2 km/h. ou un point pour ceux ayant bouclé le parcours à une vitesse ≥ à 15,5 km/h et < à 17,2 km/h.
Point capacité de récupération	Un point pour les chevaux dont la fréquence cardiaque, mesurée dans les 10 minutes après l'arrivée, n'est pas supérieure à 54 pulsations/minute.		
Point vétérinaire	Un point pour les chevaux satisfaisant à la fois au test allure et à 3 des 4 critères de l'examen métaboliques.		

Le cheval remplit les conditions au test d'allure s'il présente des allures souples, symétriques et régulières.

Les quatre critères métaboliques sont les suivants : le temps de réplétion capillaire et le pli de peau qui ne doivent pas durer plus d'une seconde, la couleur des muqueuses qui doit être évaluée à 3/4. Le dernier critère est la présence de bruits digestifs. En fonction du nombre de points obtenus, les chevaux reçoivent une appréciation (tableau 8).

TABLEAU 8 - CORRESPONDANCE ENTRE L'APPRECIATION OBTENUE PAR LE CHEVAL ET LE NOMBRE DE POINTS OBTENUS EN CHAMPIONNAT (SOCIETE HIPPIQUE FRANÇAISE, 2013)

Nombre de point obtenus lors du championnat	Appréciation
0 point championnat	« Qualifié sur la finale »
1 point championnat	BON endurance
2 points championnat	TRES BON endurance
3 points championnat	EXCELLENT endurance
4 points championnat	ELITE endurance

1.3 Concours d'élevage dotés par l'institut français du cheval et de l'équitation (IFCE, 2010)

Les concours d'élevage sont des manifestations publiques dont l'objectif est double : rôle dans la sélection ainsi que dans la commercialisation et la mise en valeur des produits de l'élevage français. D'une part, ils permettent de mettre en valeur les meilleurs sujets d'une race dans un but de sélection, de caractériser et d'attribuer des qualifications aux reproducteurs selon les objectifs déterminés par le programme d'élevage de la race. D'autre part, ils incitent à la préparation du jeune cheval afin de faciliter sa mise en marché et permettent la rencontre des acteurs de la commercialisation.

Parmi les concours organisés avec le soutien de l'IFCE (concours de reproducteurs chevaux de selle et poneys, épreuves de reproducteurs orientés vers le dressage, concours de chevaux de selle et poney de 3 ans, qualification « loisir »...) il y a le concours d'élevage orientation endurance que nous allons présenter ci-dessous.

L'endurance constituant une discipline nouvelle et en pleine expansion, la base de sélection ne peut actuellement se cantonner au sein d'une ou de quelques races. La liste des chevaux admis aux concours d'élevage endurance est donc assez large. Peuvent participer les chevaux appartenant au stud-book français d'une race de cheval de selle ou poney, au stud-book autre que pur-sang (AQPS) et aux registres anglo-arabe de croisement (AACR), demi-sang, anglo-arabe, demi-sang arabe (DSA), cheval de selle et poney. Sont également admis les sujets qualifiés «origine constatée» inscrits au programme d'élevage par décision de l'ACA (Association nationale française du Cheval Arabe de pur-sang ou demi-sang), ainsi que les juments d'origine inconnue ou non constatée, sous réserve de posséder elles-mêmes un indice endurance supérieur ou égal à 110 ou d'avoir un produit titulaire d'un indice endurance supérieur ou égal à 120.

Les chevaux sont jugés sous l'angle du modèle et des allures et répartis dans les catégories suivantes : les pouliches de 2 ans, les chevaux de trois ans quel que soit leur sexe (hongre compris) et les juments de quatre à vingt-deux ans suitées (sans obligation d'être re-saillies)

La présentation se déroule de la façon suivante : chaque classe doit d'abord défiler au pas et à main droite devant les juges et pendant quelques tours pour une première appréciation du pas et de l'ensemble du lot. Chaque cheval vient ensuite se présenter individuellement à l'arrêt devant le jury. Les 2 et 3 ans, après avoir fait un aller et retour au pas, permettant de juger les aplombs, sont lâchés en liberté afin de pouvoir s'exprimer dans leur équilibre naturel et leur foulée de galop. Pour les poulinières, la présentation au pas est suivie d'une présentation au trot, en triangle, à main droite.

Le jury doit être composé de 3 juges que ce soit au niveau local ou régional : un juge référent ACA qui est de plein droit, président du jury, un ou deux juges « liste B » et éventuellement un juge IFCE. Chaque juge utilise la grille de notation élaborée et validée par l'ACA.

2. DEROULEMENT D'UNE EPREUVE D'ENDURANCE (FFE, 2014)

2.1Les étapes de la courses

2.1.1 Contrôle vétérinaire initial

Avant le départ de la course, le cavalier doit se présenter au contrôle vétérinaire initial. Lors de ce contrôle, le vétérinaire vérifie que le cheval est réglementairement (identification et vaccination) et physiquement (examen clinique initial) apte à participer à la course. La vaccination exigée est celle contre la grippe (FFE, 2014).

2.1.2 Départ

Le départ s'effectue groupé sur les épreuves à vitesse libre ou seul sur les épreuves à vitesse imposée.

2.1.3 Contrôles intermédiaires

Pour les courses de 40 km et plus, la course est divisée en plusieurs étapes. Entre chaque étape, le couple cheval/cavalier doit se soumettre à des contrôles vétérinaires et bénéficie d'un temps de repos, dont la durée varie en fonction du type d'épreuve. Il est d'une heure pour les épreuves en vitesse imposée et de 40 à 50 minutes pour les épreuves vitesse libre. Le cheval peut être éliminé à la suite de l'un de ces contrôles intermédiaires, si le vétérinaire ne le juge pas apte à continuer la course.

2.1.4 Arrivée

A l'arrivée, il y a un contrôle vétérinaire final. Ce contrôle se fait 30 minutes après l'arrivée pour les épreuves à vitesse imposée ou dans les 30 minutes après l'arrivée pour les épreuves vitesse libre. Si le cheval n'est pas éliminé lors de ce contrôle final, il est alors qualifié. Le classement se fait ensuite selon la formule suivante pour les épreuves à vitesse limitée :

((Vitesse x 2) – Vitesse mini) x 100 Fréquence cardiaque finale

Le classement se fait au chronomètre pour les épreuves vitesse libre.

2.2Déroulement des contrôles vétérinaires

Le contrôle vétérinaire est constitué par un examen clinique statique et par un examen dynamique. Lors de l'examen clinique statique, le vétérinaire mesure la fréquence cardiaque. Une fréquence cardiaque supérieure à 64 battements/minute conduit à l'élimination du cheval, et ce quel que soit le type d'épreuve. Le vétérinaire mesure aussi la fréquence respiratoire. Une fréquence respiratoire anormalement élevée associée à une température rectale de 39,5°C ou plus conduit à l'élimination du cheval. La fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire sont des critères mesurables et pour cela nommés « critères de type A ». Le vétérinaire complète son examen clinique par des « critères de type B », qui sont des critères qualitatifs, comme par exemple : la couleur des muqueuses oculaires et buccales, la persistance du pli de peau, le temps de réplétion capillaire, l'intensité des bruits digestifs, les bruits cardiaques anormaux, les mouvements et bruits respiratoires anormaux. L'examen dynamique permet d'évaluer les allures du cheval et de détecter une éventuelle boiterie. L'examen locomoteur se fait sur un aller-retour de 30 mètres au moins, en ligne droite, au trot. Le cheval doit être présenté dessellé et sans protection. Une boiterie est éliminatoire si elle est constante sur le trajet aller-retour au trot sur 30 mètres.

II. RELATION ENTRE CONFORMATION ET PERFORMANCE CHEZ LE CHEVAL D'ENDURANCE

1. Relation entre conformation, performance, contre-performance et longevite

La sélection sur la conformation est ancienne et il est répandu de penser que certains traits morphologiques du cheval influencent positivement ou négativement les performances sportives du cheval ou sa santé locomotrice. Dès Xénophon, nombreux sont les auteurs qui se sont intéressés à cette relation entre performance et conformation, mais il faut attendre l'apparition des outils modernes de mesure et de traitement statistique pour avoir des études qui apportent la preuve scientifique de ce lien, et non plus uniquement des convictions ou des observations des professionnels du cheval issues de leur expérience. Nous proposons ici une revue bibliographique des études qui prouvent l'existence (ou l'absence) de la corrélation entre morphologie et performance.

Comment mettre en évidence, s'il existe, le lien entre la morphologie des chevaux et leurs aptitudes sportives? Une première façon de procéder est de mettre en relation directement les résultats sportifs du cheval avec ses traits de conformation. Il faut pour cela disposer de critères reflétant les capacités sportives réelles du cheval, et ils ne sont pas toujours aisés à établir. Le nombre d'études de ce type est d'ailleurs faible comme le soulignent Holsmtröm et al. (1990). Une autre façon de procéder est d'exploiter les différences morphologiques inter-races, inter-disciplines ou inter-niveau. Ainsi, la comparaison de groupes de chevaux de races utilisées à des fins différentes, de groupes de chevaux spécialisés dans des disciplines différentes, de groupes de chevaux spécialisés dans la même discipline mais à un niveau différent ou encore la comparaison d'un groupe de chevaux spécialisés dans une discipline à haut niveau à un groupe de chevaux n'ayant aucune spécialisation (chevaux de loisir), permet d'apporter une preuve indirecte du lien entre conformation et performance et de répondre en partie à la problématique. Le tableau 9 présente le bilan de dix études menées entre 1990 et 2013 (sauf une menée en 1978) dont l'objectif était de mettre en évidence l'association entre certains traits morphologiques et l'aptitude sportive des chevaux. L'étude de Langlois et al. (1978) compare morphologiquement, d'une part, un groupe de trotteurs français et un groupe de pursang anglais (race spécialisée dans les courses de galop) et d'autre part, un groupe de chevaux considérés comme bons sauteurs à un groupe de chevaux considérés comme mauvais sauteurs. En 1990, le chercheur suédois Hölmstrom travaille sur guatre groupes de chevaux de sport suédois (Swedish Warmblood), un groupe est constitué de chevaux de dressage haut niveau, le deuxième de chevaux de saut d'obstacle de haut niveau, les deux derniers servent de référence et sont constitués

pour l'un de chevaux de loisir issus de plusieurs centres hippiques de Suède et pour l'autre de chevaux de 4 ans non encore formés à une discipline particulière. Il mène une étude similaire en 2001. En 1993, il complète son travail par une étude où il met en relation la conformation de jeunes chevaux de sport suédois (âgés de 4 ans) et leurs performances (jugement de leurs allures et de leur aptitude au saut). Aux Etats-Unis, en 1991, Delahunty et al. recherchent les caractéristiques morphologiques associées à la performance chez des pur-sang anglais. Ils s'intéressent notamment à la largeur inter-mandibulaire et à la circonférence du canon. L'équipe de Cano et al. publie en 2001 une étude où elle compare conformation et cinématique de chevaux andalous, pur-sang arabes et anglo-arabe. La discipline de prédilection des andalous est le dressage, les anglo-arabes peuvent être utilisés pour la course de galop, l'endurance ou le cross. L'étude de Barrey et al. en 2002 s'intéresse aussi à des chevaux de dressage et aux relations entre conformation et aptitudes sportives qui existent chez les jeunes chevaux. Ils travaillent sur trois groupes de chevaux de races différentes mais toutes adaptées au dressage (chevaux de race allemande, selle français et pure race espagnole). Ils concluent que les chevaux de race allemande sont les chevaux dont la conformation est la plus adaptée pour remporter des compétitions, tandis que la conformation des andalous leur permet d'exceller en dressage traditionnel et en équitation de travail, disciplines qui requièrent des allures rassemblées. Métayer et al. en 2004 analysent les relations entre performance en endurance et conformation par la comparaison d'un groupe de pur-sang arabes qualifiés en endurance et d'un groupe de chevaux non entrainés à l'endurance. L'étude de Johnston et al. en 2004 traite de la morphologie et de la cinématique du dos du cheval chez des chevaux d'obstacle et de dressage. Weller et al. en 2006 analysent la variation de la conformation de pur-sang anglais en fonction de leurs spécialités (course d'obstacle vs. course de plat, course 2 miles vs. course 3 miles, course de haie vs. course de steeple). Enfin, l'étude de Tribout, menée en 2013, s'intéresse au lien entre conformation et performance chez les chevaux d'endurance.

Connaître les critères de conformation favorables ou défavorables peut aider à savoir si un cheval est adapté à la carrière sportive à laquelle on le destine et s'il sera performant. Cela peut aussi servir à écarter des chevaux présentant des traits morphologiques que l'on sait néfastes pour la santé sportive du cheval. Le tableau 10 présente une revue bibliographique d'études qui se sont intéressées au lien entre défaut de conformation et contre-performance.

TABLEAU 9 - SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE DES ETUDES RELATIVES AU LIEN ENTRE CONFORMATION ET PERFORMANCE

Partie anatomique	Chevaux étudiés et effectifs	Résultats	Pays et Auteurs de l'étude
	52 chevaux considérés comme bon sauteurs vs. 51 chevaux considérés comme mauvais sauteurs.	Les 103 chevaux sont classés comme bon ou mauvais sauteurs d'après leur morphologie uniquement. 27 % des chevaux sont mal classés. Mauvais pouvoir discriminant de la morphologie.	FRANCE (Langlois <i>et al</i> ., 1978)
	40 trotteurs français vs. 42 pur-sang anglais.	Les 82 chevaux sont classés d'après leur morphologie dans les catégories trotteurs ou galopeurs. 5 % des chevaux sont mal classés Bon pouvoir discriminant de la morphologie.	FRANCE (Langlois <i>et al.,</i> 1978)
Morphologie globale	145 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Les 145 chevaux sont classés d'après leur morphologie dans les catégories : allures de bonne qualité, de qualité moyenne, de mauvaise qualité. 65 % des chevaux avec de bonnes allures sont bien classés. 61 % des chevaux avec de mauvaises allures sont bien classés. 7 % (6 %) des chevaux avec de bonnes allures (mauvaises allures) sont classés d'après leur morphologie dans la catégorie « mauvaises allures » (bonnes allures) Pouvoir discriminant de la morphologie moyen.	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	16 chevaux qualifiés en endurance au niveau national vs. 11 chevaux qualifiés au niveau pré-national.	Aucune différence morphologique entre les deux groupes.	FRANCE (Métayer <i>et al</i> ., 2004)
	13 chevaux participant à des courses de haie vs. 56 chevaux participant à des courses steeple.	Aucune différence morphologique entre les deux groupes.	ANGLETERRE (Weller <i>et al.</i> , 2006b)
	14 chevaux spécialisés en courses de 2 miles vs. 25 chevaux spécialisés en courses de 3 miles.	Aucune différence morphologique entre les deux groupes.	ANGLETERRE (Weller <i>et al.</i> , 2006b)
	7 chevaux pur-sang arabes vs. 15 chevaux pure race espagnole.	Aucune différence significative dans les angles des postérieurs entre les deux races.	ESPAGNE (Cano et al., 2001)
Angles des articulations	28 chevaux pure race espagnole de 3 ans vs. 61 chevaux selle français de 3 ans et 53 chevaux de race allemande de 3 ans.	Angles articulaires plus petits chez les chevaux pure race espagnol.	FRANCE (Barrey et al., 2002)

Partie anatomique	Chevaux étudiés et effectifs	Résultats	Pays et Auteurs de l'étude
	10 pur-sang anglais âgés de 3 ans ayant gagné au moins une course l'année passée vs. 10 pur-sang anglais de 3 ans n'ayant gagné aucune course l'année passée.	Espace inter-mandibulaire plus large de 1 cm en moyenne chez les gagnants.	ETATS-UNIS (Delahunty <i>et al.</i> , 1991)
Largeur intermandibulaire	51 chevaux de saut d'obstacle haut niveau et 40 chevaux de dressage haut niveau vs. 217 chevaux âgés de 4 ans.	Espace inter-mandibulaire plus large chez les chevaux de haut niveau.	SUEDE (Holmström, 2001)
	108 chevaux pur-sang anglais provenant d'une même écurie de courses d'obstacles.	Corrélation positive entre la performance et la largeur de l'espace intermandibulaire.	ANGLETERRE (Weller <i>et al.</i> , 2006b)
Encolure	33 chevaux de dressage haut niveau vs. 28 chevaux de saut d'obstacle haut niveau, 100 chevaux de loisir et 195 chevaux âgés de 4 ans.	Encolure plus courte pour les chevaux de dressage haut niveau.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Aucune corrélation significative entre la longueur de l'encolure et la note globale des allures.	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	51 chevaux de saut d'obstacle haut niveau vs. 40 chevaux de dressage haut niveau et 217 chevaux âgés de 4 ans.	Encolure plus longue pour les chevaux de saut d'obstacle haut niveau.	SUEDE (Holmström, 2001)
	63 chevaux de courses d'obstacles vs. 40 chevaux de courses de plat.	Encolure plus longue chez les chevaux de courses d'obstacles.	ANGLETERRE (Weller et al., 2006b)
	40 trotteurs français vs . 42 pur-sang anglais.	Les trotteurs sont plus longs.	FRANCE (Langlois et al., 1978)
	28 chevaux pure race espagnole de 3 ans vs. 61 chevaux selle français de 3 ans et 53 chevaux de race allemande de 3 ans.	Dos plus court chez les chevaux de pure race espagnole de 3 ans.	FRANCE (Barrey <i>et al.</i> , 2002)
Longueur du corps	61 chevaux selle français de 3 ans vs. 53 chevaux de race allemande de 3 ans.	Les chevaux selle français ont un dos plus long que les chevaux de race allemande.	FRANCE (Barrey <i>et al.</i> , 2002)
-	14 chevaux de sport suédois, de dressage vs. 16 chevaux de sport suédois, de saut d'obstacles	Partie lombaire du dos plus longue chez les chevaux de dressage.	SUEDE (Johnston <i>et al.,</i> 2004)
	269 chevaux pur-sang arabes ou croisés pur-sang arabes	Corrélation positive entre la longueur corporelle et l'indice distance, sur les courses d'endurance.	FRANCE (Tribout, 2013)

	391 chevaux de saut d'obstacle vs. 175 chevaux de dressage	Les chevaux de saut d'obstacles sont plus grands.	ALLEMAGNE (Müller and Schwark, 1979a) cités par (Dalin et Jeffcott, 1994; Holmström et al., 1990)
Hauteur au garrot	391 chevaux de saut d'obstacle et 175 chevaux de dressage.	Corrélation positive entre la hauteur au garrot et les performances sportives (en dressage ou en saut d'obstacle).	ALLEMAGNE (Müller and Schwark, 1979a) cités par (Dalin et Jeffcott, 1994; Holmström et al., 1990)
	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Corrélation positive entre la hauteur au garrot et le score global des allures et le score pour le galop.	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	28 chevaux pure race espagnole de 3 ans vs. 61 chevaux selle français de 3 ans et 53 chevaux de race allemande de 3 ans.	Les chevaux pure race espagnole de 3 ans sont plus petits.	FRANCE (Barrey <i>et al.</i> , 2002)
Membre antérieur	63 chevaux de course d'obstacles vs. 40 chevaux de course de plat.	Antérieur plus longs chez les chevaux de course d'obstacles.	ANGLETERRE (Weller <i>et al.</i> , 2006b)
	40 trotteurs français vs. 42 pur-sang anglais.	Les trotteurs sont plus larges au niveau des épaules et des hanches.	FRANCE (Langlois et al., 1978)
Largeur épaule/hanche	52 chevaux considérés comme bons sauteurs vs . 51 chevaux considérés comme mauvais sauteurs.	Les bons sauteurs sont plus larges aux épaules et aux hanches.	FRANCE (Langlois <i>et al.</i> , 1978)
	63 chevaux de course d'obstacles vs. 40 chevaux de course de plat.	Les chevaux spécialisés en course d'obstacle sont plus larges.	ANGLETERRE (Weller et al., 2006b)
Périmètre thoracique	52 chevaux considérés comme bons sauteurs vs. 51 chevaux considérés comme mauvais sauteurs.	Périmètre thoracique plus grand chez les bons sauteurs.	FRANCE (Langlois <i>et al.</i> , 1978)
Scapula	52 chevaux considérés comme bons sauteurs vs. 51 chevaux considérés comme mauvais sauteurs.	Scapula plus longue chez les bons sauteurs.	FRANCE (Langlois et al., 1978)

Partie anatomique	Chevaux étudiés et effectifs	Résultats	Pays et Auteurs de l'étude
Angle scapula/horizontale	40 trotteurs français vs. 42 pur-sang anglais	Epaule plus verticale chez les trotteurs.	FRANCE (Langlois <i>et al.</i> , 1978)
	52 chevaux considérés comme bons sauteurs vs. 51 chevaux considérés comme mauvais sauteurs.	Scapula plus horizontale chez les bons sauteurs.	FRANCE (Langlois <i>et al.</i> , 1978)
	33 chevaux de dressage haut niveau et 28 chevaux de saut d'obstacle haut niveau vs. 100 chevaux de loisir et 195 chevaux âgés de 4 ans.	Scapula plus horizontale chez les chevaux de haut niveau.	SUEDE (Holmström <i>et al.,</i> 1990)
	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Corrélation négative entre l'angle de la scapula avec l'horizontale et la note globale des allures et la note intermédiaire pour le pas (un angle fermé est plus adapté).	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	51 chevaux de saut d'obstacle haut niveau et 40 chevaux de dressage haut niveau vs. 217 chevaux âgés de 4 ans.	Epaule plus verticale chez les chevaux de haut niveau par rapport aux chevaux de 4 ans.	SUEDE (Holmström, 2001)
	7 chevaux pur-sang arabes vs. 15 chevaux Pure race espagnole.	Tendance à avoir une épaule plus horizontale chez les pur-sang arabe. (mais pas de différence significative).	ESPAGNE (Cano <i>et al.</i> , 2001)
	108 chevaux pur-sang anglais provenant d'une même écurie de course d'obstacles.	Corrélation positive entre la performance et un angle scapula/horizontale ouvert. (scapula plus verticale)	ANGLETERRE (Weller <i>et al.</i> , 2006c)
Angle scapula/humérus	7 chevaux pur-sang arabes vs. 15 chevaux pure race espagnole.	Angle de l'épaule plus ouvert chez pure race espagnole.	ESPAGNE (Cano <i>et al.</i> , 2001)
Humérus	52 chevaux considérés comme bons sauteurs vs . 51 chevaux considérés comme mauvais sauteurs.	Humérus plus long et plus horizontal chez les bons sauteurs	FRANCE (Langlois <i>et al.</i> , 1978)
	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Corrélation positive entre la longueur de l'humérus et la note globale des allures et les notes intermédiaires pour le pas et le trot.	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	217 chevaux âgés de 4 ans.	Corrélation positive entre la longueur de l'humérus et des allures jugées comme bonnes.	SUEDE (Holmström, 2001)
	40 chevaux de dressage haut niveau vs. 51 chevaux de saut d'obstacle haut niveau et 217 chevaux âgés de 4 ans.	Humérus plus long pour les chevaux de dressage haut niveau.	SUEDE (Holmström, 2001)
Coude (angle humérus/radius)	33 chevaux de dressage haut niveau vs. 100 chevaux de loisir et 195 chevaux âgés de 4 ans.	Angle du coude plus grand chez les chevaux de dressage.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	7 chevaux arabes vs. 15 chevaux espagnols.	Coude plus ouvert chez les Pure Race Espagnole.	Espagne (Cano <i>et al</i> ., 2001)

Os métacarpien principal	33 chevaux de dressage haut niveau vs. 28 chevaux de saut d'obstacle haut niveau	Os métacarpien principal plus fin chez les chevaux de dressage haut niveau.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	10 pur-sang anglais âgés de 3 ans ayant gagné au moins une course l'année passée vs. 10 pur-sang anglais de 3 ans n'ayant gagné aucune course l'année passée.	Os métacarpien principal plus long de 1 cm en moyenne chez les gagnants.	ETATS-UNIS (Delahunty et al., 1991)
Angle du carpe (angle entre ulna et os métacarpien principal)	7 chevaux pur-sang arabes vs. 15 chevaux pure race espagnole.	Angle plus grand chez les Pure Race Espagnole (carpe en légère flexion). Carpe en légère extension chez les chevaux pur-sang arabe.	ESPAGNE (Cano et al., 2001)
Boulet	33 chevaux de dressage haut niveau vs. 28 chevaux de saut d'obstacle haut niveau.	Angles des articulations des boulets antérieurs et postérieurs plus grands chez les chevaux de dressage.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	28 chevaux d'obstacle haut niveau vs. 100 chevaux de loisir et 195 chevaux âgés de 4 ans.	Angles des articulations des boulets antérieurs plus fermés chez les chevaux de saut d'obstacle de haut niveau.	SUEDE (Holmström et al., 1990)
	40 trotteurs français vs. 42 pur-sang anglais	Ilium plus vertical chez les trotteurs	FRANCE (Langlois <i>et al.</i> , 1978)
	52 chevaux considérés comme bons sauteurs vs. 51 chevaux considérés comme mauvais sauteurs.	Bassin plus incliné et ilium plus long chez les bons sauteurs.	FRANCE (Langlois <i>et al.</i> , 1978)
	28 chevaux de saut d'obstacle haut niveau vs. 100 chevaux de loisir et 195 chevaux âgés de 4 ans.	Bassin moins incliné chez les chevaux d'obstacle.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
Bassin et inclinaison du	40 chevaux de dressage haut niveau et 51 chevaux de saut d'obstacle haut niveau vs. 217 chevaux âgés de 4 ans.	Bassin plus horizontal chez les chevaux de haut niveau.	SUEDE (Holmström, 2001)
bassin (angle ilium/pubis)	61 chevaux selle français de 3 ans vs. 53 chevaux de race allemande de 3 ans.	Bassin plus horizontal chez les chevaux selle français.	FRANCE (Barrey <i>et al.</i> , 2002)
	27 chevaux qualifiés en endurance vs. 8 chevaux non expérimentés à cette discipline	Bassin plus incliné chez les chevaux qualifiés en endurance.	FRANCE (Métayer et al., 2004)
	63 chevaux de courses d'obstacles vs. 40 chevaux de courses de plat.	Bassin plus long chez les chevaux de course d'obstacle.	ANGLETERRE (Weller <i>et al.</i> 2006b)
	108 chevaux pur-sang anglais provenant d'une même écurie de courses d'obstacles.	Corrélation positive entre la performance et l'ouverture de l'angle os coxal/pubis.	ANGLETERRE (Weller et al. 2006c)

Partie anatomique	Chevaux étudiés et effectifs	Résultats	Pays et Auteurs de l'étude
Angle fémur- bassin	40 trotteurs français vs. 42 pur-sang anglais	Fémur plus vertical chez les trotteurs.	FRANCE (Langlois <i>et al.</i> 1978)
	33 chevaux de dressage haut niveau vs. 28 chevaux de saut d'obstacle haut niveau.	Angle bassin-fémur plus ouvert chez les chevaux de dressage haut niveau.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	28 chevaux de saut d'obstacle vs. 100 chevaux de loisir et 195 chevaux âgés de 4 ans.	Angle fémur-bassin plus fermé chez les chevaux de saut d'obstacle haut niveau.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Corrélation négative entre l'angle et la note globale des allures et la note intermédiaire pour le pas, trot et galop (un angle fermé est plus adapté).	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	27 chevaux qualifiés en endurance vs . 8 chevaux non expérimentés à cette discipline	Angle bassin-fémur plus ouvert chez les chevaux qualifiés en endurance.	FRANCE (Métayer <i>et al.</i> , 2004)
Fémur	52 chevaux considérés comme bons sauteurs vs. 51 chevaux considérés comme mauvais sauteurs.	Fémur plus horizontal chez les bons sauteurs.	FRANCE (Langlois <i>et al.</i> , 1978)
	33 chevaux de dressage haut niveau vs . 28 chevaux de saut d'obstacle haut niveau.	Fémur plus vertical chez les chevaux de dressage haut niveau.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Corrélation négative entre l'angle et la note globale des allures et la note intermédiaire pour le pas, trot et galop (un fémur plus horizontal est plus adapté).	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	40 chevaux de dressage haut niveau et 51 chevaux de saut d'obstacle haut niveau vs. 217 chevaux âgés de 4 ans.	Fémur plus horizontal chez les chevaux de haut niveau.	SUEDE (Holmström, 2001)
	61 chevaux selle français de 3 ans vs. 53 chevaux de dressage de races allemandes de 3 ans.	Fémur plus horizontal chez les chevaux de dressage de race allemande.	FRANCE (Barrey et al., 2002)
	196 chevaux d'endurance de race arabe ou croisés arabe	Corrélation négative entre inclinaison du fémur par rapport à l'horizontale et l'indice vitesse, sur les courses d'endurance.	FRANCE (Tribout, 2013)
Grasset (angle fémur/tibia)	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Corrélation positive entre l'angle et l'aptitude au saut d'obstacle (un angle plus ouvert est adapté).	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	40 chevaux de dressage haut niveau vs. 51 chevaux de saut d'obstacle haut niveau et 217 chevaux âgés de 4 ans.	Grasset plus ouvert pour les chevaux de dressage haut niveau.	SUEDE (Holmström, 2001)

Jarret	33 chevaux de dressage haut niveau et 28 chevaux d'obstacle haut niveau vs. 100 chevaux de loisir et 195 chevaux âgés de 4 ans.	Jarret plus ouvert chez les chevaux de haut niveau.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Corrélation positive entre l'angle et l'aptitude au saut d'obstacle (un angle plus ouvert est adapté).	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	40 chevaux de dressage haut niveau et 51 chevaux de saut d'obstacle haut niveau vs. 217 chevaux âgés de 4 ans.	Aucune différence significative dans la mesure de l'angle du jarret entre les chevaux de haut niveau et le groupe des chevaux de 4 ans.	SUEDE (Holmström, 2001)
Tibia	33 chevaux de dressage haut niveau vs. 28 chevaux d'obstacle haut niveau.	Tibia plus court chez les chevaux de dressage haut niveau.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	63 chevaux de course d'obstacles vs. 40 chevaux de course de plat.	Tibia de diamètre plus large chez les chevaux de courses d'obstacles.	ANGLETERRE (Weller et al., 2006b)
Phalanges	33 chevaux de dressage haut niveau et 28 chevaux de saut d'obstacles haut niveau vs. 100 chevaux de loisir et 195 chevaux âgés de 4 ans.	Phalanges des antérieurs et des postérieurs plus longues chez les chevaux de haut niveau.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans, destinés au saut d'obstacle.	Corrélation négative entre la longueur des phalanges postérieures et l'aptitude au saut d'obstacle.	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
Sabot	63 chevaux de course d'obstacles vs. 40 chevaux de course de plat.	Sabots des antérieurs et des postérieurs plus large chez les chevaux de course d'obstacle.	ANGLETERRE (Weller <i>et al.</i> , 2006b)

TABLEAU 10 - SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE DES ETUDES RELATIVES AU LIEN ENTRE CONFORMATION ET CONTRE-PERFORMANCE

Partie anatomique	Chevaux étudiés et effectifs	Résultats	Pays et auteurs de l'étude
Hauteur au garrot	217 chevaux mesurés à 4 ans puis suivis via les registres des assurances, divisés en deux groupes : chevaux sains vs. chevaux présentant des boiteries récurrentes.	Les chevaux présentant des boiteries récurrentes sont plus grands.	SUEDE (Holmström, 2001)
Aplombs	3916 yearlings (pur-sang anglais) présentés à des ventes de yearling.	Aucune association significative entre les traits suivants et les performances en courses : genoux creux, serré du devant, canon excentré, droit jointé (paturon trop vertical), long jointé (paturon trop horizontal), jarret droit.	UK (Love <i>et al.</i> , 2006)
Aplombs Genoux creux Back at the knee	21 pur-sang anglais avec une fracture d'un des os du carpe avec fragment articulaire vs. 10 pur-sang anglais sains.	Aucune association significative entre le fait d'avoir des genoux creux et la présence de fracture du carpe.	UK (Barr,1994)
Aplombs Canon désaxé <i>Offset kne</i> e	155 pur-sang anglais âgés de 3 ans.	Corrélation positive entre des problèmes au niveau du boulet (distension articulaire, fracture de la phalange proximale, élargissement anormal de la plaque de croissance) et le degré de sévérité des canons excentrés.	USA (Anderson <i>et al.</i> , 2004)
	61 chevaux de sport suédois de haut niveau vs. chevaux de loisir	Pas de différence significative dans la fréquence de canons désaxés entre les chevaux de haut niveau et les chevaux de loisir.	SUEDE (Holmström <i>et al.</i> , 1990)
Aplombs Valgus du carpe	108 chevaux provenant d'une écurie de courses d'obstacles dont 16 présentaient une tendinite du tendon fléchisseur profond.	Corrélation positive entre le risque de tendinite du tendon fléchisseur profond et l'augmentation de l'angle de valgus du carpe.	UK (Weller <i>et al.</i> , 2006c)
	155 pur-sang anglais âgés de 3 ans.	Corrélation négative entre le risque de fracture du carpe et/ou de distension articulaire au niveau du carpe et l'augmentation de la sévérité du valgus (le valgus du carpe est protecteur).	USA (Anderson <i>et al.</i> , 2004)
Aplombs Valgus du tarse	108 chevaux provenant d'une écurie de courses d'obstacles dont 26 chevaux qui présentaient une distension de la gaine digitale.	Corrélation positive entre le risque de distension de la gaine digitale et l'augmentation de l'angle du valgus du tarse.	UK (Weller et <i>al.</i> , 2006c)
	108 chevaux provenant d'une écurie de courses d'obstacles dont 7 avec une fracture du bassin.	Corrélation positive entre le risque de fracture du bassin et l'augmentation de l'angle de valgus du tarse.	UK (Weller et <i>al</i> ., 2006c)

Aplombs	3916 yearlings (pur-sang anglais) présentés à des ventes de yearling, dont 30% de panards, 19% cagneux.	Faible corrélation négative entre le fait pour un poulain d'être sévèrement panard/cagneux et ses performances en course.	UK (Love <i>et al.</i> , 2006)
Panards ou Cagneux	61 chevaux de sport suédois de haut niveau vs. chevaux de loisir	Pas de différence significative dans le nombre de cagneux entre les chevaux de haut niveau et les chevaux de loisir.	SUEDE (Holmström et <i>al.</i> , 1990)
Angle scapula/horizontale	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans.	Corrélation positive entre un angle fermé (scapula proche de l'horizontale) et un examen orthopédique jugé bon.	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
Angle du coude (angle entre scapula et humérus)	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans.	Corrélation positive entre un angle du coude ouvert et un examen orthopédique jugé bon.	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	16 chevaux répartis en 3 groupes selon l'angulation de leur tarse.	Contraintes reçues par le tarse au moment de la réception (au trot) moindres pour le groupe des chevaux avec l'angle du tarse le plus grand (un tarse ouvert est bénéfique pour l'articulation).	ETATS-UNIS (Gnagey <i>et al.</i> , 2006)
Angle du tarse	52 chevaux avec des problèmes de dos ou boiteries récurrentes vs. 217 chevaux de sport 4 ans et 91 chevaux de haut- niveau (dressage ou saut d'obstacle)	Tarse plus fermé chez les chevaux avec des problèmes de dos ou des boiteries récurrentes (un tarse fermé est néfaste pour l'articulation).	SUEDE (Holmström, 2001)
Angle os coxal/pubis	108 chevaux provenant d'une écurie de course de haies, dont 7 avec une fracture du bassin.	Corrélation négative entre le risque de fracture de bassin et la mesure de l'angle os coxal/pubis (un bassin avec un angle ouvert est un facteur protecteur).	UK (Weller <i>et al</i> ., 2006c)
Croupe	500 trotteurs Standardbred âgés de 4 ans, dont 39 présentaient une asymétrie de la croupe.	Corrélation négative entre une croupe asymétrique (les deux <i>tuber sacrale</i> ne sont pas à la même hauteur) et la performance en course.	ETATS-UNIS (Dalin <i>et al.</i> , 1985)
Longueur du fémur	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans.	Corrélation positive entre un long fémur et un examen orthopédique jugé bon.	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)

Partie anatomique	Chevaux étudiés et effectifs	Résultats	Pays et auteurs de l'étude
	52 chevaux avec des problèmes de dos ou boiteries récurrentes vs. 217 chevaux de sport de 4 ans et 91 chevaux de haut- niveau (dressage ou saut d'obstacle)	Fémur plus vertical chez les chevaux avec des problèmes de dos ou des boiteries récurrentes.	SUEDE (Holmström, 2001)
Angle du fémur avec l'horizontale	195 chevaux de sport suédois âgés de 4 ans.	Corrélation positive entre un angle fermé (fémur proche de l'horizontale) et un examen orthopédique jugé bon.	SUEDE (Holmström et Philipsson, 1993)
	217 chevaux mesurés à 4 ans puis suivis via les registres des assurances, divisés en deux groupes : chevaux sains vs. chevaux avec des boiteries récurrentes.	Fémur plus vertical chez les chevaux avec des boiteries récurrentes.	SUEDE (Holmström, 2001)
Angle du grasset	196 chevaux d'endurance pur-sang arabes ou croisés	Un angle du grasset ouvert est corrélé avec un moins bon indice distance sur des courses d'endurance.	FRANCE (Tribout, 2013)
Angle du jarret (vue latérale)	308 chevaux de sport (217 chevaux de 4 ans, 91 chevaux de haut niveau) vs. chevaux avec des problèmes de dos et des boiteries récurrentes.	Angle du jarret plus fermé chez les chevaux avec problèmes de dos et des boiteries récurrentes	SUEDE (Holmström, 2001)
Angle du boulet (angle	217 chevaux mesurés à 4 ans puis suivis via les registres des assurances, divisés en deux groupes : chevaux sains vs. chevaux avec des boiteries récurrentes.	Paturons postérieurs plus horizontaux chez les chevaux avec des boiteries récurrentes.	SUEDE (Holmström, 2001)
métacarpo- phalangien)	108 chevaux provenant d'une écurie de courses de haies dont 16 présentaient une tendinite du tendon fléchisseur superficiel	Corrélation positive entre le risque de tendinite et l'augmentation de degrés de l'angle métacarpo-phalangien (plus l'angle est ouvert, plus le paturon est horizontal).	UK (Weller <i>et al</i> ., 2006c)
Phalanges	155 pur-sang anglais âgés de 3 ans.	Corrélation positive entre le risque de fracture des antérieurs et la longueur des phalanges.	USA (Anderson <i>et al.</i> , 2004)
Sabot	155 pur-sang anglais âgés de 3 ans.	Corrélation positive entre des problèmes au niveau du boulet (distension articulaire, fracture de la phalange proximale, élargissement de la plaque de croissance) et l'angle de la ligne dorsale du sabot avec l'horizontale.	USA (Anderson <i>et al.</i> , 2004)

Chez les trotteurs, 8 à 10 % de la performance en course pourrait être expliquée par la conformation (Magnusson, 1985; Klemetsdal *et al.*, 1986; Von Butler *et al.*, 1986; Dolvik et Klemetsdal, 1999) cités par (Saastamoinnen et Barrey, 2000). Chez les chevaux de sport, de 4 % à plus de 20 % de la performance peut être expliquée par la conformation (Holmström et Philipsson, 1993; Langlois *et al.*, 1978). Ce résultat chiffré montre qu'il y a bien un lien entre conformation globale et performance; le tableau 9 résume les traits de conformation associés à la performance des chevaux. Néanmoins, ce tableau suggère qu'il n'y a pas une seule caractéristique morphologique bénéfique pour la performance mais plutôt un ensemble de traits de conformation, qui se compensent et interagissent entre eux. Ces interactions rendent très difficile la description objective, par mesures de longueurs et d'angles uniquement, de la conformation optimale. Elles rendent aussi difficile la mise en évidence d'une corrélation entre un unique trait de conformation mesuré et la performance. D'où l'idée de certains auteurs d'attribuer une note globale de conformation. L'attribution de cette note est cependant subjective, peu répétable d'une étude à l'autre, et peut être à l'origine d'imprécisions.

Dans l'étude de Holmström et Philipsson en 1993, 7 % de la variation dans le statut orthopédique des chevaux était dû à la conformation. Ce résultat, ainsi que ceux du tableau 10, montrent qu'il est utile de s'intéresser aux conformations considérées comme défectueuses. Le repérage chez les jeunes chevaux de ces défauts de conformation pourrait permettre de réduire le nombre de chevaux devant interrompre précocement leur carrière sportive en raison de leur inaptitude sportive. Ces conformations considérées comme défectueuses n'ont cependant pas toujours de conséquences sur les aptitudes sportives ou la longévité du cheval. Au vu des résultats de son étude de 1990, corroborée par une étude de Magnusson et Thafvelin (1985), Holmström suggère même que certaines conformations considérées comme défectueuses sont en fait « normales ». En effet, Holmström remarque que 80 % des 195 chevaux étudiés présentent des déviations sur une au moins des articulations de leurs membres. Magnusson et Thafvelin (cités par (Holmström et al., 1990)) aboutissent à la même observation en 1985 : 80 % des 500 trotteurs standardbred étudiés présentaient des aplombs imparfaits. En outre, toujours dans l'étude de Holmström (1991), la fréquence des cagneux et des canons excentrés était la même dans le groupe de chevaux de haut niveau et le groupe de chevaux de loisir, laissant penser que ces déviations n'impactent pas les performances sportives du cheval. Seules les déviations sévères, à l'origine de contraintes dissymétriques qui abiment les structures ostéo-ligamentaires, pourraient compromettre la carrière sportive des chevaux.

2. RELATION ENTRE CONFORMATION ET LOCOMOTION

Le lien entre conformation et performance ne peut être envisagé sans élucider l'influence de la morphologie sur la locomotion du cheval. Nous étudions dans cette partie comment les traits de conformation présentés dans les tableaux 9 et 10 influencent la locomotion du cheval et ses performances de façon générale.

La largeur intermandibulaire est un trait de conformation associé autant dans les disciplines équestres que hippiques à des performances améliorées. Un large espace facilite le passage de l'air et rend la région plus souple et plus mobile (Holmström, 2001).

Les chevaux spécialisés dans le dressage semblent avoir une **encolure** plus courte que ceux spécialisés dans le saut d'obstacle. Une longue encolure pourrait aider le cheval à conserver son équilibre au moment du saut. La longueur de l'encolure chez les chevaux de dressage semble être moins importante, la hauteur de son attache au niveau du poitrail parait en revanche importante. Ce critère n'est cependant pas mesurable objectivement, seule l'expérience des cavaliers suggère qu'une attache trop basse de l'encolure rend le cheval plus difficile à travailler (Holmström, 2001).

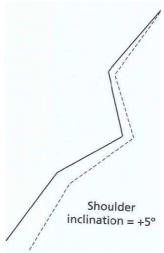
Johnston (2004) montre que les chevaux de dressage ont un **dos** plus long que les chevaux de saut d'obstacle, ce qui les rend plus souples. Au sein de chevaux destinés au dressage, les chevaux Selle français, qui sont les moins performants en dressage ont un dos plus long que les chevaux de race allemande, les plus performants en dressage. Un dos court permettrait des allures plus rassemblées, ce qui est favorable au dressage classique. Les dos les plus courts sont d'ailleurs observés chez les chevaux de pure race espagnole, réputés pour leurs allures rassemblées (Barrey *et*

al., 2002). En revanche, lorsque la performance recherchée est la vitesse, un dos long semble plus adapté. Dans son travail de thèse vétérinaire, Tribout (2013) met en évidence que la longueur corporelle des chevaux d'endurance est corrélée positivement avec l'indice distance. En revanche, un dos trop long par rapport à l'encolure a tendance à se creuser (Stashak et Hill, 2011).

L'angle des épaules et des hanches influence l'amplitude des mouvements des membres du cheval, tandis que la longueur des segments osseux influe sur l'absorption des chocs et la force des membres (Staiger *et al.*, 2011).

Une **épaule** plus proche de l'horizontale est supposée faciliter les mouvements de l'antérieur vers l'avant et vers le haut (en fin de phase de soutien au trot), permettant au cheval de poser son pied le plus loin possible (Holmström, 2001). Ceci est illustré par la figure 1. Au contraire, si l'épaule est courte et verticale, on passe d'un mouvement ample à une foulée plus courte et rapide, l'amortissement est réduit et les chocs transmis aux membres sont alors plus importants (Stashak et Hill, 2011).

