

**VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2015 - Thèse n°

***LECTURE DE L'ECOLE DE CAVALERIE
(FRANÇOIS ROBICHON DE LA GUERINIERE, 1733)
AU REGARD DES CONNAISSANCES ACTUELLES EN
BIOMECHANIQUE ET LOCOMOTION DU CHEVAL***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 16 octobre 2015
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Héloïse Chenot-Hervillard
Née le 29 septembre 1989
à Les Lilas



VetAgro Sup



**VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2015 - Thèse n°

***LECTURE DE L'ECOLE DE CAVALERIE
(FRANÇOIS ROBICHON DE LA GUERINIERE, 1733)
AU REGARD DES CONNAISSANCES ACTUELLES EN
BIOMECHANIQUE ET LOCOMOTION DU CHEVAL***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 16 octobre 2015
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Héloïse Chenot-Hervillard
Née le 29 septembre 1989
à Les Lilas



VetAgro Sup



LISTE DES ENSEIGNANTS DU CAMPUS VÉTÉRIINAIRE DE LYON

Mise à jour le 09 juin 2015

Civilité	Nom	Prénom	Unités pédagogiques	Grade
M.	ALOGNINOIWA	Théodore	UP Pathologie du bétail	Professeur
M.	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
M.	ARTOIS	Marc	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BARTHELEMY	Anthony	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
Mme	BECKER	Claire	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
Mme	BELLUCO	Sara	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	BENAMOU-SMITH	Agnès	UP Equine	Maître de conférences
M.	BENOIT	Etienne	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	BERNY	Philippe	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BERTHELET	Marie-Anne	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BOULOCHER	Caroline	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	BOURDOISEAU	Gilles	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BOURGOIN	Gilles	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	BRUYERE	Pierre	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences
M.	BUFF	Samuel	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences
M.	BURONFOSSE	Thierry	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	CACHON	Thibaut	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	CADORE	Jean-Luc	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	CAROZZO	Claude	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	CHABANNE	Luc	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CHALVET-MONFRAY	Karine	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	COMMUN	Loic	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	DEMONT	Pierre	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	DESJARDINS PESSON	Isabelle	UP Equine	Maître de conférences Contractuel
Mme	DJELLOUADJI	Zorée	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	ESCRIOU	Catherine	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	FAU	Didier	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	FOURNEL	Corinne	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
M.	FREYBURGER	Ludovic	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	FRIKHA	Mohamed-Ridha	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
Mme	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	GRAIN	Françoise	UP Gestion des élevages	Professeur
M.	GRANCHER	Denis	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	GREZEL	Delphine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	GUERIN	Pierre	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Professeur
Mme	HUGONNARD	Marine	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	JUNOT	Stéphane	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	KECK	Gérard	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	KODJO	Angeli	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	LACHERETZ	Antoine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAMBERT	Véronique	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	LATTARD	Virginie	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
Mme	LE GRAND	Dominique	UP Pathologie du bétail	Professeur
Mme	LEBLOND	Agnès	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	UP Equine	Maître de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	UP Equine	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	MARCHAL	Thierry	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
M.	MOUNIER	Luc	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
M.	PEPIN	Michel	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	PIN	Didier	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PONCE	Frédérique	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PORTIER	Karine	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	POUZOT-NEVORET	Céline	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	PROUILLAC	Caroline	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
Mme	REMY	Denise	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	RENE MARTELLET	Maqalie	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences stagiaire
M.	ROGER	Thierry	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
M.	SABATIER	Philippe	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	SAWAYA	Serge	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	SCHRAMME	Serge	UP Equine	Professeur associé
Mme	SEGARD	Emilie	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
Mme	SERGENTET	Delphine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	SONET	Juliette	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
M.	THIEBAULT	Jean-Jacques	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	TORTEREAU	Antonin	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences stagiaire
M.	VIGUIER	Eric	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences Contractuel
M.	ZENNER	Lionel	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur

A Madame le Professeur Elvire SERVIEN

De la Faculté de Médecine de Lyon,

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse,
Qu'elle reçoive ici l'expression de nos hommages très respectueux.

A Monsieur le Professeur Olivier LEPAGE

De VetAgroSup – Campus Vétérinaire de Lyon

Qui nous a fait l'honneur d'encadrer ce travail de thèse,
Qu'il trouve ici l'expression de notre sincère reconnaissance.

A Madame le Maître de Conférence Caroline BOULOCHER

De VetAgroSup – Campus Vétérinaire de Lyon

Qui nous a fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail,
Pour son enthousiasme sur le sujet de cette thèse et son soutien
lorsqu'il n'était encore qu'une idée
Qu'elle trouve ici l'expression de notre sincère reconnaissance,

A Madame le Docteur Monika GANGL

De VetAgroSup – Campus Vétérinaire de Lyon

Qui nous a fait l'honneur d'encadrer ce travail de thèse
Pour son enthousiasme à son propos
Qu'elle trouve ici l'expression de nos sincères remerciements.

A ma famille,

A mon Amoureux,

A mes amis,

Pour votre soutien et votre présence

Ils sont inestimables

A Jukebox

Et à notre rencontre un soir de printemps 2003

Qui eut cru qu'elle nous mènerait jusque-là !

Table des matières

1	Place de l'Ecole de Cavalerie dans l'équitation classique du XVIème au XVIIIème siècle	23 -
1.1	Aperçu de l'histoire de l'équitation classique du XVIème au XVIIIème siècle .-	23 -
1.1.1	Fondements de l'équitation classique	23 -
1.1.2	Les académies équestres	24 -
1.2	François Robichon de La Guérinière et la vulgarisation des connaissances en équitation dite académique.....	27 -
1.2.1	Biographie simplifiée de François Robichon de La Guérinière	27 -
1.2.2	Genèse d'un livre.....	29 -
1.3	Polémiques autour de l'Ecole de Cavalerie	34 -
2	Morphologie et connaissances générales en locomotion du cheval	38 -
2.1	Une corrélation du vocabulaire facilitant la lecture du texte original.....	38 -
2.2	Corrélation entre les structures anatomiques et leur fonction	39 -
2.2.1	Structures tendineuses de la face palmaire/plantaire du métacarpe/métatarse	40 -
2.2.2	Troisième phalange	43 -
2.2.3	Une relation structure/fonction encore incertaine	44 -
3	Lecture des données de maréchalerie	45 -
3.1	Techniques d'exploration du pied du cheval	45 -
3.2	Nomenclature du pied du cheval.....	48 -
3.3	Analyse de la conformation du pied du cheval	50 -
3.3.1	Anomalies de conformation du boulet et du paturon	50 -
3.3.2	Anomalies de conformation du pied	50 -
3.4	Maréchalerie et ferrures orthopédiques.....	51 -
3.4.1	Vocabulaire de maréchalerie	51 -
3.4.2	Règles générales de maréchalerie	53 -
3.4.3	Maréchalerie orthopédique	57 -
3.4.4	Bilan : la maréchalerie comme solution pour la locomotion au XVIII et XXIe siècle.....	63
4	Description des allures du cheval	65

4.1	Connaissance des allures et compréhension de la locomotion du cheval ..	65
4.2	Moyen d'exploration de la locomotion du cheval.....	65
4.3	Etude du pas.....	- 69 -
4.3.1	Description de l'allure	- 69 -
4.3.2	Motif de contraction des structures musculo-tendineuses.....	- 71 -
4.4	Le trot	73
4.4.1	Description de l'allure	73
4.4.2	Motif de contraction d'un échantillon de muscles pendant une foulée de trot	74
4.4.3	Confirmation de la symétrie du trot	76
4.5	Le galop.....	77
4.5.1	Description de l'allure	77
4.5.2	Motif de contraction d'un échantillon de muscles pendant une foulée de galop.....	78
5	Exercices à valeur kinésithérapique	81
5.1	Préambule à la relecture des figures présentées dans <i>l'Ecole de Cavalerie</i>	81
5.2	« De la nécessité du trot pour assouplir les jeunes chevaux ».....	82
5.2.1	Place du travail au trot dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i>	82
5.2.2	Notion de souplesse	83
5.2.3	Notions d'anatomie du rachis du cheval	84
5.2.4	Implication des particularités du rachis du cheval dans la mise en place d'exercices à visée kinésithérapique	93
5.2.5	Analyse biomécanique d'une foulée de trot en ligne droite	94
5.2.6	Adaptation de la locomotion au déplacement sur le cercle sur une surface plane	- 102 -
5.2.7	Influence de l'ajout ou non du poids du cavalier	- 106 -
5.2.8	Bilan : conséquences de la progression de travail proposée par La Guérinière	- 106 -
5.3	De l'épaule en dedans	- 108 -
5.3.1	Description du mouvement de l'épaule en dedans.....	- 108 -
5.3.2	Place de l'épaule en dedans dans le travail du cheval	- 110 -
5.3.3	La Guérinière et les bienfaits de l'épaule en dedans	- 112 -
5.3.4	Analyse biomécanique de l'épaule en dedans.....	- 112 -
5.3.5	Intérêts de l'épaule en dedans dans le travail du cheval	- 120 -

5.3.6	Comparaison entre les apports du travail sur le cercle et du travail en épaule en dedans.....	- 120 -
5.4	L'attitude du cheval au travail, au cœur de la polémique équestre actuelle -	121 -
5.4.1	L'attitude du cheval au travail, un sujet de polémique aujourd'hui .-	121 -
5.4.1	Analyse de l'attitude générale du cheval au travail, appuyée sur l'iconographie.....	- 122 -
5.4.2	Interprétations biomécaniques.....	- 123 -
6	Limites relatives à l'étude comparative de la locomotion du cheval	- 125 -
6.1	Limites et difficultés actuelles à la comparaison des différentes études..	- 125 -
6.2	Limites de l'étude relatives à l'évolution du standard des chevaux.....	- 126 -
6.2.1	Importance du choix de la race et de la morphologie du cheval d'équitation de manège : répartition des races de chevaux en France au XVIIIe siècle	- 126 -
6.2.2	Conséquence de l'évolution des standards sur les travaux de recherche actuels	- 127 -
	Annexe I : Vocabulaire biomécanique	- 138 -
	Annexe II : Propriétés des os, arceaux rigides de l'organisme	- 139 -
	Annexe III : Propriétés des articulations, zone de rencontre entre deux os	- 141 -
	Annexe IV : Propriétés des muscles, unités contractiles	- 142 -
	Annexe V : Mise en charge des tendons et accumulation d'énergie élastique	146
	Annexe VI : Les différents mouvements des membres.....	147
	Annexe VII : Particularités de l'attache des membres thoraciques et pelviens du cheval.....	149

Liste des figures

Figure 1	Exemple d'organisation d'une académie. Gravure de Charles Parrocel pour 'Ecole de Cavalerie, 1733.	Page 25
Figure 2	Portrait de François Robichon de La Guérinière, gravure de Charles Parrocel extraite de l'édition du Tome 1 de <i>L'Ecole de cavalerie</i> , 1736.	Page 27
Figure 3	Première de couverture du traité de F. Grisone <i>Ordini di cavalcare</i> , 1558.	Page 31
Figure 4	« Officier de Cavalerie » Gravure extraite de <i>L'Ecole de Cavalerie</i> , 1736.	Page 32
Figure 5	Gravure extraite de l'ouvrage de W. Cavendish traduit par J. de Solleysel. <i>Nouvelle méthode pour dresser les chevaux</i> . Paris 1700.	Page 33
Figure 6	François Baucher à cheval. D'après www.equi-libre.net	Page 35
Figure 7	Nomenclature de la morphologie extérieure du cheval, telle qu'elle est décrite et illustrée dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i> . Gravure de Charles Parrocel pour <i>L'Ecole de Cavalerie</i> , Paris 1733.	Page 39
Figure 8	Principales structures anatomiques du métacarpe du cheval.	Page 40
Figure 9	Nomenclature des principales structures du pied du cheval.	Page 49
Figure 10	Illustrations des différents types de fers présentés par La Guérinière dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i> .	Page 51
Figure 11	Nomenclature des faces inférieure au contact du sol et supérieure au contact de la corne d'un fer à cheval.	Page 52
Figure 12	Quelques exemples de fers orthopédiques couramment utilisés aujourd'hui.	Page 57
Figure 13	Décomposition des quatre temps et huit phases du pas.	Page 70
Figure 14	Décomposition des deux temps et quatre phases du trot avec marques des pieds au sol.	Page 74
Figure 15	Phase de suspension lors d'une foulée de trot.	Phase 74
Figure 16	Décomposition des trois temps et six phases du galop à main droite.	Page 78
Figure 17	Image simplifiée et schématique de la structure d'un quadrupède.	Page 84
Figure 18	Principaux moyens d'union de deux vertèbres successives.	Page 86
Figure 19	Représentation schématique simplifiée de la structure du cheval.	Page 87
Figure 12	Schématisme d'un mouvement de flexion du rachis à l'échelle de deux vertèbres.	Page 91
Figure 21	Schématisme d'un mouvement d'extension du rachis à l'échelle de deux vertèbres.	Page 92
Figure 22	Représentation schématique simplifiée de la courbure du rachis selon la position des bipèdes diagonaux d'un cheval au trot en ligne droite.	Page 95
Figure 23	Représentation schématique simplifiée de la rotation du rachis	Page 96

	en vue caudale selon la position des bipèdes diagonaux d'un cheval.	
Figure 24	Représentation schématique du patron du poser des membres lors d'un départ en épaule en dedans depuis un déplacement en ligne droite	Page 108
Figure 25	« Plan de terre de l'épaule en dedans ». <i>L'Ecole de Cavalerie</i> . 1733.	Page 109
Figure 26	Représentation schématique de la coordination des membres lors d'une foulée d'épaule en dedans.	Page 116
Figure 27	Attitude récurrente des chevaux au travail dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i> ; annotations d'après une gravure de Parrocel pour la croupe au mur.	Page 122
Figure 28	Représentation schématique permettant de définir une structure et ses éventuels mouvements dans l'espace.	Page 129
Figure 29	Aperçu simplifié et schématique de la structure d'un cheval	Page 130
Figure 31	Représentation schématique des différents modes de contraction des muscles.	Page 135
Figure 31	Les différentes positions du membre, exemple avec le membre thoracique.	Page 138

Liste des tableaux

Tableau I	Corrélation entre les principales structures de la face palmaire/plantaire de l'extrémité distale du membre du cheval aujourd'hui connues et celles présentées dans L'Ecole de Cavalerie.	Page 41
Tableau II	Corrélation entre les signes cliniques décrits par La Guérinière en cas d'atteinte du TFSD et les atteintes les plus fréquentes aujourd'hui connues de cette structure.	Page 42
Tableau III	Aperçu des principales techniques aujourd'hui disponibles pour explorer la biomécanique du pied du cheval.	Page 46
Tableau IV	Définitions des principales structures du pied du cheval.	Page 48
Tableau V	Dénomination et caractéristiques des fers présentés dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i> , commentés au regard des pratiques de ferrage actuelles.	Page 56
Tableau VI	Ferrures orthopédiques proposées par La Guérinière dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i> , et comparaison avec celles aujourd'hui proposées.	Page 58
Tableau VII	Aperçu des principales techniques aujourd'hui disponibles pour explorer la biomécanique et la locomotion du cheval.	Page 66
Tableau VIII	Activité électromyographique mesurée dans plusieurs muscles impliqués dans la réalisation d'une foulée de pas chez un cheval évoluant en ligne droite sur sol dur.	Page 72
Tableau IX	Activité électromyographique mesurée dans plusieurs muscles impliqués dans la réalisation d'une foulée de trot chez un cheval évoluant en ligne droite sur sol dur.	Page 75
Tableau X	Activité électromyographique mesurée dans plusieurs muscles impliqués dans la réalisation d'une foulée de galop chez un cheval évoluant sur le cercle à main gauche, la tête maintenue 'rassemblée' par des rênes fixes.	Page 79
Tableau XI	Muscles impliqués dans les mouvements du tronc lors de déplacements au trot en ligne droite, respectivement pour l'avant et l'arrière main.	Page 96
Tableau XII	a. Appréciation qualitative des mouvement de la tête, du garrot et du sommet de la croupe chez un cheval évoluant au trot en ligne droite sur sol dur b. Appréciation qualitative des mouvement de flexion-extension des différents segments du dos	Page 97
Tableau XIII	Agents influant sur les mouvements de flexion et d'extension du rachis.	Page 98
Tableau XIV	Synthèse comparative des mouvements du rachis au pas, au trot, au galop en ligne droite sur sol dur.	Page 101
Tableau XV	Modification de la foulée lors de déplacement sur une ligne droite, sur un petit cercle et sur un cercle de 10m ; la surface du sol est considérée plane.	Page 105
Tableau XVI	Muscles responsables de l'abduction des membres thoracique et pelviens respectivement.	Page 113