FIGURE 1 - EFFETS D'UN CHANGEMENT DE 5° DE L'INCLINAISON DE L'EPAULE. TOUS LES AUTRES ANGLES SONT INCHANGES, SCHEMA DU MEMBRE ANTERIEUR PEU AVANT QUE LE PIED TOUCHE LE SOL (HOLMSTRÖM, 2001)

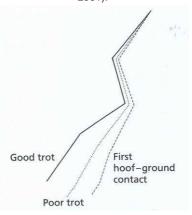


Si plusieurs études (Langlois *et al.*, 1978 ; Holmström *et al.*, 1990 ; Holmström et Philipsson, 1993) montrent que les chevaux de saut d'obstacle, ou les chevaux de sport de haut niveau ont une épaule plus horizontale. Holmström (2001) montre que les chevaux de haut niveau ont une épaule plus verticale par rapport au groupe de chevaux pris comme référence dans l'étude. L'inclinaison de l'épaule est difficile à évaluer, ce qui pourrait expliquer cette contradiction. Chez certains chevaux, les contours apparents de l'épaule ne correspondent pas à sa réelle inclinaison et seule la palpation des reliefs osseux permet d'évaluer la position de l'épaule (Holmström, 2001).

La **longueur de l'humérus** est corrélée aux performances des chevaux de sport (saut d'obstacle et dressage) dans toutes les études du tableau 9. Un long humérus permet d'augmenter la longueur de la foulée et de la stabiliser (Stashak et Hill, 2011). D'autre part, si l'inclinaison de l'humérus est proche de l'horizontale, les mouvements de l'antérieur seront rasants ; au contraire, un humérus vertical permet des mouvements plus relevés (Stashak et Hill, 2011).

L'angle du coude est plus ouvert chez des chevaux de dressage de haut niveau (Holmström et al., 1990 ; Cano et al., 2001). La différence la plus significative entre des chevaux ayant un bon trot et des chevaux ayant un mauvais trot est l'angulation de l'articulation du coude (Holmström, 2001). Juste avant que l'antérieur entre à nouveau en contact avec le sol, l'articulation du coude est fléchie de 30° de plus dans le groupe des chevaux avec un bon trot. Cette angulation supérieure permet au pied de s'élever plus haut puis de se poser plus loin au cours de la foulée, comme le montre la figure 2. Autrement dit, ceci agrandit la longueur de la foulée et prolonge la phase de soutien, ce qui un critère de qualité d'allure chez les chevaux de dressage (Holström et al., 1995) cité par (Stashak et Hill, 2011).

FIGURE 2 - COMPARAISON DES ANGULATIONS DU MEMBRE EN FONCTION DE LA QUALITE DU TROT SCHEMA DE L'ANTERIEUR AU MOMENT OU LE PIED ENTRE EN CONTACT AVEC LE SOL, AU TROT (HOLMSTROM 2001).



Pour résumer, l'association d'une **scapula horizontale**, d'un **coude plus fléchi** et d'un **humérus plus long** aboutit à une phase de soutien prolongée. La configuration contraire (moins d'angulation au niveau du membre : scapula verticale, humérus vertical et coude ouvert) a pour conséquence une foulée courte, des allures instables et irrégulières et augmente les chocs reçus par la partie distale de l'antérieur, car l'amortissement est diminué (Stashak et Hill, 2011).

La configuration du l'arrière-main est essentielle chez le cheval dans la mesure où elle est considérée comme le moteur du cheval (Holmström, 2001). Un **bassin** avec peu d'angulation entre le pubis et l'ilium est corrélé avec la performance dans de nombreuses études. En effet, un coxal plat permet une rotation du bassin plus importante, paramètre biomécanique associé à des allures souples et élastiques, ce qui est particulièrement utile pour les chevaux de dressage (Holmström, 2001).

Un **fémur** peu incliné, proche de l'horizontale est un facteur de performance chez les chevaux de sport. Cette conformation permet au postérieur d'être situé plus sous le cheval que si le fémur était vertical. Le postérieur est alors plus proche du centre de gravité du cheval ce qui lui permet de porter plus de poids et améliore son équilibre (Holmström, 2001). Cette qualité est propice à la réalisation d'airs relevés chez les chevaux de dressage, et à une bonne propulsion à l'abord de l'obstacle pour les chevaux de CSO. Un fémur incliné est non seulement un trait de conformation corrélé avec la performance mais aussi avec la santé locomotrice du cheval. Le tableau 10 présente l'étude de Holmström (2001) où les chevaux avec des boiteries récurrentes et des problèmes de dos ont un fémur significativement plus vertical que le groupe des chevaux sains. Ce résultat est en accord avec une de ses études antérieures menée en 1993.

Des contraintes supplémentaires s'exercent sur le quadriceps fémoral lorsque **l'angle du grasset** est fermé, par rapport à un grasset plus ouvert. En effet, le quadriceps fémoral est le muscle qui permet la flexion de la hanche et l'extension du grasset. C'est le muscle le plus sollicité lorsque le cheval travaille dans des allures rassemblées ou dans la foulée qui précède le saut (Holmström, 2001). Un grasset ouvert facilite donc le travail du quadriceps fémoral. Ceci pourrait expliquer les corrélations positives entre performance et ouverture de l'angle du grasset mises en évidences dans les études présentées dans le tableau 10. Chez les trotteurs Stantardbred, une corrélation positive entre performance et angle du grasset ouvert a été démontrée par Magnusson en 1985 (cité par (Holmström, 2001)).

Pour résumer, un bassin avec peu d'angulation, un fémur horizontal, un grasset et un jarret assez ouvert sont des caractéristiques morphologiques idéales pour le membre postérieur.

S'il n'est pas évident que le jarret coudé altère les performances sportives du cheval, il a été prouvé qu'il est en revanche néfaste pour la santé locomotrice du cheval (Holmström, 2001). Ceci n'est pas étonnant au vu des forces de compression très importantes supportées par le jarret lors de certaines figures de dressage (piaffer, passage) et a fortiori en course ou en saut d'obstacle (Holmström, 2001). Le cheval avec un jarret coudé est capable de ramener ses postérieurs sous lui et

d'adopter une attitude rassemblée mais ses postérieurs le portent alors moins bien. Quelle que soit la discipline du cheval, il faudra donc éviter les jarrets coudés.

En ce qui concerne les **phalanges** et l'**inclinaison du paturon**, un juste milieu doit être recherché. Un paturon trop court et/ou trop vertical répercute sans amortir les chocs à l'articulation du boulet, aux articulations inter-phalangiennes et au pied. Un paturon trop long et/ou trop horizontal augmente les pressions exercées sur les tendons fléchisseurs profond et superficiel et sur le muscle inter-osseux III.

Tous les **défauts d'aplombs** n'ont pas forcément de conséquences sur les performances ou la santé du cheval (Holmström *et al.*, 1990 ; Barr, 1994 ; Love *et al.*, 2006), mais certains sont à l'origine de contraintes anormales sur son appareil locomoteur, ce qui risque à terme de l'endommager. Idéalement, le membre doit être droit du coude au boulet de façon à ce que les forces compressives soient réparties équitablement entre toutes les articulations. Les contraintes sont augmentées lorsque les chevaux sont panards ou cagneux. Ceci peut se traduire cliniquement par des distensions synoviales de l'articulation métacarpo-phalangienne ou au niveau de l'articulation inter-phalangienne distale (Holmström, 2001). Le défaut d'aplomb cagneux est aussi souvent associé à une conformation serrée du devant. L'association serré du devant/cagneux est à l'origine de contraintes anormales sur les faces collatérales latérales du carpe, du boulet et des articulations interphalangiennes (Stashak et Hill, 2011). Cette conformation peut être associée à un défaut d'allure : le cheval billarde. Au trot, il lance ses antérieurs vers le côté, par un mouvement de rotation du genou ou du boulet.

Conclusion:

Le lien entre conformation et performance chez les chevaux existe, et s'explique en grande partie par les liens entre conformation et locomotion. La conformation idéale étant celle qui permet au cheval d'adopter la locomotion la plus efficace possible pour sa discipline. La difficulté réside, cependant, dans la mise en évidence de ce lien de façon précise. Dans un souci de clarté et de simplification de la présentation, nous avons passé en revue successivement chacun des traits de conformation pouvant être ou non liés à la performance ou à la santé du cheval. Il serait en fait plus adapté de considérer les membres dans leur ensemble. Il y a en effet plusieurs combinaisons d'angles différentes qui peuvent aboutir à une conformation optimale, l'idéal étant d'obtenir un membre résistant, capable de porter du poids et de stocker puis libérer de l'énergie (Holmström, 2001). Pour le membre antérieur, le plus souvent, la conformation idéale est une scapula horizontale, associée à une articulation du coude fléchie et à un humérus long. Pour le membre postérieur, on recherche un bassin avec peu d'angulation, un fémur proche de l'horizontale, un grasset et un jarret assez ouverts. L'évaluation de la conformation du cheval doit donc être une évaluation globale qui ne juge pas un seul trait de conformation de façon isolée mais une association de caractéristiques morphologiques comme étant adaptées ou non à sa discipline.

3. EVOLUTION DE LA CONFORMATION CHEZ LE JEUNE CHEVAL

Il semble important de connaître l'évolution de la conformation du jeune cheval avec la croissance pour évaluer la pertinence du jugement de la conformation chez le jeune cheval en relation avec sa performance ultérieure. Les questions sous-jacentes sont les suivantes :

- Les critères morphologiques de performance identifiés chez le cheval adulte dans le travail de Tribout (2013) sont-ils applicables chez des jeunes chevaux ?
- Peut-on s'attendre à trouver des critères morphologiques de performance supplémentaires chez le jeune cheval par rapport à ceux mis en évidence chez l'adulte ?

La partie qui suit expose la croissance du poulain et l'évolution de sa morphologie de la naissance à l'âge adulte. Elle est issue des publications suivantes : Julliand et Martin-Rosset (2005), Desjardin et Amman (2007), Martin-Rosset (2012).

L'élevage du poulain de sport vise à produire un athlète bien développé sur les plans osseux et musculaires, sans accumulation excessive de graisse. La période de croissance chez le cheval dure de 3 à 5 ans en moyenne, soit 40 à 75 % de la vie productive selon le type génétique (pur-sang, trotteur, selle français, anglo-arabe ou arabe). Cela représente, pour les producteurs et utilisateurs, un gros investissement zootechnique et financier qui conditionne les performances ultérieures, la longévité du cheval et sa rentabilité. Une croissance optimale est donc recherchée. La courbe de croissance du poulain repose sur l'expression de son potentiel génétique mais d'autres facteurs comme l'alimentation peuvent influencer sa croissance.

→ Croissance pondérale

A la naissance, le poulain a un poids vif qui représente 8 à 12 % de celui de sa mère (le rapport est d'autant plus élevé qu'il s'agit d'une race de petit format) soit environ 45-55 kg pour les chevaux de selle. L'héritabilité du poids à la naissance est assez faible : 0,15. Au cours du premier mois, le poulain double son poids de naissance. Au sevrage (6-7 mois), il a multiplié son poids vif par 5 et atteint 45 % de son poids vif adulte. A 12 mois, le poulain pèse entre 52 et 69 % de son poids adulte (pour les races légères). Le poids d'un poulain de 2 ans représente 75 % de son poids vif adulte. Le poids adulte est atteint pour le pur-sang anglais à 3 ans et demi ; il pèse alors entre 450 et 500 kg. Les races lourdes sont plus tardives et atteignent leur poids adulte à 5 ans. Leur poids est alors compris entre 700 et 1000 kg. A partir de 18 à 24 mois, les différences de poids entre mâle et femelle s'accentuent, si bien qu'à l'âge adulte, la jument a en moyenne un poids vif inférieur de 10% à celui de l'étalon. Ce dimorphisme sexuel se manifeste à partir de 18 mois pour les races de trait et à partir de 24 mois pour le pur-sang arabe.

La vitesse de croissance pondérale est mesurée par le GMQ (Gain Moyen Quotidien exprimé en grammes/j). Elle est très élevée au cours du premier mois (1500 g/j pour les races de selle). Elle dépend du potentiel génétique du poulain et aussi de la production laitière de la mère jusqu'à 3 mois, âge où le poulain commence à compléter significativement son alimentation par d'autres sources (foin, pâturage...). Le gain moyen quotidien diminue régulièrement de la naissance au sevrage et dépend des conditions d'élevage. Après 1 an, la croissance se poursuit à un rythme beaucoup plus lent : en moyenne 150 à 300 g/j jusqu'à l'âge adulte qui est atteint, comme nous l'avons évoqué précédemment, vers 3-4 ans pour les races de course et 4 à 5 ans chez les races de sport et loisir.

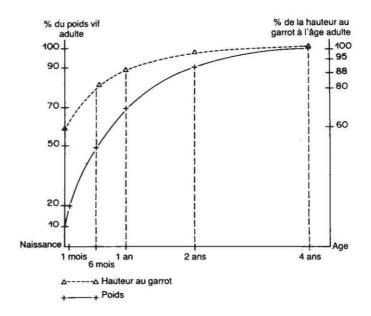
→ Evolution des mensurations et du format

A la naissance, la hauteur au garrot du poulain dépasse déjà 60 % de sa valeur finale, alors que son poids ne représente que 10 % du poids adulte.

TABLEAU 11 - EVOLUTION DU POIDS ET DE LA HAUTEUR DU POULAIN EN % DE LA TAILLE OU DU POIDS ADULTE (MARTIN-ROSSET, 2012)

Age de poulain	Hauteur au garrot	Poids vif
Age de podiani	(en % de la taille adulte)	(en % du poids vif adulte)
Naissance	60 %	10 %
6-7 mois (sevrage)	80 %	45 %
1 an	88 %	65 %
2 ans	-	75 %

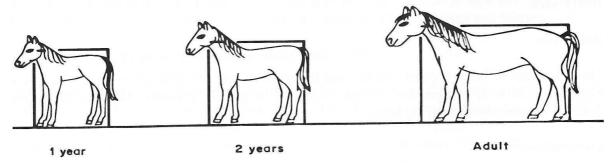
FIGURE 3 - EVOLUTION DU POIDS VIF ET DE LA HAUTEUR AU GARROT DU CHEVAL DE SELLE EN FONCTION DE SON AGE (MARTIN-ROSSET, 2012)



De la naissance au sevrage, la hauteur au garrot augmente d'environ 5 cm/mois pour les races de selle. **Entre le sevrage et l'âge d'un an**, l'accroissement en taille des chevaux de selle n'est plus que de 2 cm/mois.

Au cours de sa première année, le format du poulain peut être inclus dans un rectangle debout avec une hauteur au garrot qui atteint 88 % de la taille adulte. Entre 1 et 2 ans, le périmètre thoracique et la largeur de poitrine s'accroissent de 65 % tandis que la longueur corporelle n'augmente que peu. Le poulain peut alors s'inscrire dans un carré. De 2 ans à l'âge adulte, la longueur du corps s'accroit de 60 % et le poulain est alors inclus dans un rectangle couché.

FIGURE 4 - EVOLUTION DU FORMAT DE LA NAISSANCE A L'AGE ADULTE (JULLIAND ET MARTIN-ROSSET, 2005)

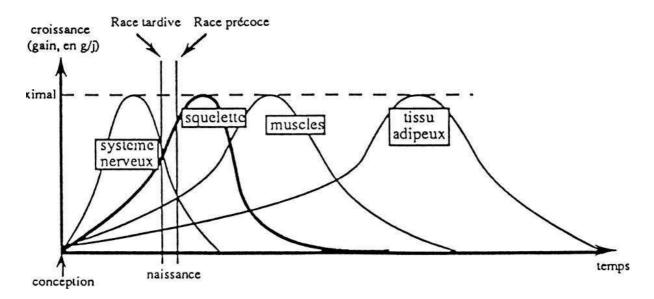


La figure 3 montre que la croissance du poulain se partage en deux phases. Une phase de croissance rapide entre la naissance et 3 ans environ, puis une seconde phase de croissance beaucoup plus lente avant que le cheval atteigne sa taille et ses proportions adulte.

→ Le développement des tissus

La croissance des différents tissus qui composent le poulain ne se fait pas de façon simultanée. Ainsi, le squelette a une évolution pondérale très précoce par rapport aux autres tissus. Le développement du tissu adipeux a par contre un développement très tardif, comme le montre la figure 5.

FIGURE 5 - NIVEAU DE CROISSANCE DES PRINCIPAUX TISSUS EN FONCTION DU TEMPS ET SELON LA PRECOCITE DE LA RACE (HAMMOND,1932) CITE PAR (DEVILLARD, 2003)



Pour écrire ces changements relatifs de la composition anatomique du poulain au cours du temps, les scientifiques ont établi l'équation d'allométrie suivante : Y = a X où b est le coefficient d'allométrie du poids du tissu Y par rapport au poids de référence X (généralement poids du corps entier vide de contenu digestif) et a est le coefficient d'allométrie de la région ou de l'organe considéré. L'allométrie consiste à décrire la croissance d'un organe ou d'un tissu par rapport à la croissance de l'organisme entier. On distingue ainsi trois classes d'organes ou de tissus : (1) ceux dits à coefficient isométrique, pour lesquels b ≈ 1, qui grandissent au même rythme que le corps entier, (2) ceux dits à constante hypermétrique, pour lesquels b > 1, qui se développent plus vite relativement au corps, (3) ceux dits à coefficient hypométrique, pour lesquels b < 1, qui croissent moins vite que le corps. Par exemple, le squelette qui a une évolution pondérale très précoce a un coefficient d'allométrie inférieur à 1. Le tissu adipeux qui a un développement très tardif a un coefficient d'allométrie très supérieur à 1. Le tissu musculaire a un coefficient d'allométrie supérieur à 1, mais inférieur à celui du tissu adipeux. De plus, pour un même tissu, les régions anatomiques ne se développent pas toutes à la même vitesse par rapport à l'ensemble du tissu considéré. En ce qui concerne le squelette, il y a un gradient de croissance relative très net de l'extrémité des membres (le canon en particulier) vers les ceintures et la colonne vertébrale, qui ont à l'inverse un développement tardif. Les parties intermédiaires des membres ont elles un développement moyen proche de celui de l'ensemble du squelette. Ces croissances relatives des différentes régions du squelette sont bien sûr en cohérence avec l'évolution du format décrite précédemment. La fin de la croissance du squelette est marquée par la fermeture des plaques de croissance. La croissance relative des différents tissus adipeux par rapport à l'ensemble du tissu adipeux est très différenciée entre la naissance et 30 mois. Elle varie de 0,95 (<1) pour les dépôts adipeux intermusculaires à 1,58 pour le gras interne thoracique ou abdominal, tandis que le gras sous cutané a une croissance relative intermédiaire (1,14). Pour les tissus musculaires, ils se mettent en place plus précocement au niveau de l'extrémité des membres (0,80) et de façon plus tardive pour la musculature du dos et du thorax (1,04). Ceci est illustré par les figures 6 et 7.

FIGURE 6 - CROISSANCE RELATIVE DU SQUELETTE ENTRE LA NAISSANCE ET 30 MOIS. COEFFICIENTS D'ALLOMETRIE DES REGIONS ANATOMIQUES DU SQUELETTE (JULLIAND ET MARTIN-ROSSET, 2005)

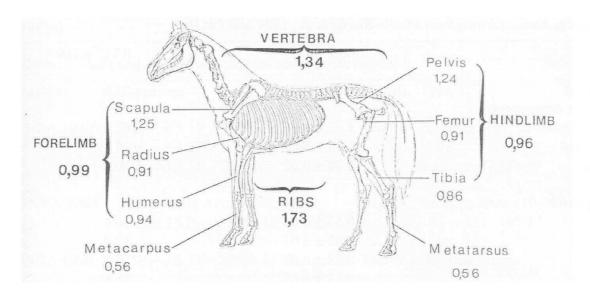
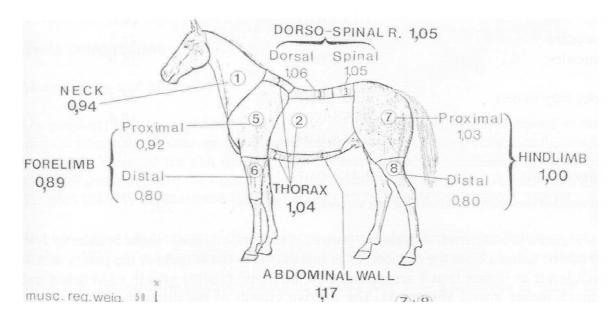


FIGURE 7 - CROISSANCE RELATIVE DES REGIONS MUSCULAIRES ENTRE LA NAISSANCE ET 30 MOIS. COEFFICIENTS D'ALLOMETRIE DES PARTIES ANATOMIQUES DE LA MUSCULATURE (JULLIAND ET ROSSET, 2005)



Le poulain n'est pas un petit adulte mais a une silhouette dont les proportions et la composition (muscle/tissus adipeux) évoluent de la naissance à l'âge adulte. Ce point est important à prendre en compte dans une optique de sélection précoce sur la conformation. Il a cependant été montré que les angles des articulations ne sont pas modifiés au cours du développement (Kruger, 1939) cité par (Green, 1961). Ceci est contredit par Campbell et Lee (1985) et Magnusson (1985), deux études citées par (Back *et al.*, 1995).

Ce schéma de croissance est similaire pour toutes les races de chevaux comme le montre la revue bibliographique menée par Green en 1961. Certaines races sont cependant plus précoces que d'autres. Les races lourdes sont plus tardives que les races légères. En outre, au sein des races légères, des différences de vitesses de croissance existent. Par exemple, d'après l'étude de Flade (1958) (citée par (Green, 1961), présentée par le tableau 12, le pur-sang arabe atteint son poids adulte à 5 ans, et semble dans cette étude plus tardif que les chevaux prussiens et les Mecklenburg

(ancienne race de cheval de selle allemand). Ceci est contredit par l'étude de (Luszczyński *et al.*, 2011). Les pur-sang arabes ont un taux de croissance, entre la naissance et 20 mois, pour leur périmètre thoracique et la circonférence de l'os canon plus élevé que pour les pur-sang et les anglo-arabes. Entre la naissance et 20 mois, les pur-sang ont une augmentation de leur taille au garrot plus rapide que les pur-sang arabes, qui eux même ont une croissance au garrot plus importante que les anglo-arabes et les chevaux Hucul (chevaux Polonais). Enfin, la fermeture de la plaque de croissance de la métaphyse distale du radius est plus précoce chez les pur-sang arabes que chez les pur-sang, anglo-arabes ou chevaux hucul. La fermeture des plaques de croissance du poulain marque la fin du développement du squelette du poulain. Plus la fermeture de la plaque de croissance est précoce, plus la croissance en taille du cheval est rapide (Luszczyński *et al.*, 2001).

TABLEAU 12 - .EVOLUTION DU POIDS AU COURS DE LA CROISSANCE DU CHEVAL PUR-SANG ARABE DE POLOGNE EN COMPARAISON AVEC DES CHEVAUX PRUSSIENS ET MECKLENBURG (FLADE, 1958)

	Weight a	s percentage of	mature weight
Age of Animal	Arab	East Prussian	Mecklenburg- Kaltblut
Birth	10.2	9.0	8.0
ı year	40.0	54.0	57.0
2 years	74.0 86.0	76.0	76.0
3 years	86·o	87.0	91.0
5 years	100	100	100

Les phénomènes de croissance sont très bien décrits pour le poulain âgé entre 0 et 4 ans, chez les races selle français, pur-sang et trotteur. Très peu d'études sont en revanche disponibles sur la croissance du pur-sang arabe, et sur la période de fin de croissance. Notre travail va donc permettre d'apporter des informations sur la croissance du pur-sang arabe entre 4 et 7 ans.

Conclusion:

Deux phases de croissance ont été mises en évidence : une phase rapide de la naissance à 3 ans, puis une phase lente de 3 ans à l'âge adulte. Les jeunes chevaux de l'étude, âgés de 4 à 6 ans, sont donc dans cette seconde phase lente de la croissance ou l'on terminée. Peu de données sont disponibles sur la croissance du cheval arabe. Certains suggèrent que c'est une race plutôt tardive en comparaison aux autres races légères, tandis que d'autres montrent qu'ils finissent plus précocement leur croissance. Pour mener une sélection précoce sur la morphologie, il faut savoir si le jeune cheval d'endurance (4 à 6 ans) peut-être d'un point de vu morphologique considéré ou non comme un cheval adulte. Des éléments de réponse sont apportés dans la partie expérimentale de la thèse.

III. APPORT DE L'ETUDE DES JEUNES CHEVAUX POUR LA SELECTION DU CHEVAL D'ENDURANCE

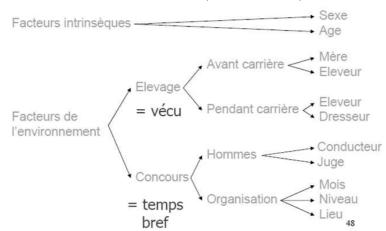
1. Rappels theoriques necessaires a la comprehension de la mise en place d'un plan de selection.

1.1 <u>La performance, un caractère régi par les lois de la génétique</u> guantitative

1.1.1 Caractères quantitatifs et décomposition de la valeur génétique

La variabilité des performances sportives des chevaux ne peut pas être expliquée simplement par l'action d'un nombre limité de gènes (comme c'est le cas par exemple de la robe du cheval) (Danvy, 2008). La performance sportive est un caractère génétique quantitatif, dont les variations phénotypiques au sein de la population sont dues d'une part à des différences de génotypes entre les individus et d'autre part, aux différences de conditions de milieu dans lesquelles sont placés les individus mesurés. Ceci est résumé par l'équation suivante : P = G + M où P est la valeur phénotypique de l'individu, P sa valeur génétique et P les effets du milieu (Verrier et al., 2001). Le milieu P regroupe l'ensemble des causes non génétiques à l'origine d'une variation du phénotype. Le milieu regroupe donc (1) l'environnement dans lequel vit (ou a vécu) l'individu observé (élevage de naissance, centre d'entrainement, cavalier, conditions de la course...) (2) certains états physiologiques qui lui sont propres (âge, gestation...) et (3) l'observateur. L'observateur a une influence au travers du protocole de mesure qu'il applique, de la précision de ses instruments de mesure, et des erreurs de mesure qu'il peut commettre (Verrier et al., 2001). La figure 8 donne les effets du milieu qui peuvent influencer une performance sportive.

FIGURE 8 - FACTEURS DU MILIEU A PRENDRE EN COMPTE LORS DE L'EVALUATION D'UNE PERFORMANCE SPORTIVE D'APRES (COURREAU, 2010)



La valeur génétique G d'un individu se décompose en deux types d'effets génétiques : les effets génétiques additifs A et les effets d'interactions entre les gènes I. Les effets génétiques additifs notés A sont les effets faibles et cumulés de très nombreux gènes (Courreau, 2010). Le cumul de ces effets pour un caractère s'appelle la valeur génétique additive. En moyenne, lors de la méiose, chaque gamète transmet la moitié de la valeur génétique additive du géniteur. Ainsi, en moyenne, un descendant reçoit la moitié de la valeur génétique additive de chacun de ses parents, ce qui se traduit par l'équation suivante : $A_{individu} = \frac{1}{2} A_{père} + \frac{1}{2} A_{mère}$. En pratique, la sélection ne porte que sur ces effets additifs car ce sont les seuls effets génétiques transmissibles aux descendants (Hallais, 2012). Les **effets non additifs** ou d'interactions entre les gènes, notés **I**, sont l'ensemble des effets

d'interaction entre les gènes qui apparaissent au hasard des assemblages de gènes réunis lors de la fécondation. Ils sont imprévisibles car ils se recréent à chaque génération. Ils ne sont ni transmissibles ni sélectionnables (Hallais, 2012). L'expression phénotypique de ces effets est l'hétérosis. Ces effets sont proportionnels à l'hétérozygotie du génome et sont d'autant plus forts que les deux reproducteurs sont génétiquement éloignés (Courreau, 2010). L'équation P = G + M peut donc s'écrire P = A + I + M

Cette décomposition de la valeur génétique permet de dégager deux voies d'amélioration génétique. (1) On peut rechercher les individus ayant la meilleure valeur génétique additive : c'est ce que l'on fait en sélection, où l'on choisit les reproducteurs pour ce qu'ils sont susceptibles de transmettre à leur descendance ; cette méthode permet une amélioration des populations sur le long terme. (2) On peut rechercher des couples dont la descendance présentera des effets d'interactions maximaux (I maximaux) et des qualités complémentaires (A complémentaires). C'est ce que l'on fait lors des croisements (reproduction de deux géniteurs provenant de populations différentes) qui permettent une amélioration des individus sur une seule génération, donc une amélioration à court terme (Courreau, 2010).

1.1.2 <u>Déterminisme génétique des caractères quantitatifs</u>

Trois catégories de gènes, différenciées par l'importance de leurs effets individuels, contrôlent les caractères quantitatifs.

- 1 Les **gènes majeurs** ont un effet individuel important. Il est alors possible d'établir un lien direct entre les performances et les génotypes des individus. En pratique, comme dans l'étude des caractères non quantitatifs, on peut distinguer des sous-groupes dans une population selon la présence ou l'absence du gène majeur.
- 2 Les gènes portés aux QTL (Quantitative Trait Locus) occupent des locus contrôlant une part importante de la variabilité des caractères quantitatifs. Si leur effet individuel reste assez important dans la variabilité des performances, il n'est pas suffisant pour associer directement performances et génotypes des QTL. Leur détection est permise par le génotypage des candidats à la sélection aux marqueurs associés (les SNP). Ce sont ces gènes portés par les QTL qui intéressent le programme GenEndurance. Chez les bovins, ces gènes aux QTL sont déjà exploités, leurs effets génétiques sont intégrés aux index SAM (indexation des bovins laitiers depuis 2010). Cette avancée technologique a doublé le niveau de précision des index calculés dès la naissance des veaux, permettant une sélection des taureaux utilisés en insémination artificielle plus précoce. Elle se réalise sans testage, avant même que les animaux atteignent l'âge physiologique de mise en reproduction, ce qui réduit l'intervalle de génération. De plus, elle apporte un gain significatif de précision dans la sélection de caractères peu héritables, comme la fertilité femelle.
- 3 Les **polygènes** ont chacun un effet très faible sur la variabilité des performances, mais globalement, du fait de leur grand nombre, leur impact est important dans la valeur génétique des individus.

En pratique, la sélection porte sur les effets additifs de ces trois types de gènes (polygènes, QTL et gènes majeurs) (Hallais, 2012).

1.1.3 Paramètres génétiques

→ La variabilité génétique

La variabilité génétique est le résultat des mutations qui font apparaître de nouveaux allèles. La sélection aboutit à un appauvrissement de la variabilité génétique, car des allèles considérés comme favorables vont être fixés par la sélection, au détriment d'allèles considérés comme non favorables. Il faut alors trouver un compromis, au fils des générations de sélection, entre maximisation du progrès génétique et conservation de la variabilité génétique (Dubois, 2007). En effet, ce compromis est indispensable puisque la variabilité génétique conditionne l'efficacité de la sélection. (cf. partie III.1.2. « le progrès génétique et ses paramètres »). La variabilité génétique est aussi gage

d'un maintien d'une fréquence élevée d'hétérozygotes, ce qui limite la consanguinité et favorise les effets d'interactions entre les gènes (effets d'interactions qui peuvent être intéressants puisqu'ils tendent à augmenter certaines performances notamment dans le domaine de la reproduction) (Hallais, 2012).

→ Héritabilité

La valeur génétique additive étant la fraction de la valeur génétique dont on peut facilement prédire la transmission, il est intéressant d'apprécier l'importance de sa variabilité comparée aux autres sources de variation du phénotype (Verrier *et al.*, 2001). Pour ce faire, on définit l'héritabilité (notée h^2) d'un caractère comme le rapport entre la variance génétique additive et la variance phénotypique ce qui s'écrit : $h^2 = \sigma^2 A / \sigma^2 P$. Autrement dit, pour un individu i, dont le phénotype P est déterminé par la valeur génétique additive (A), les effets du milieu (M) et les effets génétiques non additifs (I), l'héritabilité quantifie la part de P qui est déterminée par A.

L'héritabilité est un paramètre spécifique du caractère étudié, de la population observée et du milieu dans lequel se trouve la population observée (Verrier *et al.*, 2001). La valeur de l'héritabilité dépend aussi de la méthode de calcul utilisée. Par convention, on retient comme valeur d'héritabilité la valeur moyenne des valeurs obtenues par les différentes méthodes de calcul. L'héritabilité n'est pas la même en fonction des races considérées et chaque race a ses propres valeurs d'héritabilité ; les valeurs sont cependant proches et les extrapolations sont souvent possibles (Courreau, 2010). L'héritabilité est comprise entre 0 et 1. Une héritabilité proche de 0 s'explique par : (1) une absence de variabilité génétique. Ce cas extrême correspond à une population de clones et la sélection devient impossible, (2) un caractère dont le déterminisme génétique est essentiellement non additif. Dans ce cas la sélection est peu précise puisque les différences de performances entre les individus n'ont qu'une très faible origine génétique additive. Inversement, une héritabilité égale à 1 signifie que toutes les différences entre les performances des individus sont d'origine additive. Ces deux situations (héritabilité égale à 0 ou 1) sont des cas théoriques. En pratique, l'héritabilité des caractères quantitatifs ne dépasse pas 0,7 et on distingue trois classes de valeurs de h². Ces trois classes sont présentées dans le tableau 13 (Verrier *et al.*, 2001).

TABLEAU 13 - VALEURS DE L'HERITABILITE ET CONSEQUENCES PRATIQUES POUR L'AMELIORATION GENETIQUE. (D'APRES HALLAIS, 2012)

(= : : : :== : : : :== :: : ; == : : :)				
	Déterminisme Génétique	Efficacité de la sélection	Intérêt des croisements	Exemple de caractère
Faible h² ≤ 0,20	Essentiellement non additif	Très faible	Elevé, ils favorisent les effets d'interaction	
Moyenne 0,2 < h ² < 0,4	Mixte, additif et non additif	Moyenne	Moyen à faible	Aptitude au trot et au CSO chez les chevaux
Elevée h² ≥ 0,4	Essentiellement additif	Elevée	Nul	

L'héritabilité h^2 varie, comme nous venons de le voir, en fonction du mode de déterminisme des caractères mais aussi en fonction de : (1) la variabilité génétique du caractère qui est modifiée avec la consanguinité, laquelle diminue $\sigma^2 A$ et h^2 , (2) l'homogénéité du milieu, plus il est homogène plus $\sigma^2 M$ diminue sans pour autant modifier les valeurs génétiques des animaux ($\sigma^2 A$ inchangée). Ainsi les différences de performances ($\sigma^2 P$) sont mieux reliées aux valeurs génétiques et h^2 augmente. C'est l'intérêt des stations de contrôle de performances qui garantissent une meilleure corrélation entre les performances et les valeurs génétiques des candidats. Les index sont alors plus précis.

La valeur de h² conditionne donc la précision de la sélection. Plus elle est élevée, plus les index génétiques sont précis et plus le progrès génétique permis par la sélection est important.

On peut aussi augmenter la précision des index génétiques en augmentant le nombre de mesures de performances réalisées par individu, pour le calcul des index. Le gain de précision dépendra alors de la répétabilité des performances (Verrier et al., 2001)

→ Répétabilité

Le coefficient de répétabilité, noté ρ mesure la corrélation entre les performances successives d'un même individu pour un caractère donné. Plus ρ est faible, plus il devient intéressant de disposer de deux ou trois répétitions des performances de chaque candidat. En effet si les performances successives ne sont pas liées (ou assez peu), elles apportent chacune leur part d'informations supplémentaires qui contribuent à l'augmentation de la précision des index génétiques. Par exemple, en passant de une à trois performances, le coefficient de détermination des index est multiplié par 2 si ρ = 0,2, contre 1,5 si ρ = 0,5. La décision de cumuler plusieurs mesures sur un même candidat avant de procéder à la sélection doit être prise en considérant l'allongement de l'intervalle de génération qui en découle et le coût des mesures supplémentaires (Hallais, 2012).

→ Corrélation génétique et phénotypique

La corrélation phénotypique (r_p) est la corrélation entre les valeurs phénotypiques de deux caractères, mesurées chez le même individu (Verrier et al., 2001). La corrélation génétique (r_g) est la corrélation entre les valeurs génétiques du même individu pour deux caractères différents. De même, la corrélation génétique additive (r_a) est la corrélation entre les valeurs génétiques additives du même individu pour deux caractères différents. En génétique animale, si on parle de corrélation génétique sans autre précision, implicitement, il s'agit toujours de la corrélation génétique additive.

Une corrélation génétique entre deux caractères peut s'expliquer par deux phénomènes : les gènes pléïotropes et les gènes liés. (1) Un gène pléïotrope exerce une influence sur plusieurs caractères à la fois. Deux caractères gouvernés en partie par des locus communs montrent alors une corrélation génétique. Cette corrélation génétique est permanente. (2) D'autre part, l'existence de liens entre certains locus gouvernant le premier caractère et certains locus gouvernant le second peut entraîner une corrélation génétique, c'est le cas de gènes liés. Dans cette situation, la corrélation génétique peut n'être que temporaire : elle peut s'annuler du fait de recombinaisons.

L'existence de corrélations génétiques est extrêmement importante à prendre en considération en amélioration génétique. En effet, si deux caractères sont génétiquement liés, toute modification du premier caractère, sous l'effet d'une sélection par exemple, se répercute sur le second. Si la corrélation est positive, les caractères évoluent dans le même sens, si elle est négative, les caractères évoluent en sens opposé. Ainsi, si l'on souhaite faire évoluer deux caractères dans le même sens, une corrélation génétique positive est un atout alors qu'une corrélation négative représente un frein qui nécessite l'emploi de méthodes de sélection appropriées.

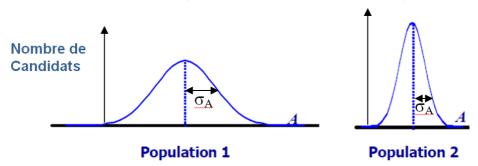
1.2Le progrès génétiques et ses paramètres (Verrier et al., 2001)

Le progrès génétique est la différence entre d'une part, la valeur génétique moyenne des descendant issus de reproducteurs sélectionnés et d'autre part, la valeur génétique moyenne que l'on aurait obtenu si les parents avaient été choisis au hasard. Un plan de sélection efficace permet une évolution positive de la valeur génétique des animaux.

Le progrès génétique dépend de quatre paramètres. (1) <u>Un paramètre génétique</u>: l'écart type génétique du caractère sélectionné. A court terme, ce paramètre peut être considéré comme constant. Mais notamment, en raison de la sélection, il faudra tenir compte de son évolution. La figure 9 aide à comprendre comment ce paramètre peut influencer le progrès génétique. On comprend aisément que le progrès génétique sera beaucoup plus important dans la population 1 (écart type génétique important) que dans la population 2 (écart type génétique faible) (Verrier et al., 2001).

FIGURE 9 - ECART TYPE DE LA VALEUR GENETIQUE ADDITIVE DU CARACTERE SELECTIONNE (D'APRES VERRIER *ET AL.*, 2001)

A : VALEUR GENETIQUE ADDITIVE $\sigma_{\scriptscriptstyle A}$: ECART TYPE GENETIQUE



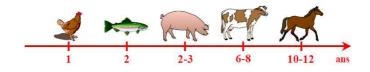
(2) <u>Trois paramètres techniques</u> : **l'intensité de sélection** (i), **l'intervalle de génération** (T) et la précision de la sélection (R).

L'intensité de sélection est la supériorité des individus sélectionnés, c'est-à-dire mis à la reproduction, par rapport au reste de la population sur le critère de sélection. Elle dépend donc du nombre d'individus retenus par rapport au nombre de candidats possibles (c'est-à-dire mesurés).

La **précision de sélection** est la corrélation entre la vraie valeur génétique du candidat et son estimation. Plus l'estimation de la vraie valeur génétique du candidat est de qualité, plus la précision sera bonne. L'exactitude de cette estimation dépend du nombre et de la qualité des informations dont on dispose pour le candidat. Elle est donc directement liée au nombre de mesures réalisées sur le candidat et ses apparentés, aux relations de parentés entre les candidats mesurés, à la corrélation génétique entre le critère mesuré et l'objectif de sélection et enfin, de l'héritabilité du caractère. Plus elle est élevée, plus il sera aisé de produire une estimation de la valeur génétique proche de la réalité (Danvy, 2008).

L'intervalle de génération se définit par l'écart d'âge moyen entre un groupe de descendants et leurs parents. Cet intervalle dépend de l'âge de la mise à la reproduction et de la durée d'utilisation des reproducteurs (Danvy, 2008). Le temps de génération chez les équidés est élevé (10 ans en moyenne), ce qui constitue un frein au progrès génétique.

FIGURE 10 - INTERVALLE DE GENERATION EN FONCTION DES ESPECES EN ANNEES (VERRIER *ET AL.*, 2001)



1.3<u>Les quatre grandes modalités de sélection et leurs incidences sur le progrès génétique.</u>

Il existe quatre types de méthodes de sélection: la sélection massale (utilisation des performances individuelles), la sélection sur ascendance (utilisation des performances ou index génétiques des parents), la sélection sur descendance (utilisation de la moyenne des performances d'un échantillon de descendant) et la sélection sur collatéraux (performances moyennes des frères et sœurs). Chacune de ces méthodes a une incidence différente sur les différents paramètres du progrès génétiques, définis précédemment. La comparaison de ces méthodes doit aussi tenir compte de leur facilité de mise en œuvre et sur leur coût.

1.3.1 La sélection massale

La sélection massale consiste à choisir les reproducteurs en fonction de leurs performances individuelles. La **précision de la sélection** massale est égale à la racine carrée de l'héritabilité du caractère. Elle dépend donc du caractère mesuré. Pour obtenir une évaluation génétique des candidats, il suffit de contrôler les performances. En endurance, ce type de sélection repose donc sur les indices de performance endurance. Du fait de cette simplicité, ce test sur performances propres permet une grande capacité de testage, ce qui maximise l'**intensité de sélection. L'intervalle de génération** dépend du caractère. Si la mesure du caractère est possible précocement, alors l'intervalle de génération sera court. Inversement, si la mesure est tardive, l'intervalle de génération sera allongé. Cette simplicité de mise en œuvre est le gros avantage de la sélection massale. Son principal inconvénient réside dans la difficulté de l'appliquer à certains caractères : caractères avec mesures très tardives, caractère qui ne s'expriment que dans un seul sexe...

1.3.2 La sélection sur ascendance

La sélection sur ascendance consiste à choisir les reproducteurs en fonction des informations dont on dispose sur les parents ou sur des ancêtres plus éloignés. La mise en œuvre de cette méthode (comme les autres méthodes qui utilisent la généalogie) repose sur la disponibilité de fichiers d'état civil fiables. Il est ainsi parfois nécessaire de procéder à une vérification de la filiation. La précision de la sélection sur ascendance est en général faible. Une seule performance individuelle renseigne mieux sur la valeur génétique que la connaissance d'une performance de chaque ancêtre du pedigree complet. Cette précision peut être améliorée si à la place des performances des ancêtres, on utilise des indices génétiques des parents directs. Compte tenu de la précision faible à modérée de cette méthode, on ne peut pas se permettre une forte pression de sélection. Cette sélection permet d'accoupler tous les meilleurs reproducteurs de la génération précédente, lors d'accouplements dit raisonnés, ce qui permet de faire naître des individus les meilleurs possibles. Cette étape est capitale, notamment si les jeunes chevaux ainsi procréés doivent ensuite suivre d'autre étapes de sélection longues et couteuses. L'avantage de cette méthode est que c'est la sélection la plus précoce que l'on puisse faire. Son principal inconvénient réside dans sa faible précision. On doit donc l'utiliser pour un premier tri des reproducteurs, avant une sélection par d'autres méthodes plus fines.