Tableau XVII	Muscles responsables de l'adduction des membres thoracique et pelviens respectivement.	Page 114
Tableau XVIII	Muscles impliqués dans les mouvements du tronc lors de déplacements latéraux au trot, respectivement pour l'avant et l'arrière main.	Page 119
Tableau XIX	Répercussion de l'élévation ou de l'abaissement de la tête et de l'encolure sur le rachis.	Page 123
Tableau XX	Conséquence de la position de la tête et de l'encolure sur la mobilité du dos et l'amplitude des allures, comparaison entre trois attitudes.	Page 124
Tableau XXI	Propriétés contractiles des muscles et conséquence dans la locomotion.	Page 136

Liste des annexe

Annexe I	Vocabulaire biomécanique	Page 137
Annexe II	Les os, arceaux rigides de l'organisme	Page 138
Annexe III	Les articulations, zone de rencontre entre deux os	Page 140
Annexe IV	Les muscles, unités contractiles	Page 141
Annexe V	Mise en charge des tendons et accumulation d'énergie élastique	Page 145
Annexe VI	Les différents mouvements des membres	Page 146
Annexe VII	Particularités de l'attache des membres thoraciques et pelviens du cheval	Page 148

Liste des abréviations

AD : Antérieur Droit

AG : Antérieur Gauche

AIPD : Articulation Inter-Phalangienne Distale

AIPP : Articulation Inter-Phalangienne Proximale

AMCP : Articulation MétaCarpo-Phalangienne

BC : Bride Carpienne

BOS : Base of Support

COM : Center Of Mass

GRF : Ground Reaction Force (Force de Réaction du Sol)

LAB : Ligament Annulaire du Boulet

LADD : Ligament Annulaire Digital Distal

LADP : Ligament Annulaire Digital Proximal

LSB : Ligament Suspenseur du Boulet (ou Muscle Interosseux III)

MCIII : Os Métacarpien III (ou Métacarpien Principal)

Mm. : Muscle(s)

OEA : (muscle) oblique externe de l'abdomen

OIA : (muscle) Oblique Interne de l'Abdomen

PCSA : Physiological Cross-Section Area (Section Physiologique)

PD : Postérieur Droit

PG : Postérieur Gauche

TFFD : Tendon Fléchisseur Profond du Doigt

TFSD : Tendon Fléchisseur Superficiel du Doigt

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

L'utilisation ancestrale du cheval comme compagnon de travail puis de loisir, sa valeur financière et/ou affective ont très tôt conduit les hommes à des réflexions sur sa santé, son entretien et l'optimisation de son utilisation. Posséder un cheval qualitatif, en bonne condition et correctement dressé fut pendant longtemps une question de survie mais également un faire-valoir social et distinction fut faite entre les simples 'utilisateurs' du cheval et les 'penseurs' désireux d'approfondir leurs connaissances sur l'animal et de les divulguer à travers de nombreux traités et écoles dont beaucoup nous sont parvenus.

Aujourd'hui, tradition, expérience et avancées technologiques se côtoient, se complètent et s'affrontent dans le but intact de comprendre pour prévenir et optimiser la 'machine cheval'. A ce titre, la biomécanique est la discipline se proposant d'expliquer le fonctionnement des structures impliquées dans le mouvement des organismes vivants selon les lois physiques. Sa connaissance permet de comprendre et donc d'optimiser les phénomènes locomoteurs du cheval, et de concourir à son utilisation maximale dans le respect de sa santé et de ses capacités physiques.

Ce travail de thèse se propose de commenter, au regard des connaissances actuelles en biomécaniques et locomotion du cheval, l'un des premiers ouvrages d'équitation académique largement diffusé au public. Ce traité, publié pour sa première édition en 1729 par François Robichon de La Guérinière, est aujourd'hui encore cité comme référence en équitation classique et appartient à la liste des ouvrages de référence de l'Equitation de Tradition Française inscrite au Patrimoine Culturel Immatériel de l'UNESCO depuis 2011. La principale question de ce travail est de confronter les observations empiriques de l'auteur avec les données actuelles de locomotion du cheval afin de répondre à la question suivante : Existe-t-il une corrélation entre les postulats proposés par La Guérinière et les résultats des études actuelles en biomécanique et locomotion du cheval ?

1 Place de l'Ecole de Cavalerie dans l'équitation classique du XVIème au XVIIIème siècle

1.1 Aperçu de l'histoire de l'équitation classique du XVIème au XVIIIème siècle

Du XVIe au XIXe siècle, le pouvoir d'Etat, c'est-à-dire la monarchie, est sans cesse mise à mal. Le roi doit constamment assoir son autorité, aussi bien envers les monarques étrangers que face à ses sujets, en particulier les nobles et l'armée. Les corps dirigeants militaires sont alors essentiellement composés de cavalerie. Bien monter à cheval témoigne de l'appartenance à cette classe sociale et est essentielle pour prétendre la diriger. L'équitation, élevée au rang d'art, s'impose alors comme l'élément clé pour affirmer son pouvoir (Grange, 2000). L'équitation doit se codifier. Petit à petit, des institutions se mettent en place, établissant les règles et offrant à ceux qui en ont les moyens la possibilité de s'y initier.

1.1.1 Fondements de l'équitation classique

Des mélanges culturels du sud de l'Europe - en particulier des contacts avec la cavalerie arabe - naît, à la fin du Moyen-Âge, une équitation plus légère que celle connue en Europe jusque-là. L'engouement de la péninsule ibérique pour les jeux de corrida contribue à l'allègement des armures et au développement d'une équitation rapide sur des chevaux maniables. Lorsque les Espagnols deviennent maîtres de Naples au XVIe siècle, ils apportent avec eux leurs chevaux et leur équitation (Franchet d'Espèrey, 2000a). Les cavaliers italiens intègrent alors ces nouveautés à leur équitation traditionnelle. Portés par le courant humaniste de la Renaissance et la volonté de traduire le savoir par la science, les premières académies équestres se développent en Italie. Padoue, Pavie, Naples comptent parmi les plus réputées. Le modèle plaît et s'étend rapidement aux pays voisins. François Ier les implantent en France au retour des Guerres d'Italie. Il importe également le cheval ayant contribué à leur essor, le cheval ibérique (Franchet d'Espèrey, 2000a). L'origine italienne se fera pendant longtemps sentir et les maîtres italiens resteront des références jusqu'à ce que d'autres rédigent des ouvrages qui s'imposeront comme des incontournables de la discipline. Certains écuyers français

entreprendront même le voyage vers l'Italie pour en rapporter le savoir. Antoine de Pluvinel, revenu de Naples où il s'était formé auprès du maître Pignatelli, s'installe à Paris en 1595 près des écuries royales du Louvre. Porté par les importants échanges de savoirs et de personnes entre la France et l'Italie, le modèle des académies devient une référence : elles fleurissent à travers la France du XVIe au XVIIIe siècle, période pendant laquelle plus de quarante-quatre académies sont recensées (Doucet, 2003). A la fin du XVIIe siècle, Paris compte à elle seule jusqu'à neuf académies et des élèves de toute l'Europe (Guillotet, 2000a). Saumur, ville de l'actuelle Ecole Nationale d'Équitation et du Cadre Noir, accueille sa première académie en 1589.