1.3.3 <u>La sélection sur descendance</u>

Lorsqu'un individu a un descendant contrôlé (mesuré pour le caractère), l'information correspondante est incorporée à son index de valeur génétique, ce qui est couramment réalisé. En revanche, la mise en place d'une sélection sur descendance proprement dite, avec une épreuve spécifique de sélection fondée sur la valeur moyenne de la descendance n'est organisée que dans certaines occasions. Cette épreuve spécifique sur descendance est appliquée uniquement au mâle. La sélection sur descendance nécessite une organisation très lourde car les descendants doivent être élevés en station (il faut absolument une homogénéisation des conditions de milieu entre les descendants). La précision de la sélection est très élevée : très proche de 1. Compte tenu de sa lourdeur de mise en œuvre, elle n'est généralement pas appliquée à des effectifs très importants de candidats, l'intensité de sélection permise est donc faible. La sélection sur descendant a aussi la caractéristique d'être tardive. Les résultats de l'évaluation ne sont souvent obtenus que lorsque les pères testés sont âgés. L'intervalle de génération est donc très allongé par rapport aux autres méthodes. Les avantages de cette méthode sont sa haute précision et le fait qu'elle soit applicable pour tous types de caractères. Ses inconvénients sont qu'elle allonge l'intervalle entre génération et qu'elle est sur le plan pratique difficile à installer et coûteuse. Il est impératif que les animaux qui subissent une épreuve sur descendance aient été triés au préalable par d'autres méthodes, pouvant s'appliquer à un grand nombre de candidats.

1.3.4 La sélection sur collatéraux

La sélection sur collatéraux consiste à sélectionner les reproducteurs à partir de la moyenne des performances de leurs demi- ou pleins frères-sœurs. Elle est peu utilisée dans l'espèce équine, mais surtout développée dans les espèces où l'on dispose de familles nombreuses (volailles, poissons, lapins, porcs). L'écueil de cette méthode se situe dans les effets d'environnement commun aux membres d'une même famille. Ces derniers, s'ils ne sont pas pris en compte, peuvent conduire à retenir prioritairement les candidats issus des familles ayant bénéficié d'un environnement particulièrement favorable. Cette méthode ne présente pas d'intérêt lorsqu'il est possible d'appliquer la sélection massale. La sélection massale est en effet plus précise. En matière d'intensité de sélection, à moins de disposer d'un très grand nombre de collatéraux, la sélection sur collatéraux est moins optimale que la sélection massale. Cette méthode est en fait intéressante pour les caractères impossibles à mesurer sur les candidats eux-mêmes. La sélection sur collatéraux permet alors de se dispenser d'une évaluation sur descendance ce qui raccourcit l'intervalle de génération. L'évaluation sur collatéraux est en général peu précise et sa fiabilité peut être mise en défaut en cas d'effet d'environnement commun, phénomène relativement courant pour des frères et sœurs. Son intérêt réside surtout pour les caractères non mesurables chez le candidat lui-même (exemple des caractères qui ne s'expriment que dans un sexe), ce qui permet de se passer de l'évaluation sur descendance, longue et coûteuse.

TABLEAU 14 - INCIDENCE DES METHODES DE SELECTION SUR LES TROIS PARAMETRES TECHNIQUES DU PROGRES GENETIQUE (D'APRES VERRIER, 2004)

	Intensité de sélection	Précision	Intervalle entre générations
Sélection massale	+++	++ /-	++/-
Sélection sur ascendance	-		+++
Sélection sur descendance		+++	
Sélection sur collatéraux	+ /-	+ /-	++/-

Le tableau 14 montre qu'aucune des méthodes ne présente que des avantages ou que des inconvénients. Il convient donc, pour mettre en place un plan de sélection efficace, d'utiliser une combinaison de ces méthodes.

Chez les chevaux, la sélection est d'abord sur ascendance. L'éleveur effectue un tri de ses reproducteurs en fonction de leurs indices de performance et de leurs indices génétiques. Après ce premier tri, une sélection massale est réalisée. L'utilisation de critères précoces, mesurables dès le plus jeune âge des chevaux, permet de réduire l'intervalle de génération et d'augmenter le progrès génétique. Enfin, pour affiner le choix des reproducteurs, une étape de sélection sur ascendance peut être effectuée.

Conclusion:

La performance est un caractère génétique quantitatif, déterminé par les effets du milieu, les effets génétiques additifs et les effets d'interaction entre les gènes. Lors de la sélection, on cherche à estimer les effets génétiques additifs, seuls effets génétiques transmis aux descendants. Les gènes qui déterminent la performance sont les QTL et les polygènes. Le projet GenEndurance cherche à mettre en évidence des QTL à l'origine de la performance en course d'endurance.

La sélection pour la performance repose sur des critères de sélection mesurables chez les individus (exemple : classement à l'issu d'une course, gains en course, morphologie...). Plus ces critères de sélection estiment avec précision les performances des individus, plus la sélection permise sera efficace. De plus, un critère de sélection sera

d'autant plus précis que son héritabilité est forte et sa variabilité génétique au sein de la population importante. La précision est d'ailleurs un des paramètres du progrès génétique.

Avant de mettre en place un plan de sélection, il convient d'estimer le progrès génétique attendu (déterminé par l'intensité de sélection, l'intervalle entre deux générations et la précision). Chez les chevaux, on pratique une sélection sur ascendance puis une sélection massale. La sélection sur descendance est utilisée pour un nombre réduit d'étalons.

2. MISE EN PLACE DE LA SELECTION DU CHEVAL DE SPORT ET D'ENDURANCE EN FRANCE

2.1 Etapes d'un plan de sélection (Verrier et al., 2001)

Un plan de sélection se met en place selon la trame suivante : (1) définition de critères de sélection, (2) mesure des performances et enregistrement des données, (3) publication de critères d'évaluation génétique, (4) sélection des animaux reproducteurs, (5) utilisation des reproducteurs.

2.2Gestion administrative de la sélection en France

L'amélioration génétique, pour être efficace, doit concerner l'ensemble de la population, et non un élevage isolé. Il est donc indispensable que les actions de sélection, mises en œuvre dans un élevage, s'insèrent dans un plan d'ensemble à l'échelle de la race. Il faut que les différents acteurs de la filière se mettent d'accord sur des objectifs de sélection communs et collaborent ensuite pour la collecte et le traitement de l'information (récolte des performances, tenue de la généalogie...) (Danvy, 2008). Cette organisation nationale indispensable est présentée par la figure 11.

Association Orientation et nationale de sélection de la Élevage race Les Haras nationaux Galop Courses Trot Gestion des erformances Compétitions équestres INRA Catalogues étalons

FIGURE 11 - ORGANISATION ADMINISTRATIVE DE LA FILIERE EQUINE FRANÇAISE (DANVY, 2008)

Les associations de race définissent des objectifs de sélection et coordonnent les programmes d'élevage. Le ministère de l'agriculture valide par des textes réglementaires les orientations choisies par les associations de race et peut financer leurs programmes d'élevage via l'IFCE (Institut Français du Cheval et de l'Equitation). En outre, pour sélectionner, il faut identifier les animaux et connaître leur généalogie, mission assurée par le service SIRE (Système d'information relatif aux équidés) de l'IFCE. Il faut également disposer d'informations relatives aux performances, ce qui est assuré par différents organismes de collecte en fonction des disciplines : France galop (pour les courses de galop), Cheval Français (courses de trot), GICE (Gestion Intégrée des Compétitions Equestres) pour les compétitions FEE et SHF, SIF (Système informatique fédéral) pour les compétitions poney. Toutes ces données servent aux calculs des indices génétiques et des indices de performance qui sont à la base de la sélection. Ces indices sont calculés par l'INRA au CTIG (Centre de traitement de l'information génétique) qui les retourne au SIRE pour la transmission aux éleveurs. Les éleveurs disposent alors de nombreux renseignements sur les étalons et les poulinières sur le site internet de l'IFCE. L'IFCE a plusieurs rôles : il apporte son expertise technique et scientifique et assure la gestion de la base nationale des données relatives aux équidés SIRE (Dubois, 2007).

Pour la filière endurance la situation est un peu particulière. L'objectif général de la filière endurance est de produire des chevaux d'endurance performants, quelle que soit leur race. Cependant, la grande majorité des chevaux qui pratiquent l'endurance sont de race Pur-sang Arabe ou Demi-sang arabe. Inversement, tous les chevaux pur-sang arabes ne sont pas destinés à l'endurance. Il n'y a donc qu'une superposition partielle entre pur-sang-arabe et endurance, à l'origine d'une ambiguïté. Pour la filière endurance, il y a d'une part les GECE (Groupement d'éleveurs de chevaux d'endurance) et d'autre part l'ACA (Association nationale française du Cheval Arabe et demisang) en charge des stud-books arabe et demi-sang arabe. En outre, seules les associations de races sont habilitées et reçoivent des financements du ministère de l'agriculture pour la mise en place de programmes d'élevage. Ceci a été l'argument pour un rapprochement entre ACA et GECE. Désormais, l'ACA s'organise autour de deux commissions : la commission endurance, qui assure la représentation des éleveurs d'endurance au sein de l'ACA et supervise les PEE (Programme élevage endurance) et la commission pour les arabes de show. Reste le problème des éleveurs de chevaux d'endurance de race Autres Que Pur-sang Arabe, qui n'ont par définition pas accès à l'ACA, mais qui souhaitent participer aux PEE (Just, 2009).

2.3Les objectifs de sélection

Les objectifs de sélection sont la base de tout programme. Il est nécessaire qu'ils soient clairement définis et hiérarchisés, sous peine de minimiser le progrès génétique espéré (Danvy, 2008). Pour la filière endurance, ces objectifs de sélection sont définis par la commission endurance de l'ACA et par les responsables PEE.

Les objectifs recherchés dans la production d'un cheval de sport font appel d'une part aux caractères de performances sportives et réussite dans la discipline sportive choisie, et d'autre part à des caractères secondaires, liés indirectement à la performance, et pouvant avoir une importance marchande (obtenir un cheval plaisant à l'œil et dans ses déplacements facilite sa commercialisation), comme la conformation et les allures. En outre, des caractères de reproduction, de tempérament, de résistances aux maladies, de longévité sportive peuvent être inclus dans les objectifs de sélection, car ils concourent de manière indirecte à la qualité du cheval de sport (Dubois, 2007). En endurance, les PEE cherchent à obtenir une amélioration de la performance du cheval d'endurance. L'objectif principal est donc la performance sportive. Le projet GenEndurance étudie la possibilité d'utiliser des critères indirects liés à la performance, comme la conformation et les allures.

2.3.1 <u>La réussite en compétition d'endurance</u>

→ Mesure de la réussite en compétition

En endurance, la mesure de la réussite en compétition repose sur les résultats en compétition et la publication d'indice de performance par l'INRA.

Comment sont calculés les indices de performance ? (d'après Ricard et Touvais, 2005). A l'issue d'une course, trois types d'informations sont disponibles : la **vitesse** à laquelle le cheval a couru la course, le **classement** (ou l'abandon) du cheval et la **distance** de la course. Aucune information mesurées lors des contrôles vétérinaires n'est disponible (fréquence cardiaque, état de fatigue métabolique du cheval...). Pour les jeunes chevaux, seule la catégorie de l'épreuve et s'ils ont fini ou non la course dans les temps est connue. Plusieurs problématiques sont à résoudre avant de pouvoir utiliser ces informations comme indicateur de l'aptitude sportive en endurance d'un cheval.

Première difficulté, en endurance, un cheval réalise beaucoup moins de compétitions que les chevaux dans les autres disciplines équestres, comme le CSO ou le dressage. Par an, chaque cheval d'endurance sort en moyenne deux fois, ce qui est peu. Cet inconvénient est cependant compensé par la bonne répétabilité du caractère. Par exemple, la répétabilité de la vitesse entre deux épreuves est de 0,45, contre 0,29 entre deux épreuves de CSO. En d'autres termes, ceci signifie qu'en endurance, on peut atteindre une bonne précision d'évaluation avec peu de sorties. Avec deux sorties, la précision sur la valeur sportive du cheval est de 0,62, une précision équivalente est atteinte après 9 départs en CSO. Le peu de sorties en course ne rend donc pas impossible l'indexation des chevaux d'endurance.

Deuxième problématique, toutes les épreuves d'endurance ne sont pas du même niveau et il faut pouvoir moduler les résultats en compétition d'un cheval en fonction de la difficulté de la course (la longueur de la course (120 km vs. 90 km), les conditions de terrain (qualité du sol, dénivelé, conditions météo le jour de la course)). Pour ce faire, une transformation mathématique est appliquée à la vitesse moyenne de la course. Par exemple, un cheval court à 16 km/h de moyenne une épreuve dont la vitesse moyenne est 15 km/h. On calcule l'écart entre la vitesse moyenne du cheval et la vitesse moyenne de la course (ici : 16 km/h - 15 km/h = 1 km/h), cet écart caractérise la performance du cheval sur la course. Ce calcul est répété pour toutes les épreuves et tous les chevaux. Ceci permet d'estimer le niveau des concurrents du cheval. Dans l'exemple, les chevaux concurrents ont couru en moyenne +0,6 km/h de mieux que la vitesse moyenne des épreuves auxquelles ils ont participé. Ce sont donc de bons chevaux. Le cheval exemple a donc couru 1 km/h de mieux que les chevaux concurrents, qui eux même sont en moyenne meilleurs de +0,6km/h. La performance finale de notre cheval exemple est 1 km/h + 0,6 km/h = 1,6 km/h. Les circonstances de la course (moyenne des vitesses) et la difficulté de la course (performances des chevaux sur la course, dont on connait le niveau sportif grâce à leurs courses précédentes) sont ainsi intégrées aux indices (Ricard et Touvais, 2005). De même, des corrections sur le classement sont effectuées selon le taux de chevaux classés dans l'épreuve.

Dernière problématique, il faut décider quelles informations sont à utiliser pour le calcul de l'indice final. Des calculs de corrélations génétiques montrent que vitesse et placement ne sont pas corrélés à 100 % (r_g =0,87). Ces deux critères apportent donc chacun une information légèrement différente, et il a été décidé de les intégrer tous les deux à l'indice final (Ricard et Touvais, 2007).

A partir des trois indices concernant la vitesse, le classement et la distance, un indice global est calculé. Les pondérations retenues sont de 30 % pour la vitesse, 30 % pour le classement et 40 % pour la distance. Cet indice global est noté **IRE** (Indice de performance en raids d'endurance). L'IRE ainsi calculé est ensuite corrigé pour prendre en compte l'effet de l'âge et le sexe. Pour une bonne lisibilité des indices, il est nécessaire que le meilleur des chevaux de 6 ans par exemple ait le même indice que les meilleurs des chevaux de 10 ans, même si les épreuves accomplies ne sont pas du même niveau. En ce qui concerne le sexe, les mâles courent moins vite et se classent moins souvent que les hongres. Aucune différence significative entre les hongres et les femelles n'a été relevée (Ricard et Touvais, 2005).

Chaque indice est accompagné d'un coefficient de détermination (CD) qui indique la précision de l'indice calculé. Sa valeur varie entre 0 et 1 selon le nombre de performances et de la répétabilité des critères disponibles pour le cheval. Ainsi, plus le CD est proche de 1 plus l'indice est précis (Danvy et Depuille, 2013). Ces indices sont présentés de façon à ce qu'approximativement 50 % des chevaux sortis en compétition aient un indice supérieur à 100.

Les indices de performance sont actualisés chaque année, et 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 (Danvy et Depuille, 2013).

Seuls les chevaux âgés de plus de 6 ans ont un indice. Pour les jeunes chevaux (4 à 6 ans) aucun indice n'est pour le moment disponible. Le manque de variabilité dans les résultats des courses de jeunes chevaux et le manque d'autres informations disponibles rendent impossible le calcul d'indices de performance fiables pour ces chevaux (Ricard et Touvais, 2005).

→ Héritabilité et répétabilité de la performance

En endurance, l'héritabilité de la vitesse est estimée à 0,28 et l'héritabilité du placement est à 0,06. La répétabilité est de 0,44 pour la vitesse et de 0,07 pour le classement (Ricard et Touvais, 2007). A titre de comparaison, le tableau 15 donne les héritabilités de la performance dans d'autres disciplines. L'héritabilité de la vitesse en endurance est moyenne et plus élevée que l'héritabilité des résultats en compétition des autres disciplines équestres.

TABLEAU 15 - HERITABILITE ET REPETABILITE DES PERFORMANCES DANS PLUSIEURS DISCIPLINES. D'APRES (RICARD ET AL., 2000, RICARD ET CHANU, 2001, RICARD ET TOUVAIS, 2007)

(RICARD ET AL., 2000, RICARD ET CHANU, 2001, RICARD ET TOUVAIS, 2007)					
Variable	Héritabilité	Répétabilité	Référence		
CONCOURS SAUT D'OBSTACLE					
	0,09	0,25	Belgique (Janssens et al., 1997)		
Classement	0,05	0,12	Allemagne (Hassenstein, 1998)		
	0,25	0,45	France (Tavernier, 1990)		
Gains	0,10		Allemagne (Schade, 1996)		
		DRESSAGE			
Plus haut niveau					
atteint dans la	0,11		Pays-bas (Van Veldhuizen,1997)		
carrière					
Classement	0,11	0,27	Allemagne (Hassenstein, 1998)		
Gain	0,10		Allemagne (Hassenstein, 1998)		
Points	0,35		Allemagne (Brockmann, 1999)		
		NCOURS COMPLET			
Classement	0,07		France (Ricard et Chanu, 2001)		
Gain annuel	0,14	0,45	France (Ricard et Chanu, 2001)		
	CC	OURSES DE TROT			
Meilleur temps de la carrière	0,11		Belgique (Leroy et al., 1989)		
	0,26 - 0,45		Suède (Arnason et al., 1989)		
	0,28		Finlande (Saastamoinen et Nylander, 1996)		
Temps moyen	0,35		Allemagne (Katona et Distl, 1989)		
	СО	URSES DE GALOP			
Temps moyen	0,15		Japon (Oki <i>et al.</i> , 1995)		
Gains annuels	0,22 à 0,28		France (Langlois, 1996)		

→ Recueil et diffusion des informations

Les résultats en compétition qui servent aux calculs de l'IRE sont récoltés par la FFE et la SHF puis transmis à l'INRA qui les exploite. Les résultats en compétition représentent une quantité

massive d'informations, ce qui est très intéressant pour leur exploitation génétique. Chez le Selle Français par exemple, 53 % des naissances sont testés en compétition de CSO avant l'âge de 8 ans et 49 % avant l'âge de 6 ans (Danvy, 2008). Aux finales jeunes chevaux à Uzès en 2011, 159 chevaux Arabe étaient engagés sur les épreuves pour chevaux de 6 ans (vitesse libre ou imposée) (FFE Compet, 2013) ce qui correspond pour ce seul évènement à 11 % des naissances enregistrées en 2005 (ACA - France Association du cheval arabe, 2013), sachant que parmi ces 1432 immatriculations de pur-sang arabe français une partie n'est pas destinée à l'endurance. Les IRE sont ensuite disponibles sur le site de l'IFCE ou dans le catalogue des étalons arabes sur le site de l'ACA. La figure 12 présente un extrait du catalogue des étalons 2014 (Association du Cheval Arabe, 2014) où l'on peut lire l'indice de performance IRE du cheval QUERSIAM EL NEFOUS.

FIGURE 12 - EXTRAIT DU CATALOGUE DES ETALONS ACA 2014 (ASSOCIATION DU CHEVAL ARABE, 2014)



2.3.2 Critères indirects de mesure de l'aptitude : allure et conformation

Il s'agit de deux caractères bien distincts, mais présentés ensemble car mesurés lors du même type de concours : les concours modèle et allures. Nous nous intéresserons ici uniquement à la conformation qui est le sujet de notre thèse. Deux autres thèses traitent de la mesure des allures chez le cheval d'endurance : la thèse de Colin de Verdière (2014) et celle de Borgetto, non encore publiée.

→ 2.2.1 Recueil des informations

Pour les chevaux d'endurance, ces informations sont enregistrées lors de concours modèles et allures organisés par les GECE (Groupement des éleveurs de chevaux d'endurance) qui évaluent les chevaux à 3 ans et les poulinières, et lors des épreuves jeunes chevaux SHF. Le recueil des performances à l'issue de ces concours est actuellement limité. Aucune mesure objective de la conformation n'est pratiquée systématiquement lors de ces manifestations. Seules les données de jugement par le jury sont stockées sur la base de données du SIRE mais ne sont ni diffusées ni exploitées. La note globale est accessible et publique, mais le détail n'est pas accessible, et non utilisé pour des études génétiques. L'utilité de ces manifestations qui demeurent coûteuses se révèle donc, d'un point de vue génétique, actuellement presque nulle. Cependant, ces concours représentent un énorme potentiel du fait du nombre important de chevaux identifiés et notés : 696 engagés pour les finales jeunes chevaux Uzès en 2013 (FFE Compet, 2013).

→ Modalités de mesure de la conformation

Plusieurs modalités de mesure de la conformation existent chez les équidés. Chez les chevaux de traits et poneys Haflinger, la morphologie est mesurée par pointage. Le pointage consiste en une description guidée par une grille. Pour chaque item de la grille qui correspond à une caractéristique morphologique, le juge attribue une note qui décrit ce qu'il voit : 1 si la caractéristique est proche de ce que l'on attend, 9 si elle est très éloignée. Le but de cette méthode est de traduire

« en chiffre » un caractère physique sans porter de jugement de valeur. Même si elle ne l'est pas complètement, cette méthode se veut objective (Danvy, 2008).

Pour les races dont l'objectif de production est plutôt orienté vers les disciplines sportives, la caractérisation de la morphologie se fait à l'aide d'une grille de jugement. Le jugement porte sur le modèle et les allures et dans certains cas, sur l'aptitude à l'obstacle. Le jugement apporté ici est qualitatif : bon/mauvais et est une méthode subjective d'évaluation de la conformation (Danvy, 2008). Le défaut d'une note qualitative est qu'elle ne permet pas une analyse objective de la relation entre caractéristiques de la conformation et performances. L'IFCE a donc soutenu la recherche de mesures objectives en favorisant le développement du logiciel d'analyse d'image Equimetrix mis au point par le Dr Eric Barrey (Dubois, 2007) et d'une méthode de mesure de la morphométrie en 3D développée par l'unité de recherche de biomécanique et pathologie locomotrice du cheval de l'école nationale vétérinaire d'Alfort en collaboration avec l'INRA (Danvy, 2008). Ces deux méthodes d'analyses morphométriques, beaucoup plus pointues, ne sont pour le moment utilisées qu'en recherche. Bien que plus coûteuses à mettre en œuvre sur le terrain, elles offrent des perspectives intéressantes, car très précises (Dubois, 2007).

→ Héritabilité des caractères de conformation

Une source de variation de l'héritabilité de la conformation est la méthode de mesure. La conformation jugée par des méthodes subjectives (lors des concours modèles et allures) a une héritabilité plus faible que celle mesurée par des méthodes objectives (mesures de longueurs et d'angles) (Saastamoinnen et Barrey, 2000 ; Schroderus et Ojala, 2010). Les méthodes d'évaluation subjectives sont en effet influencées par de nombreux facteurs non génétiques ce qui les rend moins précises (Preisinger et al., 1991). Le tableau 16 donne les valeurs d'héritabilité des traits de conformation évalués selon des méthodes subjectives ; le tableau 17 donne des valeurs d'héritabilité pour des traits de conformation mesurés. Les études de Holmström et Philipsson (1981), Biedermann et Schmucker (1989), Seidlitz et al., (1991), Kaiser et al. (1991), Saastamoinen et al. (1998b) sont cités par Saastamoinnen et Barrey (2000).

TABLEAU 16 - ESTIMATION DES HERITABILITES DE TRAITS DE CONFORMATION EVALUES SUBJECTIVEMENT (SAASTAMOINNEN ET BARREY, 2000)

Trait	Héritabilité	Race	Référence
	0,41	Pur-sang arabe	(Holmström et Philipsson, 1981)
	0,28-0,31	Trakehner	(Preisinger <i>et al.</i> , 1991)
	0,34	Arabe	(Seidlitz <i>et al.</i> , 1991)
Туре	0,30	Cheval de selle finlandais (âgés de 1 à 3 ans)	(Schroderus et Ojala, 2010)
	0,38	Standardbred (âgés de 1 à 3 ans)	(Schroderus et Ojala, 2010)
	0,51	Pur-sang arabe	(Holmström et Philipsson, 1981)
	0,17-0,18	Trakehner	(Preisinger et al., 1991)
	0,52	Pur-sang arabe	(Seidlitz <i>et al.</i> , 1991)
Conformation	0,32	Cheval de selle finlandais (âgés de 1 à 3 ans)	(Schroderus et Ojala, 2010)
	0,47	Trotteur (âgés de 1 à 3 ans)	(Schroderus et Ojala, 2010)
	0,16-0,18	Hannovrien	(Christmann et al., 1995)
	0,09	Cheval de selle suédois	(Gerber <i>et al</i> ., 1997a)
Membres et	0,10	Trotteur finlandais	(Saastamoinen et al., 1998b)
Aplombs	0,24	Cheval de selle finlandais (âgés de 1 à 3 ans)	(Schroderus et Ojala, 2010)
	0,15	Trotteur (âgés de 1 à 3 ans)	(Schroderus et Ojala, 2010)

TABLEAU 17 - ESTIMATION DES HERITABILITES DE TRAITS DE CONFORMATION MESURES (SAASTAMOINNEN ET BARREY 2000)

Trait	Trait Héritabilité Race		Référence
	0,48	Pur-sang arabe	(Seidlitz et al., 1991)
	0,25	Trakehner	(Kaiser et al., 1991)
	0,78	Trotteur Finlandais	(Saastamoinen <i>et al.</i> , 1998b)
Hauteur au garrot	0,57	Pur-sang arabe iranien	(Gharahveysi <i>et al</i> ., 2008)
	0,89	Trotteur finlandais et Standardbred (âgés de 1 à 3 ans)	(Schroderus et Ojala, 2010)
	0,34	Pur-sang anglais	Biedermann et Schmucker, 1989)
	0,77	Trotteur finlandais	Saastamoinen <i>et al.</i> (1998b)
Hauteur de la croupe	0,61	Pur-sang arabe iranien	(Gharahveysi <i>et al</i> ., 2008)
	0,90	Cheval de selle finlandais (âgés de 1 à 3 ans)	(Schroderus et Ojala, 2010)
	0,88	Trotteur (âgés de 1 à 3 ans)	(Schroderus et Ojala, 2010)
Longueur corporelle	0,64	Trotteur finlandais	(Saastamoinen <i>et</i> <i>al</i> .,1998b)
Longueur corporene	0,27	Pur sang arabe iranien	(Gharahveysi <i>et al</i> ., 2008)
	0,31	Pur-sang arabe	(Seidlitz et al., 1991)
Périmètre thoracique	0,34	Trakehner	(Kaiser et al., 1991)
. crimene moracique	0,13	Pur-sang arabe iranien	(Gharahveysi <i>et al</i> ., 2008)
	0,51	Pur-sang arabe	(Seidlitz <i>et al</i> ., 1991)
Circonférence du	0,34	Trakehner	(Kaiser et al., 1991)
canon	0,19 (postérieur) 0,05 (antérieur)	Pur-sang arabe iranien	(Gharahveysi <i>et al</i> ., 2008)

Nous disposons aussi des héritabilités obtenues avec les méthodes Equimétrix et 3D. La comparaison est cependant difficile car les traits mesurés ne sont pas les mêmes que dans les tableaux 16 et 17.

TABLEAU 18 - HERITABILITES ESTIMEES POUR QUELQUES CRITERES MESURES PAR LA METHODE EQUIMETRIX, SUR DES CHEVAUX DE SELLE FRANCAIS (D'APRES DANVY, 2008)

Caractéristique morphologiques	Héritabilité
Taille au garrot	0,16
Longueur garrot-sommet croupe	0,19
Longueur garrot-creux du dos	0,27
Longueur du tibia	0,15
Inclinaison fémur/horizontale	0,29
Angle du grasset	0,02
Inclinaison de l'épaule	0,32
Angle de l'épaule	0,13
Angle du coude	0,15

TABLEAU 19 - HERITABILITE DE QUELQUES TRAIT MORPHOLOGIQUES EVALUES PAR MORPHOLOGIE 3D SUR DES CHEVAUX DE SELLE FRANÇAIS (D'APRES DANVY, 2008)

Caractéristiques morphologiques	Héritabilité
Longueur du tronc	0,47
Axe du paturon (droit/bas jointé)	0,35
Longueur de l'avant-bras	0,32
Longueur du canon postérieur	0,30
Inclinaison de la croupe	0,28
Orientation de la ligne du dessus (fait en montant/fait en descendant)	0,27

Quelle que soit la méthode utilisée, les héritabilités des traits de conformation sont moyennes à fortes, sauf la conformation des membres qui a une héritabilité faible. Certains auteurs considèrent que du fait de ces héritabilités moyennes à fortes, une sélection sur la conformation sera efficace (Schroderus et Ojala, 2010). On constate que les héritabilités présentées dans le tableau 16 (mesures subjectives de la conformation) sont plus faibles que les héritabilités des traits de conformations mesurés (tableau 17). L'évaluation de la conformation du membre montre des valeurs d'héritabilité très basse (tableau 16). Néanmoins, les défauts d'aplomb ont des valeurs d'héritabilités plus élevées. Dans l'étude de Love et al. (2006) menée sur 3916 yearlings, les valeurs sont comprises entre 0,16 pour les pieds cagneux à 1 pour les chevaux serrés sous le genou.

→ Corrélation génétique entre la conformation/le modèle et les autres caractères de l'objectif.

Cette corrélation est importante à évaluer dans le cadre d'une sélection pour la performance via la conformation. Plus cette corrélation est forte, plus le progrès génétique permis sera fort. Nous avons déjà vu précédemment qu'il existe un lien entre conformation et performance, qui est plutôt faible. Dans la partie III 2.5.1 « A la recherche de critères de sélection précoces », nous nous intéresserons plus particulièrement à ce lien chez les jeunes chevaux.

2.4 Evaluation des reproducteurs : indices génétiques.

Il est nécessaire de disposer d'un index, qui permette de se faire une idée de la descendance future d'un candidat même en absence de descendants déjà connus, et qui valorise toutes les informations dont on dispose à son sujet. Cet index est l'estimation de la valeur génétique additive A d'un individu à un moment donné. Il permet le classement des candidats à la sélection avec une précision chiffrée par le coefficient de détermination CD.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes : (1) L'index est une valeur estimée par le BLUP (Best Linear Unbiaised Predictor) à partir des performances de l'individu et/ou de ses apparentés. Le BLUP est à ce jour la meilleure méthode pour l'estimation de ces indices. En endurance, les index génétiques sont les BRE (BLUP pour les raids d'endurance) et sont calculés à partir des indices de performances de l'individu et de ses apparentés. (2) L'index est, pour le moment chez les chevaux d'endurance, constitué par un seul critère de sélection (les indices de performances). Mais il est possible de regrouper un ensemble de caractères dans un même index synthétique. Pour les vaches laitières par exemple, l'ISU (Index Synthèse Unique) est un index complet, combinant les caractères de production INEL (Index Economique Laitier), les caractères fonctionnels (comptage cellulaire, fertilité et longévité) et la synthèse des caractères morphologiques. La pondération entre ces différents critères est spécifique à chaque race selon les objectifs de sélection qu'elle s'est défini (France Génétique Elevage, 2011). Chez les chevaux d'endurance, on pourrait envisager qu'à terme, le BRE regroupe d'autres caractères tels que des caractères morphologiques ou la présence ou non d'un marqueur QTL. (3) L'index estime la propre valeur génétique additive d'un reproducteur, lequel transmet en moyenne, la moitié de la valeur de son index à sa descendance. (4) L'index est un outil de classement des candidats à la sélection. Le BRE est centré sur 0, qui représente la valeur moyenne de la population. Les étalons améliorateurs auront des index supérieurs à cette moyenne. (5) Les index sont actualisés afin de considérer l'évolution du niveau génétique moyen de la population et l'arrivée de nouvelles informations. (6) La précision des index est chiffrée par le coefficient de détermination. Plus il est élevé, plus l'index est précis (Danvy et Depuille, 2013).

Les indices BRE sont ensuite publiés avec les IRE sur le site de l'IFCE ou dans le catalogue des pur-sang arabes disponible sur le site de l'ACA (Figure 12).

Le stud-book arabe impose peu de conditions pour les reproducteurs. C'est de la responsabilité de l'éleveur de faire ses choix de reproducteurs. Néanmoins, des primes d'encouragement sont versées aux éleveurs présentant de bonnes poulinières ou de bons reproducteurs.

Conclusion:

La sélection des chevaux est organisée à l'échelle nationale, grâce à la collaboration de nombreux organismes (IFCE, associations de races, INRA, FFE, SHF...). Pour la filière endurance, les objectifs de sélection sont fixés par la commission endurance de l'ACA via les PEE. Une fois l'objectif global de sélection choisi (la performance en endurance), il faut déterminer des critères de sélection, qui peuvent être directs (la réussite en compétition) ou indirects (la conformation et les allures). Pour chacun de ces critères, héritabilité et corrélation avec l'objectif final sont estimés, avant d'organiser leur collecte puis leur exploitation. L'ensemble des informations collectées pour un individu est ensuite résumé au sein d'un seul index synthétique, qui est pour l'endurance le BRE.

2.5 Evaluation des jeunes chevaux

Cette thèse s'intéresse tout particulièrement à ce que peut apporter l'évaluation des jeunes chevaux dans un programme de sélection. L'intérêt majeur de travailler sur les jeunes chevaux, est la recherche de critères précoces de sélection. Disposer d'un critère précoce de sélection permet à l'échelle de la population, de réduire l'intervalle entre génération et d'augmenter ainsi la vitesse du progrès génétique. A l'échelle de l'éleveur et de l'entraineur, la définition de critères précoces de sélection permet de réduire les coûts et le temps passé à l'entrainement des chevaux, en leur permettant de conserver le plus tôt possible uniquement les chevaux qui seront à terme performants. Lorsque les chevaux sont jeunes (4, 5 et 6 ans : âges auxquels les chevaux d'endurance débutent leur carrière sportive), l'éleveur, pour estimer la future aptitude sportive de ses produits a à sa disposition : les informations relatives aux parents du cheval et à ses apparentés (indice de performance, indice génétique..), ses résultats en concours d'élevage et ses premiers résultats en compétition.

Se pose la question de savoir si ces informations sont prédictives de la future aptitude sportive du jeune cheval et si elles peuvent constituer des critères précoces de sélection. Une fois les meilleurs critères de sélection choisi, comment peut-on les tester à l'échelle de la population et les intégrer au mieux aux programmes de sélection ? Enfin, à quel progrès génétique s'attendre suite à la mise en place d'un testage des jeunes chevaux ?

2.5.1 A la recherche d'un critère précoce de sélection

En plus, de pouvoir être mesurés précocement, le ou les critères de sélection que nous cherchons à mettre en évidence doivent présenter les caractéristiques suivantes : (1) être mesurable, sur l'individu ou ses apparentés, (2) sa mesure doit être d'un coût acceptable par rapport à l'amélioration génétique engendrée par la sélection, (3) quand il n'est pas lui-même l'objectif de sélection, il présente une corrélation génétique élevée et favorable avec l'objectif de sélection; ceci conditionne la réponse à la sélection, (4) il a une héritabilité aussi élevée que possible pour réaliser une sélection précise, (5) il n'a pas de corrélation génétique défavorable vis-à-vis des caractères qui

ne sont pas retenus comme objectifs de sélection, mais qui peuvent présenter un intérêt dans d'autres conditions d'élevage.

→ Valeur prédictive des informations disponibles sur les parents du jeune cheval.

Un cheval né de parents performants sera-t-il performant ? La génétique n'explique qu'environ 15 à 25 % de la performance en concours hippique, 25 % en courses de trot et 35 % en courses de plat (Barrey, 1992). Le choix de reproducteurs, même s'il ne fait pas tout, est donc important. Lors du choix des reproducteurs, l'éleveur cherche à prédire la valeur moyenne de la descendance engendrée par ces reproducteurs. Cette valeur de la descendance est fonction d'une part des effets des gènes reçus par les parents (valeur génétique additive) et d'autre part des effets d'interactions entre les effets des gènes paternels et maternels. Ce type de sélection est une sélection par ascendance : on évalue la qualité d'un cheval à partir de la qualité de ses reproducteurs. Cette sélection n'engendre qu'un faible progrès génétique mais permet un premier tri. Pour que cette étape soit possible, il faut pouvoir disposer de moyens de caractériser les parents. Ce choix des reproducteurs se fait donc à l'aide des BRE, disponibles depuis peu en endurance.

→ Valeur prédictive de la conformation du jeune cheval d'endurance

Chez le pur-sang de course, les mensurations du yearling peuvent être utilisées pour prédire les mensurations du cheval adulte avec une bonne précision. En outre, certaines mensurations du cheval adulte, comme la hauteur au garrot, sont corrélées avec les performances en courses des chevaux (Staniar *et al.*, 2004). Ces deux constats laissent supposer que les mensurations du poulain permettent de prédire ses performances futures. Les études de Smith *et al.* (2006) menée sur 260 poulains pur-sang de un an et de Cilek (2012) menée sur 293 poulains pur-sang arabe de 6 mois sont en faveur de cette hypothèse. Si les mesures des membres des poulains (longueurs et circonférences) ne sont pas corrélées avec les performances futures, en revanche, la hauteur au garrot, la longueur corporelle, le périmètre thoracique et la hauteur de la croupe sont corrélées avec les performances à l'âge adulte du poulain. Les coefficients de corrélations sont compris entre 0,24 et 0,31 (Smith *et al.*, 2006). Ces corrélations sont des corrélations phénotypiques.

Le travail de Suontama *et al.* (2013) mené chez des trotteurs américains (Standardbred) et finlandais mesure les corrélations génétiques et phénotypiques entre la conformation de poulains âgés de 1 à 2 ans d'une part, et de jeunes chevaux (âgés de 6 à 7 ans) d'autre part, et leurs résultats en courses. La mesure de la conformation allie des notations subjectives et des mensurations. Quelle que soit la façon de mesurer la conformation, les corrélations génétiques entre la conformation du poulain et ses performances en courses sont faibles à modérées ($r_g = 0,15$ à 0,41). L'ensemble des corrélations phénotypiques calculées dans cette étude sont nulles à faibles.

La conformation des jeunes chevaux de sport est évaluée au moment de l'inscription au studbook de la race en Allemagne pour les KWPN ou lors de Riding Horse Quality Test (RHQT) en Suède pour les Selles Suédois. Ces RHQT sont des tests de terrain menés sur une journée et sont une étape de la sélection des chevaux de sport en Suède. Dans les deux cas, la conformation des jeunes chevaux est évaluée par des juges, qui attribuent aux chevaux une note globale et/ou une note par item de conformation (ex : aplombs, musculature des hanches, note de l'avant main...). Les items et l'échelle de notation sont différents entre les deux pays, mais la démarche est similaire. Koenen et al. (1995) et Viklund et al. (2010) ont mis en relation les résultats de ces tests de conformation avec les performances en dressage et saut d'obstacles mesurées sur l'ensemble de la carrière du jeune cheval, âgé au moment des mesures de 4, 5, 6 ou 7 ans dans l'étude Koenen et de 4 ans dans l'étude de Viklund. Chez les KWPN, une longue encolure, une épaule longue et inclinée et une croupe longue, fortement musclée sont génétiquement et modérément corrélées avec les performances en dressage (respectivement $r_g = 0.32 \ r_g = 0.40 \ r_g = 0.49 \ r_g = 0.29$). En saut d'obstacles, on observe des corrélations génétiques modérées avec les performances pour une encolure fortement musclée

 $(r_g = 0,25)$, une croupe inclinée $(r_g = 0,24)$ et fortement musclée $(r_g = 0,28)$. Chez les Selles suédois, les notes de conformation des jeunes chevaux étaient fortement corrélées avec les performances en dressage (corrélations génétiques comprises entre 0,45 et 0,71 en fonction du trait de conformation noté) sauf pour les aplombs ou la corrélation est faible $(r_g = 0,15 \text{ à } 0,22)$. Les corrélations génétiques observées entre conformation et saut d'obstacles étaient plus faibles (comprises entre 0,19 et 0,34) selon Viklund et al. (2010). Une étude similaire par Wallin et al. (2003) publie des corrélations génétiques entre la conformation de jeunes chevaux de sport suédois mesurée lors de RHQT comprises entre 0,2 à 0,4. Dans les deux études, les corrélations phénotypiques entre conformation et allures sont très faibles voire nulle.

Dans les études présentées, la majorité des corrélations entre la conformation des poulains ou jeunes chevaux avec leurs performances sportives à l'âge adulte sont faibles à modérées, sauf pour les études suédoises qui sont beaucoup plus encourageantes. La conformation des jeunes chevaux semble donc être d'une utilité limitée pour la prédiction des performances. Les équipes de Arnason (1993) et Arnason *et al.* (1996) citées par Wallin *et al.* (2003) aboutissent à cette même conclusion.

Mais cette conclusion est à nuancer. Les critères de conformation peuvent aussi être utilisés comme indicateurs de longévité et de santé du cheval (comme nous l'avons déjà évoqué dans la partie II) et peuvent avoir à ce titre une utilité pour une sélection menée sur la performance. Les jeunes chevaux de 4 ans avec les plus mauvaises notes de conformation ont deux fois plus de risque d'interrompre brutalement leur carrière sportive que les chevaux ayant eu les meilleures notes de conformation. Les notes d'allures des jeunes chevaux de 4 ans, en revanche, ne permettent pas de prédire la longévité des chevaux Wallin et al. (2001). Les corrélations calculées dans cette étude sont cependant uniquement phénotypiques. Plus récemment, Stock et Distl (2006) ont calculé des corrélations génétiques entre les images radiographiques et la conformation chez le Hanovrien. La taille a un effet défavorable. Elle est corrélée positivement avec l'apparition de lésions d'ostéochondrose (rq = 0,37 pour les lésions observées dans le boulet et 0,52 pour les lésions observées dans le jarret). En revanche, les conformations des membres ne permettent pas de dégager des corrélations élevées (r_a = -0,29 entre la conformation des membres antérieurs et des lésions d'ostéochondrose dans les boulets, $r_g = 0.03$ seulement entre la conformation des membres postérieurs et les lésions d'ostéochondrose dans les jarrets). Le critère conformation présente aussi l'avantage d'avoir une bonne héritabilité, meilleure que l'héritabilité du critère « aptitude sportive ». En outre, certains auteurs suggèrent qu'un système de notation de la conformation, plus précis (avec l'ajout de mensurations) et moins subjectif que des notes attribuées par des juges, permettrait de mettre en évidence la relation entre la conformation des jeunes chevaux et leurs performances. (Holmström et Philipsson, 1993). Les études de Smith et al. (2006) et Suontama et al. (2013) présentées plus haut, ne vont cependant pas dans le sens de cette hypothèse. Le développement de la méthode Equimétrix et de la méthode d'évaluation de la conformation 3D permettront peut-être de mettre en évidence des corrélations plus fortes.

→ Valeur prédictive des allures du jeune cheval

La locomotion du poulain et celle de l'adulte ne sont pas identiques, du fait des changements morphologiques dus à la croissance (augmentation de la hauteur au garrot et de la longueur des membres). Les caractéristiques temporelles (durée de la phase d'appui, durée de la phase de suspension, durée de la foulée) et les variables cinématiques (variation des angles articulaires) qui permettent de caractériser les allures des chevaux, évoluent avec l'âge (Back et al., 1995, Cano et al., 2001). Mais l'intérêt majeur de ces études qui s'intéressent à l'évolution de la locomotion du poulain avec l'âge, est qu'elles permettent d'identifier des variables cinématiques identiques entre les jeunes et les adultes. Ces études s'articulent autour de deux problématiques: Quelles sont les caractéristiques des allures gages de qualité ? Peut-on détecter ces caractéristiques dès le plus jeune âge ?

La durée de la phase de suspension, l'angle entre la position de protraction maximale du membre et de rétraction maximale et l'angle de flexion maximale du tarse sont par exemple identiques chez des chevaux KWPN de 4 mois et chez ces mêmes chevaux âgés de 26 mois. Il a été montré par ailleurs que ces variables sont des marqueurs de qualité des allures, pour des chevaux destinés au dressage (Back *et al.*, 1994). De même, Cano *et al.* (2001) identifient des caractéristiques cinématiques identiques entre poulains de 24 mois et des jeunes chevaux de 36 mois, de race andalouse. Pour le saut d'obstacle, les chevaux les plus performants, fléchissent mieux leurs antérieurs (grâce à une importante flexion du coude) et leurs postérieurs au moment de franchir l'obstacle, que des chevaux moins performants. Et ceci peut être observé dès l'âge de 6 mois (Bobbert *et al.*, 2005).