1.1.2 Les académies équestres

Le terme de manège, couramment employé, désigne au XVIe siècle à la fois le lieu et l'institution. On trouve des manèges privés dans les manoirs et les châteaux, des manèges militaires dans les casernes, des manèges municipaux... Leurs occupants peuvent varier et cohabiter au cours du temps : ainsi, dans certains manèges, cavalerie et école d'équitation se partagent les locaux selon les jours (Jelen, 2012 ; Doucet, 2012).

1.1.2.1 Création d'une académie équestre

L'ouverture d'une académie équestre nécessite l'accord des pouvoirs locaux et plus particulièrement municipaux. Le soutien de la ville est capital pour les écuyers désireux de fonder une académie équestre, car il semblerait que cette dernière fournisse le foncier : manège et écurie ([Fig. 1](#)), logements, etc ; et ce à titre locatif (Jelen, 2012 ; Guillotet, 2000a). Les chevaux appartiennent à l'écuyer ou sont placés en pension par leur propriétaire qui peut être un élève de l'académie ; lorsque les infrastructures sont partagées par l'armée, leur cavalerie peut être présente sur le site. Des officiers détachés de leur régiment peuvent s'inscrire comme élèves (Guillotet, 2000a), mais aucune des sources trouvées n'exprime si la totalité des militaires bénéficiait des leçons de l'écuyer. Les académies semblent toutefois être

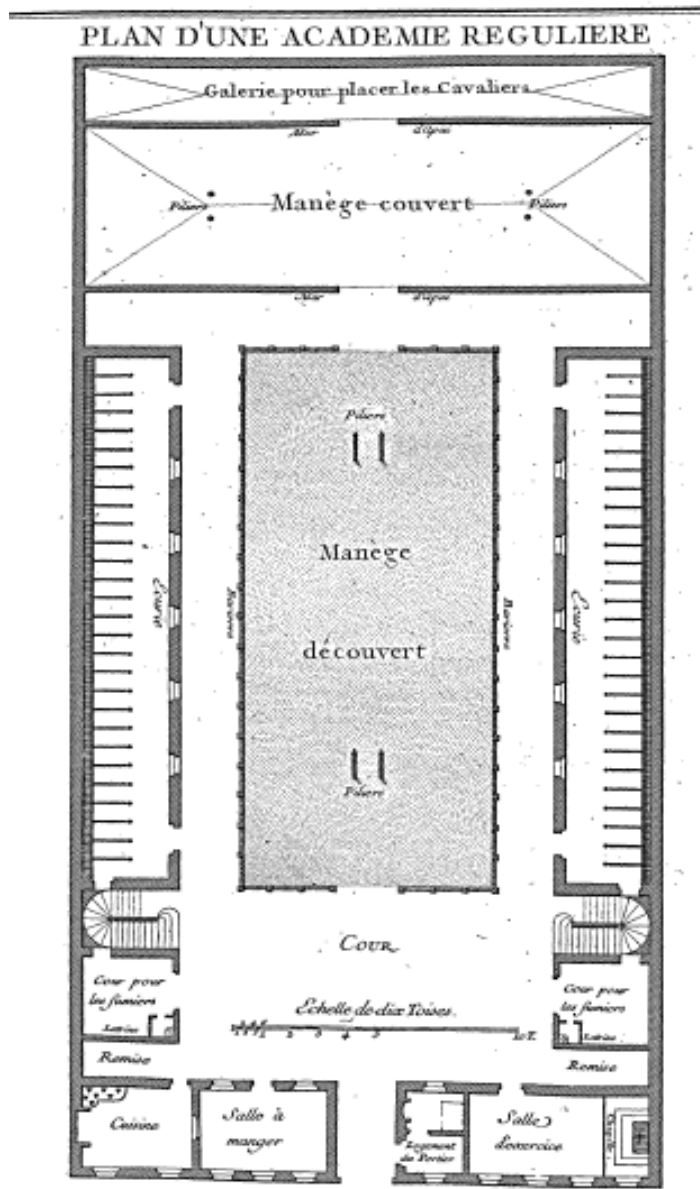


Fig. 1 : Exemple d'organisation d'une académie. Gravure de Charles Parrocel pour 'Ecole de Cavalerie, 1733.

les leçons représentent deux autres sources de revenus. Le statut des élèves va de l'externat à l'internat (Doucet, 2003 ; Guillotel, 2000a). Ces derniers contribuent grandement à la viabilité financière de l'établissement, et les tarifs élevés contribuent à une forme de sélection des élèves par l'argent. Certaines publications supposent que les pensions accordées à l'écuyer par la municipalité équivalaient à l'entretien nécessaire du bâtiment, dont le coût total de construction serait très élevé (Doucet, 2012) ; mais ce cas n'est pas une généralité (Doucet, 2003). La Guérinière a lui-même été contraint d'acheter son terrain car la ville ne voulait rien lui concéder. Les charges de l'écuyer sont cumulatives : un Ecuyer d'Académie peut ainsi être Inspecteur des Etalons des haras (Jelen, 2012).

destinées à la noblesse seule. Certaines académies sont ouvertes à certaines heures aux dames (Guillotel, 2000a). L'acquisition du harnachement des chevaux reste également à la charge de l'écuyer et il est courant qu'à la fermeture d'une académie, un autre maître de manège les lui rachète (Guillotel, 2000a). Le titre d'« Académie Royale » s'obtient après soumission d'un dossier devant le Grand Ecuyer Royal qui délivre en retour des lettres de provision (Jelen, 2012 ; Guillotel, 2000a). Ces lettres sont délivrées à un écuyer nouvellement installé ; elles ne s'héritent pas, la descendance doit soumettre un nouveau dossier. Une autre académie ne peut voir le jour dans une ville si une Académie Royale s'y trouve déjà installée (Doucet, 2003). L'attribution de la pension associée à la charge d'Ecuyer dépend de l'instance délivrante : la municipalité, les Etats – dans le cas des Etats septentrionaux par

exemple – ou encore le Grand Ecuyer Royal. La pension des chevaux de particuliers ainsi que

1.1.2.2 Fonctionnement interne d'une académie équestre

Les académies se veulent le reflet et surtout l'outil de la bonne éducation de la haute société, et ce dans tous les domaines (Auriol-Jollinier, 2000 ; Doucet, 2003). Le développement des académies pluridisciplinaires s'inscrit dans la volonté de l'Etat de former physiquement et moralement la noblesse de province. Destinées aux nobles, jeunes la plupart du temps, les académies se veulent également un moyen pour eux de tisser un réseau de connaissances de personnes de leur rang. D'autres 'Maitres' viennent donc compléter le corps enseignant de l'Académie. Danse, musique, mathématiques, escrime, art de la guerre et stratégie... s'ajoutent aux leçons d'équitation. L'équitation est élevée au rang des arts et participe de ce fait à la formation morale des nobles aux services du roi (Auriol-Jollinier, 2000). A Lyon, dans un souci d'éducation, Claude Bourgelat, fondateur de la première école vétérinaire et écuyer royal, décore les murs du manège avec des planches d'anatomies, les critères d'évaluation de la conformation du cheval, les principales maladies et leurs remèdes (Doucet, 2003). Le règlement intérieur des académies est fixé par décret royal en 1691 (Guillotet, 2000a) : heure du lever, déroulement de la journée, le matin à cheval et l'après-midi à l'étude, prière, coucher, interdiction des jeux de hasard et des duels.

1.1.2.3 Rayonnement des académies françaises

Les académies françaises sont réputées dans les pays voisins, et la noblesse étrangère vient se former en France : les archives révèlent les origines germaniques, anglo-saxonnes, antillaises ou suédoises des étudiants, qui varient au gré des modes et des conflits internationaux. Les élèves français semblent moins voyageurs, et restent d'avantage à proximité des terres familiales. Les voyages et les échanges entre les différentes académies apparaissent limités : les étudiants suivent le programme d'une académie, mais ne diversifient pas leur enseignement chez d'autres maitres. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'originalité du traité de La Guérinière : édité dans de multiples formats, du riche in-folio aux gravures encartées au manuel en in-16 se glissant dans la veste du militaire en campagne, il offre à un public diversifié ce qui représentait alors la référence en savoir équestre.

1.2 François Robichon de La Guérinière et la vulgarisation des connaissances en équitation dite académique

1.2.1 Biographie simplifiée de François Robichon de La Guérinière



Fig.2: Portrait de François Robichon de La Guérinière, gravure de Charles Parrocel extraite de l'édition du Tome 1 de *L'Ecole de cavalerie*, 1736.

François Robichon de la Guérinière (Fig. 2) naît le 8 mai 1688 à Saint Pierre d'Essay, une commune des environs d'Alençon dans l'actuel département de l'Orne. Son père, Pierre Robichon, occupe la fonction d'avocat au siège présidial et baillage d'Alençon et fait partie des huit officiers de la Chambre, au service de la duchesse de Guise, Elisabeth d'Orléans. Sa mère, Thérèse de la Fournerie, est la fille d'un conseiller du Roi, receveur des tailles à Alençon. Avec son frère Pierre, il reçoit à Alençon l'éducation d'un collègue jésuite avant de partir poursuivre son apprentissage dans une académie parisienne, probablement grâce aux relations entretenues par sa famille avec la Duchesse de Guise. Au cours de ces années d'enseignement parisien, La Guérinière obtient le statut de *créat*, c'est-à-dire d'écuyer adjoint. L'enseignement de François-Anne de Vendeuil, futur écuyer ordinaire à Versailles, marquera profondément La Guérinière (Guillotet, 2000a).

Ses premières lettres de provision lui sont délivrées en 1715 (Guillotet, 2000a) par Charles de Lorraine, Comte d'Armagnac, Grand Ecuyer du Roi (ENE, 2000). Il fonde alors avec son associé Jean-François Colménil une première académie royale dans un ancien jeu de paume à Paris, dans l'actuel rue de Vaugirard. Propriétaires de leur terrain, les deux hommes veulent leur institution luxueuse et moderne, et, par

sa taille et son coût, la démarquer des autres (Guillotet, 2000a). Ils gagnent leur pari : leur académie royale remporte très vite un vif succès et les revenus leur permettent de l'agrandir rapidement. Malheureusement, des différents financiers et l'installation d'une maison de jeux au sein de l'académie par Colménil – pratique interdite par l'édit royal de 1691 – marquent la fin de l'association. Cette première expérience, catastrophique pour l'écuyer d'un point de vue financier, lui permet toutefois d'établir les bases de ce qui placera ses manèges en référence : La Guérinière n'enseigne pas à ses élèves les seules aptitudes à monter à cheval, il leur apprend également l'anatomie et les bases de la chirurgie équine, ce qui, jusque-là, n'avait jamais été fait (Guillotet, 2000a).

En 1729, La Guérinière publie le premier tome de *L'Ecole de Cavalerie*, consacré à l'anatomie et la conformation du cheval. Ce livre, tiré à un très faible nombre d'exemplaires y compris lors de sa deuxième édition augmentée en 1731, est avant tout destiné aux élèves de sa première académie. Certains supposent que ces éditions sont également un lancer commercial, afin de recueillir des financements pour l'ouvrage de 1733 (Deblaise, 2000). Le terme de 'cavalerie' distingue son enseignement de celui des académies. Il choisit ainsi d'orienter son ouvrage vers des lecteurs militaires, public non privilégié des académies. Les connaissances en anatomie et chirurgie leurs sont particulièrement utiles en campagne. Les gravures encartées dans l'ouvrage représentent ses élèves nobles et militaires, français ou étranger : maréchal de camp, colonel, prince de Nassau-Sarrebruck... La publication de son ouvrage est retentissante. Les éditions se multiplient à tel point que le Grand Ecuyer Royal, oubliant la déroute financière de La Guérinière et les multiples charges portées contre lui, lui renouvelle ses lettres de provision. Il lui permet ainsi d'ouvrir une deuxième académie rue de Tournon à Paris en 1733, année de la publication de l'édition en in-folio de *L'Ecole de Cavalerie*. La publication des deux autres tomes de *L'Ecole de Cavalerie* ainsi que d'un abrégé en 1740 lui permettent d'exercer quelque temps à Versailles.

Grâce à sa proximité avec le Prince Charles de Lorraine-Armagnac, Grand Ecuyer de France, il se voit confier la réhabilitation du manège royal des Tuileries. Il en restera le directeur jusqu'à sa mort, le 2 juillet 1751 (Guillotet, 2000a ; Liévaux, 2000). En janvier de la même année, un édit royal crée l'Ecole Royale Militaire, première école destinée non pas aux nobles, mais à la cavalerie militaire. La tradition équestre sera profondément marquée par l'évolution de son public, et, jusqu'à un passé proche, la culture équestre et sa transmission resteront associées à l'armée.

1.2.2 Genèse d'un livre

« Je ne ferai point ici, à l'exemple de plusieurs auteurs, l'éloge d'un exercice, qui de tout temps a passé pour le plus noble & le plus utile ; je dirai simplement que mon dessein, en composant cet Ouvrage, a été de rassembler & de mettre dans un ordre méthodique les principes qui peuvent faciliter aux amateurs de la Cavalerie la connaissance de tout ce qui y a rapport.

Cet art, comme l'on sait, renferme trois choses essentielles, qui sont, la connaissance du Cheval, la manière de le dresser, & sa conservation : ce sont aussi ces trois objets, qui sont la matière de cet Ouvrage, que j'ai divisé en trois Parties. [...]

J'avouerai naturellement que ce n'est point de mon propre fond que j'ai tiré la plupart des principes que je donne dans ce Traité. J'ai non seulement puisé ce qu'il y a de bon dans les meilleurs Auteurs qui ont travaillé sur cette matière ; mais j'ai encore consulté les personnes qui par une longue expérience ont acquis la réputation de vrais connaisseurs. C'est avec de pareils garants que j'ose mettre en avant des règles & des principes, dont la théorie est d'autant plus certaine, qu'elle est fondée sur l'autorité & sur la pratique des plus habiles Maîtres de l'Art. Je me borne donc dans mon travail, à développer autant qu'il m'a été possible le vrai, le simple, & l'utile de cet Art, pour éviter aux amateurs de la Cavalerie les ennuyeuses dissertations et les nombreuses redites qu'on a à essayer dans la plupart des Auteurs qui m'ont précédé, & qui loin d'embrasser le tout, n'en ont traité qu'une partie.

Non seulement je me suis appliqué à donner des définitions claires, nettes & précises ; mais pour les rendre encore plus intelligibles, j'ai joint à cet Ouvrage des Planches qui aplaniront & lèveront toutes les difficultés. Ce qui s'expose aux yeux devient infiniment plus sensible dans ces matières, que tout ce qu'on décrit, quel qu'art que l'on y emploie. [...]

Enfin, j'ai tout mis en usage pour réveiller cette ancienne émulation qui régnait dans les beaux jours de la Cavalerie : Et c'est dans cette vue que j'ai cherché à dévoiler des mystères qui semblent n'être réservés que pour un très petit nombre de personnes ; comme si la vérité ne devait pas se répandre universellement, & que la subtilité de cet Art n'appartient absolument qu'à ceux qui se disent Enfants de la balle.

Il faut l'avouer à notre honte, l'amour du vrai beau de cet exercice s'est bien ralenti de nos jours ; on se contente présentement d'une exécution un peu trop négligée, au lieu qu'autrefois on recherchait les beaux airs, qui faisaient l'ornement de nos manèges, & le brillant des revues, des pompes & des parades. [...]

François Robichon de la Guérinière, extrait de la Préface à l'Ecole de Cavalerie, 1733.