A la lumière de ces études, les tests d'allures menés chez le jeune cheval apparaissent donc pertinents, puisque le jeune cheval présente dès son jeune âge des caractéristiques marqueurs de qualité future. Cependant, ces études ont plusieurs limites qui doivent être relevées. Identifier des différences entre groupes de chevaux, n'est pas équivalent, à faire des prédictions à partir d'un seul individu. Bobbert *et al.* (2005), par exemple, trient les poulains de leur étude en deux groupes : futurs performers et futurs non-performers à partir des angles de flexion du coude et de flexion des postérieurs, au moment de franchir l'obstacle. Le résultat n'est pas celui attendu. Les groupes prédits à partir des capacités sportives des poulains, ne sont pas identiques à ceux observés à l'âge de 5 ans, constitués à partir des performances sportives réelles mesurées à l'âge de 5 ans. La prise en compte de seulement deux caractéristiques n'est pas suffisante pour effectuer un tri correct des poulains. En outre, pour prouver qu'il est possible de prédire les performances futures du poulain à partir de ces allures, il est nécessaire de suivre les mêmes poulains pendant plusieurs années. Ce type de démarche est très coûteux et ne permet pas de travailler sur de grands échantillons : Bobbert *et al.* (1995) travaillent sur 29 chevaux, Back *et al.* (1994) sur 24 chevaux et Cano *et al.* (2009) sur 9 chevaux.

L'utilisation des résultats aux tests modèle et allures des jeunes chevaux et leurs résultats en compétions à l'âge adulte, permet de travailler sur de très grands échantillons, et ce à moindre coût. Les résultats de ces études rétrospectives sont très encourageants. En Suède, les jeunes chevaux de 4 ans peuvent participer à des RHQT (Riding horse quality test) au cours desquels une équipe de juges attribue une note de conformation et d'allure. Il existe des corrélations génétiques fortes entre les notes d'allures attribuées aux jeunes chevaux au cours de ces tests et leurs performances futures en dressage ($r_q = 0.63$ à 0.75 dans l'étude de Wallin et al. (2003), $r_q = 0.47$ à 0.77 dans l'étude de Viklund et al. (2010)) et entre les notes attribuées au saut (monté ou en liberté) du cheval de 4 ans et ses performances sportives en CSO à l'âge adulte (r_q = 0,83 à 0,93 dans l'étude de Wallin et al. (2003) et de 0,87 à 0,89 dans l'étude de Viklund et al. (2010)). Au sein de ces corrélations, le galop était l'allure la plus fortement corrélée avec les performances futures. D'autres études, citées par Viklund et al. (2010), confirment que les tests menés chez les jeunes chevaux sont une aide dans la prédiction des performances futures. Luhrs-Behnke et al. (2006a) trouvent des corrélations génétiques égales à 0,88 entre la maniabilité du cheval sous la selle et les résultats en compétions de dressage. Ducro et al. (2007) estiment à 0,69 les corrélations génétiques entre les allures (évaluées lors des tests d'entrée au studbook) et les compétences en dressage, et à 0,87 les corrélations génétiques entre les tests de saut et les compétences en CSO.

→ Valeur prédictive des premiers résultats en compétition du jeune cheval

En France, les chevaux âgés de 4, 5 et 6 ans participent aux épreuves jeunes chevaux organisés par la SHF. Les résultats obtenus lors de ces compétitions sont-ils prédictifs de la suite de leur carrière ? En ce qui concerne les épreuves jeunes chevaux en saut d'obstacles, les corrélations génétiques entre les résultats de deux années consécutives sont très fortes (supérieures à 0,90) et égales à 0,76 entre les résultats obtenus à 4 ans et ceux à 6 ans. Les corrélations génétiques entre les résultats en compétions à 4 ans, 5 ans et 6 ans et les performances à 10 ans sont respectivement égales à 0,67, 0,82 et 0,84. L'ensemble des résultats de ces études, pour le saut d'obstacles est

présenté dans le tableau 20 (Danvy, 2008). Dans l'étude de Viklund *et al.* (2010) sur les chevaux de sport suédois, les corrélations génétiques entre les résultats en compétitions obtenus entre 4 et 6 ans et les résultats obtenus tout au long de la carrière sportive du cheval sont comprises entre 0,84 et 0,93 pour le dressage et 0,92 à 0,99 pour le saut d'obstacles. Les corrélations phénotypiques sont aussi disponibles dans cette étude et valent entre 0,60 à 0,68 pour le dressage et entre 0,69 et 0,72 pour le saut d'obstacles.

TABLEAU 20 - HERITABILITE (DIAGONALE) CORRELATIONS GENETIQUES (TRIANGLE SUPERIEUR) ET PHENOTYPIQUES (TRIANGLE INFERIEUR) EN CSO POUR LE LOG (GAIN ANNUEL) SELON L'AGE (DANVY, 2008)

	4 ans	5 ans	6 ans	10 ans
4 ans	0,33	0,92	0,76	0,67
5 ans	0,42	0,28	0,91	0,82
6 ans	0,30	0,50	0,22	0,84
10 ans	0,20	0,34	0,45	0,26

Il faut noter les différences entre les corrélations phénotypiques et génétiques. Malgré des corrélations phénotypiques faibles à modérées entre les performances du même cheval réalisées à des âges différents, les corrélations génétiques sont, elles, très élevées. En effet, du fait des aléas de la vie, un cheval peut avoir de fortes fluctuations de performances, mais d'un point de vue génétique, c'est bien la même performance qui s'exprime. Si deux performances à des âges différents pour un même cheval ne se ressemblent pas (corrélations phénotypiques faibles) ce n'est pas dû à une différence de qualité (corrélation génétique forte) mais à une différence de milieu de valorisation (Danvy, 2008).

En CSO et en dressage, l'héritabilité des performances précoces est plus élevée que l'héritabilité des performances adultes. A cet âge, les chevaux bénéficient apparemment d'une meilleure homogénéité dans les conditions environnementales (cavaliers professionnels) ainsi que d'un circuit homogène de compétition. La génétique s'y révèle d'autant mieux. Ceci, va à l'encontre de l'idée reçue qu'à 4 ans, le cavalier fait tout. On oublie que l'ensemble des cavaliers des chevaux de 4 ans est un ensemble plus homogène que l'ensemble des cavaliers de chevaux dans les compétitions sportives à l'âge adulte. En complet, on ne retrouve pas ce phénomène malgré là aussi la présence de compétitions pour les jeunes chevaux. Au contraire, la performance à 5 ou 6 ans, est nettement moins héritable.

Au vu de ces corrélations génétiques fortes et de leur héritabilité moyenne à forte, les résultats des jeunes chevaux en dressage et saut d'obstacles peuvent être utilisés pour la sélection précoce des chevaux de sport. Mais qu'en est-il pour l'endurance ? Chez le cheval d'endurance, la prédictivité des premiers résultats en course est difficile à évaluer. Les corrélations entre deux résultats en courses chez le cheval adulte sont très fortes (Ricard et Touvais, 2007), mais ce résultat ne peut pas être extrapolé aux jeunes chevaux. Plusieurs raisons à cela, la principale étant le manque d'informations apportées par les courses des jeunes chevaux. En effet, ces courses se courent à vitesse limitée, ne donnent pas lieu à un classement des partants et l'effort demandé aux chevaux, pour les 4 ans surtout, n'est pas assez discriminant (20 km pour les 4 ans, 60 km pour les 5 ans et 90 km pour les 6 ans). Autrement dit, une course de 20 km est un effort aisé pour les chevaux, les résultats de cette courses ne sont donc pas très informatifs.

Pour conclure, nous présentons deux tableaux récapitulatifs des corrélations entre des critères de conformation, d'allure ou de compétition mesurés chez des jeunes chevaux avec leurs performances sportives futures (D'après Thorén Hellsten *et al.*, 2006).

TABLEAU 21 - CORRELATIONS GENETIQUES ENTRE DES CRITERES MESURES LORS DU TESTAGE DES JEUNES CHEVAUX (TESTS DE TERRAIN, TESTS EN STATION OU COMPETITIONS JEUNES CHEVAUX) ET LES RESULTATS EN COMPETITION DE DRESSAGE A L'AGE ADULTE

	Critères mesurant la performance adulte					
Critère mesuré lors des tests jeunes chevaux	Gains ou placements	Points cumulés	Plus haut niveau atteint en compétition			
CONFORMATION						
Position de l'épaule	-	-	0,401			
Longueur de l'encolure	-	-	0,321			
Forme de la croupe	-	-	0,25'			
Longueur de la croupe	-	-	0,49'			
Musculature des hanches	-	-	0,29 ⁱ			
Note conformation globale	0,60 ^j 0,37 ^e 0,65 ^j 0,38 ^e		-			
ALLURE						
Pas	-	0,20 ^d 0,49 ^e	-			
Trot	-	0,57 ^d 0,73 ^e	-			
Galop	-	0,26° 0,73°	-			
Note globale allure	-	0,72 ^e	-			
Maniabilité	0,88 ^a 0,86 ^b 0,68 ^e		0,83 [†]			
Tempérament	-	-	0,60 [†]			
Note globale	-	-	0,41 [†]			

Etudes allemandes: a Schade (1996) (testage en station des étalon/compétitions), b Bruns and Schade (1998) (testage en station des étalons et poulinières/compétition), c Brockmann (1998) (tests de terrain pour poulinières/compétition).

Etudes suédoises: **d** Gelinder *et al.* (2001) (testage en station des étalons/compétition), **e** Wallin *et al.* (2003) (test de terrain RHQT /compétition). **j** Viklund (2010) (tests de terrain RHQT)

Etudes néerlandaises: f Huizinga *et al.* (1990) (Tests de terrain pour les poulinières/compétition), g Van Veldhuizen (1997) (testage en station des poulinière et étalon/compétition). i Koenen (1995) (test de terrain pour les poulinière).

Etudes françaises: h Tavernier (1992) (vompétition jeunes chevaux/résultats en compétition à 10 ans).

TABLEAU 22 - CORRELATIONS GENETIQUES ENTRE DES CRITERES MESURES LORS DU TESTAGE DES JEUNES CHEVAUX (TESTS DE TERRAIN, TESTS EN STATION OU COMPETITIONS JEUNES CHEVAUX) ET LES RESULTATS EN COMPETITION DE CSO A L'AGE ADULTE

	Critères mesurant la performance adulte					
Critère mesuré lors des tests jeunes chevaux	Gains ou placements	Points cumulés	Plus haut niveau atteint en compétition	Gain annuel		
	C	ONFORMATION				
Musculature de l'encolure	-	-	0,25 ⁱ	-		
Forme de la croupe	-	-	0,24	=		
Musculature des hanches	-	-	0,28 ⁱ	-		
Note de conformation globale	0,19 ^j 0,18 ^e	0,22 ^j 0,42 ^e	-	-		
ALLURE						
Saut en liberté	0,64 ^e	0,75 ^d	-	-		
Saut monté		0,87 ^d	-	-		
Capacité au saut	0,78 ^a 0,79 ^b	0,88 ^e	0,48 ^f 0,90 ^g	-		
Score total	-	-	0,05 ^t	-		
Compétitions jeune cheval, 4ans	-	-	-	0,67 ^h		
Compétition jeune cheval, 5ans	-	-	-	0,85 ^h		
Compétition jeune cheval, 6ans	-	-	-	0,85 ^h		

Légendes : cf. Tableau 21

Les allures et les premiers résultats en compétition semblent être de bons critères de sélection précoce. Ils sont en effet mesurables dès le début de la carrière sportive des chevaux. L'obtention des premiers résultats en compétition présente l'avantage de se faire à moindre coût puisque ces résultats sont enregistrés systématiquement par les organisateurs de l'épreuve. Les deux critères présentent des héritabilités faibles à moyennes selon les études. Leur point fort réside dans leur forte corrélation avec l'objectif principal de sélection.

L'utilisation de la conformation comme critère précoce de sélection pour la performance sportive est discutable. La conformation du jeune cheval est en effet faiblement corrélée à l'objectif principal de sélection qu'est la performance sportive. Mais, ce critère présente les avantages d'être mesurable très précocement, d'être mesurable à coût modéré (le coût dépend tout de même de la précision de la technique) et de présenter une héritabilité moyenne à forte. La conformation est aussi corrélée à la longévité de la carrière sportive du cheval et à sa santé. Enfin, il présente un intérêt économique, dans la mesure où une sélection sur la conformation permet une meilleure mise en valeur des produits. Eleveurs et acheteurs y accordent en effet beaucoup d'importance et un produit avec une bonne conformation aura une meilleure valeur marchande.

Conclusion:

Le but de l'étude des jeunes chevaux est la mise en évidence de critères précoces de sélection. En attendant la publication d'indices plus précis (IRE et BRE ne sont pas disponibles pour les jeunes chevaux), les programmes de sélection exploitent les informations suivantes : indices génétiques des parents, conformation, allures et résultats en compétition des jeunes chevaux.

2.5.2 <u>Organisation pratique des tests jeunes chevaux en Europe</u>

Une fois les critères précoces de sélection définis, il faut ensuite décider comment ils seront intégrés au sein du schéma de sélection. L'organisation de la sélection des chevaux de sport n'est pas homogène au sein de l'Europe. L'analyse des différentes modalités de testage des jeunes chevaux utilisées en Europe permet de les comparer entre elles et d'estimer leur efficacité (Thorén Hellsten *et al.*, 2006). En fonction des pays, on observe des différences de contenu (plus ou moins d'importance accordée à conformation, allures et résultats en compétition) et des différences dans l'organisation pratique du test (tests en station, tests sur le terrain, test en compétition, tests sur une seule journée, tests sur une longue ou courte période...)

Le testage des jeunes chevaux a plusieurs buts. Le premier est de fournir des informations pour l'évaluation génétique du jeune cheval lui-même, et de ses parents, informations qui permettront le calcul des indices génétiques. Le second but est de repérer précocement les jeunes chevaux performants.

Pour les chevaux de sport, destinés au saut d'obstacles et au dressage, il existe en Europe deux grandes modalités de testage : les tests en station, plutôt réservés au testage des futurs étalons reproducteurs, et les tests sur le terrain. Pour les tests en station des futurs étalons, l'organisation la plus répandue en Europe est un testage à l'âge de 3 ou 4 ans pendant environ 70 jours. En Grande-Bretagne, Suède et Hongrie, les tests en station ne durent qu'une semaine. Certains pays testent aussi les poulinières en station. En Belgique, Finlande, Norvège et en France, les chevaux de sport ne subissent pas de tests en station. Dans ces pays, seuls des tests de terrain ou les résultats en compétition sont utilisés. Ces tests de terrain, pour la plupart, se déroulent en une journée, et testent à la fois jument, étalons et hongres. Lors de ces tests de terrains, sont évalués le modèle et la conformation, les allures, la capacité au saut, et la maniabilité sous la selle. En France et en Belgique, beaucoup d'importance est donnée aux résultats en compétition qui constituent le principal critère de sélection des étalons. La Société Hippique Française organise des épreuves « Cycles classiques » réservées aux chevaux de 4, 5 et 6 ans. Il existe un équivalent de ces « Cycles classiques » en Belgique pour les chevaux de 4 à 7 ans. Ces résultats sont intégrés dans le calcul des indices génétiques des chevaux. Le nombre moyen de participations par jeune cheval est de 10 pour le saut

d'obstacle. Ce nombre est beaucoup plus faible pour les compétitions jeunes chevaux organisées pour le dressage, le concours complet ou l'endurance. En fonction des disciplines, la proportion de jeunes chevaux testés varie entre 13 et 45 % de la population des poulains enregistrée. Le tableau 23 résume les modalités de testage des jeunes chevaux pratiquées en Europe (Thorén Hellsten *et al.*, 2006).

TABLEAU 23 - ORGANISATION DES TESTS JEUNES CHEVAUX, DESTINES AU DRESSAGE ET CSO, EN EUROPE. (D'APRES THOREN HELLSTEN *ET AL.*, 2006)

(BATALE HIGHER HELLOTER ET AL., 2000)								
		Belgique	Danemark	France	Allemagne	Irlande	Pays- Bas	Suède
		Cara	actéristiques	des test	s			
Type de test		С	TS	С	TSC	S C	TS	Т
Age au moment du test		4–7	3–4	4–6	3–4	3–5	3–4	3–5
Sexe des chevaux testés		FHM	FHM	FHM	FHM	FM	FM	FHM
Durée du test (jours)		365	1-70	365	1-100	1-365	1-70	1
	_		Caractères	testés		•		
Conforn	nation	-	Т		Т		Т	Т
Allures		-	TS		TS	CS	TS	S
Aptitude	Dressage		TS	С	TSC	С	S	Т
sportive	CSO	С	FS	С	TSC	CS	S	Т
	Complet	-	-	С	-	С	-	-
Comport	ement	-	S	-	S	S	-	T
San	té	-		-		S	-	Т
Nombre de che par a		1000	700	3600	3600	475	3400	1300
Nombre de enregis	•	4000	2500	8000	26 700	4800	12 000	3000
Proportion d testés		25	28	45	13	10	28	43

Légende : Sexe des chevaux : F femelle, H hongre, M mâle - Modalités de testage : C en compétition, T sur le terrain, S en station

L'efficacité d'un test jeune chevaux dépend de sa capacité de testage (c'est-à-dire la proportion de chevaux mesurés), des corrélations entre les résultats du test et les performances futures et des héritabilités des critères testés.

La corrélation à l'objectif des résultats des tests et leur héritabilité concourent à la précision de l'évaluation permise par ces tests et dépendent en partie du type de critère mesuré. Ceci a été discuté précédemment (parties III.2.3. et III.2.5.1.). Ces deux modalités dépendent aussi de la méthode de mesure et donc de l'organisation pratique du test. Plus la méthode de mesure est précise, plus la corrélation et l'héritabilité des critères mesurés vont être forte. L'héritabilité des critères mesurés en station est modérée à forte (h² = 0,4-0,5), ce qui est meilleur que pour les tests de terrain et les résultats en compétition. L'héritabilité des résultats des tests de terrain menés sur une seule journée et l'héritabilité des résultats en compétition est faible à modérée (h² = 0,2-0,3) (Thorén Hollsten et al., 2006). En station, les conditions d'élevage, l'équipe des juges et le déroulement du test sont beaucoup plus homogènes entre les chevaux, ce qui explique la plus forte héritabilité obtenue pour les tests en station (Hallais, 2012). La corrélation entre résultats des tests en station et des performances futures est forte (0,7 à 0,8), ce qui est légèrement meilleur que les tests menés sur le terrain et équivalent à la corrélation entre les résultats des compétitions jeunes chevaux en France et les performances sportives futures des chevaux (sauf pour les compétitions jeunes chevaux de 4 ans). Brockman (1998), cité par Thorén Hollsten et al. (2006), prouve que les tests en station d'une durée de 30 jours sont équivalant à des tests de terrain d'une journée.

La capacité de testage dépend elle strictement de l'organisation pratique du test. Une capacité de testage importante permet une forte intensité de sélection. Elle permet aussi d'augmenter la précision des évaluations des ascendants de la population testée. Plus le nombre de produits testés

par étalon est important, plus les indices génétiques de l'étalon sont précis. Les capacités de testage dépendent de la simplicité du test, de sa facilité et de son coût de mise en œuvre, des modalités d'accès pour les propriétaires. Comme expliqué par Gelinder et al. (2001), cité par Thorén Hellsten et al. (2006), le test n'a pas à être compliqué pour révéler le talent des jeunes chevaux. Un test simple pourra être mené sur un nombre important de chevaux. On observe une différence importante dans les capacités de testage des tests menés en station et des tests menés sur le terrain ou en compétition. Les tests sur le terrain/compétition sont accessibles à tous les chevaux, tous sexes confondus, tandis que les tests en station, sont réservés à un petit nombre de chevaux, étalons essentiellement (et parfois poulinières). Le tableau 23 montre que ce sont les compétitions jeunes chevaux, ouvertes à tous, qui permettent de tester le plus grand nombre de chevaux. Le progrès génétique augmente de façon exponentielle avec le nombre d'étalons testés. Par exemple, 15 % de progrès génétique sont gagnés en passant de 40 % de la population testée (proche de l'état actuel) à toute la population vivante (soit environ 80 % de la population née). Cependant, atteindre cet optimum de 80 % n'est pas facile car tester les chevaux a un coût et tous les propriétaires de chevaux ne sont pas prêts à s'y soumettre (D'après une étude de Dubois et Ricard (2001), citée par Danvy (2008)).

Plusieurs auteurs s'accordent sur le fait que la capacité de testage est un élément déterminant pour les tests jeunes chevaux. Malgré des caractéristiques génétiques plus faibles, les tests sur le terrain ou en compétition sont donc considérés comme plus efficaces que les tests en station car capables de tester un plus grand nombre de chevaux

2.5.3. Progrès génétique permis par le testage des jeunes chevaux

Un programme de sélection qui intègre une étape de testage des jeunes chevaux permet-il un progrès génétique supérieur à un programme de sélection qui n'utilise pas le testage des jeunes chevaux ? Les auteurs Dubois et Ricard (2001), cités par Danvy (2008), ont modélisés plusieurs scénarios de sélection de chevaux de CSO, et estimé le progrès génétique attendu pour chacun de ces scénarios. Les résultats sont présentés dans le tableau 24. Le scénario de référence est le suivant : un test modèle et allures à 3 ans (passé par 30 % des chevaux nés), une sortie en compétition à 5 ans (45 % des chevaux nés). Puis, seuls les mâles ayant passé au moins un test pourront prétendre à devenir étalons. Les 2 % meilleurs seront sélectionnées et testés sur un troisième critère. Ces étalons subissent ensuite un test sur descendance à 12 ans. Les femelles peuvent toutes devenir reproductrices, qu'elles aient été testées ou non.

TABLEAU 24 - PROGRES GENETIQUE EN UNITE D'ECART TYPE DANS DIFFERENTS SCHEMA DE SELECTION (DIFFERENCE EXPRIMEE EN % PAR RAPPORT AU SCHEMA DE REFERENCE) (D'APRES DUBOIS ET RICARD (2001) CITES PAR (DANVY, 2008))

	Progrès génétique exprimé en unité d'écart type pour			
	Le schéma de référence	Le schéma sans présélection	Le schéma sans testage sur descendance	
Modèle et allures	0,026	0,025 (-5 %)	0,023 (-12 %)	
Aptitude à l'obstacle	0,090	0,087 (-3 %)	0,081 (-9 %)	
GLOBAL	0,094	0,091 (-3 %)	0,085 (-0,9 %)	

Les résultats présentés dans le tableau montrent qu'un programme de sélection qui intègre un testage des jeunes chevaux permet un progrès génétique plus important qu'un schéma sans. Cependant, les tests jeunes chevaux, malgré les très fortes corrélations avec les performances futures et leurs fortes héritabilités, ne sont pas aussi informatifs que les performances propres du cheval. Les tests jeunes chevaux doivent donc être une étape qui permet d'affiner la sélection, mais ne peuvent pas remplacer la sélection sur performance propre (Suontama et al., 2013).

Au vu des corrélations et des héritabilités calculées, il ne fait aucun doute que les tests jeunes chevaux sont utiles et peuvent participer au progrès génétique. En ce qui concerne le contenu des tests, la mesure de la conformation paraît apporter peu pour une sélection sur la performance, mais

semble utile à tester comme caractère secondaire. Allures et résultats en compétions jeunes chevaux sont eux très informatifs. En ce qui concerne les modalités de déroulement, les tests sur le terrain et/ou en compétition, malgré des caractéristiques génétiques plus faibles, semblent plus efficaces que les tests en station car capables de tester un plus grand nombre de chevaux. La capacité de testage des tests est en effet un élément déterminant de l'efficacité des tests jeunes chevaux. Deux études (Thorén Hellsten *et al.*, 2006) et (Dubois *et al.*, 2008), aboutissent à la même conclusion : une augmentation du progrès génétique pourra être atteinte par une généralisation de ces tests jeunes chevaux. La stratégie française de sélection par les épreuves jeunes chevaux SHF est donc une bonne stratégie.

Des améliorations peuvent cependant être apportées pour le testage des jeunes chevaux. Une optimisation des méthodes d'évaluation et l'utilisation de méthodes de mesures plus objectives des chevaux lors des tests modèle et allures pourra rendre les résultats plus précis. Le programme GenEndurance permettra peut-être la mise en évidence de traits de conformation ou de caractéristiques d'allures liées à la performance, qui pourraient être intégrés aux critères d'évaluation. Une autre lacune de l'organisation française de ces tests est l'enregistrement partiel des résultats des tests modèle et allures, qui sont de ce fait, inexploitables d'un point de vue génétique. En ce qui concerne les épreuves jeunes chevaux endurance, les résultats en courses ne sont pas assez discriminants entre les jeunes chevaux et il est pour le moment impossible de publier pour eux des indices de performance. Un point positif est la bonne capacité de testage des tests jeunes chevaux SHF endurance. Le nombre croissant d'inscrits aux finales jeunes chevaux à Uzès est dans ce sens très encourageant (469 engagés en 2003, 323 en 2004, 486 en 2012 et 696 en 2013) (FFE Compet, 2013).

Conclusion:

En fonction de l'organisation pratique des tests jeunes chevaux et des critères testés, le progrès génétique attendu est variable. Un bon compromis entre coût, faisabilité et précision semble être le testage des jeunes chevaux sur le terrain et notamment lors des compétitions, car il permet d'évaluer un grand nombre de chevaux. Malgré des améliorations à apporter, les « cycles classiques » organisés par la SHF sont un très bon moyen de tester les jeunes chevaux.

Partie 2 : Etude expérimentale

I. MATERIELS ET METHODES

1. POPULATION DE L'ETUDE

L'étude a été réalisée en France entre avril 2011 et octobre 2013 sur 533 chevaux d'endurance, âgés de 4, 5 ou 6 ans, ayant au moins un ascendant direct de race arabe, et recrutés sur la base du volontariat. Les mesures ont été effectuées dans trois circonstances :

- lors des finales SHF endurance à Uzès ;
- dans plusieurs élevages de chevaux d'endurance ;
- pendant des journées de mesure organisées par le projet GenEndurance.

Les détails du recrutement des chevaux figurent dans le tableau 25.

TABLEAU 25 - CARACTERISTIQUES DES LIEUX DE RECRUTEMENT DES CHEVAUX DE L'ETUDE

Lieux	Date	Circonstance	Niveau de l'épreuve	Nombre de chevaux mesurés
	Octobre 2011		4 ans : 20km	132
	Octobre 2012		vitesse	161
Uzès	Octobre 2013	Finale nationales épreuves jeunes chevaux SHF	imposée 5 ans : 60km vitesse imposée 6 ans : 90km vitesse imposée et libre	150
Aurabelle	Juillet 2012	Journée de mesure	-	14
Aurabelle	Septembre 2013	Journée de mesure	-	10
Compiègne	Juillet 2012	Journée de mesure	-	12
Complegile	Juillet 2013	Journée de mesure	-	13
Landivisiau	Septembre 2012	Journée de mesure	-	9
Lanuivisiau	Septembre 2013	Journée de mesure	-	9
Nord	Juillet 2011	Elevages	-	5
Sommant	Septembre 2011	Elevages	-	18
TOTAL				533

2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

2.1 Informations 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). Seuls les chevaux âgés d'au moins 6 ans en 2013 disposent d'un indice de performance. Le numéro de transpondeur de chaque cheval est vérifié le jour des mesures.

2.2 Mensurations

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

(1) la hauteur au garrot (HG) en cm, mesurée à l'aide d'une toise, (2) 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, (3) le périmètre thoracique (PT) en cm, mesuré à l'aide d'un mètre ruban au niveau du passage de sangle, (4) 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.

2.3Mesure du poids

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

2.4 Notation de l'état corporel

L'évaluation de l'état corporel a été réalisée selon le système de notation validé depuis 1988par 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 26).

Notes	Etat corporel
0	Emacié
1	Très maigre
1,5	Maigre
2	Insuffisant
2,5	
3	Optimum selon le type d'animaux
3,5	
4	Gras
4,5	Très gras
5	Obèse

TABLEAU 26 - ECHELLE DE NOTATION DE L'ETAT CORPOREL (INRA) (ARNAUD ET AL., 1997)

2.5 Mesures photométriques

Les mesures photométriques ont été obtenues grâce à un logiciel informatique à partir d'une photographie numérique du cheval de profil, sur lequel avaient été placés, avant la prise de la photo, des repères sous forme de gommettes autocollantes.

→ Placer du cheval et des repères

Six points anatomiques ont été repérés sur le cheval par palpation puis marqués à l'aide de gommettes de couleur rouge pour les chevaux à robe claire ou 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 : (1) le sommet de l'épaule : sommet de la scapula à l'extrémité du cartilage, dans le prolongement de l'épine scapulaire, (2) la pointe de l'épaule : au niveau de la convexité du tubercule majeur de l'humérus, (3) le coude : à l'insertion humérale du ligament collatéral latéral, (4) la pointe de la hanche : sur la tubérosité dorso-craniale de l'épine iliaque, (5) la hanche sur la convexité du grand trochanter, (6) le grasset : à l'insertion proximale du ligament patellaire latéral. Les différents points anatomiques à prendre en compte sont représentés sur la figure 13.

FIGURE 13 - PLACEMENT DES GOMMETTES SUR LES POINTS ANATOMIQUES A PRENDRE EN COMPTE POUR LE TEST DE CONFORMATION (BARREY, 2000)



Une fois les gommettes collées, le cheval, est placé de profil, du côté gauche. Le placer du cheval est très important. Il doit être parfaitement de profil, 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. La photographie où le cheval est le mieux placé est ensuite choisie pour le traitement informatique.

→ 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) : (1) ligne du dessus : centre du naseau, aile de l'atlas, sommet du garrot, point le plus bas du dos, sommet de la croupe, (2) membre thoracique : 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, (3) membre pelvien : tubérosité dorsale de l'épine iliaque ventro-craniale, 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 14 - TRAITEMENT INFORMATIQUE DES IMAGES

De nombreuses mesures sont alors calculées et définies ci-dessous (tableau 27).

TABLEAU 27 - DEFINITIONS DES VARIABLES DE CONFORMATION MESUREES PAR ANALYSE D'IMAGES NUMERIQUES

NUMERIQUES					
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			
METATARSE	Longueur du canon postérieur	m			
PHALANGEP	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			
METACARPE	Longueur du canon antérieur	m			
PHALANGE	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			
METACARPE PHALANGE Angles et inclinaisons IEPAULE IHUMERUS AEPAULE ACOUDE	Longueur du canon antérieur Longueur boulet-pince antérieure Inclinaison de l'épaule Inclinaison de l'humérus Angle de l'épaule Angle du coude	m degrés degrés degrés degrés degrés			

2.6 Indices corporels

Pour mieux caractériser la conformation, les indices corporels des chevaux de l'étude ont été calculés. La définition des indices est issue des études morphologiques de Chabchoub *et al.* (2004) et Guedaoura (2011) :

(1) indice corporel relatif:

IC RELATIF = Périmètre thoracique (PT) / longueur corporelle(LC)

(2) indice corporel de profil :

IC PROFIL = Hauteur au garrot (HG) / longueur corporelle (LC).

Plus l'IC de profil est proche de 1, plus le cheval s'inscrit dans un carré. On distingue les chevaux brévilignes (IC profil<1), les chevaux médiolignes (IC profil = 1) et les chevaux longilignes (IC profil>1). (3) indice de compacité :

IC COMPACITE = Hauteur au garrot (HG) / Poids (P) en m/kg.

2.7 Calcul de la surface corporelle

La surface corporelle intervient dans les mécanismes de thermorégulation. Le métabolisme de base d'un être vivant n'est non pas proportionnel au poids mais à la surface corporelle (Kleiber, 1947). Plusieurs scientifiques ont établi des formules mathématiques pour estimer la surface corporelle des animaux. Dans notre étude, nous utiliserons deux équations différentes pour l'estimation de la surface corporelle des chevaux de l'étude :

- la formule de HODGSON (non published data) qui exprime la surface corporelle S en mètre carré à partir du poids du cheval P exprimé en kg : S HODGSON= 1.09 + 0.008 x P ;
- la formule de BRODY : S BRODY= $0.1 \times P^{0.64}$ où P est le poids en gramme et S la surface en centimètre carré (Brody, 1945).

L'indice surfacique s'écrit de la façon suivante pour chacune des deux surfaces corporelles calculées précédemment (S HODGSON et S BRODY): IS = Poids/S en kg/m². Ils sont notés respectivement IS HODGSON et IS BRODY

2.8 Rapports corporels

Les rapports morphométriques suivants intéressent les juges de concours modèle et allures :

- la longueur du radius par rapport à la longueur du métacarpe (RADIUS/METACARPE) ;
- la longueur du radius par rapport à la hauteur au garrot (RADIUS/HG) ;
- la hauteur du thorax par rapport à la hauteur au garrot (THORAX/HG).

Les juges sont aussi intéressés par les rapports entre les différents segments formant « le triangle postérieur » :

- la longueur du fémur (FEMUR) ;
- la longueur entre l'articulation de la hanche et la pointe de la hanche (COXAE);
- la longueur entre le grasset et la pointe de la hanche (GRASSETPTEHANCHE).

3. Traitement des données et analyse des resultats

L'ensemble des données pour chaque cheval a été saisi dans un tableur Excel. Dans une première partie, nous avons analysé les différences morphologiques entre groupes d'âges (4, 5 et 6 ans), groupes de sexe (mâle, hongre et femelle), et groupe de race (arabe, demi-sang arabe, anglo-arabe et Shagya). Dans une seconde partie, nous avons, analysé par groupe d'âge, les relations entre la morphologie des chevaux et leur performance. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel de statistiques NCSS 2007.

Dans la première partie, nous avons utilisé un modèle linéaire généralisé (GLM) pour décrire les différences entre groupes d'âge, de sexe et de race ; c'est une analyses de variance à plusieurs facteurs pour tester les effets âge, sexe, race et session de mesure sur les variables morphologiques (qui sont des variables continues). Chaque session de mesure est définie par un lieu et une date. Il y a onze sessions de mesures : Nord 2011, Sommant 2011, Compiègne 2012, Compiègne 2013, Aurabelle 2012, Aurabelle 2013, Landivisiau 2012, Landivisiau 2013, Uzès 2011, Uzès 2012 et Uzès 2013. Dans l'ordre suivant, les effets du facteur âge sur les variables morphologiques sont comparés à race, sexe et session de mesure égaux. Puis, les effets du facteur race sur les variables morphologiques sont comparés à âge, sexe et session de mesure égaux. Enfin, les effets du facteur sexe sont comparés à âge, sexe et session de mesure égaux.

La seconde partie traite de l'influence de la morphologie sur les performances. L'évaluation de la performance chez les jeunes chevaux est moins aisée que pour les chevaux d'endurance adultes, car on ne dispose d'indices de performance que pour certains chevaux à partir de 6 ans. Pour évaluer leur performance, nous avons utilisé les résultats sur la course où les chevaux ont été mesurés. Il s'agit des finales d'endurance jeunes chevaux qui se déroulent chaque année à Uzès et dont le règlement figure dans la partie bibliographique. Les données disponibles à l'issue d'une course et exploitables pour estimer la performance des jeunes chevaux sont :

- (1) <u>La qualification</u>: disponible pour l'ensemble des chevaux ayant participé à une course d'endurance lors des finales jeunes chevaux à Uzès. Le couple cavalier-cheval peut être qualifié s'il finit sa course, ou non qualifié s'il abandonne ou s'il est éliminé.
- (2) <u>Une appréciation</u>: disponible pour l'ensemble des chevaux. L'appréciation est fonction du nombre de points obtenus par les chevaux. Pour les chevaux de 4 et 5 ans, il y a cinq groupes: Non qualifié, Qualifié sur finale, Bon, Très bon et Excellent. Pour les chevaux de 6 ans, il existe un groupe supplémentaire: Elite. Pour rappel, les 4 ans qui se qualifient sur la course, participent au concours modèle et allure, à l'issu duquel ils reçoivent une note. En fonction de la note qu'ils reçoivent ils sont ensuite classés dans l'un des groupes suivant: « Qualifié sur finale », si leur note est 10, « Bon » si leur note est 12, « Très bon » si leur note est 14 et « Excellent » si leur note est 16. Pour les 5 ans et les 6 ans, les chevaux qualifiés sur la finale participent au championnat à l'issu duquel ils reçoivent des points. Les chevaux peuvent recevoir 4 types de points: Vitesse, Récupération et Vétérinaire. Les modalités d'attribution des points sont présentées par le tableau 28.

TABLEAU 28 - MODALITES D'ATTRIBUTION DES POINTS CHAMPIONNATS (SOCIETE HIPPIQUE FRANÇAISE, 2013)

	Championnat 5 ans	Championnat 6 ans, vitesse imposée	Championnat 6 ans, vitesse libre	
Point vitesse	Un point pour les chevaux ayant bouclé le parcours à une vitesse ≥ 14 km/h et ≤ 15 km/h.	/	Deux points pour les chevaux ayant bouclé le parcours à une vitesse ≥ 17,2 km/h. ou un point pour ceux ayant bouclé le parcours à une vitesse ≥ 15,5 km/h et < 17,2 km/h.	
Point capacité de récupération	Un point pour les chevaux dont la fréquence cardiaque, mesurée dans les 10 minutes après l'arrivée, n'est pas supérieure à 54 pulsations/minute.			
Point vétérinaire	Un point pour les chevaux	satisfaisants à la fois au test de l'examen métabolique	t allure et à 3 des 4 critères	

En fonction du nombre total de points reçus, les chevaux sont classés dans les catégories suivantes : « Qualifié sur finale », si leur total de points championnat est 0, « Bon » s'ils reçoivent un point, « Très bon » s'ils reçoivent deux points, « Excellent » s'ils reçoivent 3 points et « Elite » s'ils reçoivent 4 points. Cette dernière catégorie « Elite » n'est disponible que pour les chevaux de

6 ans. Le tableau 29 récapitule l'attribution des appréciations en fonction du nombre de points recus.

- (3) <u>Une fréquence cardiaque à l'arrivée :</u> disponible pour l'ensemble des chevaux. Quelques valeurs sont néanmoins manquantes. Selon les groupes d'âge, la fréquence cardiaque disponible n'est pas mesurée au même moment. La fréquence cardiaque est mesurée 10 minutes après la fin de la course pour les chevaux de 6 ans qui courent à vitesse libre. La fréquence cardiaque est mesurée 30 minutes après la fin de la course pour les autres chevaux.
- (4) <u>Une vitesse moyenne</u>: disponible pour l'ensemble des chevaux s'étant qualifié. Pour les épreuves de 4, 5 et 6 ans vitesse imposée, la vitesse est comprise dans un intervalle fixé par le règlement (12-15 km/h pour les chevaux de 4 et 5 ans, 12-16 km/h pour les chevaux de 6 ans). Pour la finale des 6 ans à vitesse libre, la vitesse minimale est de 12 km/h; les chevaux obtiennent 1 point vitesse si leur vitesse dépasse les 15,5 km/h et 2 points si elle dépasse 17,2 km/h (tableau 28).
- (5) <u>Un Indice IRE</u>: Les indices IRE ne sont disponibles que pour les chevaux ayant couru au moins une course de 90 km à vitesse libre, ce qui concerne une minorité de chevaux de l'échantillon (uniquement les chevaux de 6 ans ayant couru une course de 90 km à vitesse libre en 2011).

TABLEAU 29 - MODALITES D'ATTRIBUTION DES APPRECIATIONS EN FONCTION DE L'AGE DES CHEVAUX (SOCIETE HIPPIQUE FRANCAISE, 2013)

	4 ans	5 ans	6 ans, vitesse imposée	6 ans, vitesse imposée
Vitesse		Imposée	Imposée	
	12-15 km/h	12-15 km/h	12-16 km/h	≥ 12 km/h
Test Modèle et Allures	Note sur 20 4 catégories	-	-	
Points championnat	-	Vitesse Récupération Vétérinaire	Récupération Vétérinaire	Vitesse (2 pts) Récupération Vétérinaire
Appréciation	-	Excellent = 3 pts Très bon = 2 pts Bon = 1 pt Qualifié = 0 pt	Très bon = 2 pts Bon = 1 pt Qualifié = 0 pt	Elite = 4 pts Excellent = 3 pts Très bon = 2 pts Bon = 1 pt Qualifié = 0 pt

Pour chaque groupe d'âge et pour chaque variable morphologique, nous avons ensuite analysé dans l'ordre suivant :

- (1) la relation entre la morphologie du cheval et sa qualification (Comparaison de la morphologie du groupe des « Qualifiés » avec le groupe des « Non qualifiés » grâce à un modèle linéaire généralisé GLM);
- (2) la relation entre la morphologie et l'appréciation attribuée au cheval (Comparaison de la morphologie des groupes « Non qualifiés », « Qualifiés sur finale », « Bons », « Très bons », « Excellents » et « Elites » grâce à un modèle linéaire généralisé GLM);

Deux types d'analyses sont présentés : une analyse qui met en relation la morphologie avec tous les groupes d'appréciation, et une analyse qui exclut les chevaux « non qualifiés ». Pour ces analyses de variance, nous avons mené l'analyse par groupe d'âge, l'effet « âge » n'est donc pas pris en compte dans le modèle. L'effet sexe, très déséquilibré dans le modèle n'est pas pris en compte.

- (3) la relation entre la morphologie et la fréquence cardiaque à l'arrivée ;
- (4) la relation entre la morphologie et la vitesse moyenne ;
- (5) la relation entre la morphologie et les indices IRE;

L'influence de la morphologie sur les variables quantitatives (fréquence cardiaque, vitesse moyenne et indice IRE) est étudiée grâce à des corrélations de Pearson.

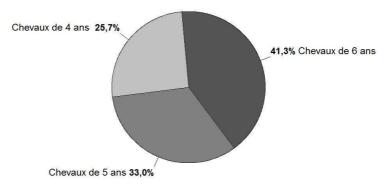
II. RESULTATS

1. CARACTERISTIQUES DES CHEVAUX DE L'ETUDE

1.1<u>Age</u>

Les 533 chevaux de l'étude sont âgés de 4 à 6 ans, avec 137 chevaux de 4 ans (25,7 %), 176 chevaux de 5 ans (33 %) et 220 chevaux de 6 ans (41,3 %).

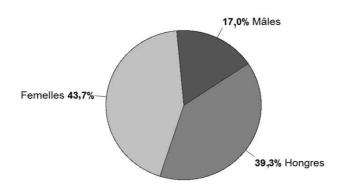
FIGURE 13 - REPARTITION DES 533 CHEVAUX DE L'ETUDE SELON LEUR AGE AU MOMENT DES MESURES



1.2Sexe

Les 533 chevaux de l'étude se répartissent de la façon suivante : 231 femelles (43,7 %), 208 hongres (39,3 %), 90 mâles (17 %) et 4 chevaux dont le sexe n'a pas été enregistré.

FIGURE 16 - REPARTITION DES 533 CHEVAUX DE L'ETUDE SELON LEUR SEXE AU MOMENT DES MESURES



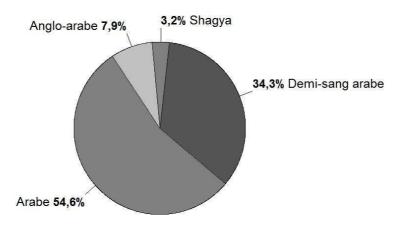
1.3Race

Tous les chevaux de l'étude ont au moins un ascendant direct de race arabe puisque c'était le critère de recrutement. La population de l'étude se répartit en 291 chevaux Arabe, 143 Demi-sang arabe, 42 Anglo-arabe et 17 Shagya. Les chevaux d'autres races (selle français, origine non constatée, origine inconnue, origine étrangère, poney français de selle, arabe-barbe, cheval de selle) sont 40 et représentent 7,5 % de l'effectif. Dans la suite de l'étude, ces 40 chevaux ont été réunis avec les demi-sang arabe. Cette répartition est décrite par le tableau 30 et la figure 17.