1.2.2.1 Un ouvrage complet destiné à un public varié

Dans sa Préface à *L'Ecole de Cavalerie* de l'édition de 1733, La Guérinière exprime clairement ses intentions en publiant son ouvrage : s'appuyant sur les connaissances des maîtres, il veut redonner à l'équitation du XVIIIe siècle ses lettres de noblesse, lui rendre la rigueur théorique et pratique qui a fait des académies des centres de référence. Au-delà, il souhaite rendre ce savoir accessible à un plus grand nombre, et ne plus le garder confiné à un cercle restreint. Cette démocratisation, il ne la fait pas, dit-il, pour les hommes, mais pour le cheval et pour l'amour de l'Art. Il se propose de synthétiser les connaissances dans la manière de monter à cheval, mais aussi dans celles de le sélectionner, de l'éduquer, de l'entretenir, de le soigner. A l'époque où les livres sont encore des produits de luxe, La Guérinière offre à ses lecteurs des illustrations didactiques de tous les thèmes abordés. *L'Ecole de cavalerie*, par les allusions aux anciens et par la matérialisation de l'expérience de son auteur, par ses illustrations, ses multiples éditions et formats, se place à la fois dans la transmission et la modernisation des connaissances équestres.

1.2.2.2 Place de *L'Ecole de Cavalerie* dans la pensée équestre

Avant la deuxième moitié du XVIe siècle, les livres ayant pour sujet le cheval se restreignent pour la grande majorité à des rééditions de livres antiques. La publication en 1550 du livre de Frederico Grisone (Fig. 3) marque le retour des écrits d'hippologie et d'équitation. Ce livre, traduit en France en 1559, sera à l'origine de l'équitation moderne telle que nous la connaissons aujourd'hui. D'autres ouvrages le suivent, comme ceux de Cesare Fiaschi et Pasquale Caracciolo (Deblaise, 2000). Portée par le développement du livre imprimé, la nouvelle pensée équestre naît en Italie et s'étend en France où elle sera adaptée et approfondie. Elle associera de façon durable la connaissance du cheval à la formation morale des élites, nobles puis militaires. Le premier élan de ce nouveau courant livrera en France deux livres notables, la publication de Salomon de la Broue, premier livre en français, *Préceptes principaux que les bons cavaleries doivent exactement adopter* et l'ouvrage posthume de Pluvinel en 1625 *L'instruction du Roy en l'exercice de monter à cheval*. Puis rééditions et copies se succèdent jusqu'à la parution au début du XVIIIe siècle de l'œuvre de La Guérinière (Deblaise, 2000).

1.2.2.3 La science comme explication du savoir

ORDINI DI CAVALCARE,

ET MODI DI CONOSCERE LE
nature de' Caualli, emendare i vicii loro,
& ammaestrargli per l'vfo della
guerra, & comodità de
gli huomini .



CON LE FIGURE DI DIVERSE SORTI DI
Morfi, secondo le bocche, & i maneggiamenti de' Caualli.

Opera nuova, & utilissima ad ogni sorte di persona di conto.

COMPOSTA DAL SIG. FEDERICO
Grifone Gentil'huomo Napolitano .

Et tutta di nuovo ricorretta, & migliorata da gli errori
delle prime impressioni .



IN PESARO Appresso Bartolomeo Cefano.
M D LVIII.

Fig. 3 : Première de couverture du traité de
F. Grisone *Ordini di cavalcare*, 1558

La pensée de la Guérinière s'inscrit dans le courant rationaliste, qui cherche à chaque fait une cause et le généralise dans le temps (Auriol-Jollinier, 2000). La distinction est faite entre l'observé et l'observateur. Ce dernier traduit la réalité observée de façon rationnelle et méthodique, l'analyse. La démarche hiérarchisée et rationalisée se retrouve dans le plan même de l'ouvrage : le comportement et l'anatomie du cheval, les critères morphologiques permettant de juger de la valeur de l'animal, la description du matériel, puis des allures, des airs et enfin des joutes. Le texte s'appuie sur des illustrations didactiques. La Guérinière place également la théorie en amont de la pratique, le postulat comme base. Afin d'appliquer la théorie à la pratique, La Guérinière s'emploie tout de même à décrire les gestes avec précision. Pour d'Auriol-Jollinier (2000) il ressort de la lecture de *L'Ecole de Cavalerie* le message suivant : 'du beau ressort le bon'.

Ces nouveautés contribueront à la promotion de l'ouvrage, et à l'image qu'il nous laisse aujourd'hui (Deblaise, 2000). La Guérinière simplifie les moyens de dressage du cheval, apporte des modifications au harnachement, définit l'équilibre du cheval, la rectitude de la position du cavalier (Guillotet, 2000a). La première description des allures des chevaux est faite par Prévaille en 1717 ; La Guérinière s'y attachera également en 1729. Ce dernier comptera parmi les précurseurs des auteurs cherchant à faire concorder les aides du cavalier avec l'anatomie du cheval et la mécanique des allures (Franchet d'Espèrey, 2000a).

1.2.2.4 Un livre riche par son fond et sa forme

Si la publication de *L'Ecole de Cavalerie* apporte un renouveau par son fond, l'ouvrage l'est également par sa forme. Alors que sa première édition, en faible tirage et au format in-folio, le destine à l'élite des élèves de La Guérinière, les éditions suivantes sont d'un plus petit format, sur un papier de plus faible grammage et tirés à plus grand nombre d'exemplaires (Deblaise, 2000). Son prix plus abordable le destine à un plus large public. Un abrégé est même édité du vivant de La Guérinière au format de voyage : *Traité de Cavalerie*.



Fig. 4 : « Officier de Cavalerie » Gravure extraite de *L'Ecole de Cavalerie*, 1736. Chaque gravure de *L'Ecole de Cavalerie* présente une contextualisation de l'image par son arrière-plan particulièrement détaillé, contribuant à la richesse de l'œuvre.

La richesse de l'œuvre passe aussi par le nombre et la qualité de ses illustrations. Non seulement ces dernières sont encore rares au XVIIIe siècle - Fiaschi avait déjà utilisé l'image pour l'apprentissage au début du XVIe siècle - mais La Guérinière choisit, pour illustrer son livre, des artisans en vue (Deblaise, 2000). En 1730, Charles Parrocel est en France le meilleur dessinateur de chevaux (Jollet, 2000). Certains croquis retrouvés laissent penser que Parrocel les aurait fait dans le manège, en observant directement le travail des chevaux. Cette anecdote témoigne de la réelle volonté de La Guérinière de rendre ces illustrations didactiques. La qualité des encarts, de la reliure et de la dorure témoignent du savoir-faire de l'éditeur et du typographe. Les gravures sont également le fruit d'artisans de renom, bien que non spécialisés dans la représentation du cheval (Jollet, 2000) (Fig. 4 et Fig. 5).



Fig. 5 : Gravure extraite de l'ouvrage de W. Cavendish traduit par J. de Solleysel. *Nouvelle méthode pour dresser les chevaux*. Paris 1700. La gravure présente bien moins de détails que celles réalisées par Parrocel pour *L'Ecole de Cavalerie*.

Bien que l'auteur prône, dans sa Préface, une 'universalité' du savoir, il montre une respectueuse déférence à l'égard de l'élite sociale. Les illustrations témoignent du respect des castes, en offrant des portraits individuels et à cheval des plus illustres élèves de La Guérinière, comme le prince de Nassau ou le comte de Saint Aignan (Jollet, 2000). La vie des académies est régie par les manifestations de sociabilité qui associent des figures relativement similaires les unes aux autres. Les illustrations de *L'Ecole de Cavalerie* soulignent l'homogénéité sociale de l'ensemble constitué par les personnages représentés – rappelant celle de l'académie. Les portraits des illustres peuvent aussi être interprétés comme une vitrine pour les académies de l'auteur, affirmant ainsi quelles personnalités il a l'honneur de compter comme élèves.

Victime de son succès et comme beaucoup d'autres ouvrages de référence avant lui, *L'Ecole de cavalerie* sera repris ou abrégé dans de nombreux ouvrages signés d'autres auteurs par la suite, le plus notable étant *l'Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, publié de 1751 à 1772.

1.2.2.5 Un livre au service du cheval

L'ouvrage de La Guérinière prend également en compte, tout au long de ses pages, une importante dimension éthique. Ce faisant, il intègre le respect de la personnalité et de la sensibilité du cheval à chaque étape de sa progression. Comme leur nom l'indique, les 'aides' – chambrières, éperons, personne à pied... - ne sont pas là pour malmener le cheval, mais pour lui faire comprendre ce que l'on attend de lui et le guider dans l'exercice. Le cavalier attendra que la croissance du jeune cheval soit achevée, pour ne pas lui nuire. Les premiers exercices se feront en caveçon, puis avec un mors doux. Dans ce domaine, La Guérinière, comme ces prédécesseurs, cherchera à adoucir les embouchures proposées, et à toujours utiliser la plus douce possible pour chaque cheval. Dans le déroulement de son traité, avant d'aborder le travail du cheval, il abordera celui du cavalier, les écueils dans lesquels il ne doit pas se fourvoyer, sa part de responsabilité. Ces réflexions témoignent de l'importance donnée au cheval ; le brillant n'est pas celui du cavalier, mais celui du couple cavalier-cheval.

1.3 Polémiques autour de l'Ecole de Cavalerie

L'Ecole de Cavalerie et ses multiples rééditions feront affaires de références jusqu'à la publication un siècle plus tard, en 1833, du *Dictionnaire raisonné d'équitation* de François Baucher (Deblaise, 2000). Mais les hommes de chevaux continueront leur quête de l'équitation parfaite, et, dans leurs louanges comme dans leur volonté de renouveau, prendront comme base de leurs réflexions l'ouvrage le plus connu alors et le plaçant au centre de toutes les polémiques – *L'Ecole de cavalerie*.

Si l'œuvre de La Guérinière est toujours très présente dans les mémoires, l'histoire de l'équitation est jalonnée, depuis le XVI^e siècle, de nombreuses publications. Des livres entiers sont dédiés à l'anatomie, la locomotion, à la médecine équine. Comme souvent, ces traités apportent des connaissances et un regard nouveaux à des acquis anciens, parfois vieux de plusieurs siècles (Van Weeren, 2013). Il est parfois reproché à La Guérinière de revendiquer la paternité de l'épaule en dedans (Franchet d'Espèrey, 2000a) pourtant, l'écuyer annonce, dans sa préface, ne faire que donner ses impressions et ses méthodes sur les textes des maîtres d'autrefois. Salomon de La Broue et le Duc de Newcastle sont cités à

plusieurs reprises comme les précurseurs du travail de Haute Ecole, et La Guérinière apporte une autre vision de leurs exercices, apportée par les années de réflexion séparant les trois écuyers.

Un siècle plus tard, au sortir d'une période historique instable scindant la France en clans, François Baucher (Fig. 6), roturier, représentant de la république et de l'équitation moderne, tente de s'imposer dans un monde équestre classique hérité et régi par la noblesse et les hauts militaires, représenté par le comte d'Aure (Scali, 2010 ; Pradier, 2010).

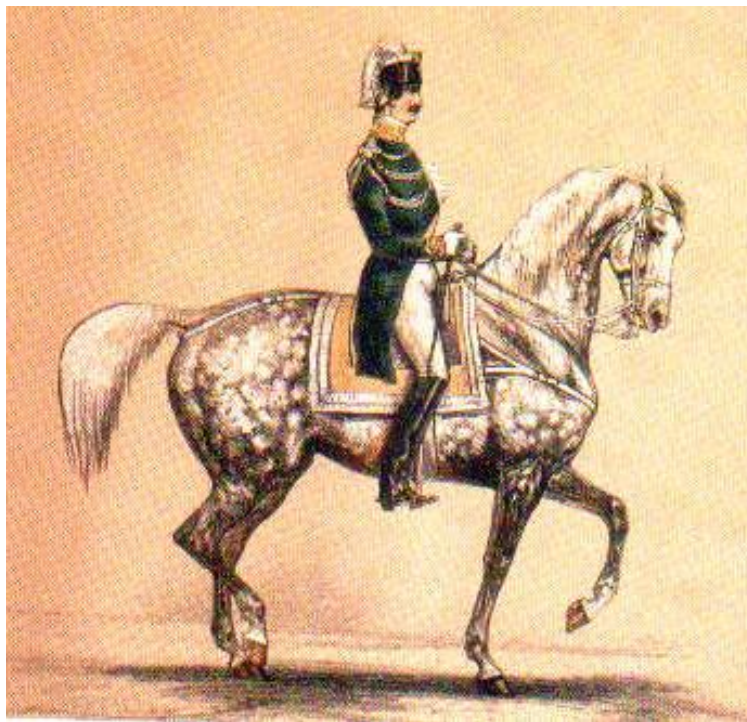


Fig. 6 : François Baucher à cheval d'après www.equi-libre.net. Les multiples représentations de l'écuyer en selle témoignent d'une morphologie commune de ses chevaux, différente de celle des chevaux de La Guérinière : le modèle est allégé, le dos long et droit, l'encolure et la tête fine.

Pradier (2010) qualifie le rassembler proposé par Baucher de 'rassembler de deuxième manière', le premier étant celui de l'équitation dite classique, incarnée par La Guérinière et ses disciples. Selon Pradier (2010), les principales différences entre les deux formes de rassembler sont les suivantes : chez Baucher, l'élévation de l'encolure est maximum et l'abaissement des hanches et l'engagement des postérieurs sont diminués. Moins chargés, ces derniers présentent une activité plus marquée et des gestes plus démonstratifs. En contrepartie, le cavalier perdrait les informations fournies par la tension sur les difficultés locomotrices du cheval. Face aux longues années de travail nécessaires à l'aboutissement d'un cheval 'classique',

le cheval 'moderne' est mis en quelques mois. Il est difficile de savoir si le conflit – matérialisé par l'opposition des partisans de Baucher et de ceux du comte d'Aure – concerne uniquement l'art de dresser les chevaux ou l'opposition d'une équitation destinée à tous ou réservée à une élite. Baucher reproche à ses prédécesseurs de ne s'appliquer qu'aux chevaux bien conformés et non à tous les chevaux (Scali, 2010). La dichotomie entre équitation moderne et classique reste aujourd'hui encore très présente dans les mémoires, et bien souvent on ne connaît La Guérinière et Baucher que par les conflits qui les opposent, à un siècle de décalage. Pourtant, ils ont tous deux œuvré à la simplification du travail du cheval, limitant l'emploi des enrênements, inventant de nouveaux mors, plus simples, permettant au cheval de s'exprimer pleinement. Le nouveau directeur de Saumur à la mort du comte d'Aure, le commandant Guérin, s'efforcera de transmettre à ses élèves une méthode inspirée des deux courants.

Depuis la parution du premier tome de *l'Ecole de Cavalerie*, l'auteur et ses ouvrages auront fait – et font toujours - couler beaucoup d'encre. Il ressort toutefois que les avis sont rarement nuancés : on aime ou on renie les réflexions de François Robichon de la Guérinière.

La lecture proposée ici de l'Ecole de Cavalerie se fera par comparaison, lorsque cette dernière sera possible, avec les connaissances actuelles en biomécanique et locomotion du cheval. Le déroulement sera celui proposé par La Guérinière dans le premier tome de son ouvrage, d'après la publication de 1733 disponible dans les fonds anciens de la bibliothèque de VetAgroSup – Campus Vétérinaire de Lyon.

2 Morphologie et connaissances générales en locomotion du cheval

2.1 Une corrélation du vocabulaire facilitant la lecture du texte original

Souhaitant son ouvrage complet et didactique, La Guérinière présente en première partie la morphologie du cheval, la description des structures anatomiques et l'énumération des critères d'appréciation de ces derniers. Contemporain de Claude Bourgelat, qui avait illustré les murs de son manège de planches anatomiques vétérinaires, La Guérinière n'aborde l'ostéologie, les maladies et leurs remèdes, la chirurgie et l'élevage que dans le second tome de *L'Ecole de Cavalerie*, paru en 1736 et que nous n'aborderons pas ici.