TABLEAU 30 - REPARTITION DES 533 CHEVAUX DE L'ETUDE SELON LEUR RACE

	Nombre de chevaux	Pourcentage de l'effectif total
Arabe	291	54,6 %
Demi-sang arabe	183	34,3 %
Anglo-arabe	42	7,9 %
Shagya	17	3,2 %
Total	533	100 %

FIGURE 17 - DISTRIBUTION DES 533 CHEVAUX DE L'ETUDE SELON LA RACE



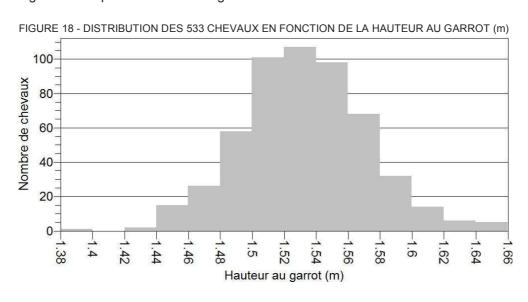
2. ETUDE DESCRIPTIVE DES RESULTATS DE L'ETUDE

2.1Mensurations

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

2.1.1 Hauteur au garrot

La hauteur au garrot a été mesurée pour 533 chevaux et est exprimée en mètre. La moyenne est de 1,53 m (écart type SD=0,04) avec des valeurs extrêmes de 1,38 m et 1,65 m. La distribution de la hauteur au garrot est représentée dans la figure 18.



2.1.2 <u>Périmètre thoracique (PT)</u>

Le périmètre thoracique (PT) a été mesuré pour 533 chevaux et est exprimé en mètre. La moyenne est de 1,74 m (SD=0,04) avec des valeurs extrêmes de 1,55 m et 1,99 m. La distribution du périmètre thoracique est représentée dans la figure 19.

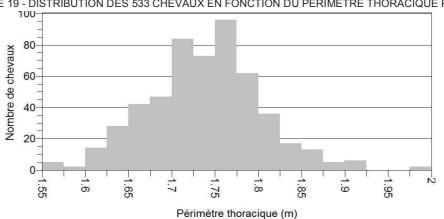


FIGURE 19 - DISTRIBUTION DES 533 CHEVAUX EN FONCTION DU PERIMETRE THORACIQUE PT (m)

2.1.3 Longueur corporelle (LC)

La longueur corporelle (LC) a été mesurée pour 532 chevaux et est exprimée en mètre. La moyenne est de 1,53 m (SD=0,07) avec des valeurs comprises entre 1,33 m et 1,73 m. La distribution de la longueur corporelle est représentée dans la figure 20.

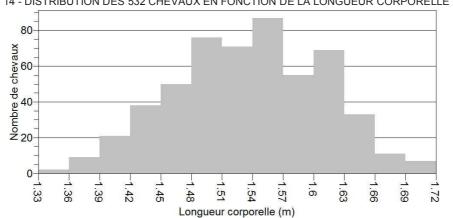


FIGURE 14 - DISTRIBUTION DES 532 CHEVAUX EN FONCTION DE LA LONGUEUR CORPORELLE LC (m)

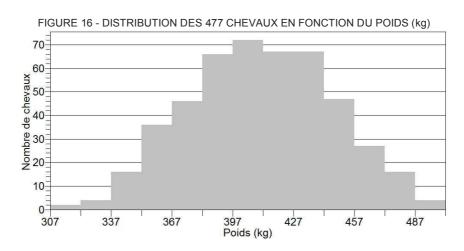
2.1.4 Pli cutané PC

L'épaisseur du pli cutané a été mesurée pour 478 chevaux et est exprimée en millimètre. La moyenne est de 28,98 mm (SD=10,42) avec des valeurs entre 8,92 mm et 56,30 mm. La distribution de l'épaisseur du pli cutané est représentée dans la figure 21.

2.2Poids

Le poids a été mesuré pour 477 chevaux et est exprimé en kilogramme. Le poids moyen est de 411,7 kg (SD=38,1) avec des valeurs extrêmes de 307 à 542 kg. La distribution du poids est représentée dans la figure 22.

Pli cutané (mm)



2.3 Note d'état corporel

La note d'état corporel a été estimée pour 497 chevaux. La moyenne est de 2,95 (écart type de 0,39). Les notes varient de 1,75 à 4,5. La distribution des notes est représentée dans la figure 23.

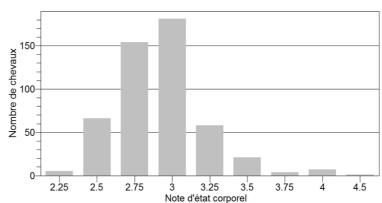


FIGURE 17 - DISTRIBUTION DES CHEVAUX EN FONCTION DE LEUR NOTE D'ETAT CORPOREL

2.4 Résultats photométriques

Les résultats des mesures photométriques sont représentés dans le tableau 31. Ces résultats ont été obtenus sur 528 chevaux. Pour chaque mesure, la valeur minimale, la valeur maximale, la moyenne et l'écart type sont indiqués.

TABLEAU 31 - VALEURS DES MESURES PHOTOMETRIQUES CALCULEES POUR 528 JEUNES CHEVAUX. (LES MESURES SONT EXPRIMEES EN M ET LES ANGLES EN DEGRE)

Variables	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne	SD
	TAILLE	l		
TAILLEC	1,37	1,70	1,52	0,05
VIDESSTE	0,72	0,92	0,85	0,03
THORAX	0,60	0,79	0,68	0,03
	LIGNE DU DE	SSUS		
TETE	0,36	0,60	0,49	0,03
ENCOLURE	0,55	0,94	0,74	0,07
LONGUEUR	1,21	1,57	1,38	0,06
LONGUEURtot	1,35	1,73	1,54	0,06
IEPAULEPOINTEHANCHE	-12	2	-5,79	2,16
ICOUDEGRASSET	-10	2	-4,91	1,81
	DOS			
DOSAV	0,14	0,43	0,27	0,04
DOSARR	0,4	0,66	0,54	0,04
ADOS	138	161	152,04	3,8
HGARROT	0,05	0,17	0,1	0,02
IGARROT	11	32	19,88	3,61
	POSTERIE	JRS		
Segments				
COXAE	0,23	0,45	0,35	0,03
SACRE	0,21	0,39	0,32	0,03
FEMUR	0,33	0,52	0,43	0,03
TIBIA	0,27	0,60	0,47	0,05
METATARSE	0,32	0,52	0,4	0,03
PHALANGEP	0,15	0,28	0,2	0,02
Angles et inclinaisons				
IBASSIN	3	36	19,23	5,23
IFEMUR	46	81	59,9	5,20
AHANCHE	63	99	79,15	6,27
AGRASSET	86	150	117,42	7,26
AJARRET	116	166	146,42	5,07

TABLEAU 31 - SUITE - VALEURS DES MESURES PHOTOMETRIQUES CALCULEES POUR 528 JEUNES CHEVAUX. (LES MESURES SONT EXPRIMEES EN M ET LES ANGLES EN DEGRE)

Variables	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne	SD
	ANTERIEU	RS		
Segments				
SCAPULA	0,38	0,69	0,5	0,03
HUMERUS	0,23	0,36	0,3	0,02
RADIUS	0,31	0,49	0,4	0,03
METACARPE	0,22	0,41	0,3	0,03
PHALANGE	0,15	0,28	0,2	0,02
Angles et inclinaisons				
IEPAULE	43	75	57,83	4,21
IHUMERUS	23	59	42,77	4,50
AEPAULE	81	122	100,6	4,56
ACOUDE	109	153	133,5	6,24
AGENOU	173	185	179,5	1,81

2.5 Rapports, indices corporels et surface

TABLEAU 32 - VALEURS DES RAPPORTS CORPORELS, SURFACES ET INDICES SURFACIQUES CALCULEES SUR 528
JEUNES CHEVAUX

Variable	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne	SD					
	INDICES CORPORELS								
IC PROFIL	0,88	1,17	1	0,43					
IC COMPACITE (cm/kg)	0,29	0,47	0,37	0,29					
IC RELATIF	0,92	1,29	1,13	0,05					
	SI	JRFACES							
SHODGSON (m ²)	3,55	5,43	4,38	0,30					
SBRODY (m ²)	3,25	4,67	3,91	0,23					
	INDICES	SURFACIQUES							
ISHODGSON (kg/m ²)	85,58	99,89	93,77	2,16					
ISBRODY (kg/m ²)	94,49	115,94	104,91	3,49					
	R/	APPORTS							
RADIUS/HG	0,21	0,31	0,26	0,02					
THORAX/HG	0,41	0,50	0,44	0,01					
RADIUS/METACARPE	0,91	2,04	1,44	0,20					
SEGMENTS DU TRIANGLE POSTÉRIEUR									
FEMUR (m)	0,33	0,52	0,43	0,03					
COXAE (m)	0,23	0,45	0,35	0,03					
GRASSETPTEHANCHE (m)	0,11	0,90	0,57	0,19					

2.6 Corrélations entre les mesures

Nous avons cherché les corrélations qui existent entre les mesures. Le tableau 33 montre les corrélations entre les mensurations, poids et NEC des chevaux. Le tableau de l'annexe I présente les corrélations entre les mesures photométriques. Ces corrélations ont été calculées avec 526 chevaux. De nombreuses mesures sont corrélées entre elles mais le plus souvent faiblement. Nous relevons ici uniquement les corrélations modérées à fortes, soit celles dont le coefficient de corrélation est supérieur ou égal à 0,5, et les corrélations intéressantes pour l'interprétation des résultats.

TABLEAU 33 - CORRELATIONS ENTRE LES MENSURATIONS, POIDS ET NEC DES CHEVAUX.

	Н	G	Р	T	L	С	Р	C	Po	ids	N	IEC
	r	р	r	р	r	р	r	р	r	р	r	р
HG			0,56	<0,01	0,50	<0,01	N	.S.	0,62	<0,01	N	I.S.
PT					0,48	<0,01	-0,25	<0,01	0,70	<0,01	0,36	<0,01
LC							N	.S.	0,61	<0,01	0,26	<0,01
PC									N	.S.	0,10	<0,01
Poids											0,42	<0,01
NEC												

HG: Hauteur au garrot, PT: Périmètre thoracique, LC: longueur corporelle, PC: Pli cutané, NEC: Note d'état corporel.

Les corrélations remarquables sont présentées ci-dessous.

La **hauteur au garrot** est corrélée d'une part avec le périmètre thoracique (r=0,56), la longueur pointe de l'épaule-pointe de la fesse (r=0,50) et le poids (r=0,62). La hauteur au garrot est corrélée d'autre part avec : la hauteur de la croupe (r=0,68), la longueur poitrail/pointe de la fesse (r=0,60), le vide sous-sternal (r=0,68), la hauteur du thorax (r=0,64) et la longueur de l'omoplate (0,52).

La **hauteur de la croupe** est corrélée avec la longueur totale (r=0,59), et les longueurs de l'omoplate (r=0,54), du tibia (r=0,53) et des phalanges postérieures (r=0,58).

La **longueur épaule/hanche** est corrélée avec la longueur totale (base de l'encolure/pointe de la fesse) (r=0,83), avec la longueur de l'omoplate (r=0,58) et avec la longueur pointe de la hanche-hanche (coxae) (r=0,57).

La **longueur totale** (base de l'encolure-pointe de la fesse) est corrélée avec la longueur de l'omoplate (r=0,51).

Autrement dit, les chevaux de grande taille sont aussi plus longs, plus larges et plus lourds. De plus, la longueur corporelle, la taille du cheval et la longueur de la scapula sont liées

Les longueurs du radius et du métacarpe sont corrélées négativement avec r=-0,60.

L'inclinaison de **l'humérus** par rapport à l'horizontale est corrélée avec les angles des deux articulations qui l'encadrent : l'angle du coude et l'angle de l'épaule avec respectivement r=0,53 et r=0,57. Plus l'**humérus** est vertical, plus l'angle de l'épaule est ouvert et plus l'angle du coude est ouvert.

De même, l'angle du grasset est corrélé positivement avec l'angle du jarret (r=0,60) et l'inclinaison du fémur par rapport à l'horizontale (r=0,59). Les chevaux qui ont un **angle de grasset** ouvert, ont aussi leur angle du jarret ouvert. Plus le fémur est vertical, plus l'angle du grasset est ouvert.

La **longueur pointe de la hanche - hanche** (coxae) est corrélée avec la longueur du fémur (r=0,53), la longueur du tibia (r=0,52). La longueur du tibia est corrélée modérément avec la longueur du fémur (r=0,31). **Les longueurs des segments proximaux** du membre postérieur (coxae, fémur et tibia) sont liées.

La longueur pointe de la hanche - hanche est négativement corrélée avec l'inclinaison du fémur par rapport à l'horizontale (r=-0,50). Plus le fémur est vertical, plus le bassin est court.

La **longueur du fémur** est corrélée négativement avec l'angle du bassin avec le fémur (r=-0,52). Plus l'angle entre le bassin et le fémur est grand, plus le fémur est court.

L'angle du bassin avec le fémur est corrélé avec l'inclinaison du bassin par rapport à l'horizontale (r=0,60) et avec l'inclinaison du fémur par rapport à l'horizontale (r=0,60). Plus le bassin est vertical et plus le fémur est vertical, alors, plus l'angle bassin-fémur est grand.

L'angle du grasset est corrélé négativement avec la longueur du tibia (r=-0,50). Plus l'angle du grasset est ouvert, plus le tibia est court.

3. INFLUENCE DE L'AGE, DE LA RACE ET DU SEXE SUR LES MENSURATIONS

Le but de cette partie est de rechercher s'il existe des différences morphologiques entre des chevaux d'âge, de race, ou de sexe différent.

Nous ne présentons que les mesures pour lesquelles l'analyse de variance GLM a permis de mettre en évidence des différences significatives entre les groupes. Les mesures n'étant pas significativement différente entre les groupes sont indiquées par une ligne grise dans les tableaux de présentation.

3.1 Groupes d'âge

3.1.1 Mensurations, NEC, poids

TABLEAU 34 - SYNTHESE DES MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'AGE

	4 ans	5 ans	6 ans
Nombre de chevaux	135	175	219
Hauteur au garrot			
Périmètre thoracique	175,22 ^b	177,76 ^a	176,24 ^a
Longueur corporelle	156,19 ^b	158,69 ^a	157,84 ^a
Nombre de chevaux	122	170	182
Pli cutané	24,93 ^a	25,65 ^a	22,63 ^b
Nombre de chevaux	122	167	182
Poids	429,95 ^b	447,06 ^a	436,17 ^b
NEC			

Il n'existe pas de différence significative de taille entre les chevaux d'âges différents. La NEC n'est pas n'ont plus différente entre les groupes d'âge.

Les chevaux de 5 ans et de 6 ans ont un périmètre thoracique plus large et une longueur corporelle plus élevée que les chevaux de 4 ans. Les chevaux de 5 ans sont plus lourds que les chevaux de 4 et 6 ans.

Les chevaux de 4 ans et 5 ans ont un pli cutané plus important que les chevaux de 6 ans.

3.1.2 Mesures photométriques

TABLEAU 35 - SYNTHESE DES MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'AGE

	4 ans	5 ans	6 ans
Nombre de chevaux	132	173	217
TAILLEG			
TAILLEC			
LONGUEUR			
LONGUEURTOT			
VIDESS			
THORAX			
OMOPLATE	0,49 ^b	0,50 ^a	0,50 ^a
HUMERUS	0,30 ^a	0,30 ^a	0,29 ^b
RADIUS	0,41 ^a	0,40 ^{a,b}	0,40 ^b
METACARPE			
PHALANGE			
ACOUDE			
AEPAULE	100,14 ^{a,b}	99,67 ^b	100,79 ^a
IEPAULE	58,06 ^b	58,10 ^b	59,72 ^a
IHUMERUS			
AGENOU	178,63 ^b	178,98 ^{a,b}	179,32 ^a

TABLEAU 35 - SUITE - SYNTHESE DES MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'AGE

	4 ans	5 ans	6 ans
COXAE	0,35 ^b	0,34 ^b	0,36 ^a
SACRE			
FEMUR	0,43 ^{a,b}	0,42 ^b	0,43 ^a
TIBIA			
METATARSE			
PHALANGEP			
AHANCHE	79,42 ^a	80,00 ^a	77,16 ^b
AGRASSET			
AJARRET			
IBASSIN	17,26 ^a	17,40 ^a	15,72 ^b
IFEMUR	62,15 ^{a,b}	62,53 ^a	61,40 ^b
TETE	0,48 ^c	0,50 ^a	0,49 ^b
ENCOLURE			
DOSAVANT			
DOSARRIERE	0,54 ^b	0,55 ^a	0,55 ^a
ADOS	152,47 ^a	151,20 ^b	151,47 ^b
IGARROT			
HGARROT			
IEPAULEPOINTEHANCHE	-4,15 ^a	-4,06 ^a	-4,63 ^b
ICOUDEGRASSET	-3,85 ^a	-4,04 ^a	-4,61 ^b

Seize mesures morphométriques sur 36 sont significativement différentes entre les groupes d'âge.

En ce qui concerne le membre antérieur, les chevaux de 5 ans et 6 ans ont une scapula plus longue que les chevaux de 4 ans. Humérus et radius sont plus longs chez les chevaux de 4 ans. L'angle de l'épaule est plus ouvert et la scapula plus verticale chez les chevaux de 6 ans. L'angle du carpe est plus ouvert chez les chevaux de 6 ans.

La longueur pointe de la hanche-hanche et la longueur du fémur sont plus longues chez les chevaux de 6 ans. Les longueurs des segments osseux distaux du membre postérieur (tibia, métatarse et les phalanges postérieurs) ne sont pas significativement différentes entre les groupes d'âge. Chez les chevaux de 6 ans, le fémur et le bassin sont plus horizontaux que chez les chevaux de 4 et 5 ans. De plus, l'angle de la hanche (articulation entre le fémur et le bassin) est plus fermée chez les chevaux de 6 ans.

3.1.3 <u>Indices, rapports et surface corporelle</u>

TABLEAU 36 - SYNTHESE DES INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'AGE

	4 ans	5 ans	6 ans
Nombre de chevaux	132	173	217
IC PROFIL			
IC COMPACITE	0,360 ^a	0,347 ^b	0,355 ^a
IC RELATIF			
SHODGSON	4,53 ^b	4,67 ^a	4,58 ^b
SBRODY	4,03 ^b	4,13 ^a	4,06 ^b
ISHODGSON	94,76 ^b	95,78 ^a	95,14 ^b
ISBRODY	106,56 ^b	108,16 ^a	107,15 ^b
RADIUS/HAUTEUR AU GARROT	0,263 ^a	0,260 ^{a,b}	0,258 ^b
THORAX/HAUTEUR AU GARROT			

TABLEAU 36 - SUITE -SYNTHESE DES INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES)
SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'AGE

	4 ans	5 ans	6 ans
RADIUS/METACARPE	1,37 ^a	1,35 ^{a,b}	1,33 ^b
FEMUR	0,43 ^{a,b}	0,42 ^b	0,43 ^a
COXAE	0,35 ^b	0,34 ^b	0,36 ^a
GRASSET-POINTE DE LA HANCHE			
HAUTEURGARROT/HAUTEUR CROUPE			

A poids égal, les chevaux de 5 ans ont une hauteur au garrot plus petite par rapport aux chevaux de 4 ans et 6 ans. Les chevaux de 5 ans sont donc plus compacts que les chevaux de 4 ans et 6 ans

Les chevaux de 4 ans ont une surface corporelle plus petite que les autres chevaux. Les chevaux de 4 ans ont des rapports radius/hauteur au garrot et radius/métacarpe plus grands que chez les autres chevaux.

3.1.4 Conclusion

Des différences morphologiques existent entre les trois groupes d'âge de notre étude. Afin de déterminer si des différences sont suffisantes pour pouvoir classer les chevaux, à partir des variables morphologiques, dans le groupe d'âge leur correspondant, nous avons réalisé une analyse factorielle discriminante sur 438 chevaux. L'analyse des 42 variables morphologiques (quatre mensurations, poids, NEC et 36 mesures photométriques) indique que 50,3 % des chevaux ne sont pas classés dans le groupe d'âge auquel ils appartiennent réellement. Cette analyse AFD n'a pas été menée avec les surfaces corporelles et les indices de compacité.

3.2Groupes d'âge : comparaison des chevaux arabes uniquement

Cette partie analyse les différences morphologiques entre groupe d'âge au sein des chevaux de race arabe uniquement.

3.2.1 Mensurations, NEC, poids

TABLEAU 37 - SYNTHESE DES MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'AGE DE RACE ARABE

	4 ans	5 ans	6 ans
Hauteur au garrot			
Périmètre thoracique			
Longueur corporelle			
Nombre de chevaux	67	92	115
Pli cutané	26,13 ^b	31,96 ^a	28,27 ^b
Nombre de chevaux	64	91	111
Poids	390,20b	404,97a	399,31 ^{a,b}
NEC			

Il n'existe pas de différence significative de hauteur au garrot, longueur corporelle ou périmètre thoracique entre les groupes d'âges de chevaux de race arabe. Les chevaux de 4 ans sont les plus légers.

3.2.2 <u>Mesures photométriques</u>

TABLEAU 38 - SYNTHESE DES MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'AGE DE RACE ARABE

	4 ans	5 ans	6 ans
Nombre de chevaux	69	94	133
TAILLEG			
TAILLEC			
LONGUEURTOT			
VIDESS			
THORAX			
OMOPLATE			
HUMERUS	0,41 ^a	0,40 ^{a,b}	0,39 ^b
RADIUS			
METACARPE			
PHALANGE	0,21 ^a	0,20 ^b	0,20 ^b
ACOUDE	131,49 ^b	133,82 ^a	134,12 ^a
AEPAULE			
IEPAULE	56,49 ^b	56,90 ^b	58,22 ^a
IHUMERUS			
AGENOU	178,81 ^b	179,54 ^b	179,88 ^a
COXAE	0,35 ^a	0,34 ^b	0,35 ^a
SACRE			
FEMUR	0,42 ^{a,b}	0,42 ^b	0,43 ^a
TIBIA			
METATARSE	0,38 ^b	0,42 ^a	0,39 ^a
PHALANGEP			
AHANCHE	79,22 ^a	81,01 ^a	77,12 ^b
AGRASSET			
AJARRET			
IBASSIN			
IFEMUR	59,69 ^b	61,66 ^a	59,09 ^b
TETE	0,47 ^b	0,49 ^a	0,48 ^b
ENCOLURE			
DOSAVANT			
DOSARRIERE	0,51 ^b	0,53 ^{a,b}	0,53 ^a
ADOS			
IGARROT			
HGARROT			
IEPAULEPOINTEHANCHE	-5,81 ^{a,b}	-5,30 ^a	-6,15 ^b
ICOUDEGRASSET	-4,56 ^a	-4,59 ^a	-5,37 ^b
	1	i	

15 mesures morphométriques sont significativement différentes entre les groupes d'âge.

Pour le membre antérieur, l'humérus et les phalanges antérieures sont plus longues chez les chevaux de 4 ans. Il n'y a pas de différences significatives de longueur pour la scapula, le radius et le métacarpe entre les groupes d'âge. La scapula est plus verticale et le carpe plus ouvert chez les chevaux de 6 ans. L'angle du coude est plus fermé chez les chevaux de 4 ans.

3.2.3 <u>Indices, rapports et surfaces corporelles</u>

TABLEAU 39 - SYNTHESE DES INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'AGE DE RACE ARABE

	4 ans	5 ans	6 ans
Nombre de chevaux	69	94	133
IC PROFIL			
IC COMPACITE	0,39 ^a	0,37 ^b	0,38 ^{a,b}
IC RELATIF			
SHODGSON	4,21 ^b	4,33 ^a	4,28 ^{a,b}
SBRODY	3,78 ^b	3,88ª	3,84 ^{a,b}
ISHODGSON	92,53 ^b	93,42a	93,09 ^{a,b}
ISBRODY	102,93 ^b	104,32 ^a	103,79 ^{a,b}
RADIUS/HAUTEUR AU GARROT	0,27 ^a	0,265 ^b	0,261 ^b
THORAX/HAUTEUR AU GARROT			
RADIUS/METACARPE	1,40 ^a	1,32 ^b	1,30 ^b
FEMUR			
COXAE			
GRASSET-POINTE DE LA HANCHE			
HAUTEURGARROT/HAUTEUR CROUPF			

Pour une même hauteur au garrot, les chevaux de 4 ans sont plus légers que les autres chevaux. Les chevaux de 4 ans sont donc moins compacts que les chevaux de 5 ans et 6 ans.

Les chevaux de 5 ans ont une surface corporelle plus grande que les chevaux de 4 ans et 6 ans. Les chevaux de 4 ans ont des rapports radius/hauteur au garrot et radius/métacarpe plus élevés que les autres chevaux.

3.3Groupes de race

3.3.1 Mensurations, NEC, poids

TABLEAU 40 - SYNTHESE DES MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES DE RACE

	Arabe	Demi-sang arabe	Anglo-arabe	Shagya
Nombre de chevaux	289	181	42	17
Hauteur au garrot	152°	153 ^b	156ª	156ª
Périmètre thoracique	174 ^c	176 ^b	178ª	178 ^{a,b}
Longueur corporelle	155 ^b	157 ^a	159ª	159 ^a
Pli cutané				
Nombre de chevaux	256	162	38	17
Poids	412,42 ^c	434,31 ^b	454,16 ^a	450,02 ^{a,b}
Nombre de chevaux	268	170	38	17
NEC	3,09 ^b	3,17 ^a	3,06 ^b	3,06 ^{a,b}

Les arabes sont les plus petits, les moins larges, les plus courts et les plus légers. Les anglo arabes sont les plus grands, les plus larges, les plus longs et les plus lourds. Les shagya et demi-sang arabes ont une morphologie intermédiaire, se rapprochant du groupe des anglo-arabes pour les shagya et des arabes pour les demi-sang arabes.

Les demi-sang arabes ont la NEC la plus élevée.

3.3.2 Mesures photométriques

TABLEAU 41 - SYNTHESE DES MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES DE RACE

	Arabe	Demi-sang	Anglo-arabe	Shagya
Nombre de chevaux	286	177	42	17
TAILLEC	1,50°	1,52 ^b	1,55 ^a	1,53 ^{a,b}
LONGUEUR	1,36°	1,38 ^b	1,42 ^a	1,41 ^{a,b}
LONGUEURTOT	1,52°	1,55 ^b	1,59 ^a	1,58 ^{a,b}
VIDESS	0,84 ^b	0,84 ^b	0,86ª	0,87 ^a
THORAX	0,68 ^b	0,69 ^a	0,70 ^a	0,70 ^a
OMOPLATE	0,49 ^b	0,50 ^a	0,51 ^a	0,50 ^a
HUMERUS				
RADIUS				
METACARPE	0,30 ^b	0,30 ^b	0,30 ^{a,b}	0,31 ^a
PHALANGE	0,21 ^c	0,21 ^b	0,22 ^a	0,22 ^{a,b}
ACOUDE				
AEPAULE				
IEPAULE				
IHUMERUS				
AGENOU				
COXAE	0,34 ^c	0,34 ^b	0,35 ^a	0,36 ^a
SACRE				
FEMUR	0,42 ^b	0,42 ^b	0,43 ^{a,b}	0,44 ^a
TIBIA	0,44 ^b	0,45 ^a	0,46 ^a	0,45 ^{a,b}
METATARSE	0,39 ^b	0,40 ^b	0,41 ^a	0,41 ^a
PHALANGEP				
AHANCHE	79,87 ^a	80,40 ^a	78,31 ^b	76,85 ^b
AGRASSET	120,8 ^a	120,2 ^a	118,82 ^{a,b}	116,07 ^b
AJARRET				
IBASSIN	16,84 ^b	18,20 ^a	16,22 ^b	15,92 ^{a,b}
IFEMUR				
TETE	0,48 ^b	0,49 ^a	0,49 ^a	0,50 ^a
ENCOLURE	0,74 ^b	0,76 ^a	0,79 ^a	0,77 ^a
DOSAVANT				
DOSARRIERE	0,53 ^b	0,55 ^a	0,56 ^a	0,54 ^{a,b}
ADOS				
IGARROT				
HGARROT				
IEPAULEPOINTEHANCHE				
ICOUDEGRASSET				

Sur les 36 mesures photométriques, la moitié (18) présentent des différences significatives entre les groupes de race.

Les anglo-arabes sont les plus grands (hauteur au garrot, hauteur à la croupe), les plus longs, avec une hauteur de thorax et un vide sous thoracique supérieurs aux autres chevaux. Ils ont une tête et une encolure plus longues que les autres chevaux. En ce qui concerne leur membre antérieur, ce sont les segments de la scapula, du métacarpe et des phalanges qui sont significativement plus longs que chez les autres chevaux. Aucune différence significative n'est mise en évidence pour les angles articulaires du membre antérieur entre les groupes de race. Pour le postérieur, l'os coxal, le tibia et le métatarse sont plus grands chez les anglo-arabe par rapport aux autres chevaux.

Les arabes ont un angle de la hanche plus ouvert que les shagya et les anglo-arabe, Il n'existe pas de différence significative entre les angles articulaire du grasset ou l'inclinaison du bassin entre les arabes et les anglo-arabes.

3.3.3 <u>Indices, rapports et surface corporelle</u>

TABLEAU 42 - SYNTHESE DES INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES DE RACE

	Arabe	Demi-sang	Anglo-arabe	Shagya
IC PROFIL				
IC COMPACITE	0,37 ^a	0,35 ^b	0,34 ^{b,c}	0,35 ^c
IC RELATIF				
SHODGSON	4,39 ^c	4,56 ^b	4,72 ^a	4,70 ^{a,b}
SBRODY	3,92 ^c	4,05 ^b	4,17 ^a	4,15 ^{a,b}
ISHODGSON	93,80°	95,04 ^b	96,10 ^a	95,97 ^{a,b}
ISBRODY	104,97°	106,98 ^b	108,75 ^a	108,45 ^{a,b}
RADIUS/HAUTEUR AU GARROT				
THORAX/HAUTEUR AU GARROT	0,44 ^a	0,45 ^b	0,45 ^{a,b}	0,45 ^{a,b}
RADIUS/METACARPE				
FEMUR	0,42 ^b	0,421 ^b	0,43 ^{a,b}	0,44 ^a
COXAE	0,34 ^c	0,34 ^b	0,35 ^a	0,36 ^a
GRASSET-POINTE DE LA HANCHE				
HAUTEURGARROT/HAUTEUR CROUPE				

A poids équivalent, ce sont les chevaux arabes qui ont la plus grande hauteur au garrot. Ce sont donc les chevaux les moins compacts. Les chevaux arabes ont proportionnellement à leur hauteur au garrot, un thorax plus profond que les autres chevaux. Enfin, ce sont eux qui ont la surface corporelle la plus petite.

Il n'existe aucune différence significative des rapports radius/hauteur au garrot et thorax/hauteur au garrot entre les groupes de race.

3.3.4 Conclusion

Des différences morphologiques existent entre les quatre groupes de race de l'étude. Afin de déterminer si des différences sont suffisantes pour pouvoir classer les chevaux, à partir des variables morphologiques, dans le groupe de race leur correspondant, nous avons réalisé une analyse factorielle discriminante sur 438 chevaux. L'analyse des 42 variables morphologiques (quatre mensurations, poids, NEC et 36 mesures photométriques) indique que 45,8% des chevaux ne sont pas classés dans le groupe de race auquel ils appartiennent réellement. Cette analyse AFD n'a pas été menée avec les surfaces corporelles et les indices de compacité.

3.4 Groupes de sexe

3.4.1 Mensurations, NEC, poids

TABLEAU 43 - SYNTHESE DES MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES DE SEXE

	Femelle	Hongre	Mâle
Nombre de chevaux	231	208	90
Hauteur au garrot (m)	153,86 ^b	155,10 ^a	154,27 ^{a,b}
Périmètre thoracique (m)	177,34 ^a	176,67 ^a	175,22 ^b
Longueur corporelle (m)			
Pli cutané (mm)			
Poids (kg)			
NEC			

Les hongres sont plus grands et ont un périmètre thoracique plus large que les mâles et les femelles.

3.4.2 Mesures photométriques

TABLEAU 44 - SYNTHESE DES MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES DE SEXE

	Femelle	Hongre	Mâle
Nombre de chevaux	227	205	90
TAILLEG	1,54 ^b	1,55 ^a	1,54 ^{a,b}
TAILLEC			
LONGUEUR			
LONGUEURTOT	1,56 ^b	1,57 ^a	1,55 ^b
VIDESS			
THORAX	0,69 ^b	0,70 ^a	0,69 ^b
OMOPLATE	0,50 ^b	0,50 ^a	0,50 ^{a,b}
HUMERUS	0,30 ^b	0,30 ^a	0,30 ^{a,b}
RADIUS			
METACARPE			
PHALANGE	0,21 ^b	0,22 ^a	0,22 ^a
ACOUDE			
AEPAULE			
IEPAULE			
IHUMERUS			
AGENOU			
COXAE			
SACRE	0,33 ^a	0,33 ^a	0,32 ^b
FEMUR			
TIBIA			
METATARSE			
PHALANGEP	0,20 ^b	0,21 ^a	0,21 ^{a,b}
AHANCHE			
AGRASSET			
AJARRET			
IBASSIN			
IFEMUR			
TETE			
ENCOLURE	0,75 ^b	0,77 ^a	0,77 ^a
DOSAVANT			
DOSARRIERE	0,55 ^a	0,54 ^{a,b}	0,54 ^b

TABLEAU 44 - SUITE - SYNTHESE DES MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES DE SEXE

	Femelle	Hongre	Mâle
ADOS			
IGARROT			
HGARROT			
IEPAULEPOINTEHANCHE			
ICOUDEGRASSET			

Dix mesures photométriques sont significativement différentes entre les groupes de sexe. Les hongres sont de plus grand format que les mâles et les femelles. Ils sont plus grands et plus longs, avec un thorax plus profond. Leurs scapula et humérus sont plus longs que chez les femelles. Il n'existe aucune différence significative de longueur entre les segments osseux postérieurs.

3.4.3 Indices, rapports et surface corporelle

TABLEAU 45 - SYNTHESE DES INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES DE SEXE

	Femelle	Hongre	Mâle
Nombre de chevaux	227	205	90
IC PROFIL			
IC COMPACITE			
IC RELATIF	1,13 ^a	1,11 ^b	1,12 ^{a,b}
SHODGSON			
SBRODY			
ISHODGSON			
ISBRODY			
RADIUS/HAUTEUR AU GARROT	0,26 ^a	0,25 ^b	0,26 ^a
THORAX/HAUTEUR AU GARROT	0,45 ^a	0,45 ^a	0,44 ^b
RADIUS/METACARPE			
FEMUR			
COXAE			
GRASSET-POINTE DE LA HANCHE			
HAUTEURGARROT/HAUTEUR CROUPE	1,00 ^b	1,014 ^{a,b}	1,016 ^a

Les proportions corporelles des femelles sont différentes de celles des hongres et des mâles. Les femelles ont un indice corporel relatif plus grand que les hongres. C'est-à-dire que pour un même périmètre thoracique, les femelles sont moins longues que les hongres. De plus, les femelles ont des rapports radius/hauteur au garrot, thorax/hauteur au garrot plus grands que les hongres. Le rapport hauteur au garrot/hauteur de la croupe des femelles est plus faible que pour les mâles.

3.4.4 Conclusion

L'analyse factorielle discriminante menée sur 434 chevaux et 42 variables morphologiques indique que 39,2 % des chevaux ne sont pas classés dans le groupe de sexe auquel ils appartiennent.

4. EVALUATION DE LA PERFORMANCE

4.1Evaluation de la performance des chevaux de 4 ans

Pour les chevaux de 4 ans, au sein des 137 chevaux mesurés, 117 ont participé aux finales jeunes chevaux à Uzès. Nous disposons des fréquences cardiaques à l'arrivée (figure 24), de la vitesse moyenne sur la course (figure 25), d'une appréciation pour l'ensemble des 117 chevaux ayant participé à la course (figure 26). Les chevaux sont trop jeunes pour disposer d'un indice IRE.

FIGURE 24 - DISTRIBUTION DES FREQUENCES CARDIAQUES A L'ARRIVEE DES CHEVAUX DE 4 ANS

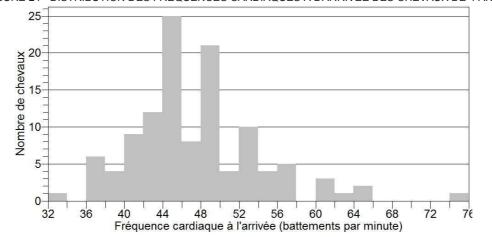
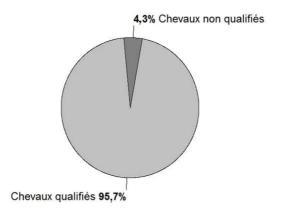


FIGURE 25 - DISTRIBUTION DES VITESSES MOYENNES DES CHEVAUX DE 4 ANS 24 22 20-Nombre de chevaux 10-10-8-9-9-9-9-9-4-2-0-12.2 14.2 14.4 14.6 12.4 12.6 12.8 13.2 13.4 13.6 13.8 14.8 3 Vitesse moyenne (km/h)

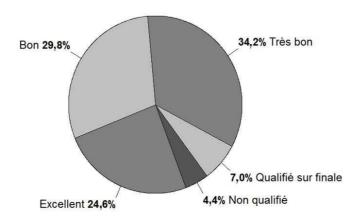
Parmi les 117 chevaux de 4 ans, 4,3 % sont non qualifiés et 95,7 % sont qualifiés.

FIGURE 26 - PROPORTION DES CHEVAUX DE 4 ANS QUALIFIES ET NON QUALIFIES



Parmi les 117 chevaux de 4 ans, 7 % sont qualifiés sur finale, 29,8 % ont reçu l'appréciation \times Bon \times , 34,2 % \times Très Bon \times et 24,6 % \times Excellent \times .

FIGURE 27 - REPARTITION DES APPRECIATIONS DANS LE GROUPE DES 117 CHEVAUX DE 4 ANS



4.2Evaluation de la performance des chevaux de 5 ans

Pour les chevaux de 5 ans, parmi les 176 chevaux mesurés, 159 ont participé aux finales jeunes chevaux à Uzès et 40 n'ont pas été qualifiés (élimination ou abandon sur la course). Nous disposons des fréquences cardiaques à l'arrivée pour 78 chevaux (figure 28), des vitesses moyennes sur la course pour 71 chevaux (figure 29) et d'une appréciation pour l'ensemble des participants (159 chevaux) (figure 30). Les chevaux sont trop jeunes pour disposer d'un indice IRE.

FIGURE 28 - DISTRIBUTION DES FREQUENCES CARDIAQUES A L'ARRIVEE DES CHEVAUX DE 5 ANS

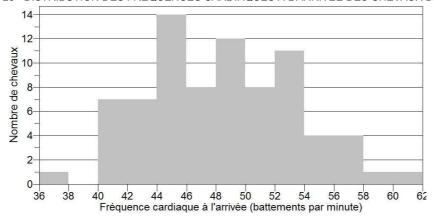
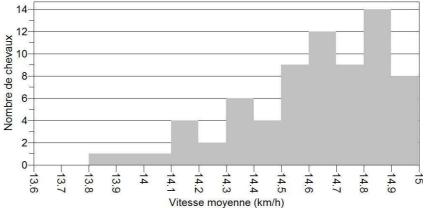


FIGURE 29 - DISTRIBUTION DES VITESSES MOYENNES DES CHEVAUX DE 5 ANS



Parmi les 159 participants de 5 ans, 119 (74,8 %) sont qualifiés tandis que 40 (25,2 %) ne sont pas qualifiés.

25,2% Chevaux non qualifiés

FIGURE 30 - PROPORTION DES CHEVAUX DE 5 ANS QUALIFIES ET NON QUALIFIES

Parmi les 159 participants de 5 ans, 40 sont « Non qualifiés », 13 (8,2 %) ont reçu l'appréciation « Bon », 61 (38,4 %) ont reçu l'appréciation « Très bon » et 45 (28,3 %) ont reçu l'appréciation « Excellent ».

Chevaux qualifiés 74,8%

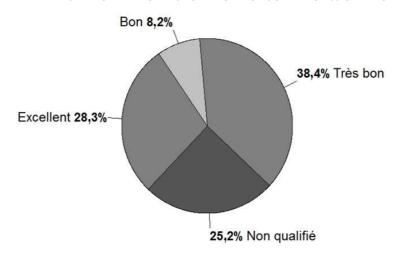


FIGURE 31 - REPARTITION DES APPRECIATIONS DANS LE GROUPE DES 159 CHEVAUX DE 5 ANS

4.3Evaluation de la performance des chevaux de 6 ans

Pour les chevaux de 6 ans, au sein des 220 chevaux mesurés, 204 ont participé aux finales jeunes chevaux à Uzès.

Nous disposons des fréquences cardiaques à l'arrivée pour 130 chevaux (figure 32), de la vitesse moyenne sur la course pour 107 chevaux (figure 33), d'une appréciation pour l'ensemble des 204 chevaux ayant participé à la course (figure 34), et des indices IRE pour 55 chevaux.

FIGURE 32 - DISTRIBUTION DES FREQUENCES CARDIAQUES A L'ARRIVEE DES CHEVAUX DE 6 ANS

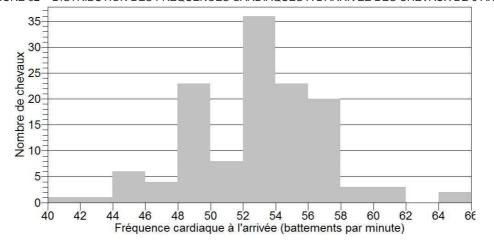


FIGURE 33 - DISTRIBUTION DES VITESSES MOYENNES DES CHEVAUX DE 6 ANS

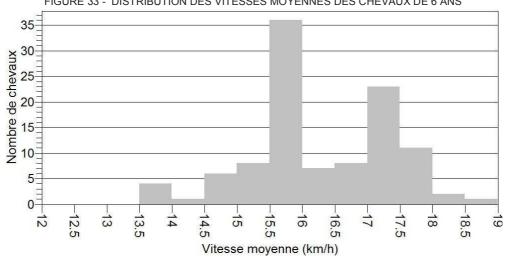


FIGURE 34 - PROPORTION DES CHEVAUX DE 6 ANS QUALIFIES ET NON QUALIFIES

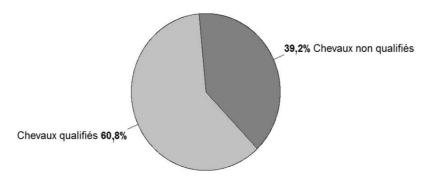
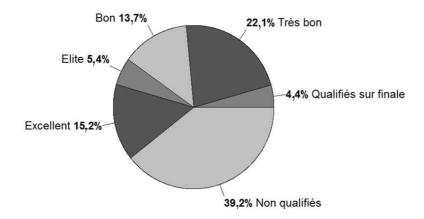


FIGURE 35 - REPARTITION DES APPRECIATIONS DANS LE GROUPE DES 204 CHEVAUX DE 6 ANS



5. ETUDE ANALYTIQUE: RELATIONS ENTRE LES DIFFERENTS PARAMETRES ET LA PERFORMANCE

Le but de cette partie est d'étudier l'influence de la morphologie des chevaux sur leurs performances. Pour rappel, pour chaque groupe d'âge et pour chaque variable morphologique, nous analysons dans l'ordre suivant la relation entre la morphologie du cheval et :

- (1) la qualification;
- (2) l'appréciation attribuée au cheval ;
- (3) la fréquence cardiaque à l'arrivée ;
- (4) la vitesse moyenne sur la course ;
- (5) les indices IRE.

Ne sont présentés que les résultats pour lesquels la relation est statistiquement significative.

5.1Relation mensurations, poids, NEC-performance

Nous allons analyser dans cette partie l'influence de la hauteur au garrot, du périmètre thoracique, de la longueur corporelle, du pli cutané, du poids et de la NEC des chevaux sur leurs performances.

→ Qualification

Quel que soit l'âge des chevaux, il n'existe aucune différence significative de hauteur au garrot, de périmètre thoracique, de longueur corporelle, de pli cutané ou de poids entre le groupe des « Qualifiés » et le groupe des « Non qualifiés ».

Parmi les chevaux de 5 ans et 6 ans, il n'existe aucune différence significative de NEC entre le groupe des « Qualifiés » et le groupe des « Non qualifiés ». Les chevaux de 4 ans « Non qualifiés » ont une NEC supérieure aux chevaux de 4 ans « Qualifiés » (tableau 36).

TABLEAU 46 - MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES SELON LA QUALIFICATION DU CHEVAL (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Non Qualifié	Qualifié
Nombre de chevaux	5 112	
NEC	2,85 ^a	2,6 ^b

→ Appréciation

Chevaux de 4 ans

TABLEAU 47 - MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » INCLUS) (CHEVAUX DE 4 ANS)

Moyenne	Non Qualifié	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	5	8	34	39	28
Hauteur au garrot (m)	1,53 ^a	1,49 ^b	1,52 ^a	1,52ª	1,53ª
Périmètre thoracique					
Longueur corporelle	1,46 ^{a,b}	1,45b	1,52 ^a	1,53ª	1,51 ^a
Nombre de chevaux	4	8	33	33	24
Pli cutané	29,60 ^{a,b}	32,63 ^a	22,64 ^b	30,93 ^a	32,24 ^a
Nombre de chevaux	4	8	30	37	24
Poids	383,25 ^{a,b}	369,12 ^b	398,73 ^{a,b}	416,43 ^a	402,92 ^a
NEC					

TABLEAU 48 - MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » EXCLUS) (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	8	34	39	28
Hauteur au garrot (m)	1,49 ^b	1,52 ^a	1,52 ^a	1,53 ^a
Périmètre				
thoracique				
Longueur				
corporelle				
Nombre de	8	33	33	24
chevaux		33	33	24
Pli cutané	32,63 ^{a,b}	22,64 ^b	30,93 ^a	32,24 ^a
Nombre de	8	30	37	24
chevaux	O	30	37	
Poids	369,12 ^b	398,73 ^{a,b}	416,43 ^a	402,92 ^{a,b}
NEC				

Les « Qualifiés sur finale » sont plus petits, moins longs et moins lourds que les chevaux mieux classés. Les « Non qualifiés » ont une morphologie intermédiaire.

Chevaux de 5 ans

TABLEAU 49 - MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES INCLUS ») (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Non Qualifié	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	40	13	61	45
Hauteur au garrot (m)	1,53 ^{a,b}	1,51 ^b	1,54 ^a	1,54 ^a
Périmètre thoracique (m)	1,75 ^{a,b}	1,71 ^b	1,73 ^b	1,76ª
Longueur corporelle (m)	1,53 ^b	1,49 ^b	1,53 ^b	1,56 ^a
Pli cutané				
Poids	414,5 ^b	391,1°	416,5 ^b	431,1 ^a
NEC				

TABLEAU 50 - MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » EXCLUS) (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	13	61	45
Hauteur au garrot (m)			
Périmètre thoracique (m)	1,71 ^b	1,73 ^b	1,76ª
Longueur corporelle (m)	1,49 ^b	1,53 ^b	1,56ª
Pli cutané			
Poids	391,1°	416,5 ^b	431,1 ^a
NEC			

Les « Non qualifiés » ont une morphologie intermédiaire. Les chevaux « Bons » sont plus petits et plus légers que les chevaux mieux classés. Les chevaux « Excellents » sont plus longs, plus larges et plus lourds que les chevaux moins bien classés.

Chevaux de 6 ans

Pour les chevaux de 6 ans, il n'existe aucune différence significative de mensurations (Hauteur au garrot, périmètre thoracique, longueur corporelle, pli cutané), de poids et de NEC entre les groupes d'appréciation lorsque les chevaux « Non qualifiés » sont inclus dans l'analyse.

TABLEAU 51 - MENSURATIONS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » EXCLUS) (CHEVAUX DE 6 ANS)

	Bon	Très Bon	Excellent	Elite	
Nombre de chevaux	28	45	31	11	
Longueur corporelle	1,54 ^{a,b}	1,52 ^b	1,53 ^b	1,58ª	

Parmi les chevaux de 6 ans, les chevaux « Elite » sont les plus longs.

→ Fréquence cardiaque à l'arrivée

Que ce soit parmi les chevaux de 4, 5 ou 6 ans, il n'existe aucune relation significative entre la fréquence cardiaque à l'arrivée et la hauteur au garrot, le périmètre thoracique, la longueur corporelle, le poids et la NEC.

Chevaux de 5 ans

TABLEAU 52 - CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ENTRE LA FREQUENCE CARDIAQUE A L'ARRIVEE ET LES MENSURATIONS (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Fréquence cardiaque			
	r p Nombre de chevaux			
Pli cutané	-0,30	0,03	53	

Plus le pli cutané est petit, plus la fréquence cardiaque à l'arrivée est élevée.

Chevaux de 4 ans et 6 ans

Pour les chevaux de 4 ans et 6 ans, il n'existe aucune relation significative entre la fréquence cardiaque à l'arrivée et le pli cutané.

→ Vitesse moyenne sur la course

Quel que soit l'âge des chevaux, il n'existe aucune relation significative entre la vitesse moyenne sur la course et les mensurations (hauteur au garrot, périmètre thoracique, longueur corporelle et pli cutané), le poids ou la NEC.

→ Indice IRE

Parmi les chevaux de 6 ans pour lesquels un indice IRE est disponible, il n'existe aucune relation significative entre les IRE et les rapports corporels.

5.2 Relation mesures photométriques-performance

→ Qualification

Chevaux de 4ans

TABLEAU 53 - MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES SELON LA QUALIFICATION DU CHEVAL (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Non Qualifié	Qualifié
Nombre de chevaux	5	112
Radius (m)	0,43 ^a	0,40 ^b

Les chevaux « Non qualifiés » ont un radius plus long que les chevaux « Qualifiés »

Chevaux de 5 ans et 6 ans

Parmi les chevaux de 5 et de 6 ans, il n'existe aucune différence significative de mesures photométriques entre le groupe des « Qualifiés » et le groupe des « Non qualifiés ».

→ Appréciation

Chevaux de 4 ans

TABLEAU 54 - MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » INCLUS) (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Non qualifié	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	5	8	34	39	28
Videss	0,86 ^{a,b}	0,81 ^c	0,847 ^{a,b}	0,83 ^b	0,85 ^a
Métacarpe	0,293 ^{a,b}	0,285 ^{a,b}	0,293 ^b	0,295 ^b	0,314 ^a
Icoudegrasset	-3,2 ^a	-5,75 ^b	-5,20 ^b	-4,95 ^b	-3,68 ^a

Légende - Videss : Vide sous sternal, Métacarpe : longueur du métacarpe, lcoudegrasset : inclinaison par rapport à l'horizontale de la ligne reliant le coude au grasset

TABLEAU 55 - MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » EXCLUS) (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	8	34	39	28
Videss	0,81 ^{a,b}	0,847 ^{a,b}	0,83 ^b	0,85 ^a
Thorax	0,66 ^b	0,67 ^b	0,69 ^a	0,68 ^{a,b}
Ihumerus	43 ^{a,b}	41,67 ^b	44,67 ^a	44,21 ^a
Tete	0,47 ^b	0,48 ^a	0,46 ^b	0,49 ^a
Métacarpe	0,285 ^b	0,293 ^b	0,295 ^b	0,314 ^a
Icoudegrasset	-5,75 ^b	-5,20 ^b	-4,95 ^b	-3,68 ^a

Légende - Videss : Vide sous sternal, Thorax : longueur du thorax, Ihumérus : inclinaison de l'humérus par rapport à l'horizontale, Tête : longueur de la tête, Métacarpe : longueur du métacarpe, Icoudegrasset : inclinaison par rapport à l'horizontale de la ligne reliant le coude au grasset

Les chevaux « Non qualifiés » ont une morphologie intermédiaire. Les meilleurs chevaux (« Excellents ») sont de plus grand format que les autres chevaux (vide sous sternal, métacarpe et tête plus longs). Les chevaux « Qualifiés sur finale » sont de plus petit format que les chevaux ayant une meilleure appréciation (longueur du vide sous sternal, thorax, tête, métacarpe).

La ligne coude-grasset est plus proche de l'horizontale chez les chevaux « Excellents ».

Chevaux de 5 ans

TABLEAU 56 - MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » INCLUS) (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Non Qualifié	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	40	13	61	45
Longueurtot	1,53 ^b	1,51 ^b	1,55 ^{a,b}	1,56 ^a

Légende - Longueurtot : Longueur de la base de l'encolure à la pointe de la fesse

TABLEAU 57 - MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » EXCLUS) (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	13	61	45
Longueurtot	1.51 ^b	1.55 ^{a,b}	1.56 ^a

Légende - cf. tableau 55

Les chevaux « Excellents » sont plus longs que les autres chevaux.

Chevaux de 6 ans

TABLEAU 58 - MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » INCLUS) (CHEVAUX DE 6 ANS)

	Non Qualifié	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent	Elite
Nombre de chevaux	79	9	28	45	30	11
Taillec	1,51 ^{b,c}	1,47 ^c	1,50 ^{b,c}	1,52 ^{a,b}	1,52 ^{a,b}	1,55 ^a
Phalangep	0,19 ^{b,c}	0,19 ^c	0,19 ^{b,c}	0,20 ^b	0,20 ^{b,c}	0,21 ^a

Légende - Taillec : Taille au sommet de la croupe, Phalangep : longueur boulet-pince mesurée sur les postérieurs.

TABLEAU 59 - MESURES PHOTOMETRIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » EXCLUS) (CHEVAUX DE 6 ANS)

	Bon	Très bon	Excellent	Elite
Nombre de chevaux	28	45	30	11
Taillec				
Phalangep	0,19 ^b	0,20 ^b	0,20 ^b	0,21 ^a

Légende - cf. Tableau 57

Les chevaux « Elite » sont plus grands que les autres chevaux au niveau de la croupe, tandis que les « Qualifiés sur finale» sont les plus petits.

Les chevaux « Elite » ont les phalanges postérieures les plus longues.

→ Fréquence cardiaque à l'arrivée

Chevaux de 4 ans

TABLEAU 60 - CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ENTRE LA FREQUENCE CARDIAQUE A L'ARRIVEE ET LES MESURES PHOTOMETRIQUES (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Fréquence cardiaque		
	r	р	Nombre de chevaux
Longueurtot	-0,24	0,04	
Fémur	0,26	0,03	71
Dosarr	-0,31	0,008	7.1
leapaulepointehanche	-0,38	0,001	

Légende - Longueurtot : longueur de la base de l'encolure à la pointe de la fesse, Fémur : longueur du fémur, Dosarr : longueur creux du dos-sommet de la croupe, lépaulepointedelahanche : inclinaison par rapport à l'horizontale de la ligne reliant la pointe de l'épaule à la hanche.

Plus les chevaux sont longs (Longueurtot et Dosarr), plus la fréquence cardiaque à l'arrivée est basse. Plus le fémur est court, plus la fréquence cardiaque à l'arrivé est basse. Plus la ligne pointe de l'épaule-hanche est horizontale, plus la fréquence cardiaque à l'arrivée est basse.

Chevaux de 5 ans et 6 ans

Pour les chevaux de 5 ans et 6 ans, il n'existe aucune relation significative entre la fréquence cardiaque à l'arrivée et les mesures photométriques.

→ Vitesse moyenne sur la course

Chevaux de 4 ans

TABLEAU 61 - CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ENTRE LA VITESSE MOYENNE SUR LA COURSE ET LES MESURES PHOTOMETRIQUES (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Vitesse moyenne sur la course		
	r	р	Nombre de chevaux
Phalangea	-0,26	0,03	
Fémur	-0,29	0,01	71
Métatarse	0,25	0,03	7.1
Tête	0,27	0,02	

Légende - Phalangea : longueur boulet-pince mesurée sur les antérieurs

Plus les phalanges antérieures sont longues, plus la vitesse sur la course est basse. Plus le fémur est long, plus la vitesse sur la course est basse. Plus la tête et le métatarse sont longs, plus la vitesse est élevée sur la course.

Chevaux de 5 ans

TABLEAU 62 - CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ENTRE LA VITESSE MOYENNE SUR LA COURSE ET LES MESURES PHOTOMETRIQUES (CHEVAUX DE 5 ANS)

		/		
	Vitesse moyenne sur la course			
	r	р	Nombre de chevaux	
Radius	0,34	0,01		
Sacré	-0,31	0,02	E2	
Ibassin	-0,34	0,01	53	
lfémur	0,42	0,01		

Légende - Radius : longueur du radius, Sacré : longueur sommet de la croupe-hanche, Ibassin : inclinaison du bassin par rapport à l'horizontale, Ifémur : inclinaison du fémur par rapport à l'horizontale

Plus le fémur est vertical, plus la vitesse sur la course est élevée. Plus le bassin est horizontal, plus la vitesse sur la course est élevée. Plus la longueur pointe de la croupe-hanche est courte, plus la vitesse sur la course est élevée. Plus le radius est long, plus la vitesse sur la course est élevée.

Chevaux de 6 ans

Pour les chevaux de 6 ans, il n'existe aucune relation significative entre la vitesse moyenne et les mesures photométriques.

→ Indice IRE

Seuls les indices IRE d'une partie des chevaux de 6 ans (55 IRE) sont disponibles.

TABLEAU 63 - CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ENTRE LES MESURES MORPHOLOGIQUES ET LES INDICES IRE VITESSE

	Indice IRE vitesse 2012		
	r	р	Nombre de chevaux
Igarrot	0,59	0,02	15
Hgarrot	0,54	0,03	15

Légende - Igarrot : Inclinaison de la ligne creux du dos-sommet du garrot par rapport à l'horizontale, Hgarrot : hauteur du garrot par rapport au creux du dos.

TABLEAU 64 - CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ENTRE LES MESURES PHOTOMETRIQUES ET LES INDICES IRE GLOBAUX

		Indice IRE global 2012	
	r	р	Nombre de chevaux
Hgarrot	0,56	0,03	15

Légende - Hgarrot : hauteur du garrot par rapport au creux du dos.

Plus le garrot est proéminent, plus l'indice vitesse et l'indice global sont élevés.

5.3Relation indices corporels-performance

→ Qualification

Quel que soit l'âge des chevaux, il n'existe pas de différence significative d'indices corporels entre le groupe des « Qualifiés » et le groupe des « Non qualifiés ».

→ Appréciation

Chevaux de 4 ans

TABLEAU 65 - INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES INCLUS ») (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Non qualifié	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	4	8	30	37	24
IC compacité	0,396 ^{a,b}	0,399 ^a	0,38 ^a	0,37 ^b	0,38 ^{a,b}

Légende - IC compacité : Rapport hauteur au garrot/poids

TABLEAU 66 - INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES EXCLUS ») (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	8	30	37	24
IC compacité	0,399 ^a	0,38 ^a	0,37 ^b	0,38 ^{a,b}

Légende - cf. Tableau 65

Les chevaux « Qualifiés sur finale » et « Bons » sont moins compacts que les chevaux mieux classés. Pour un poids fixé, les « Qualifiés sur finales » sont plus grands que les chevaux mieux classés. Les chevaux « Non qualifiés » ont un indice de compacité intermédiaire.

Chevaux de 5 ans

TABLEAU 67 - INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES INCLUS ») (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Non qualifié	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	40	13	58	43
IC profil	0,999 ^{a,b}	1,01 ^a	1,001 ^a	0,98 ^b
IC compacité	0,37 ^b	0,39 ^a	0,37 ^b	0,36 ^c

Légende - IC profil : Rapport hauteur au garrot/longueur corporelle, IC compacité : Rapport hauteur au garrot/poids

TABLEAU 68 - INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES EXCLUS ») (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	13	58	43
IC profil	1,01 ^{a,b}	1,001 ^a	0,98 ^b
IC compacité	0,39 ^a	0,37 ^b	0,36 ^c

Légende : IC profil : Rapport hauteur au garrot/longueur corporelle, IC compacité : Rapport hauteur au garrot/poids

Les chevaux « Excellents » sont les plus compacts et ont un l'indice de profil plus petit. Un indice de profil égal à un correspond à des chevaux inscrits dans un carré. Les chevaux « Excellents » ont un indice plus petit que 1, ils s'inscrivent dans un rectangle couché, tandis que les chevaux « Bons » et « Très bons » s'inscrivent dans un carré.

Chevaux de 6 ans

Il n'existe pas de différence d'indice corporel statistiquement significative entre les groupes d'appréciation parmi les chevaux de 6 ans, lorsque l'analyse inclut les chevaux « Non qualifiés ».

TABLEAU 69 - INDICES ET RAPPORTS CORPORELS (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » EXCLUS) (CHEVAUX DE 6 ANS)

	Bon	Très bon	Excellent	Elite
Nombre de chevaux	28 45		31	11
IC relatif	1,12 ^{b,c}	1,15 ^a	1,13 ^{a,b}	1,10 ^c

Légende - IC relatif : périmètre thoracique/longueur corporelle

Les chevaux « Elites » ont l'indice relatif le plus faible, c'est-à-dire que pour un même périmètre thoracique, les chevaux « Elites » sont plus longs que les autres chevaux.

→ Fréquence cardiaque à l'arrivée

Quel que soit l'âge des chevaux, il n'existe aucune relation significative entre la fréquence cardiaque à l'arrivée et les indices corporels.

→ Vitesse moyenne sur la course

Quel que soit l'âge des chevaux, il n'existe aucune relation significative entre la vitesse moyenne et les indices corporels.

→ Indice IRE

Parmi les chevaux de 6 ans pour lesquels un indice IRE est disponible, il n'existe aucune relation significative entre les IRE et les indices corporels.

5.4Relation surface corporelle et indices surfaciques-performance

→ Qualification

Quel que soit l'âge des chevaux, il n'existe aucune différence significative de surface corporelle ou d'indice surfacique entre le groupe des « Qualifiés » et le groupe des « Non qualifiés ».

→ Appréciation

Chevaux de 4 ans

TABLEAU 70 - SURFACES CORPORELLES ET INDICES SURFACIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » INCLUS) (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Non qualifié	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	4	8	30	37	24
Shodgon	4,16 ^{a,b}	4,09 ^b	4,28 ^{a,b}	4,42 ^a	4,31 ^a
Sbrody	3,74 ^{a,b}	3,69 ^b	3,83 ^a	3,94 ^a	3,86ª
IShodgson	92,09 ^{a,b}	91,61 ^b	92,99 ^a	94,06 ^a	93,27 ^a
ISbrody	102,26 ^{a,b}	101,50 ^b	103,70 ^a	105,36 ^a	104,10 ^a

TABLEAU 71 - SURFACES CORPORELLES ET INDICES SURFACIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » EXCLUS) (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	8	30	37	24
Shodgon	4,09 ^b	4,28 ^{a,b}	4,42 ^a	4,31 ^{a,b}
Sbrody	3,69 ^b	3,83 ^{a,b}	3,94 ^a	3,86 ^{a,b}
IShodgson	91,61 ^b	92,99 ^b	94,06 ^a	93,27 ^{a,b}
ISbrody	101,50 ^b	103,70 ^{a,b}	105,36 ^a	104,10 ^{a,b}

Les chevaux « Excellents » et « Très bons » ont une surface corporelle et des indices surfaciques plus grands que les autres chevaux.

Les chevaux « Qualifiés sur finale » ont une surface corporelle et un indice surfacique plus petits que les autres chevaux

Chevaux de 5 ans

TABLEAU 72 - SURFACES CORPORELLES ET INDICES SURFACIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » INCLUS) (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Non Qualifié	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	38	13	58	43
SHodgson	4,40 ^b	4,22 ^c	4,42 ^b	4,54 ^a
SBrody	3,93 ^b	3,79 ^c	3,95 ^b	4,03 ^a
ISHodgson	93,97 ^c	92,55 ^b	94,06 ^c	94,90 ^a
ISBrody	105,19 ^c	102,99 ^b	105,36 ^c	106,72 ^a

TABLEAU 73 - SURFACES CORPORELLES ET INDICES SURFACIQUES (VALEURS MOYENNES) SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIES » EXCLUS) (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	13	58	43
SHdodgon	4,22 ^c	4,42 ^b	4,54 ^a
SBrody	3,79 ^c	3,95 ^b	4,03 ^a
ISHodgson	92,55 ^b	94,06 ^c	94,90 ^a
ISBrody	102,99 ^b	105,36°	106,72 ^a

Les chevaux « Excellents » ont une surface corporelle plus grande que les chevaux moins bien classés.

Chevaux de 6 ans

Il n'existe aucune différence significative de surfaces corporelles et d'indices surfaciques entre les groupes d'appréciation pour les chevaux de 6 ans.

→ Fréquence cardiaque à l'arrivée

Quel que soit l'âge des chevaux, il n'existe aucune relation significative entre la fréquence cardiaque à l'arrivée et les surfaces corporelles et indices surfaciques.

→ Vitesse moyenne sur la course

Quel que soit l'âge des chevaux, il n'existe aucune relation significative entre la vitesse moyenne sur la course et les surfaces corporelles et indices surfaciques.

→ Indice IRE

Parmi les chevaux de 6 ans pour lesquels un indice IRE est disponible, il n'existe aucune relation significative entre les IRE et les surfaces corporelles et indices surfaciques.

5.5Relations rapports corporels - performance

→ Qualification

Chevaux de 4 ans

TABLEAU 74 – INDICES ET RAPPORTS CORPORELS SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS (VALEURS MOYENNES)
SELON LA QUALIFICATION DU CHEVAL (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Non qualifié	Qualifié
Nombre de chevaux	5	112
Radius/hauteur au garrot	0,28 ^a	0,26 ^b

Aucun autre rapport corporel n'est significativement différent entre le groupe des chevaux qualifiés et le groupe des chevaux non qualifiés, pour les chevaux de 4 ans.

Chevaux de 5 ans

TABLEAU 75 – INDICES ET RAPPORTS CORPORELS SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS (VALEURS MOYENNES) SELON LA QUALIFICATION DU CHEVAL (CHEVAUX DE 5 ANS)

	Non qualifié	Qualifié
Nombre de chevaux	40	118
HG/taillec	1,00 ^b	1,01 ^a

Légende - HG : hauteur au garrot, taillec : hauteur au niveau de la croupe

Les chevaux « qualifiés » sont en moyenne plus hauts au garrot qu'au niveau de la croupe (cheval fait en montant), contrairement aux chevaux « non qualifiés » qui ont en moyenne une hauteur au garrot égale à la hauteur de leur croupe.

Aucun autre rapport corporel n'est significativement différent entre le groupe des chevaux qualifiés et le groupe des chevaux non qualifiés, pour les chevaux de 5 ans.

Chevaux de 6 ans

Aucun rapport corporel n'est significativement différent entre le groupe des « Qualifiés » et le groupe des « Non qualifiés » pour les chevaux de 6 ans.

→ Appréciation

Chevaux de 4 ans

Il n'y a pas de différence significative entre les rapports corporels entre les différents groupes d'appréciation, chez les chevaux de 4 ans, lors de l'analyse qui inclut les chevaux « Non qualifiés ».

TABLEAU 76 - INDICE ET RAPPORTS SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS (VALEURS MOYENNES) ENTRE LES GROUPES D'APPRECIATION (« NON QUALIFIE » EXCLUS) (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Qualifié sur finale	Bon	Très bon	Excellent
Nombre de chevaux	8	34	39	28
Thorax/hauteur au garrot	0,44 ^{a,b}	0,44 ^b	0,45 ^a	0,44 ^b

Chevaux de 5 ans et 6 ans

Aucun rapport corporel n'est significativement différent entre les groupes d'appréciation, parmi les chevaux de 5 ans et 6 ans.

→ Fréquence cardiaque à l'arrivée

Chevaux de 4 ans

TABLEAU 77 - CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ENTRE LA FREQUENCE CARDIAQUE A L'ARRIVEE ET LES RAPPORTS CORPORELS (CHEVAUX DE 4 ANS)

	Fréquence cardiaque à l'arrivée				
	r	р	Nombre de chevaux		
Coxae/fémur	-0,43	0,0002	71		

Légende - Coxae/fémur : rapport de la longueur hanche-pointe de la hanche sur la longueur du fémur

Plus le rapport coxae/fémur est grand (plus l'os coxal est long par rapport au fémur), plus les fréquences cardiaques à l'arrivée sont faibles.

Chevaux de 5 ans et 6 ans

Pour les chevaux de 5 ans et 6 ans, il n'existe aucune relation significative entre la fréquence cardiaque à l'arrivée et les rapports corporels.

→ Vitesse moyenne sur la course

Chevaux de 4 ans

TABLEAU 78 - CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ENTRE LA VITESSE MOYENNE A L'ARRIVEE ET LES RAPPORTS CORPORELS (CHEVAUX DE 4 ANS.)

		Vitesse moyenne				
	r	р	Nombre de chevaux			
Rapport Coxae/fémur	0,31	0,009	71			

Légende – cf. tableau 77

Plus le rapport coxae/fémur est grand (plus l'os coxal est long par rapport au fémur), plus la vitesse moyenne sur la course est élevée.

Chevaux de 5 ans et 6 ans

Pour les chevaux de 5 et 6 ans, il n'existe aucune relation significative entre les rapports corporels et la vitesse moyenne.

→ Indice IRE

Parmi les chevaux de 6 ans pour lesquels des indices IRE sont disponibles, il n'existe aucune relation significative entre les IRE et les rapports corporels.

TABLEAU 79 - TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS

		Qualification	Appréciation	Corrélation avec la fréquence cardiaque	Corrélation avec la vitesse moyenne	Corrélation avec les indices IRE
Mensurations, NEC et poids	Hauteur au garrot	Х	4 ans (Ex TB B NQ) ^a >QF ^b 5 ans (Ex TB) ^a ≥NQ ^{a,b} >B ^b	X	X	Х
	Périmètre thoracique	Х	5 ans Ex ^a ≥ NQ ^{a,b} > (TB B) ^b	Х	X	Х
Longueur corporelle Pli cutané		Х	4 ans (Ex TB B) ^a ≥ NQ ^{a,b} >QF ^b 5 ans Ex ^a > (NQ TB) ^b >B ^c 6 ans Elt ^a >B ^{a,b} >(Ex,TB) ^b	Х	X	Х
		Х	4ans (Ex TB QF) ^a ≥ NQ ^{a,b} >B ^b	5 ans pli cutané r=-0,30 4 ans 6 ans X	×	Х
	Poids	Х	4 ans (ExTB) ^a ≥ (B NQ) ^{a,b} ≥QF ^b 5 ans Ex ^a ≥ (TB NQ) ^b >B ^c	X	Х	Х
	NEC	4 ans (NQ > QF)	Х	Х	X	X
Mesures photométriques		4 ans Radius (NQ > Q) 5 ans 6 ans : X	Vide sous sternal Ex ^a ≥B ^{a,b} ≥TB ^b >QF ^c Métacarpe Ex ^a ≥ (NQ QF) ^{a,b} ≥ (TB B) ^b Inclinaison de la ligne coude-grasset (Ex NQ) ^a > (QF B TB) ^b 5 ans Longueur base de l'encolure-pointe de la fesse Ex ^a ≥ TB ^{a,b} ≥ (NQ B) ^b 6 ans Taille au sommet de la croupe Elt ^a ≥ (Ex TB) ^{a,b} ≥ (Bon NQ) ^{b,c} >QF ^c Longueur boulet-pince sur les postérieurs Elt ^a ≥TB ^b ≥ (NQ Ex B) ^{b,c} >QF ^c	4 ans Longueur base de l'encolure-pointe de la fesse r=0,24 Fémur r=0,26 Longueur creux du dos-sommet croupe r=-0,31 Inclinaison de l'épaule par rapport à l'horizontale r=-0,38 5 ans 6 ans : X	4 ans Longueur boulet-pince antérieure r=-0,26 Fémur r=-0,29 Métatarse r=0,25 Tête r=0,27 5 ans Radius r=0,34 Longueur sommet de la croupe-hanche r=-0,31 Inclinaison du bassin par rapport à l'horizontale r=-0,34 Inclinaison du fémur par rapport à l'horizontale r=-0,42 6 ans : X	Ind vitesse et Inclinaison creux du dos-garrot r=0,59 Ind vitesse et hgarrot r=0,54 Ind IRE global et hgarrot r=0,56 (hgarrot: Hauteur du garrot/creux du dos)

TABLEAU 79 - SUITE -TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS

	Qualification	Appréciation	Corrélation avec la fréquence cardiaque à l'arrivée	Corrélation avec la vitesse moyenne	Corrélation avec les indices IRE
Rapports corporels	4 ans radius/HG (NQ > Q)	X	4 ans Coxae/fémur r=-0,43	4 ans Coxae/fémur r=0,31	X
Indices corporels	X	4 ans IC compacité (QF B) ^a ≥ (Ex NQ) ^{a,b} >TB ^b 5 ans IC profil (B TB) ^a ≥ NQ ^{a,b} ≥ Ex ^b IC compacité B ^a > (TB NQ) ^b >Ex ^c 6 ans X	X	X	X
Surfaces corporelles et indices surfaciques	X	4 ans SHodgson et Sbrody (Ex TB) ^a ≥ (B NQ) ^{a,b} ≥QF ^b ISHodgson et ISbrody (Ex TB B) ^a ≥ NQ ^{a,b} ≥ QF ^b 5 ans SHodgson et Sbrody Ex ^a > (TB NQ) ^b >B ^c ISHodgson et ISbrody Ex ^a > (TB NQ) ^b >B ^c 6 ans X	X	X	X

Légende - Elt : Elite Ex : Excellent TB : Très bon B : Bon QF Qualifié sur finale NQ : Non qualifié IC compacité : hauteur au garrot/poids, IC profil : hauteur au garrot/longueur corporelle, SHodgson et SBrody : surfaces corporelles, ISHodgson et ISBrody : indices surfaciques.

III. DISCUSSION

1. Protocole d'étude

1.1 Recrutement des chevaux et population d'étude

L'étude a été réalisée sur 533 chevaux. Le recrutement a été effectué sur la base du volontariat et non par tirage au sort, ce qui limite la représentativité de l'échantillon d'un point de vu statistique. La plupart des chevaux (443 soit 83,1 % de l'échantillon) ont été recrutés lors des finales d'endurance jeunes chevaux à Uzès, épreuves réunissant la majorité des jeunes chevaux destinés au haut niveau. Par conséquent, si notre échantillon est représentatif de l'ensemble des chevaux présents sur les finales jeunes chevaux SHF, alors, il est pertinent pour une étude destinée à la sélection des chevaux d'endurance de haut niveau. Les tableaux 80 et 81 présentent le sexe et la race des chevaux engagés sur les finales jeunes chevaux endurance.

TABLEAU 80 - REPARTITION DE L'ENSEMBLE DES ENGAGES (ENGAGES TARDIFS EXCLUS) SUR LES FINALES D'ENDURANCE JEUNES CHEVAUX 2011, 2012 ET 2013 EN FONCTION DE LEUR SEXE

	Uzès 2011	Uzès 2012	Uzès 2013	Moyenne 3 années	Echantillon	Valeur du Chil 2	Valeur Chi 2 alpha 5 %
Hongres	40,2 %	42,4 %	41,3 %	41,3 %	43,3 %	0,85	ddl = 1
Femelle	39,7 %	42,1 %	45,7 %	42,7 %	39 %	0,06	
Mâle	20,1 %	15,5 %	13 %	16 %	16,8 %	0,25	3,84
Total	571	542	702	1815	533		

D'après les résultats du test du Chi2 présentés dans le tableau 80, avec un risque d'erreur de 5 %, il n'y a pas de différence significative dans les proportions des groupes de sexe entre notre échantillon et le groupe des engagés sur les finales jeunes chevaux à Uzès 2011, 2012 et 2013.

TABLEAU 81 - REPARTITION DE L'ENSEMBLE DES ENGAGES (ENGAGES TARDIFS EXCLUS) SUR LES FINALES D'ENDURANCE JEUNES CHEVAUX 2011. 2012 ET 2013 EN FONCTION DE LEUR RACE

	Uzès 2011	Uzès 2012	Uzès 2013	Moyenne 3 années	Echantillon	Valeur du Chil 2	
Arabes	56,2 %	54,9 %	51,1 %	54,2 %	54,6 %	0,02	Volour
Demi- sang arabe	24,5 %	25,2 %	26,5 %	25,7 %	26,8 %	0,28	Valeur Chi2 alpha 5 % ddl = 1
Anglo- arabe	6,5 %	7,4 %	5,3 %	6,3 %	7,9 %	1,57	3,84
Shagya	3,1 %	2,5 %	3,8 %	3,2 %	3,2 %	0,04	3,04
Autres	6,1 %	7,9 %	11 %	8,5 %	7,5 %	0,64	
Total	571	542	702	1815	533		

D'après les résultats du test du Chi2 présenté dans le tableau 81, avec un risque d'erreur de 5 %, il n'y a pas de différence significative dans les proportions des groupes de race entre notre échantillon et le groupes des engagés sur les finales jeunes chevaux à Uzès 2011, 2012 et 2013.

Notre échantillon est proche de la représentativité de la population des chevaux assistant aux finales jeunes chevaux.

L'effectif étudié regroupe 533 chevaux ce qui constitue l'un des plus gros échantillons de chevaux d'endurance analysé. Les travaux de Tribout (2013) et Colin de Verdière (2014) portaient respectivement sur des échantillons de 367 et 251 chevaux d'endurance. Une partie des analyses

statistiques de notre étude est effectuée par groupes d'âge (137 chevaux de 4 ans, 176 chevaux de 5 ans et 220 chevaux de 6 ans). Ces échantillons sont de petite taille pour mettre en évidence des corrélations entre morphologie et performance, corrélations que l'on sait faibles d'après le travail de Tribout (2013). Plus les corrélations à mettre en évidence sont faibles, plus il est nécessaire de disposer d'un échantillon de grande taille.

1.2Paramètres mesurés sur le terrain

1.2.1 Poids

Le poids est disponible pour 477 des 533 chevaux étudiés, soit 89,5 % de l'échantillon, ce qui est un excellent pourcentage par rapport à l'étude de Tribout (2013), menée sur 367 chevaux d'endurance adultes et où le poids n'est disponible que pour 126 chevaux, soit 34,3 % de l'échantillon. Cette amélioration a été permise grâce à l'acquisition d'une balance portable, qui a pu être transportée sur tous les sites de mesure. Les poids manquant correspondent à des chevaux qui refusent de monter sur la balance.

1.2.2 <u>Mensurations et notes d'état corporel</u>

La description des méthodes de mesure figure en partie « I.2. Protocole expérimental ». Les mesures réalisées sur le terrain doivent répondre à plusieurs conditions : précision mais aussi rapidité et simplicité. Le point fort de notre méthode de mesure est sa rapidité et sa simplicité. Ceci est essentiel pour avoir un taux de participation suffisant. Les taux de participation atteints varient entre 16 et 39 % selon les épreuves.

TABLEAU 82 - TAUX DE PARTICIPATION AUX MESURES GENENDURANCE PENDANT LES FINALES JEUNES CHEVAUX ENDURANCE

		Uzès 2011			Uzès 2012	2	Uzès 2013			
	Participants	Engagés sur l'épreuve	% de participation	Participants	Engagés sur l'épreuve	% de participation	Participants	Engagés sur l'épreuve	% de participation	
4 ans	34	78	43,3 %	35	89	39 %	48	134	35,8 %	
5 ans	50	237	21 %	59	168	35 %	50	313	16 %	
6 ans	65	246	26,4 %	79	229	34,5 %	60	249	24 %	

Le point faible de nos méthodes est leur manque de répétabilité. La session de mesure a une influence sur les mesures effectuées. Le tableau 83 donne les résultats de l'analyse de variance qui évalue les effets du facteur « session de mesure » à effets « race », « sexe » et « âge » égaux. L'effet « session de mesure » est significatif pour la quasi-totalité des mesures. A chaque session de mesure, les membres de l'équipe sont différents, les conditions d'installation des stands de mesures sont différentes (sol plus ou moins plat). Des mesures peu précises augmentent la variabilité du caractère mesuré et réduisent la puissance statistique de l'étude.

TABLEAU 83 - RESULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE TESTANT L'EFFET DU FACTEUR « SESSION DE MESURE ». *** : P < 0,001 ** : P < 0,01 * : P < 0,05 - : P > 0,05

Variable	Degré de significativité de l'effet « session de mesure »				
Mensurat	ions				
Hauteur au garrot	-				
Périmètre thoracique	***				
Longueur corporelle	***				
Pli cutané	***				
Poids	***				
NEC	***				

TABLEAU 83 - SUITE - RESULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE TESTANT L'EFFET DU FACTEUR « SESSION DE MESURE ».

***: P<0,001 **: P<0,01 *: P<0,05 -: P>0,05

Variable	Degré de significativité de l'effet « session de mesure »
Mesures	photométriques
TAILLEC	***
LONGUEUR	***
LONGUEURTOT	-
VIDESS	***
THORAX	***
OMOPLATE	***
HUMERUS	***
RADIUS	***
METACARPE	***
PHALANGE	***
ACOUDE	***
AEPAULE	***
IEPAULE	***
IHUMERUS	***
AGENOU	***
COXAE	***
SACRE	*
FEMUR	***
TIBIA	***
METATARSE	***
PHALANGEP	***
AHANCHE	***
AGRASSET	***
AJARRET	***
IBASSIN	***
IFEMUR	***
TETE	***
ENCOLURE	***
DOSAVANT	***
DOSARRIERE	***
ADOS	***
IGARROT	***
HGARROT	***
IEPAULEPOINTEHANCHE	***
ICOUDEGRASSET	***

1.3 Validité de la mesure des performances

La mesure des performances a été limitée du fait de l'absence d'indice IRE disponible pour les jeunes chevaux. Pour évaluer la performance des chevaux de l'étude, nous avons utilisé les résultats d'une seule course, la finale des jeunes chevaux à Uzès. Pour pouvoir participer aux finales jeunes chevaux à Uzès, les chevaux ont couru avant sur des courses régionales et interrégionales. Nous aurions pu utiliser les résultats de ces courses de qualification pour affiner l'évaluation de la

performance de chaque cheval mais ces courses présentent plusieurs désavantages qui rendent leurs résultats difficilement exploitables. Leurs résultats sont fortement influencés par le cavalier et par les objectifs de l'entraineur. De plus, elles se courent sur de petites distances (20 km, 40 km ou 60 km) ce qui en fait des courses peu discriminantes. Enfin et surtout, elles se déroulent sur l'ensemble du territoire français, dans des conditions très variables de terrain, climat et jury. Nous avons donc fait le choix d'utiliser un seul résultat en course : celui des finales jeunes chevaux à Uzès. La mesure de la performance est donc peu précise, d'autant que chez le jeune cheval, la répétabilité d'un résultat en course est faible (Richard et Touvais, 2007). Cependant, la course choisie étant identique pour tous les chevaux (même terrain, même niveau de difficulté de la course, mêmes conditions météorologiques, car la course a lieu chaque année à la même date), la mesure de la performance est très homogène d'un cheval à l'autre, ce qui est un point positif.

A l'issue de la course, pour évaluer les chevaux de l'étude nous disposons de deux variables qualitatives : la qualification (deux catégories) et l'appréciation (entre 5 et 6 catégories selon la classe d'âge). Nous avons aussi deux ou trois variables quantitatives : fréquence cardiaque, vitesse moyenne et éventuellement IRE.

Les jeunes chevaux courent à vitesse imposée (sauf les 6 ans vitesse libre) et ne sont pas classés à l'issue de la course mais obtiennent une appréciation. Le nombre de catégories d'appréciation est limité (au maximum 6 pour les 6 ans), ce qui est beaucoup moins discriminant qu'un classement qui attribue un rang par cheval.

Les indices IRE sont intéressants chez les chevaux adultes car ils permettent de synthétiser l'ensemble de la carrière du cheval. Pour les jeunes chevaux cet indice synthétise les informations d'une seule course (la première course 90 km vitesse libre du cheval). Il n'apporte donc pas plus d'informations que les éléments déjà cités (Appréciation, Vitesse moyenne, Fréquence cardiaque). La méthode de mesure de la performance n'étant pas homogène entre les groupes d'âges, nous avons été obligés de mener l'analyse statistique par groupe d'âge. En effet, le nombre de catégories d'appréciation n'est pas identique dans chaque groupe d'âge. Pour les 4 ans, il y a quatre appréciations possibles et donc cinq catégories (Non qualifié, Qualifié sur finale, Bon, Très bon et Excellent), attribués suite à une note au concours modèle et allures. Pour les 5 ans, il y a guatre appréciations possibles et cinq catégories (Non qualifié, Qualifié sur finale, Bon, Très bon et Excellent), pour les 6 ans vitesse imposée il y a trois appréciations possibles et quatre catégories (Non Qualifié, Qualifié sur finale, Bon et Très bon), et pour les 6 ans vitesse libre, il y a cinq appréciations possibles. Pour les 5 ans et les 6 ans, les appréciations ne sont pas attribuées à l'issue d'un concours modèle et allures mais à l'issue de l'examen clinique du cheval à la fin de la course. La vitesse imposée est aussi variable en fonction des catégories d'âge (de 12 km/h à 15 km/h pour les 4 ans et les 5 ans, de 12 km/h à 16 km/h pour les 6 ans vitesse imposée et supérieure à 12 km/h pour les vitesses libres). Nous avons cependant analysé ensemble les 6 ans vitesse imposée et les 6 ans vitesse libre, malgré cette non homogénéité des vitesses autorisées. En effet, les 6 ans vitesse imposée ne sont pas engagés sur la course à vitesse libre car ils ne sont pas préparés pour courir plus vite que la vitesse maximale autorisée.

1.4 Analyses statistiques

Les effets pris en compte lors des analyses statistiques sont les effets « race », « sexe » et « session de mesure ». Cependant, d'autres effets pouvant avoir une influence n'ont pas été pris en compte : l'effet cavalier, l'effet entraineur, l'effet course.

L'effet cavalier (un mauvais cheval peut être bien classé car bien mené par un bon cavalier) est très difficile à prendre en compte, car chaque cavalier monte un seul cheval. Pour les disciplines telles que le CSO ou le dressage, le niveau des cavaliers dans les épreuves « cycles classiques » est homogène (Danvy, 2008). Lors des épreuves jeunes chevaux en endurance, le niveau des cavaliers est hétérogène, professionnels et amateurs sont mêlés. Les meilleurs chevaux sont souvent montés par des professionnels payés pour les valoriser. Pour prendre en compte cet effet, on aurait pu

estimer le niveau du cavalier par le nombre de courses qu'il a déjà effectuées. Un cavalier ayant effectué un nombre important de courses est considéré comme un cavalier confirmé.

L'effet entrainement semble aussi important à envisager pour les courses jeunes chevaux. Des chevaux peu entrainés peuvent paraître moins bons que des chevaux mieux entrainés. En fonction des entraineurs et des propriétaires, les jeunes chevaux d'endurance ne sont pas débourrés et mis à l'entrainement au même moment. Cet effet est surtout important pour les chevaux de 4 ans et s'estompe avec l'âge.

Chaque course est différente (terrain, conditions météorologiques, équipe des juges pour les 4 ans, équipe des vétérinaires, niveau global des participants à la course...). Cet effet est dans notre cas limité puisque nous avons seulement trois courses (Uzès 2011, Uzès 2012 et Uzès 2013), qui se déroulent chaque année sur le même terrain, à la même période de l'année (conditions météorologiques semblables), et selon une organisation similaire. L'équipe des juges pour les 4 ans et des vétérinaires pour les 5 ans et 6 ans ne sont cependant pas identique d'une année à l'autre. Cet effet a été pris en compte de manière globale dans l'effet session de mesure pour l'ensemble des jeunes chevaux qui ont été mesurés lors des finales à Uzès. C'est le cas de 443 chevaux soit 83,1 %. A posteriori, nous aurions pu prendre en compte cet effet, pour les chevaux qui ont été mesurés sur d'autres sites que Uzès.

2. RÉSULTATS

2.1 Apports de l'étude

2.1.1 <u>Caractérisation de la population de jeunes chevaux destiné à l'endurance</u>

Le cheval moyen de l'échantillon mesure 152,8 cm au garrot et est long de 153,2 cm. Le jeune cheval moyen s'inscrit dans un carré. Son périmètre thoracique moyen est de 173,5 cm et son poids moyen de 411,7 kg. Sa NEC moyenne est de 2,92 ce qui correspond, d'après l'échelle de notation de l'INRA, à une NEC optimum. Notre échantillon étant représentatif de la population de chevaux engagés sur les courses d'endurance jeunes chevaux, nous pouvons considérer que ce cheval moyen est représentatif des jeunes chevaux français destinés au haut niveau.

Le cheval moyen de l'étude de Ménager (2010) menée sur 238 chevaux d'endurance adulte de haut niveau mesure 153,8 cm, est long de 161,7 cm et son périmètre thoracique mesure 177,4 cm. Il pèse 410,9 kg. Le cheval moyen de Tribout (2013) mesure 153,5 cm et est long de 154,3 cm. Son périmètre thoracique est de 175,4 cm. Il pèse 411,19 kg. Tandis que le jeune cheval moyen et le cheval moyen de l'étude de (Tribout, 2013) s'inscrivent dans un carré, le cheval moyen de l'étude de (Ménager, 2010) est plus long. Cette différence peut s'expliquer en partie par la différence de composition des échantillons en terme de race (proportion moindre de pur-sang arabes et plus importante d'anglo-arabes dans l'échantillon de Ménager (2010)).

Le cheval pur-sang arabe élevé en Egypte, étudié par Sadek *et al.* (2006) est plus petit que le jeune cheval moyen d'endurance de notre étude (150 cm) et ne s'inscrit pas dans un carré (longueur corporelle moyenne : 142 cm). Son périmètre thoracique est de 172 cm. En Espagne, les chevaux pur-sang arabes destinés à l'endurance mesurent en moyenne 149,4 cm, sont longs de 141,2 cm et ont un périmètre thoracique de 171,7 cm (Cervantes *et al.*, 2009). D'après Newman (2003), auteur américain, les chevaux pur-sang arabes mesurent entre 143,3 cm et 153,4 cm.

Notre étude ainsi que celle de Ménager (2010) et Tribout (2013) n'incluent pas uniquement des pur-sang arabes, mais aussi des anglo-arabes, des demi-sang arabes et des Shagya qui sont des chevaux en moyenne plus grands que les pur-sang arabes (cf. partie II. 3.2. « Comparaison des groupes de race »). Ceci explique en partie que le cheval d'endurance moyen de notre étude soit plus grand que les pur-sang arabes mesurés dans les études de Newman (2003), Sadek *et al.* (2006) et Cervantes *et al.* (2009). Cette différence peut aussi être due à une particularité de l'élevage français qui favorise la production de chevaux d'endurance de plus grand format.

2.1.2 Comparaison du jeune cheval d'endurance avec les chevaux adultes de haut niveau

Nous utilisons les résultats de l'étude de Tribout (2013) pour comparer la morphologie de jeunes chevaux d'endurance destinés au haut niveau âgés de 4 à 6 ans (l'échantillon de notre étude) à la morphologie de chevaux d'endurance de haut niveau âgés de 7 ans et plus. L'étude de Tribout (2013) a été menée selon le même protocole que la nôtre sur 367 chevaux d'endurance ayant au moins un ascendant direct de race arabe et qualifiés sur des courses d'au moins 90 kilomètres, sur la base du volontariat. L'étude exclut les chevaux participant aux épreuves jeunes chevaux.

TABLEAU 84 - REPARTITION DES CHEVAUX EN FONCTION DE LEUR RACE OU DE LEUR SEXE DANS LES ECHANTILLONS DE TRIBOUT (2013) (COLONNE CHEVAUX ≥ 7ANS) ET DE NOTRE ETUDE (COLONNE JEUNES CHEVAUX)

		Chevaux ≥ 7 ans	Jeunes chevaux	Valeur du Chi 2	
	Arabe	62 %	54,6 %	5,4	
Race	Demi-sang arabe	17,7 %	26,8 %	10,1	Valeur du Chi 2
Race	Anglo-arabe	8,7 %	7,9 %	0,2	p=5 %
	Shagya	2,7 %	3,2 %	0,16	ddl=1
	Autres	8,4 %	7,5 %	0,26	
	Male	10 %	16,9 %	8,3	
Sexe	Hongre	43 %	39 %	1,6	1
	Femelle	47 %	43,3 %	0,9	

La proportion de demi-sang arabe est plus élevée et celle des chevaux arabes moindre dans l'échantillon des jeunes chevaux par rapport aux proportions observées dans l'échantillon des chevaux adultes. On peut émettre l'hypothèse que la sélection qui a lieu après les circuits jeunes chevaux favorise les chevaux arabes plutôt que les demi-sang arabes. Les autres races sont en proportions équivalentes dans les deux échantillons. La proportion de mâles est plus élevée dans l'échantillon des jeunes chevaux que dans la population des chevaux adultes. Deux hypothèses peuvent être émises pour expliquer cette différence. (1) Chez les jeunes chevaux, la castration a eu lieu récemment et n'a pas encore été enregistrée au SIRE; chez les chevaux adultes, la mise à jour est faite, d'où le nombre plus important de hongres. (2) Les jeunes chevaux sont gardés entiers jusqu'à ce qu'ils soient testés en course. Les finales SHF constituant un bon test pour voir leur valeur et les comparer aux autres chevaux de leur génération, voire pour les commercialiser en tant qu'étalons.

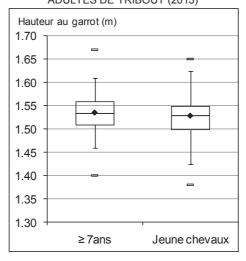
La comparaison des moyennes des deux échantillons est faite grâce au test de Student. On peut utiliser ce test car les variables suivent une loi normale (sauf le pli cutané) et les variances des deux échantillons ne sont pas trop différentes (rapport < 3) (Desquilbet, 2013).

TABLEAU 85 - RESULTATS DU TEST DE STUDENT COMPARANT LES MOYENNES DES MENSURATIONS DES ECHANTILLONS DE TRIBOUT (2013) (COLONNE CHEVAUX ≥ 7 ANS) ET DE L'ECHANTILLON DES JEUNES CHEVAUX DE NOTRE ETUDE (COLONNE JEUNES CHEVAUX)

	≥ 7	ans	Jeunes	chevaux	Résultat du test de
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Student
Nb de chevaux	3	63	5.	33	
Hauteur au garrot	1,535 ^a	0,040	1,528 ^b	0,039	p<0,05
Périmètre thoracique	1,754 ^a	0,004	1,735 ^b	0,065	p<0,001
Longueur corporelle	1,543 ^a	0,074	1,532 ^b	0,073	p<0,05
Pli cutané			Ne suit pas	une loi norm	ale
Nb de chevaux	1.	26	4	77	
Poids	411,19	41,079	411,66	38,057	N.S.
Nb de chevaux	330		4	97	
NEC	2,948	0,387	2,922	0,305	N.S.

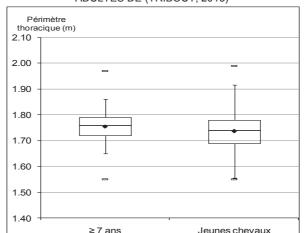
Les figures 36 à 39 permettent de comparer l'échantillon des jeunes chevaux et l'échantillon des chevaux adultes en fonction de leurs principales mensurations.

FIGURE 36 - REPRESENTATION DE LA MOYENNE, MEDIANE ET INTERQUARTILES DE LA HAUTEUR AU GARROT AU SEIN DE L'ECHANTILLON DE JEUNES CHEVAUX DE NOTRE ETUDE ET AU SEIN DE L'ECHANTILLON DE CHEVAUX ADULTES DE TRIBOUT (2013)



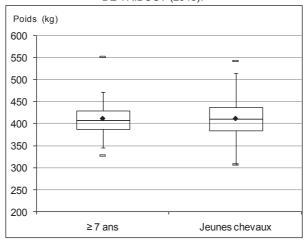
Légende : La barre centrale horizontale correspond à la médiane ; le point central correspond à la moyenne ; les bords des rectangles correspondent aux 1er quartile (Q1) et 3ème quartile (Q3) ; les bords des moustaches sont définis selon la formule Q1 - IQR et Q3 + IQR, respectivement pour les bords inférieurs et supérieurs (IQR = Q3 - Q1 = Interquartile range = Ecart interquartile) ; les petits traits horizontaux à l'extérieur des moustaches correspondent aux minimum et maximum

FIGURE 37 - REPRESENTATION DE LA MOYENNE, MEDIANE ET INTERQUARTILES DU PERIMETRE THORACIQUE AU SEIN DE L'ECHANTILLON DE JEUNES CHEVAUX DE NOTRE ETUDE ET AU SEIN DE L'ECHANTILLON DE CHEVAUX ADULTES DE (TRIBOUT, 2013)



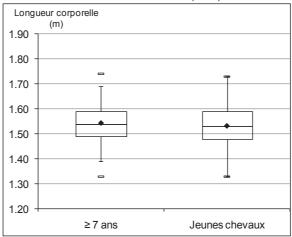
Légende : voir figure 36.

FIGURE 38 - REPRESENTATION DE LA MOYENNE, MEDIANE ET INTERQUARTILES DU POIDS AU SEIN DE L'ECHANTILLON DE JEUNES CHEVAUX DE NOTRE ETUDE ET AU SEIN DE L'ECHANTILLON DE CHEVAUX ADULTES DE TRIBOUT (2013).



Légende : voir figure 36.

FIGURE 39 - REPRESENTATION DE LA MOYENNE, MEDIANE ET INTERQUARTILES DE LA LONGUEUR CORPORELLE AU SEIN DE L'ECHANTILLON DE JEUNES CHEVAUX DE NOTRE ETUDE ET AU SEIN DE L'ECHANTILLON DE CHEVAUX ADULTES DE TRIBOUT (2013)



Les chevaux issus de l'échantillon des jeunes chevaux sont de plus petit format que les chevaux issus de l'échantillon des chevaux adultes (hauteur au garrot plus faible, moins larges et plus courts). Ils ne sont cependant pas significativement plus légers que les chevaux de l'échantillon adultes.

TABLEAU 86 - RESULTAT DU TEST DE STUDENT COMPARANT LES MOYENNES DES MESURES PHOTOMETRIQUES DES ECHANTILLONS DE (TRIBOUT, 2013) (COLONNE CHEVAUX ≥ 7 ANS) ET DE L'ECHANTILLON DES JEUNES CHEVAUX DE NOTRE ETUDE (COLONNE JEUNES CHEVAUX)

	≥ 7 ans Jeunes chevaux		chevaux	Résultat du test	
	Moyenne	Ecart type (SD)	Moyenne	Ecart type	de Student
Nombre de chevaux		261	52	26	
TAILLEC	1,528 ^a	0,052	1,515 ^b	0,056	p<0,05
LONGUEUR	1,372	0,058	1,378	0,063	N.S.
LONGUEURTOT	1,536	0,054	1,541	0,061	N.S.
VIDESS	0,806 ^b	0,030	0,851 ^a	0,030	p<0,001
THORAX	0,728 ^a	0,028	0,678 ^b	0,029	p<0,001
OMOPLATE	0,460 ^b	0,029	0,495 ^a	0,029	p<0,01
HUMERUS	0,297	0,024	0,294	0,022	N.S.
RADIUS	0,381 ^b	0,024	0,400 ^a	0,028	p<0,001
METACARPE	0,307	0,019	0,304	0,029	N.S.
PHALANGE	0,205 ^b	0,017	0,221 ^a	0,017	p<0,001
ACOUDE	137,149 ^a	6,180	133,490 ^b	6,245	p<0,001
AEPAULE	103,352 ^a	4,995	100,597 ^b	4,566	p<0,001
IEPAULE	59,624 ^a	3,829	57,836 ^b	4,213	p<0,001
IHUMERUS	43,762 ^a	4,762	42,772 ^b	4,499	p<0,01
AGENOU	179,287	3,044	179,479	1,822	N.S.
COXAE	0,359 ^a	0,030	0,353 ^b	0,035	p<0,05
SACRE	0,313 ^b	0,028	0,318 ^a	0,029	p<0,05
FEMUR	0,411 ^b	0,029	0,425 ^a	0,032	p<0,001
TIBIA	0,496 ^a	0,038	0,467 ^b	0,050	p<0,001
METATARSE	0,365 ^b	0,023	0,403 ^a	0,032	p<0,001
PHALANGEP	0,022 ^a	0,017	0,020	0,061b	p<0,001
AHANCHE	78,299	6,200	79,146	6,269	N.S.
AGRASSET	119,766 ^a	6,947	117,420 ^b	7,264	p<0,001
AJARRET	151,839 ^a	4,312	146,416 ^b	5,073	p<0,001
IBASSIN	17,854 ^b	4,814	19,234 ^a	5,239	p<0,001
IFEMUR	60,494	4,869	59,903	5,202	N.S.
TETE	0,473 ^b	0,032	0,486 ^a	0,036	p<0,001
ENCOLURE	0,705 ^b	0,061	0,739 ^a	0,071	p<0,001
DOSAVANT	0,339 ^a	0,040	0,274 ^b	0,045	p<0,001
DOSARRIERE	0,514 ^b	0,046	0,537 ^a	0,045	p<0,001
ADOS	153,950 ^a	2,876	152,047 ^b	3,802	p<0,001
IGARROT	17,736 ^b	2,618	19,880 ^a	3,612	p<0,001
HGARROT	0,108 ^a	0,016	0,098 ^b	0,018	p<0,001
PAULEPOINTEHANCHE	-4,372 ^a	2,010	-5,794 ^b	2,162	p<0,001
ICOUDEGRASSET	-4,793	1,924	-4,916	1,820	N.S.

La scapula et le radius sont plus longs chez les jeunes chevaux. Les longueurs moyennes de l'humérus et du métacarpe ne sont pas significativement différentes. Les angles du coude et de l'épaule sont plus ouverts chez les chevaux adultes. La scapula et l'humérus sont plus horizontaux chez les chevaux adultes par rapport aux jeunes chevaux.

Pour les chevaux adultes, les longueurs hanche-pointe de la hanche et celle du tibia sont plus longues. Au contraire, les jeunes chevaux ont un fémur et un métatarse plus longs que les chevaux adultes. Les angles du jarret et du grasset sont plus ouverts chez les chevaux adultes.

TABLEAU 87 - RESULTAT DU TEST DE STUDENT COMPARANT LES MOYENNES DES INDICES ET RAPPORTS CORPORELS DES ECHANTILLONS DE (TRIBOUT, 2013) (COLONNE CHEVAUX ≥7 ANS) ET DE L'ECHANTILLON DES JEUNES CHEVAUX DE NOTRE ETUDE (COLONNE JEUNES CHEVAUX)

	Chevaux	c≥7 ans	Jeunes	Jeunes chevaux			
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type			
Nombre de chevaux	261		526				
IC PROFIL	0,99	0,04	0,99	0,04	N.S.		
IC COMPACITE	0,38	0,03	0,37	0,03	N.S.		
IC RELATIF	1,14	0,05	1,13	0,05	N.S.		
SHODGSON	4,38	0,33	4,38	0,30	N.S.		
SBRODY	4,70 ^a	0,30	3,92 ^b	0,23	p<0,001		
ISHODGSON	93,72	2,29	93,76	2,16	N.S.		
ISBRODY	87,21 ^b	3,10	104,91 ^a	3,49	p<0,001		
RADIUS/HAUTEUR AU GARROT	0,25 ^b	0,02	0,26 ^a	0,03	p<0,001		
THORAX/HAUTEUR AU GARROT	0,47 ^a	0,01	0,44 ^b	0,04	p<0,001		
RADIUS/METACARPE	1,25 ^b	0,12	1,33 ^a	0,20	p<0,001		
FEMUR	0,411 ^b	0,029	0,425 ^a	0,032	p<0,001		
COXAE	0,359 ^a	0,030	0,353 ^b	0,035	p<0,05		

Les rapports radius/hauteur au garrot et radius/métacarpe sont plus grands chez les jeunes chevaux. Le rapport thorax/hauteur au garrot est plus grand chez les chevaux adultes. De plus, le thorax est plus haut et le vide sous thoracique plus petit chez les chevaux adultes (cf. tableau 86).

Les tableaux 86 et 87 résument les différences morphologiques entre l'échantillon des chevaux adultes de Tribout (2013) et l'échantillon des jeunes chevaux de notre étude. Les chevaux adultes ont un format plus grand que les jeunes chevaux (hauteur au garrot, longueur corporelle, surface corporelle et périmètre thoracique). Les chevaux adultes ont les angles des articulations du grasset, du jarret, de l'épaule et du coude plus ouverts par rapports aux jeunes chevaux.

Plusieurs hypothèses sont possibles pour expliquer ces différences morphologiques entre les deux échantillons. D'abord, comme nous allons le voir dans la partie III.2.1.3. « Evolution avec l'âge de la morphologie du cheval d'endurance », la croissance continue entre 4 et 5 ans, autrement dit, une partie des chevaux de l'échantillon des jeunes chevaux n'a pas encore terminé sa croissance, d'où des mensurations moyennes plus petites. Cependant, la croissance seule ne permet pas d'expliquer les différences observées, puisqu'elle s'achève autour de 5 ans.

Un effet région est à prendre en compte. Les chevaux adultes ont été recrutés sur plusieurs courses différentes, dans des régions d'élevages différentes. Tandis que les jeunes chevaux ont été recrutés à Uzès et proviennent majoritairement d'élevages du sud de la France. Les pâtures du nord de la France sont beaucoup plus riches que celles du sud de la France, permettant aux chevaux d'exprimer le maximum de leur potentiel de croissance. La nutrition a en effet un rôle sur la croissance et le format atteint à l'âge adulte. Le poids vif et le format des chevaux augmentent avec le niveau des apports alimentaires, le poids du poulain au sevrage est déterminant pour l'évolution du format (Martin-Rosset, 2012). Le format des poulains légers au sevrage est toujours plus limité que le format des poulains plus lourds au sevrage ((Trillaud-Geyl *et al.*, 1992) cité par (Martin-Rosset, 2012)).

Les chevaux adultes sont plus entrainés et donc plus musclés, ce qui peut expliquer un périmètre thoracique significativement plus élevé, ainsi que un rapport thorax/hauteur au garrot plus élevé. En outre, les chevaux adultes ont les angles du grasset, du jarret du coude et de l'épaule plus ouverts que les jeunes chevaux. Du fait de l'entrainement, les chevaux adultes ont une technique de course différente de celle des jeunes chevaux, sont plus calmes et se placent mieux sur les photos. Ceci peut expliquer les différences d'angles articulaires que l'on observe.

Un effet manipulateur est aussi à prendre en compte. Les mesures sont effectuées selon le même protocole mais par des équipes différentes, ce qui peut être à l'origine d'une partie des différences observées.

Enfin, les chevaux adultes sont des chevaux qui courent à haut niveau, ils ont subi une sélection contrairement aux jeunes chevaux, qui sont une population beaucoup plus large, qui vont par la suite subir une sélection en fonction notamment de leurs premiers résultats en course. Il est possible que la sélection menée à l'issue des épreuves jeunes chevaux favorise les chevaux de plus grand format. Une évolution dans le choix des éleveurs a pu aussi favoriser la production de chevaux de plus grand format. De façon plus transitoire, la morphologie des jeunes chevaux de notre échantillon, issus de trois générations consécutives, a pu être influencée par l'utilisation répétée d'un même étalon de grande taille.

La distribution par race n'est pas la même dans les deux échantillons. La proportion de chevaux arabes est plus importante dans l'échantillon des chevaux adultes. Or les chevaux arabes sont de plus petits format que les autres races représentées.

Les différences de tailles entre certains segments osseux entre le groupe des chevaux adultes et celui des jeunes chevaux sont difficilement interprétables.

Néanmoins, il faut relativiser les différences entre les deux échantillons ; en effet, même si les différences sont statistiquement significatives, leur amplitude est faible (de l'ordre du cm pour les mesures directes, du degré pour les angles), et dans la marge d'erreur de la méthode de mesure pour de nombreux paramètres.

2.1.3 Evolution avec l'âge de la morphologie du cheval d'endurance

Pour mener la sélection des jeunes chevaux d'endurance, il est utile de savoir si leur morphologie évolue avec l'âge. Nous nous intéressons dans cette partie à l'évolution de la morphologie des jeunes chevaux entre 4 et 6 ans toutes races confondues (tableau 34 à 36 partie II. 3. Influence de l'âge, de la race et du sexe sur la morphologie) et de l'évolution de la morphologie des jeunes chevaux de race arabe uniquement entre 4 et 6 ans (tableau 37 à 39 partie II. 3. Influence de l'âge, de la race et du sexe sur la morphologie).

→ Evolution du format avec l'âge

FIGURE 40 - RECAPITULATIF DE L'EVOLUTION DES MENSURATIONS AVEC L'AGE

Les chevaux de 5 ans et 6 ans « toutes races confondues » sont plus larges et plus longs que les chevaux de 4 ans. Il n'existe aucune différence significative de taille au garrot entre les chevaux de 4, 5 et 6 ans, toutes races confondues.

Chez les jeunes chevaux de race arabe, il n'existe aucune différence significative de hauteur au garrot, périmètre thoracique ou longueur corporelle entre les chevaux de 4, 5 et 6 ans.

Que ce soit dans l'échantillon des jeunes chevaux « toutes races confondues » ou dans l'échantillon des jeunes chevaux arabes, les chevaux de 4 ans ont une surface corporelle plus petite que les chevaux de 5 et 6 ans.

La croissance en longueur et en largeur des chevaux n'est pas terminée à l'âge de 4 ans. Elle se poursuit entre 4 et 6 ans. Aucune évolution de la hauteur au garrot n'est observée entre l'âge de 4 ans et 6 ans. Les chevaux de notre échantillon ont donc probablement terminé leur croissance en hauteur mais pas leur croissance en longueur. Les études sur la croissance des équidés de Martin-Rosset (2012) montrent qu'à 1 an, les chevaux ont déjà atteint 88 % de leur taille adulte, tandis que de 2 ans à l'âge adulte, la longueur corporelle s'accroit encore de 60 %. Autrement dit, chez les chevaux, on assiste d'abord à une croissance en hauteur rapide qui est presque terminée à l'âge d'un an suivie d'une croissance en longueur.

Au sein de l'échantillon de race arabe uniquement, il n'y a aucune différence significative entre la hauteur au garrot, la longueur corporelle et le périmètre thoracique. Ceci suggère que la croissance

des pur-sang arabes est terminée à l'âge de 4 ans, ce qui n'est pas le cas des autres races étudiées dans notre échantillon (shagya, anglo-arabe et demi-sang arabe). Ceci est en accord avec les études de Sadek *et al.* (2006) et Luszczyński *et al.* (2001). Les premiers étudient des chevaux pur-sang arabes âgés de 4 à 24 ans et montrent que l'âge n'a pas d'influence sur les mesures des longueurs corporelles des chevaux. Les seconds prouvent que les pur-sang arabes ont des taux de croissance plus élevés et une fermeture des plaques de croissance plus précoce que les anglo-arabes. En outre, chez les pur-sang arabes, la fermeture des plaques de croissance de l'humérus et du radius ont lieu respectivement à 1 an et 2 mois et 2 ans (Fretz *et al.*, 1984). La fermeture des plaques de croissance marque la fin de la croissance en longueur des os. Après cette fermeture, les os s'épaississent et se consolident jusqu'à 3,5 - 4 ans (Martin-Rosset, 2012).

La surface corporelle des chevaux de 4 ans est plus petite que la surface des autres groupes d'âge. Ceci est directement lié aux évolutions du format des chevaux, que nous venons de commenter.

→ Evolution des proportions des membres antérieurs

FIGURE 41 - RECAPITULATIF DE L'EVOLUTION DES PROPORTIONS DU MEMBRE ANTERIEUR AVEC L'AGE

Dans l'échantillon des jeunes chevaux « toutes races confondues » les chevaux de 4 ans ont la scapula plus courte que les chevaux de 5 et 6 ans. L'humérus et le radius sont plus petits chez les chevaux de 6 ans. Il n'existe pas de différence significative de la taille du métacarpe entre les groupes d'âge.

Dans le groupe des jeunes chevaux arabes, il n'existe aucune différence significative de taille entre les groupes d'âge pour les os du membre antérieur. Seul l'humérus est plus petit chez les chevaux de 6 ans.

Les rapports radius/hauteur au garrot et radius/métacarpe sont plus grands chez les chevaux de 4 ans de l'échantillon « toutes races confondues » et de l'échantillon des chevaux arabes. De même, ces deux rapports sont plus grands dans l'échantillon des jeunes chevaux par rapport à l'échantillon des chevaux adultes. Le rapport thorax/hauteur au garrot est plus élevé chez les chevaux adultes par rapport à l'échantillon des jeunes chevaux. De plus, chez les chevaux adultes, la hauteur du vide sous thoracique est plus petite et le thorax plus haut que chez les jeunes chevaux.

Le fait que certains segments du membre antérieur soient plus petits chez les chevaux de 6 ans par rapport aux chevaux de 4 ans et 5 ans peut s'expliquer par des anomalies de placement des chevaux. Les chevaux de 6 ans se placent mieux au carré que les chevaux de 4 ans et 5 ans.

On n'observe aucune évolution de la taille des segments osseux chez les chevaux arabes. On n'observe aussi aucune évolution du format général entre 4 ans et 6 ans chez les chevaux de race arabe. Les chevaux de race arabe subissent peu de modifications de leur morphologie entre 4 et 6 ans.

La croissance n'est pas homogène en fonction des parties du corps du cheval. Ainsi, Julliand et Rosset (2005) montrent qu'il y a un gradient de croissance relative net de l'extrémité des membres (le métacarpe ou le métatarse) vers les ceintures et la colonne vertébrale, qui ont au contraire une croissance moins rapide. Ceci peut expliquer pourquoi chez les chevaux de 4 ans, la scapula est plus courte que chez les chevaux de 6 ans. Les segments osseux proximaux n'ont pas encore terminé leur croissance chez les chevaux de 4 ans, tandis que les segments distaux ont terminé leur croissance. De plus il n'existe pas de différence significative de la taille du métacarpe entre les trois groupes d'âge. Chaque segment osseux a un coefficient d'allométrie qui caractérise la cinétique de sa croissance. Ces coefficients sont rappelés dans le tableau 88. Plus le coefficient d'allométrie est faible, plus la croissance est précoce. D'après ce tableau, la scapula est le segment qui a la croissance la plus tardive par rapport aux autres segments du membre et le métacarpe celui qui a la croissance la plus précoce.

D'après les résultats de notre étude, le radius semble avoir une cinétique de croissance différente de celle des chevaux des échantillons de Julliand et Rosset (2005). En effet, le rapport radius/hauteur au garrot est plus élevé chez les chevaux de 4 ans par rapport aux chevaux de 5 ans

et 6 ans (échantillons « toutes races confondues » et « race arabe »). D'après les coefficients d'allométrie lus dans le tableau 88, le radius a une croissance plus tardive que le métacarpe. Par conséquent, on s'attend à ce que le rapport radius/métacarpe des chevaux de 4 ans soit identique (si la croissance du métacarpe et du radius est terminée) ou plus petit que celui des chevaux de 6 ans, ce qui n'est pas le cas. L'étude de (Julliand et Martin-Rosset, 2005) a été menée chez des chevaux de races lourdes. Les coefficients d'allométrie peuvent ne pas être les mêmes entre les races lourdes et légères, ce qui explique cette différence avec nos résultats. Ceci peut aussi s'expliquer par des imprécisions dans les mesures de notre étude.

TABLEAU 88 - COEFFICIENT D'ALLOMETRIE DES SEGMENTS OSSEUX DU MEMBRE ANTERIEUR (JULLIAND ET MARTIN-ROSSET, 2005)

Segment osseux	Coefficient d'allométrie
Scapula	1,25
Humérus	0,94
Radius	0,91
Métacarpe	0,56

→ Evolution des proportions du membre postérieur avec l'âge

FIGURE 42 - RECAPITULATIF DE L'EVOLUTION DES PROPORTIONS DU MEMBRE POSTERIEUR

Dans l'échantillon des jeunes chevaux « toutes races confondues», les longueurs du segment pointe de la hanche – hanche et du fémur sont plus grandes chez les chevaux de 6 ans par rapport aux autres groupes d'âge. Il n'y a aucune différence significative de la longueur du tibia ou du métatarse entre les groupes d'âge.

Dans l'échantillon des jeunes chevaux arabes, le fémur et le métatarse sont plus longs chez les chevaux de 6 ans. Aucune différence significative de la taille du segment hanche-pointe de la hanche et du tibia n'est notée entre les groupes d'âge.

La comparaison avec l'échantillon de Tribout (2013) montre que le segment hanche – pointe de la hanche et le tibia sont plus grands chez les chevaux adultes, tandis que les jeunes chevaux ont un fémur et un métatarse plus long que celui des chevaux adultes.

Dans l'échantillon des jeunes chevaux, nous observons une évolution des proportions des segments osseux du postérieur avec l'âge. Les segments osseux proximaux sont plus longs chez les chevaux de 6 ans par rapport aux autres groupes d'âge. Il n'y a pas de différence significative de taille pour les segments osseux distaux (tibia et métatarse) entre les groupes d'âges. Comme pour le membre antérieur, la croissance semble commencer par les segments distaux. Le tableau 89 rappelle les coefficients d'allométrie des segments osseux du membre postérieur.

TABLEAU 89 - COEFFICIENT D'ALLOMETRIE DES SEGMENTS OSSEUX DU MEMBRE POSTERIEUR (JULLIAND ET MARTIN-ROSSET 2005)

Segments osseux	Coefficient d'allométrie
Pelvis	1,24
Fémur	0,91
Tibia	0,86
Métatarse	0,56

Chez les chevaux arabes, nous n'observons pas ce gradient de croissance.

2.1.4 <u>Caractérisation de la morphologie en fonction de la race ou du sexe des</u> jeunes chevaux

Comment la morphologie moyenne du jeune cheval d'endurance est-elle influencée par le sexe ou la race ? Dans la partie « II.3.3. Groupes de race », nous comparons la morphologie des différents groupes de races (pur-sang arabe, anglo-arabe, Shagya et demi-sang arabe) et celle des différents groupes de sexes dans la partie « II.3.4. Groupes de sexe ».

Les arabes sont les plus petits, les moins larges, les plus courts et les plus légers, avec une surface corporelle la plus petite. Les anglo-arabes sont les plus grands, les plus larges, les plus longs et les plus lourds. En outre, les arabes sont les chevaux les moins compacts. Les shagya et demisang arabes ont une morphologie intermédiaire, se rapprochant du groupe des anglo-arabes pour les shagya et des arabes pour les demi-sang arabes.

Ces différences de format correspondent aux donnés de la littérature (Pageat, 2012). Les anglo-arabes de notre étude sont en revanche plus petits que la moyenne de la race (156 cm contre 158 à 170 cm (Pageat, 2012). Les différences morphologiques entre les races sont essentiellement des différences de longueurs, il existe peu de variation des angles articulaires. On ne relève aucune différence significative des angles des articulations du membre antérieur. La hanche est plus ouverte chez les pur-sang arabes et les demi-sang arabes par rapport aux anglo-arabe et shagya qui ont une hanche plus fermée. Les shagya ont un grasset plus fermé par rapport aux autres races de l'étude. Dans l'étude de Cano et al. (2001), les anglo-arabes ont une articulation du coude et de l'épaule plus ouverte que les chevaux de race pur-sang arabe. Il ne met en évidence aucune différence significative entre les angles articulaires du membre postérieur. Les effectifs de l'étude (cinq chevaux arabes et sept chevaux anglo-arabes) sont largement inférieurs aux nôtres.

La comparaison des mâles, femelles et hongres ne permet de mettre en évidence que peu de différences morphologiques entre les groupes de sexes. Les effectifs que nous comparons ne sont pas équilibrés (très peu de mâles). Ce sont surtout les hongres qui sont différents des mâles et des femelles. Les hongres sont plus grands et plus longs que les mâles et les femelles. Les hongres et les femelles sont plus larges au niveau du thorax que les mâles. Nous ne relevons aucune différence dans les mesures des angles articulaires entre les groupes de sexe. Cervantes et al. (2009), dans leur étude sur les chevaux pur-sang arabes de show et d'endurance, montrent que les femelles ont un périmètre thoracique plus large que les mâles, ce qui va dans le même sens que nos résultats. Les femelles trotteur ont aussi un périmètre thoracique plus important que celui des mâles (Dolvic et Klemetsdal, 1999). Outre ce point commun, Hodgson et al. (2013) dans « The athletic horse : Principles and Practice of Equine Sports Medecine » fait un bilan bibliographique des différences entre mâles et femelles à partir de cinq études (Magnusson, 1985 ; Holmström et al., 1990 ; Mawdsley et al. 1990 ; Dolvic et Klemetsdal, 1999 ; Kashlwamura et al., 2001) mais ne dégage aucune différence morphologique entre les sexes qui serait commune à plusieurs études.

2.1.5 <u>Mise en évidence de traits morphologiques liés à la performance</u>

→ La longueur corporelle

Dans les trois groupes d'âge de l'échantillon, la longueur corporelle est un paramètre morphologique associé positivement avec la performance en course d'endurance. L'encadré de la figure 43 résume les résultats de l'étude qui vont dans ce sens.

Chevaux de 4 ans

Les chevaux « Qualifiés sur finale » sont plus courts que des chevaux mieux classés.

Plus le cheval est long, plus sa fréquence cardiaque à l'arrivée est basse.

Chevaux de 5 ans

Les chevaux « Excellents » sont plus longs que des chevaux moins bien classés.

Les chevaux les mieux classés ont un indice de profil plus petit, autrement dit, les mieux classés s'inscrivent dans un rectangle allongé, tandis que les chevaux moins bien classés s'inscrivent dans un carré.

Chevaux de 6 ans

Les chevaux « Elite » sont plus longs et ont un indice relatif plus faible que les chevaux moins bien classés. L'indice relatif caractérise la forme du tronc. Un cheval dont le tronc s'inscrit dans un rectangle allongé a un indice relatif plus faible qu'un cheval ayant un tronc carré.

Dans l'étude de Tribout (2013), la longueur corporelle est corrélée positivement avec l'indice distance. Dans l'étude de Ménager (2010), les chevaux classés dans le premier tiers sont plus longs que les chevaux moins bien classés. L'indice de profil des chevaux classés dans le premier tiers est plus petit que chez les chevaux moins bien classés. Ces observations ont été faites chez des chevaux d'endurance adultes. Nos résultats sont cohérents avec ces deux études. La longueur corporelle chez les chevaux adultes comme chez les jeunes chevaux est corrélée avec la performance en course d'endurance.

Pourquoi la longueur corporelle est-elle corrélée avec la performance ? Une longueur corporelle plus élevée est corrélée avec une surface corporelle plus importante. Or, la surface corporelle est déterminante pour les mécanismes de thermorégulation, qui sont particulièrement important en endurance (cf. partie III. 2.1.4. La surface corporelle). La longueur corporelle est aussi liée à la longueur de la foulée, qui est le paramètre avec la fréquence de la foulée qui détermine la vitesse du cheval. Plus ces deux paramètres sont élevés, plus le cheval va vite (Barrey, 2002). Pour les allures symétriques (le trot), la flexion latérale de la colonne permet s'augmenter la longueur de la foulée. Pour les allures asymétriques comme le galop, la flexion et l'extension dorso-ventrale de la colonne, contribuent à augmenter la taille des foulées. On peut donc supposer que plus la longueur corporelle est importante, plus les mouvements de la colonne sont amples et significatifs pour allonger les foulées. Cependant, la contribution de la colonne dans la longueur des foulées par rapport à la longueur des membres est modérée chez le cheval. Elle est, par exemple, beaucoup plus importante chez des espèces qui ont une colonne plus flexible comme le chat (Clayton, 2002).

→ Taille et Longueur des segments osseux

FIGURE 44 - RECAPITULATIF DES ASSOCIATIONS ENTRE FORMAT ET PERFORMANCE

Chevaux de 4 ans

Les « Qualifiés sur finale » sont plus petits que les chevaux mieux classés (taille au garrot).

Les « Qualifiés sur finale » ont un thorax plus court que les chevaux mieux classés.

Les chevaux « Excellents » ont un vide sous sternal, une tête et un métacarpe plus longs que les chevaux moins bien classés.

Plus le métatarse et la tête sont longs, plus les chevaux courent vite sur la course.

Chevaux de 5 ans

Les « Bons » sont plus petits que les chevaux mieux classés (hauteur au garrot).

Les chevaux qui ont un long radius courent plus vite que les chevaux ayant un radius plus court.

Chevaux de 6 ans

Les chevaux « Qualifiés sur finale » sont plus petits au niveau de la croupe que les chevaux mieux classés.

Dans les trois groupes d'âges de l'échantillon, les chevaux de plus grand format sont mieux classés que les autres chevaux. La figure 44 récapitule les résultats qui vont dans ce sens.

La taille au sommet de croupe, le vide sous sternal et le thorax sont corrélés avec la hauteur au garrot avec respectivement r=0,68, r=0,68 et r=0,64. Les longueurs des segments osseux des membres antérieurs et postérieurs sont corrélées de façon modérée avec la hauteur au garrot ; la longueur du radius est corrélée avec la hauteur au garrot avec r=0,33, pour le métacarpe r=0,19, la phalange antérieure r=0,32, le fémur r=0,31, le tibia r=0,30, le métatarse r=0,21. La tête et la hauteur au garrot sont corrélée avec r=0,31.

Chez le cheval d'endurance adulte, Ménager (2010) et Tribout (2013) n'ont pas mis en évidence de relation entre la taille du cheval et ses performances. Holmstrom et Philipsson (1993) ont mis en évidence que chez des jeunes chevaux de 4 ans, destinés au saut d'obstacle, la hauteur au garrot et le score global des allures (attribué par une équipe de juges) d'une part, et la hauteur au garrot et le score du galop d'autre part sont corrélés. Chez les galopeurs, la hauteur au garrot est associée avec la performance chez les chevaux adultes. La hauteur au garrot des yearlings est aussi corrélée positivement avec leurs performances futures (Smith *et al.*, 2006). En ce qui concerne les trotteurs, il existe une corrélation positive entre la hauteur au garrot et la performance (Richter, 1953) (Magnusson, 1985d).

Pourquoi les chevaux d'endurance de plus grand format sont-ils plus performants que les autres ? Quelle que soit l'allure (pas, trot, galop), la vitesse est le produit de la fréquence de la foulée par la longueur de la foulée (Barrey, 2002). Notre hypothèse est que la hauteur au garrot et la longueur des membres ont une influence sur la longueur de la foulée et sa fréquence, deux paramètres importants en course d'endurance.

Pour les sprinters, la fréquence des foulées est primordiale. Au contraire, la capacité d'allonger les foulées est utile lorsque la distance de la course s'accroit (Clayton, 2001). Lewczuk et Pfeffer (1998) cités par Clayton (2001) ont montré que sur une course d'endurance, plus les chevaux avancent dans la course, plus la longueur de la foulée est élevée. La longueur d'une foulée de trot augmente par rapport aux valeurs d'avant le départ de la course de 151 % à 41 km et de 149 % à 82 km. Métayer et al. (2004) observent que les chevaux d'endurance ont une fréquence de foulée plus élevée que des chevaux non qualifiés en endurance (chevaux de selle). Les chevaux d'endurance sont dans une situation intermédiaire par rapport aux chevaux de courses (fréquence de foulée élevée permettant vitesse et accélération, mais non tenable sur de longues distances) et les chevaux de selle. Pour les chevaux d'endurance, en fonction du type de course et du moment de la course, le cheval doit, à la fois, avoir une bonne amplitude de foulée (pour tenir la distance) mais aussi être capable d'accélérer le rythme de ses foulées (sprint final, course rapide).

La longueur de la foulée est corrélée à la longueur des membres. La longueur du membre détermine la distance parcourue par le cheval lors de son déplacement (Hof, 2001). Alors que plusieurs études démontrent l'absence de corrélation entre la hauteur au garrot et la longueur des foulées (Kruger, 1957; Dusek *et al.*, 1970; Dusek *et al.*, 1974; Leach et Cymbalok, 1986), l'équipe de Galisteo (1998) montre une corrélation entre la longueur des foulées et la hauteur au garrot avec r=0,51. Holmstrom (1990) aboutit à la même conclusion. En outre, la longueur de la foulée est corrélée à la masse totale et à la longueur du métacarpe (Leach et Cymbalik, 1986). Dans le groupe des chevaux de 4 ans et 5 ans, les chevaux les plus lourds sont les plus performants. Les chevaux de 4 ans « Excellents » ont un métacarpe plus long que les chevaux de 4 ans moins bien classés.

La hauteur au garrot aurait aussi une influence sur la fréquence de la foulée. Chez des poulains quarter horse, l'augmentation de la vitesse est permise par une augmentation de la longueur de la foulée chez les poulains les plus lourds, tandis que les poulains les plus grands augmentent leur vitesse par une augmentation de la fréquence de la foulée (Leach et Cymbaluk,1986). Les membres du cheval fonctionnent de façon similaire à un pendule. De ce fait, plus les membres sont longs (et donc la hauteur au garrot élevée), plus la fréquence de la foulée est élevée (Barrey, 2002). La hauteur au garrot n'est cependant qu'un des facteurs qui influencent la fréquence de la foulée. Elle dépend aussi de la distribution des masses musculaires sur le membre et du pourcentage de fibres musculaires rapides.

Pourquoi dans notre étude, la hauteur au garrot des jeunes chevaux de 4 ans et 5 ans est-elle corrélée avec la performance alors que dans les études de Ménager (2010) et Tribout (2013), il n'y a aucune corrélation mise en évidence ? Deux explications sont possibles : soit une corrélation entre hauteur au garrot et performance existe aussi chez les chevaux adultes, mais Ménager (2010) et Tribout (2013) n'ont pas réussi à la mettre en évidence, soit cette corrélation n'existe réellement pas. Si dans les échantillons de Ménager (2010) et Tribout (2013), la variabilité de la hauteur au garrot des chevaux est faible et le protocole de mesure pas assez précis, il est possible qu'elles n'aient pas réussi à détecter une corrélation entre hauteur au garrot et performance. Cependant, d'une part, le protocole de mesure dans l'étude de Tribout (2013) est le même que celui de notre étude et d'autre part, la variabilité de la hauteur au garrot est équivalente dans les deux échantillons (écart type de la hauteur au garrot dans l'échantillon de Tribout (2013) = 0,040 contre 0,039 notre échantillon). Donc il est probable, qu'il y ait une corrélation entre hauteur au garrot et performance chez les jeunes chevaux d'endurance mais qu'elle n'existe pas chez les chevaux d'endurance adultes. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les courses courues par les chevaux adultes sont différentes de celles courues par les jeunes chevaux (plus longues : de 90 km à 160 km contre 20 km à 60 km, dénivelés différents...). Sur les courses courues par les chevaux adultes, la hauteur au garrot n'est pas un critère de réussite.

Pour gagner, les chevaux d'endurance doivent développer des allures économiques et efficaces. Les valeurs optimales de fréquence de foulée et de longueur de foulée (les moins coûteuses en énergie) à adopter sur une course d'endurance n'ont pas été déterminées (Clayton, 2001). Cependant les chevaux dont les rayons osseux supérieurs et moyens (scapula, humérus, radius) sont longs et dont les segments osseux inférieurs (métacarpe et métatarse) sont courts, ont des gestes rasants que l'on suppose être plus économes que des gestes aériens. Chez les chevaux de 5 ans, nos résultats vont dans le même sens que cette observation de Métayer *et al.* (2004). Les chevaux de 5 ans qui ont un long radius courent plus vite que les chevaux ayant un radius plus court. En revanche, les chevaux de 4 ans « Excellents » ont un métacarpe plus long que les chevaux mieux classés. De plus, plus leur métatarse est grand, plus la vitesse moyenne sur la course est élevée.

→ Surface corporelle

Chez les chevaux de 4 ans et 5 ans, les chevaux « Qualifiés sur finale » ont une surface corporelle plus petite que les chevaux « Excellents ». Ce résultat s'explique par le fait que des chevaux de grand format ont aussi une surface corporelle plus importante. Or, nous venons de montrer que les chevaux de grands formats sont plus performants.

La thermorégulation est un mécanisme indispensable en course d'endurance, les productions les plus importantes de chaleur corporelle ont lieu au cours d'exercices prolongés. Par exemple, un cheval qui court à une vitesse de 8 m/s produit en moyenne 150 à 200 kcal/min. Ceci est équivalent à une augmentation de 21°C de la température corporelle si aucun mécanisme de thermorégulation ne se met en place au cours de l'effort. Une augmentation excessive de la température corporelle limite les performances sportives. Les quatre mécanismes de base de la thermorégulation chez le cheval (conduction, convection, radiation, évaporation) sont d'autant plus efficaces que la surface corporelle est étendue (McCutcheon et Geor, 2002). On peut donc émettre l'hypothèse que plus la surface corporelle est grande, plus les mécanismes de thermorégulation sont efficaces, et plus les chevaux sont performants. Cette hypothèse est cependant à nuancer. D'abord, dans la thermorégulation, en plus de la surface corporelle, le ratio surface corporelle/masse corporelle est aussi à prendre en compte (McCutcheon et Geor, 2002). Chez les chevaux de 4 ans et 5 ans, les chevaux « Excellents » ont une surface corporelle plus importante que les chevaux « Qualifiés sur finales », mais ils sont aussi plus lourds, si bien, qu'à poids équivalents, les chevaux « Excellents » de 4 ans et 5 ans n'ont pas une surface corporelle plus grande que les chevaux de 4 ans et 5 ans « Qualifiés sur finale ». De plus, Tribout (2013) ne met pas en évidence de relation entre surface corporelle et performance dans son échantillon de chevaux adultes. Pourtant, ces chevaux fournissent un effort plus long et plus

intense, au cours duquel, les mécanismes de thermorégulation sont plus importants que lors des courses jeunes chevaux.

→ Poids

Dans le groupe des chevaux de 4 ans et 5 ans, les chevaux les plus lourds sont les plus performants.

Nous venons de montrer que les jeunes chevaux de plus grand format sont plus performants. Or, les chevaux de plus grand format sont aussi plus lourds, ce qui explique ce résultat. Le poids est en effet fortement corrélé avec le format du cheval. Les corrélations entre poids et hauteur au garrot, périmètre thoracique, longueur corporelle sont respectivement de 0,62, 0,70 et 0,61. De plus, le poids est plus fortement corrélé avec le format du cheval qu'avec son état d'embonpoint. Dans notre étude, le poids et le pli cutané ne sont pas corrélés, et la corrélation entre le poids et la NEC est de 0,42.

Aucune corrélation entre le poids et les performances n'a été mise en évidence chez les chevaux de 6 ans. Ceci est cohérent avec le fait que chez les chevaux de 6 ans, il n'y a pas non plus de corrélation entre la hauteur au garrot et la performance.

→ Configuration de l'arrière main

Chez les chevaux de 5 ans, **l'inclinaison du fémur** est corrélée avec la vitesse avec r=0,42. Plus les chevaux ont un fémur vertical, plus ils courent vite. Les chevaux de selle suédois âgés de 4 ans ont une meilleure note d'allure globale lorsque leur fémur est plus horizontal (Holmström et Philipsson, 1993). Chez les chevaux de 4 ans, **la longueur du fémur** est corrélée positivement avec les fréquences cardiaques à l'arrivée et négativement avec la vitesse sur la course . Un fémur court et vertical parait donc favorable à la performance en course. Ces résultats sont en contradiction avec les résultats de la littérature.

La configuration de l'arrière main, moteur du cheval, est indispensable à prendre en compte dans une étude de la relation entre conformation et performance (Holmstrom, 2001; Métayer, 2004). En ce qui concerne le cheval d'endurance, Métayer remarque que les plus performants ont un bassin incliné, une hanche ouverte et un jarret fermé. Tribout (2013) montre que plus les chevaux ont un fémur proche de l'horizontale, plus ils vont vite sur la course. Cette corrélation entre inclinaison du fémur et vitesse sur la course est cependant faible (r=-0,14). Cohen (2002) dans son travail sur la caractérisation du galop du cheval d'endurance de race arabe montre que la faible inclinaison du fémur par rapport à l'horizontale améliore l'amplitude des foulées et défavorise leur fréquence rapide. Il compare le membre à un ressort, si bien que les chevaux avec un angle du jarret fermé et une inclinaison du fémur moins prononcée effectuent un déplacement dorso-ventral plus important au galop. Cette conformation peut sembler défavorable à l'obtention d'une allure économique mais plusieurs auteurs vont dans ce sens (Cohen, 2002; Métayer et al. 2004; Cervantes et al. 2009) Cervantes et al. (2009) montrent que les principales différences entre pur-sang arabes destinés à l'endurance et pur-sang arabes destinés au show se situent au niveau de l'arrière main. Dans son étude, il étudie les trois segments qui constituent le triangle postérieur (hanche-grasset, pointe de la fesse-grasset, hanche-pointe de la fesse). Le segment hanche-grasset est plus court chez les chevaux d'endurance par rapport aux chevaux de show.

Ces observations se retrouvent dans le guide de jugement des chevaux d'endurance. Le guide des juges d'endurance (Association du cheval arabe, 2013) conseille une croupe longue, un fémur et un os coxal longs, un fémur horizontal. Ces exigences répondent à un principe de biomécanique simple : chez le cheval, on cherche à ce que les segments osseux et les corps musculaires qui s'y insèrent soient le plus longs possibles. Plus le corps musculaire est long, plus son raccourcissement entraine un grand déplacement actif et plus son allongement autorise une grande amplitude de déplacement passif (Denoix, 2001). La longueur du fémur et son inclinaison sont de ce fait importantes car c'est le fémur qui permet de ramener les postérieurs en avant sous le corps pour trouver le point d'appui à la foulée de galop avant de pousser vers l'arrière. Dans les autres disciplines

comme le saut d'obstacle ou le dressage, un fémur long et proche de l'horizontale est aussi corrélé avec de bonnes performances en compétition (Langlois, 1978; Holmstrom et Phillipsson 1993; Barrey et al. 2002;).

Chez les chevaux de 5 ans, il y a une corrélation négative (r=-0,34) entre l'inclinaison du bassin et la vitesse. Plus le bassin est proche de l'horizontale, plus les chevaux courent vite. Le manuel de jugement en concours d'élevage conseille une inclinaison de croupe intermédiaire entre une croupe « avalée » (bassin vertical) comme chez les pur-sang anglais, et une croupe plate (bassin horizontal) comme chez certains pur-sang arabe. Tandis que Métayer et al. (2004) montrent (sur des petits effectifs : 35 chevaux) que des chevaux qualifiés en endurance ont un bassin plus vertical que des chevaux ne participant pas à des épreuves d'endurance. Dans cette étude, les chevaux spécialisés en endurance ont un bassin plus incliné, une hanche plus ouverte et un jarret fermé. Cette conformation leur permettrait de mieux engager les postérieurs sous la masse, permettant un galop plus efficace.

Dans les études de Métayer *et al.* (2004) et Cervantes *et al.* (2009), un jarret fermé est lié à de bonnes performances en endurance. Ceci est un point que l'on ne retrouve pas dans notre étude, ni dans celle de Tribout (2013).

Nos résultats sur la conformation de l'arrière main ne sont pas cohérents avec les résultats de la littérature ou les recommandations des juges. Ils reposent sur des mesures où il faut identifier par palpation la position de la hanche ; cette palpation est difficile du fait des masses musculaires qui la recouvrent. Ces résultats inattendus peuvent aussi être liés au fait que les chevaux de 4 ans et 5 ans se placent moins bien.

→ Bilan sur les résultats de l'étude

La longueur corporelle est un critère lié à la performance chez les chevaux de 4 ans, 5 ans et 6 ans ainsi que chez les chevaux d'endurance adulte des études de Ménager (2010) et Tribout (2013).

La hauteur au garrot est liée aux performances chez les chevaux de 4 ans et 5 ans, mais n'est pas corrélée avec la performance chez les chevaux de 6 ans et chez les chevaux adultes. De façon plus générale, le format des chevaux de 4 ans et 5 ans est corrélé aux performances (poids, longueur de certains segments osseux, surface corporelle...) mais ne l'est pas chez les chevaux de 6 ans et les chevaux adultes. Enfin, certains résultats mis en évidence sont difficiles à expliquer voire contradictoires avec la littérature ou les recommandations des juges d'endurance (longueur et inclinaison du fémur, inclinaison du bassin, longueur hanche-sommet de la croupe) : nous pensons que ces résultats peuvent peut-être s'expliquer par des erreurs de mesure ou un mauvais placement des jeunes chevaux.

Comment expliquer le fait qu'à part la longueur corporelle, les caractéristiques liées à la performance chez les jeunes chevaux soient différentes de celles mise en évidence chez les chevaux adultes ? Comme nous l'avons déjà supposé pour la hauteur au garrot (cf paragraphe « format et longueur des segments osseux »), l'effort demandé aux jeunes chevaux n'est pas le même que celui demandé aux chevaux adultes. Les chevaux adultes courent sur des courses d'au moins 90 km, la plupart du temps à vitesse libre. Lors de ces courses, les chevaux adultes expriment le maximum de leur potentiel sportif. Ce n'est pas le cas des jeunes chevaux qui n'utilisent pas le maximum de leurs capacités physiques lors des finales à Uzès. Les distances sont courtes et la vitesse est imposée. Le défaut de ces épreuves jeunes chevaux est donc qu'elles sélectionnent des chevaux sur des épreuves sportives qui ne ressemblent pas complètement à ce qui sera demandé ultérieurement aux chevaux.

2.2Limites

L'étude a été menée sur un échantillon de jeunes chevaux destiné au haut niveau. Ces chevaux ont donc déjà été sélectionnés, et ont une morphologie plus homogène qu'un groupe de chevaux non sélectionnés. La principale limite de l'étude est donc que les différences morphologiques que nous cherchons à mettre en évidence sont faibles et du même ordre de grandeur que l'erreur de mesure commise. Les principales difficultés que nous rencontrons sont le placement des marqueurs (plus les marqueurs sont proximaux, plus ils sont difficiles à placer car les reliefs anatomiques sont difficiles à palper), le positionnement des chevaux (nos mesures varient énormément avec la position du cheval) et le changement des équipes de mesures. Weller et al. (2006a,b) reconnaissent être confrontés aux même difficultés dans leur travail sur la conformation de chevaux de complet. Pour mener une sélection des chevaux d'endurance grâce à leur morphologie, il faudrait utiliser des instruments de mesure plus précis. Sinon, le choix de critères de sélection corrélés plus fortement avec la performance ou ayant une variabilité plus élevée au sein de la population à sélectionner permettrait d'affiner la sélection du cheval d'endurance. C'est là le but du programme GenEndurance dont l'objectif final est la mise en évidence de critères de sélection les plus efficaces possibles dans les domaines suivants : génétique, allures, caractéristiques métaboliques.

3. Perspectives

3.1Perspectives pratiques

Cette étude s'adresse essentiellement aux éleveurs de chevaux d'endurance et aux organisateurs de la sélection des chevaux d'endurance. Les éleveurs doivent savoir que la morphologie influence peu la performance. La morphologie permet de départager les très bons des mauvais mais ne permet pas de distinction plus fine. Les éleveurs pourront essayer de rechercher des chevaux avec les caractéristiques des meilleurs, tout en sachant que la morphologie ne devra jamais être le critère principal de sélection pour la performance. Il ne faut pas non plus pénaliser excessivement un cheval différent du standard.

Ce travail peut servir de base pour l'amélioration des tests modèle et allures des jeunes chevaux d'endurance. Il pourra être intéressant de prendre en compte les critères morphologiques que l'on a montré avoir une influence sur la performance, tout en diminuant dans ces tests la part accordée à la morphologie, puisque peu discriminante, et augmenter la part du jugement des allures qui ont une bonne valeur prédictive (Richard et Touvais, 2007).

3.2Perspectives scientifiques

Cette étude s'intègre dans le projet GenEndurance dont le but final est de déterminer les combinaisons de gènes et les caractéristiques phénotypiques (biochimie, métabolisme, morphologie et allures) favorables ou défavorables à la performance en course d'endurance. La thèse de Tribout (2013) et notre travail traitent de la morphologie. Les deux thèses, l'une menée sur les chevaux adultes, et l'autre sur les jeunes chevaux, aboutissent à la même conclusion : les critères morphologiques associés à la performance en endurance sont peu nombreux et les corrélations sont faibles. La conformation n'est pas à elle seule un élément prédictif de la performance, même si elle y contribue. En ce qui concerne la morphologie, le but final sera de savoir si les critères morphologiques les plus discriminants sur la performance (longueur corporelle) ont un support génétique qui permettrait de les sélectionner.

CONCLUSION

Les questions posées au début de ce travail étaient : la performance en endurance est-elle influencée par la conformation des chevaux ? Peut-on utiliser ces critères de conformation pour la sélection du cheval d'endurance ? Ces critères mis en évidence chez les jeunes chevaux sont-ils les même que ceux mis en évidence chez les chevaux adultes par Tribout (2013) ?

Chez le jeune cheval, la longueur corporelle, la hauteur au garrot (chevaux âgés de 4 ans et 5 ans), la longueur et l'inclinaison du fémur sont des critères liés à la performance. Seule la longueur corporelle est aussi associée à la performance chez les chevaux adultes. Chez les chevaux adultes, Tribout (2013) a mis en évidence une corrélation négative entre le pli cutané et l'indice distance et une corrélation négative entre l'inclinaison du fémur et l'indice vitesse, deux corrélations que nous ne retrouvons pas chez les jeunes chevaux.

L'utilisation pratique de ces critères semble difficile. L'importance accordée à la conformation des chevaux parait donc excessive par rapport à la finesse des relations que nous avons mises en évidence. A la lumière de notre travail, il semblerait opportun de réduire le poids accordé aux épreuves de modèle, et d'accorder plus d'importance aux allures et aux résultats en compétition. Le jugement de la conformation dans les épreuves modèle et allures et lors des épreuves jeunes chevaux pourra être réduit à quelques grandes lignes comme l'arrière main (le moteur du cheval, importance de la longueur et de l'inclinaison du fémur notamment), la conformation des membres (épaule, bras et avant-bras longs, canon court permettant des gestes rasant) et la longueur corporelle (critère associé à la performance dans notre étude et celle de Tribout (2013)).

Même si notre travail et celui de Tribout (2013) montrent qu'une sélection sur la conformation n'est pas efficace et dans l'attente de nouveaux critères de sélection développés par le programme GenEndurance, la conformation restera un argument commercial puisque l'acheteur demeure sensible à la beauté du cheval.

BIBLIOGRAPHIE

- Association Nationale Française du Cheval Arabe pur-sang et demi sang. [en ligne] [http://www.acafrance.org/] (Consulté le 28/07/2013)
- ANDERSON TM, MCILWRAITH CW, DOUAY P. (2004). The role of conformation in musculoskeletal problems in the racing Thoroughbred. *Equine Vet. J.*, **36**, 571–575.
- Association du Cheval Arabe, 2014. Top Etalon: Endurance, show, courses. 100p. [en ligne] [www.acafrance.org/FR/endurance/catalogue_etalons.asp] (Consulté le 23/02/2014)
- BACK W, BARNEVELD A, BRUIN G, SCHAMHARDT HC, HARTMAN W. (1994). Kinematic detection of superior gait quality in young trotting Warmbloods. *Vet. Q.*, **16**, **Suppl 2**, 91–96.
- BACK W, BARNEVELD A, SCHAMHARDT HC, BRUIN G, HARTMAN W. (1994). Longitudinal development of the kinematics of 4-, 10-, 18- and 26-month-old Dutch Warmblood horses. *Equine Vet. J.*, **26**, 3–6.
- BACK W, SCHAMHARDT HC, HARTMAN W, BRUIN G, BARNEVELD A. (1995). Predictive value of foal kinematics for the locomotor performance of adult horses. *Res. Vet. Sci.*, **59**, 64–69.
- BARR AR. (1994). Carpal conformation in relation to carpal chip fracture. *Vet. Reserch.*, **134**, 646–650.
- BARREY E. (1992). Evaluation de l'aptitude sportive chez le cheval : application à la définition de critères précoces de sélection. *INRA Prod. Anim.* Hors-Série « Elément de Génétique Quantitative et application aux populations animales », 167-173.
- BARREY E, DESLIENS F, POIREL D, BIAU S, LEMAIRE S, RIVERO JLL, LANGLOIS B. (2002). Early evaluation of dressage ability in different breeds. *Equine Vet. J.*. **Suppl 34**, 319–324.
- BARREY E, EVANS SE, EVANS DL, CURTIS RA, QUINTON R, ROSE RJ. (2001). Locomotion evaluation for racing in thoroughbreds. *Equine Vet. J.*, **33**, 99–103.
- BARREY E. (2002). Biomechanics of locomotion. *In: Equine exercise physiology*. London, Blackwell Publishing, 143-168.
- BOBBERT MF, SANTAMARÍA S, VAN WEEREN PR, BACK W, BARNEVELD A. (2005). Can jumping capacity of adult show jumping horses be predicted on the basis of submaximal free jumps at foal age ? A longitudinal study. *Vet. J.*, **170**, 212–221.
- BRODY S. (1945). Bioenergetics and growth. New York, Reinhold, 1023p.
- CANO MR, VIVO J, MIRÓ F, MORALES J, GALISTEO A. (2001). Kinematic characteristics of Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses: a comparative study. *Res. Vet. Sci.*, **71**, 147–153.
- CANO MR, MIRO F, MONTERDE JG, DIZ A, MARTIN, J, GALISTEO AM. (2001). Changes due to age in the kinematics of trotting Andalusian foals. *Equine Vet. J.*, **Suppl. 33**, 116–121.
- CERVANTES I, BAUMUNG R, MOLINA A, DRUM LT, GUTIÉRREZ JP, SÖLKNER J, VALERA M. (2009). Size and shape analysis of morphofunctional traits in the Spanish Arab horse. *Livest. Sci.*, **125**, 43-49
- CHABCHOUB A, LANDOLSI F, JARY Y. (2004). Étude des paramètres morphologiques de chevaux Barbes de Tunisie. *Revue Méd. Vét.*, **155**(1), 31-37
- CILEK S. (2012). Early Selection According to Repeatability of Body Measurements of Turkish Arabian Foals. *Thai. J. Vet. Med.*, **42**, 159–163.
- COLIN DE VERDIERE J. (2014). Caractérisation de la locomotion du cheval d'endurance : critères associés à la performance en course à vitesse libre. Thèse Med. Vet., Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Maisons-Alfort, 100p.
- COURREAU J. (2010). Bases de l'hérédité des caractères quantitatifs. Polycopié. Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Unité de zootechnie, économie rurale, 94p.
- DALIN G, MAGNUSSON LE, THAFVELIN BC. (1985). Retrospective study of hindquarter asymmetry in Standardbred Trotters and its correlation with performance. *Equine Vet. J.*, **17**, 292–296.
- DALIN G, JEFFCOTT L. (1994). Biomechanics, Gait and Conformation. *In: The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine*. 1st Ed, London, Saunders, 253-266.
- DANVY S. (2008). L'amélioration génétique des équidés. Paris, Les Haras nationaux, 304p.

- DANVY S, DEPUILLE. (2013). Les indices de performance et génétiques en endurance [en ligne] [http://www.haras-nationaux.fr/information/accueil-equipaedia/genetique/les-indices-de-performance-et-genetiques-en-endurance.html] (consulté le 29.12.13).
- DENOIX JM. (2001). Extérieur et examen physique du cheval, CIRALE-Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Unité de pathologie équine, 249p.
- DELAHUNTY D, WEBB S, KELLY, EP, SMITH FH. (1991). Intermandibular width and cannon bone length in "winners" versus "others". *J. Equine Vet. Sci.*, **11**, 258–259.
- DESJARDIN C, AMMAN V. (2007). Evaluation de la croissance et du développement du poulain. *Prat. Vét. Équine*, **Numéro spécial 39**, 9-15.
- DESQUILBET L. (2013). Tests statistiques en pratique. Polycopié, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Département des productions animales et de santé publique, 90p.
- DUBOIS C. (2007). Modélisation des programmes de sélection dans l'élevage du cheval de sport français. Thèse AgroParisTech, Ecole AgroParisTech, Grignon, 282p.
- DUBOIS C, MANFREDI E, RICARD A. (2008). Optimization of breeding schemes for sport horses. *Livest. Sci.*, **118**, 99–112.
- DUBOIS C, RICARD A. (2007). Efficiency of past selection of the French Sport Horse: Selle Français breed and suggestions for the future. *Livest. Sci.*, **112**, 161–171.
- Fédération Française d'Equitation, 2013. Règlement des compétitions Dispositions spécifiques Endurance. [en ligne] [www.ffe.com/Disciplines-Equestres/General/Endurance/Reglement] (consulté le 23.07.13)
- FFE Compet 2013. Uzès finale fiche concours [en ligne]. [https://ffecompet.ffe.com/concours/201130002] (consulté le 17.02.14).
- France Génétique Elevage (2011). Les index des races bovines laitières [en ligne] [http://fr.france-genetique-elevage.org/Les-index-des-races-bovines.htm]! (consulté le 13.12.13).
- FRETZ PB, CYMBALUK NF, PHARR JW. (1984). Quantitative analysis of long bone growth in the horse. *Am. J. Vet. Res.*, **45**, 1602-1609.
- GALISTEO AM, CANO MR, MORALES JL, VIVO J, MIRO F. (1998). The influence of speed and height at the withers on the kinematics of sound horses at the hand-led trot. *Vet. Res. Com.*, **22**, 415–423.
- GNAGEY L, CLAYTON HM, LANOVAZ JL, (2006). Effect of standing tarsal angle on joint kinematics and kinetics. *Equine Vet. J.*, **38**, 628–633.
- GREEN DA. (1961). A review of studies on the growth rate of the horse. Br. Vet. J., 117, 123-135.
- GUEDAOURA S, CABARAUX JF, MOUMENE A, TAHRAOUI A, NICKS B. (2011). Evaluation morphométrique de chevaux de race Barbe et dérivés en Algérie. *Ann. Méd. Vét.*, **155**, 14-22.
- HALLAIS JP. (2012). Bases de génétique et de sélection animale. Polycopié, lycée agricole de Tours-Fondettes, Unité de zootechnie, 83p.
- HODGSON DR, MCGOWAN C, MCKEEVER K. (2013). The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine. Elsevier Health Sciences. 407p
- HOF AL. (2001) Scaled Energetics of Locomotion. *In: Equine Locomotion*. Philadelphia, W.B. Saunders, 351-363
- HOLMSTRÖM M. (2001). The effects of conformation. *In: Equine Locomotion.* Philadelphia, W.B. Saunders, 281-295.
- HOLMSTRÖM M, MAGNUSSON LE, PHILIPSSON J. (1990). Variation in conformation of Swedish Warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses. *Equine Vet. J.*, **22**, 186–193.
- HOLMSTRÖM M, PHILIPSSON J. (1993). Relationships between conformation, performance and health in 4-year-old Swedish Warmblood riding horses. *Livest. Prod. Sci.*, **33**, 293–312.
- JOHNSTON C, HOLM KR, ERICHSEN C, EKSELL P, DREVEMO S. (2004). Kinematic evaluation of the back in fully functioning riding horses. *Equine Vet. J.*, **36**, 495–498.

- JUST MN. (2009). Compte-Rendu de la Commission Endurance (FEE) Réunion des Présidents de GECE 25 novembre 2009, Boulogne Billancourt. [en ligne] [www.gecelendurance.fr/documents/Compte rendu comission endurance.pdf] (consulté le 27.12.13)
- KLEIBER M. 1947. Body size and metabolic rate. Physiol rev, 27, 511-541.
- KOENEN EPC, VAN VELDHUIZEN AE, BRASCAMP EW. (1995). Genetic parameters of linear scored conformation traits and their relation to dressage and show-jumping performance in the Dutch Warmblood Riding Horse population. *Livest. Prod. Sci.*, **43**, 85–94.
- LANGLOIS B. (1982). Une revue bibliographique : l'héritabilité des performances chez le trotteur. *Ann. Génet. Sél. Anim.*, **14** (3), 399-414.
- LANGLOIS B, BLOUIN C. (2004). Practical efficiency of breeding value estimations based on annual earnings of horses for jumping, trotting, and galloping races in France. *Livest. Prod. Sci.*, **87**, 99–107
- LANGLOIS B, LEGAULT P, THERET TM. (1978). Analyse des liaisons entre la morphologie et l'aptitude au trot, au galop et au saut d'obstacle chez le cheval. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, **10** (2) 443-474.
- LEACH DH, CYMBALUK NF. (1986). Relationships between stride length, stride frequency, velocity and morphometrics of foals. *Am. J. Vet. Res.*, **47**, 2090-2097.
- LOVE S, WYSE CA, STIRK AJ, STEAR MJ, CALVER P, VOUTE LC, MELLOR DJ. (2006). Prevalence, heritability and significance of musculoskeletal conformational traits in Thoroughbred yearlings. *Equine Vet. J.*, **38**, 597–603.
- ŁUSZCZYŃSKI J, KULISA M, PIESZKA M, DŁUGOSZ B. (2005). Thoroughbred horses' growth rate and ossification of basal cartilage of radius bone lower end at the beginning of training. *Biotechnol. Anim. Husbandry*, **21**,65–68.
- MAGNUSSON LE, THAFVELIN B. (1990). Studies on the conformation and related traits of Standardbred trotters in Sweden. *J. Anim. Breed. Genet.*, **107**, 135–148.
- MARTIN-ROSSET W. (1983). Particularités de la croissance et du développement du cheval. *Ann. Zootech.*, **32**, 109–130.
- MARTIN-ROSSET W. (2012). Nutrition et alimentation des chevaux, Savoir faire, Quae, Rouen, 624p. MCCUTCHEON LJ, RAYMOND JG. (2002). Thermoregulation and exercise associated heat stress. *In: Equine exercise physiology*. London, Blackwell Publishing, 382-396.
- MENAGER S. (2010). Méthodes d'évaluation du poids chez le cheval d'endurance. Détermination expérimentale du "poids de forme". Thèse Med. Vet., Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Maisons-Alfort, 74p.
- METAYER N, BIAU S, COCHET JL, BARREY E. (2004). Etude des facteurs locomoteurs et morphologiques de la performance du cheval d'endurance. *In : 30ème journée de la recherche équine*. Paris, 3 mars 2004, 67–72.
- NEWMAN J. (2003). Washington 4-H Horse Judging Manual. Washington, Pacific Northwest Extension Publication, 50p.
- PAGEAT P. (2012). Le traité Rustica du cheval. Paris, Rustica Edition, 439p.
- RICARD A, BRUNS E, CUNNINGHAM EP. (2000). Genetics of performance traits. *In: The Genetics of the Horse*. New York, CABI Pub, 411-438.
- RICARD A, CHANU I. (2001). Genetic parameters of eventing horse competition in France. *Genet. Sel. Evol.*, **33**, 175–190.
- RICARD A. (2004). Heritability of jumping ability and height of pony breeds in France. *Livest. Prod. Sci.*, **89**, 243–251.
- RICARD A, TOUVAIS M. (2005). Des indices pour l'endurance ? Equidée 53, 42-44.
- RICARD A, TOUVAIS M. (2007). Genetic parameters of performance traits in horse endurance races. *Livest. Sci.*, **110**, 118–125.
- ROSS MW. (2003). Conformation and Lameness, *In: Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. Saint Louis, W.B. Saunders, 15–31.
- SAASTAMOINNEN M, BARREY E. (2000). Genetics of Conformation, Locomotion and Physiological Traits. *In: The Genetics of the Horse*. New York, CABI Pub, 439-464.

- SADEK MH, AL-ABOUD AZ, ASHMAWY AA. (2006). Factor analysis of body measurements in Arabian horses. *J. Anim. Breed. Genet.*, **123**, 369-377.
- SANTAMARÍA S, BOBBERT MF, BACK W, BARNEVELD A, VAN WEEREN PR. (2005). Effect of early training on the jumping technique of horses. *Am. J. Vet. Res.*, **66**, 418–424.
- SANTAMARÍA S, BOBBERT MF, BACK W, BARNEVELD A, VAN WEEREN PR. (2006). Can early training of show jumpers bias outcome of selection events? *Livest. Sci.*, **102**, 163–170.
- SCHRODERUS E, OJALA M. (2010). Estimates of genetic parameters for conformation measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *J. Anim. Breed. Genet.*, **127**, 395–403.
- SMITH AM, STANIAR WB, SPLAN RK. (2006). Associations between yearling body measurements and career racing performance in Thoroughbred racehorses. *J. Equine Vet. Sci.*, **26**, 212–214.
- Société Hippique Française, 2013. Règlement général des épreuves d'élevage 2013 Endurance. [en ligne] [www.brigitte-huard.com/data_folio/data_kcfinder/files/Jeunes Chevaux Endurance 2013.pdf] (consulté le 24/07/2013)
- STAIGER EA, SUTTER NB, BELLONE RR, BROOKS SA. (2011). Morphometric Traits in Gaited Breeds of Horse: Potential Future Targets for Mapping. *J. Equine Vet. Sci.*, **31**, 242.
- STANIAR WB, KRONFELD DS, TREIBER KH, SPLAN RK, HARRIS PA. (2004). Growth rate consists of baseline and systematic deviation components in Thoroughbreds. *J. Anim. Sci.*, **82**, 1007–1015.
- STASHAK H. (2011). Conformation and movement., *In: Adams and Stashak's Lameness in Horses*. 3rd ed, London, Wiley-Blackwell, p203-244..
- STRAND E, BRAATHEN LC, HELLSTEN MC, HUSE-OLSEN L, BJORNSDOTTIR S. (2007). Radiographic closure time of appendicular growth plate in the Icelandic horse. *Acta Vet. Scand.*, **49**, 19-26.
- SUONTAMA M, VAN DER WERF JHJ, JUGA J, OJALA M. (2013). Genetic correlations for foal and studbook traits with racing traits and implications for selection strategies in the Finnhorse and Standardbred trotter. *J. Anim. Breed. Genet.*, **130**, 178–189.
- THORÉN HELLSTEN E, VIKLUND A, KOENEN EPC, RICARD A, BRUNS E, PHILIPSSON J. (2006). Review of genetic parameters estimated at stallion and young horse performance tests and their correlations with later results in dressage and show-jumping competition. *Livest. Sci.*, **103**, 1–12.
- TRIBOUT P. (2013). Etude morphométrique du cheval d'endurance de race arabe et croisé arabe en relation avec la performance. Thèse Med. Vet., Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Maisons-Alfort, 2003, 94p.
- VAN WEEREN PR, CREVIER-DENOIX N. (2006). Equine conformation: clues to performance and soundness? *Equine Vet. J.*, **38**, 591–596.
- VERRIER E, BRABANT P, GALLAIS A. (2001). Faits et concepts de base en génétique quantitative. Polycopié, Ecole AgroParisTech, Paris-Grignon, Département des sciences animales, 8p.
- VERRIER E. (2004). General Introduction: Context, purpose and tools of animal breeding. *In : Introduction to Animal Breeding*, Hanoi, Décembre 2004, 24p.
- VIKLUND A, BRAAM A, NÄSHOLM A, STRANDBERG E, PHILIPSSON J. (2010). Genetic variation in competition traits at different ages and time periods and correlations with traits at field tests of 4-year-old Swedish Warmblood horses. *Anim. Int. J. Anim. Biosci.*, **4**, 682–691.
- VIKLUND A, NÄSHOLM A, STRANDBERG E, PHILIPSSON J. (2011). Genetic trends for performance of Swedish Warmblood horses. *Livest. Sci.*, **141**, 113–122.
- WALLIN L, STRANDBERG E, PHILIPSSON J. (2001). Phenotypic relationship between test results of Swedish Warmblood horses as 4-year-olds and longevity. *Livest. Prod. Sci.*, **68**, 97–105.
- WALLIN L, STRANDBERG E, PHILIPSSON J. (2003). Genetic correlations between field test results of Swedish Warmblood Riding Horses as 4-year-olds and lifetime performance results in dressage and show jumping. *Livest. Prod. Sci.*, **82**, 61–71.
- WELLER R, PFAU T, BABBAGE D, BRITTIN E, MAY SA, WILSON AM. (2006a). Reliability of conformational measurements in the horse using a three-dimensional motion analysis system. *Equine Vet. J.*, **38**, 610–615.

- WELLER R, PFAU T, MAY SA, WILSON AM. (2006b). Variation in conformation in a cohort of National Hunt racehorses. *Equine Vet. J.*, **38**, 616–621.
- WELLER R, PFAU T, VERHEYEN K, MAY SA, WILSON AM. (2006c). The effect of conformation on orthopaedic health and performance in a cohort of National Hunt racehorses: preliminary results. *Equine Vet. J.*, **38**, 622–627.

Annexe I - Corrélations entre les mesures photométriques

CORRELATIONS ENTRE LES MESURES, PARTIE 1

Les corrélations avec p<0.001 sont notées en gras, les corrélations avec p<0.01 sont notées en police normale, les corrélations avec p<0.05 sont notée en plus petite police. L'absence de corrélation est notée par - .

	TAILLEG	TAILLEC	LONGUEUR	LONGUEUR TOT	VIDESS	THORAX	OMOPLATE	HUMERUS	RADIUS	METACARPE	PHALANGE	ACOUDE
TAILLEG		0,68	0,47	0,60	0,68	0,64	0,52	0,36	0,33	0,19	0,32	-
TAILLEC			0,49	0,59	0,44	0,46	0,54	0,23	0,41	-	0,26	-
LONGUEUR				0,83	0,21	0,42	0,58	0,38	0,25	-	0,16	-0,15
LONGUEUR TOT					0,32	0,48	0,51	0,33	0,22	0,08	0,17	-
VIDESS						-0,11	0,22	-	0,47	0,18	0,30	-
THORAX							0,47	0,43	-	-	-	-
OMOPLATE								0,14	0,27	-	0,16	-0,10
HUMERUS									0,11	-0,12	0,12	-0,14
RADIUS										-0,60	0,16	-0,17
METACARPE											-0,24	0,20
PHALANGE												-0,19
ACOUDE												
AEPAULE												
IEPAULE												
IHUMERUS												
AGENOU												
COXAE												
SACRE												
FEMUR												
TIBIA												
METATARSE												
PHALANGEP												
AHANCHE												
AGRASSET												
AJARRET												
IBASSIN												
IFEMUR												
TETE												
ENCOLURE												
DOSAVANT												
DOS ARRIERE												
ADOS												
IGARROT												
HGARROT												
IEPAULE POINTE HANCHE												
ICOUDE GRASSET												

TABLEAU DES CORRELATIONS ENTRE LES MESURES PHOTOMETRIQUES, PARTIE 2

	AEPAULE	IEPAULE	IHUMERUS	AGENOU	COXAE	SACRE	FEMUR	TIBIA	METATARSE	PHALANGEP	AHANCHE	AGRASSET
TAILLEG	-	-	0,09	-	0,26	0,19	0,31	0,30	0,21	0,32	-	-
TAILLEC	-	-0,16	0,12	0,09	0,46	-	0,46	0,53	0,27	0,58	-0,12	-0,10
LONGUEUR	-0,30	-0,29	-	0,09	0,57	0,30	0,51	0,31	-	0,24	-0,38	-0,15
LONGUEURTOT	-	-0,13	-	-	0,43	0,17	0,39	0,30	0,19	0,26	-0,12	-
VIDESS	-	-	-	0,13	0,18	-	0,16	0,28	0,16	0,19	-	-
THORAX	0,15	-	0,15	-0,17	0,16	0,20	0,26	0,11	0,12	0,23	-	-
OMOPLATE	-0,42	-0,28	-0,16	-	0, 3 2	0,10	0,30	0,30	0,20	0,25	-0,14	-0,10
HUMERUS	-0,26	-0,24	-	-0,31	0,18	0,24	0,26	0,17	-0,14	0,14	-	-
RADIUS	-0,26	-0,25	-	-	0,31	-	0,24	0,40	-0,16	0,21	-	-
METACARPE	0,18	0,12	-	0,13	- 0,19	-	-0,13	-0,23	0,46	-0,15	0,12	-
PHALANGE	-0,10	-	-	-0,19	0,11	-	0,14	0,12	-0,10	0,45	-	-
ACOUDE	0,42	-0,12	0,53	0,49	-	-0,15	-	-	0,23	-0,10	-	-0,11
AEPAULE		0,47	0,57	-	- 0,15	-	-	-0,1	-	-0,10	0,13	-
IEPAULE			-0,45	-0,1	- 0,14	0,17	-0,12	-0,2	-	-0,10	0,1	-
IHUMERUS				0,1	-	-0,17	-	0,1	0,10	-	-	-
AGENOU					0,17	-0,11	-	-	0,19	-	-	-0,12
COXAE						0,17	0,53	0,52	-	0,26	-0 ,5	-0,36
SACRE							-0,12	-0,18	-	-0,13	-	-0,1
FEMUR								0,31	-	0,30	-0,52	-0,1
TIBIA									-0,27	0,24	-0,37	-0,50
METATARSE										-0,10	0,15	-0,15
PHALANGEP											-0,4	-
AHANCHE												0,31
AGRASSET												
AJARRET												
IBASSIN												
IFEMUR												
TETE												
ENCOLURE												
DOSAVANT												
DOSARRIERE												
ADOS												
IGARROT												
HGARROT IEPAULE												
POINTEHANCHE												
ICOUDEGRASSET												

TABLEAU DES CORRELATIONS ENTRE LES MESURES PHOTOMETRIQUES, PARTIE 3

	AJARRET	IBASSIN	IFEMUR	TETE	ENCOLURE	DOSAVANT	DOS ARRIERE	ADOS	IGARROT	HGARROT	IEPAULE POINTE	ICOUDE GRASSET
											HANCHE	
TAILLEG	-	-	-	0,31	0,35	0,12	0,25	-	-	0,1	-	-
TAILLEC	-0,11	-0,11	-	0,16	0,33	-	0,32	-	-0,11	-0,11	-0,21	-0,11
LONGUEUR	-	-0,30	-0,15	0,20	0,35	0,19	0,36	-	-	-	-	-
LONGUEUR TOT	-0,1	-0,13	-	0,33	0,48	0,21	0,41	0,12	-0,13	-	-	-
VIDESS	-0,21	-	-0,0	0,34	0,22	0,1	0,1	0,1	-0,1	-	-	-
THORAX	0,11	-0,1	0,1	-	0,24	-	0,24	-0,15	0,21	-	0,14	-0,12
OMOPLATE	-	-0,14	-	0,12	0,30	-	0,20	-	-	-	-	-0,10
HUMERUS	-	-	-	0,12	0,17	0,14	-	-	-	-	0,13	-0,10
RADIUS	-	-	-	-	0,13	-	-	-	-0,	-	-0,1	0,13
METACARPE	-0,12	0,1	-	0,13	-	-	0,14	-	-	-	0,1	-
PHALANGE	0,13	-0,14	-	-	0,14	-	-	-	-	-	-	-
ACOUDE	-0,20	-	-	-0,12	-0,17	-0,1	0,1	-0,16	0,18	-	-	-
AEPAULE	-	0,12	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,1	-
IEPAULE	-	0,20	-	0,1	0,19	-	-	0,29	-0,22	-	-0,10	-0,15
IHUMERUS	-0,10	-	0,11	-	-0,20	-	-	-0,18	0,17	0,1	0,19	-
AGENOU	-0,19	-	-	-	-	-0,1	0,14	-0,1	-	-	-0,14	-
COXAE	-0,17	-0,1	-0,50	-	0,19	-	0,17	-	-0,11	-	-0,42	-0,15
SACRE	-	0,19	-0,19	0,18	0,10	0,1	-	-	-	-	0,21	-
FEMUR	-0,18	-0,45	-0,17	-	0,14	-	0,12	-	-0,1	-	-0,30	-
TIBIA	-0,30	-	-0,45	-	0,12	0,14	-	0,16	-0,21	-	-0,35	-0,38
METATARSE	-0,21	-	0,19	-	0,17	-0,1	0,19	-0,1	-	-	0,1	-
PHALANGEP	-	-0,18	-	-	0,17	-	0,13*	-	-	-	-	-
AHANCHE	0,14	0,60	0,60	0,13	-	-0,10	-	-	-	-	-	0,41
AGRASSET	0,60	-0,17	0,59	-	-	-0,10	-	-0,13	0,11	-	0,15	0,17
AJARRET		-0,13	0,30	-	-	-0,11	-	-0,11	0,10	-	0,14	-
IBASSIN			-0,27	0,17	-	-	-	0,23	-	-	0,27	-
IFEMUR				-	_	-0,1	_	-0,20	0,14	_	0,32	0,44
TETE					0,12	0,18	_	0,09	-	_	-	-
ENCOLURE						-	0,18	0,20	0,16	-0,14	-	-0,1
DOSAVANT							-0,51	0,36	-0,49	0,18	0,1	_
DOS ARRIERE							-,	-0,1	0,26	-0,12	-	_
ADOS								-,-	-0,87	-0,26	-0,22	-0,1
IGARROT									2,0.	0,29	0,36	0,23
HGARROT										J,20	0,23	0,15
IEPAULE POINTE											0,20	
HANCHE ICOUDE GRASSET												0,48
GRASSET												

CARACTERISATION DE LA MORPHOLOGIE DU JEUNE CHEVAL D'ENDURANCE (4 A 6 ANS) – CONTRIBUTION A LA DETERMINATION DE CRITERES EN RELATION AVEC LA PERFORMANCE

NOM et Prénom : Maud TRIQUENAUX

Résumé:

Cette étude s'intègre au programme GenEndurance dont le but est de déterminer des critères de sélection précoces et simples à utiliser pour les éleveurs de chevaux d'endurance.

L'objectif est d'analyser la relation entre la conformation et la performance des jeunes chevaux d'endurance. La conformation a été caractérisée à l'aide de mesures directes (hauteur au garrot, périmètre thoracique, longueur corporelle, note d'état corporel, pli cutané et poids) et par des mesures indirectes déterminées à partir d'une photographie de profil du cheval. La performance considérée est le résultat du cheval sur la course des finales nationales pour jeunes chevaux d'endurance. L'étude porte sur 533 chevaux, âgés de 4, 5 ou 6 ans, d'origine arabe. L'association statistique entre les mesures de conformation et le résultat de la compétition a été testée par une analyse de variance à plusieurs facteurs pour les variables qualitatives (qualification et appréciation) et par des tests de corrélation pour les variables qualitatives (fréquence cardiaque à l'arrivée et vitesse moyenne).

Chez les chevaux de 4 ans, 5 ans et 6 ans, la longueur corporelle est positivement associée à de meilleures performances en course. A 4 et 5 ans, la hauteur au garrot, le poids, la longueur et l'inclinaison du fémur sont également des critères morphologiques associés à la performance. Ces critères peu nombreux n'apparaissent pas suffisants pour justifier une sélection uniquement sur la conformation. D'autres analyses sont nécessaires pour déterminer la pertinence d'autres critères comme la qualité des allures et les résultats sur les premières courses.

Mots clés : PERFORMANCES SPORTIVE, ENDURANCE, CONFORMATION, MESURE, MORPHOLOGIE, MORPHOMETRIE, SELECTION, CROISSANCE, ANIMAUX JEUNES, EQUIDE, CHEVAL, PUR SANG ARABE

Jury:

Président : Pr

Directeur: Dr Céline ROBERT

Assesseur : Pr Jean-François COURREAU

Invité: Dr Eric BARREY

CHARACTERIZATION OF THE MORPHOLOGY OF YOUNG ENDURANCE HORSE (4 TO 6 YEARS OLD) - CONTRIBUTION TO THE DETERMINATION OF CRITERIA RELATED TO THE PERFORMANCE

SURNAME: TRIQUENAUX

Given name: Maud

Summary:

This study is a part of a bigger project named « GenEndurance ». The ultimate goal of which is to determine effective criteria, easy to implement for breeders to carry out an early selection of endurance horses.

The aim of the present study is to assess the relationship between conformation and performance of young endurance horses. Horses were evaluated for the following body measurements: withers height, chest girth, length of the body, thickness of the skin fold, body condition score and weight. This was completed by indirect measurements obtained on photographic analysis of a lateral view of the horse. The performance of the horse was defined by the result on the annual final competition for young endurance horses. The study was performed on 533 young endurance horses (4, 5 and 6 years old) from Arabian origin. The statistical association between the conformation measurements and the outcome of the competition was tested by several factors analysis of variance for the qualitative variables (qualification and appreciation) and by correlation tests for the qualitative variables (heart rate and average speed).

Whatever the age of the horse (4, 5 or 6 years old), the body length is positively associated with good performances on the endurance race. Besides, for 4 and 5 years old horses, the height at wither, the length and orientation of the femur are morphologic criteria associated with performance. We conclude that these few criteria do not appear sufficient to base a selection on conformation only. Further analysis is needed to determine the relevance of other criteria such as quality of gaits and results on the first races.

Key Words: SPORTIVE PERFORMANCE, ENDURANCE, CONFORMATION, MEASURE, MORPHOLOGY, MORPHOMETRY, SELECTION, GROWTH, YOUNG ANIMALS, EQUINE, HORSE, ARABIAN HORSE.

Jury:

President: Pr.

Director: Dr Céline ROBERT

Assessor: Pr Jean-François COURREAU

Guest: Dr Eric BARREY