La dénomination courante des régions anatomiques du cheval (Fig. 7), telle qu'elle est enseignée au cavalier, a traversé les siècles. Elle est identique aujourd'hui à celle employé par La Guérinière dans son traité, l'orthographe a simplement été modernisée. Cette concordance facilite grandement la lecture du texte dans son édition originale. L'emploi du terme « *jambes de devant* » ou « *jambes de derrière* » s'est un peu perdu et on parle plus volontiers aujourd'hui d'« antérieurs » pour les membres thoraciques et de « postérieurs » pour les membres pelviens. Les termes de « *gosier* », de « *canal* » ont également disparu du vocabulaire équestre.



Fig. 7 : Nomenclature de la morphologie extérieure du cheval, telle qu'elle est décrite et illustrée dans *L'Ecole de Cavalerie*. Gravure de Charles Parrocel pour *L'Ecole de Cavalerie*, Paris 1733.

2.2 Corrélation entre les structures anatomiques et leur fonction

Les avancées anatomiques et biomécaniques nous permettent aujourd'hui d'associer à chaque structure une fonction et un rôle dans la biomécanique du cheval. Cette compréhension permet d'appréhender les conséquences pathologiques de leurs lésions et de les prévenir. Au XVIII^e siècle, l'examen physique du cheval est la seule source d'investigation disponible du cheval boiteux et les connaissances anatomiques s'appuient sur les premiers travaux de dissection. Dans *L'Ecole de Cavalerie*, deux structures anatomiques sont particulièrement étudiées :

- l'ensemble des structures palmaires/plantaires distales du membre, dont la connaissance est essentielle pour juger de la qualité des membres du cheval et le maintenir en bon état (choix des sols...) ;
- le pied, ses principales pathologies, et son importance dans le suivi quotidien du cheval.

2.2.1 Structures tendineuses de la face palmaire/plantaire du métacarpe/métatarse

2.2.1.1 Corrélation anatomique

Les structures tendineuses de la face palmaire/plantaire du métacarpe/métatarse sont regroupées dans *L'Ecole de Cavalerie* sous le terme de « *nerf de la jambe* ». Ce « *tendon [...] dont la qualité contribue beaucoup à la bonté de la jambe* » correspond probablement au tendon fléchisseur superficiel du doigt (TFSD), aisément palpable juste sous la peau. En réalité, la face palmaire/plantaire de l'extrémité distale du membre regroupe un complexe réseau de structures variées (Fig. 8).

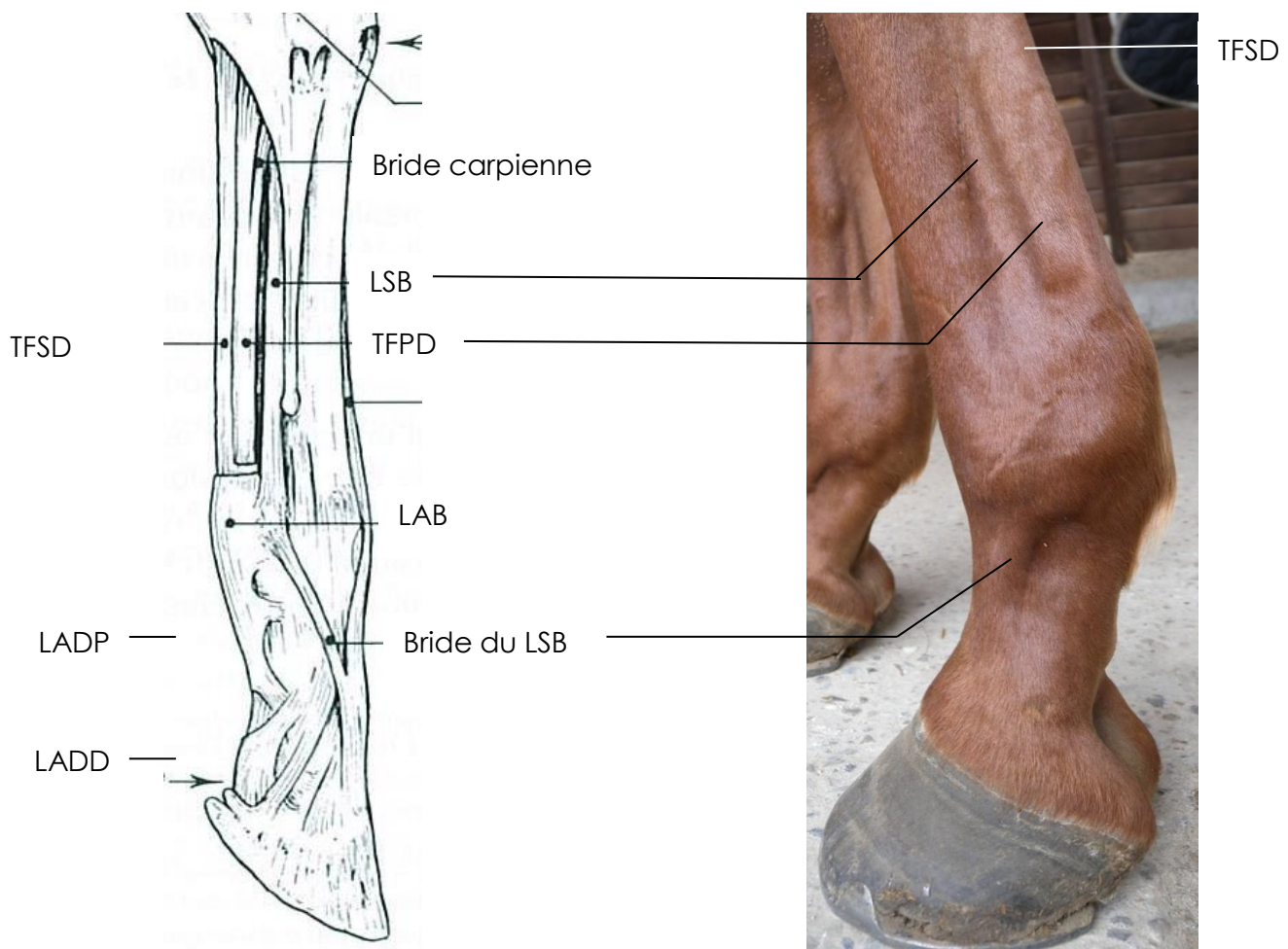


Fig. 8 : Principales structures anatomiques du métacarpe du cheval. Seules celles de la face palmaire sont précisées. Dessin extrait de Barone, 1989b. Photo : M. Gangl. Légendes d'après Barone, 1989b ; Budras et al, 2009. LSB : Ligament Suspenseur du Boulet. TFSD : Tendon Fléchisseur Superficiel du Doigt ; TSPD : Tendon Fléchisseur Profond du Doigt ; LAB : Ligament Annulaire du Boulet ; LADP : Ligament Annulaire digital Proximal ; LADD : Ligament Annulaire Digital Distal

La possible corrélation entre le « *nerf de la jambe* » et le TFSD est toutefois nuancée par la fonction qui lui est attribuée : « *la vigueur du nerf empêche le boulet de trop plier* », ce qui peut laisser penser que, si la structure facilement palpable sur la face palmaire/plantaire de la région métacarpienne/métatarsienne est bien le TFSD, il est attribué au « *nerf de la jambe* » les fonctions de l'appareil suspenseur plus que celui de l'appareil fléchisseur. Ainsi, il est probable qu'un amalgame soit fait entre les différentes structures, non différenciées, et selon une fonction 'logique' par observation : le boulet descend mais ne touche pas le sol. Une structure longitudinale suit le canon, autorisant et en même temps limitant la descente du boulet, comme la corde d'un yoyo. La corrélation entre les principales structures de la face palmaire/plantaire connues aujourd'hui et celles décrites par La Guérinière est établie dans le Tab. I.

Tab. I : Corrélation entre les principales structures de la face palmaire/plantaire de l'extrémité distale du membre du cheval aujourd'hui connues et celles présentées dans L'Ecole de Cavalerie. D'après La Guérinière, 1733 ; Barone, 1989b.

Structures aujourd'hui connues	Ligament suspenseur du boulet	Tendon fléchisseur profond du doigt	Tendon fléchisseur superficiel du doigt	Gaines tendineuses	Ligaments sésamoïdiens distaux
Structure équivalente dans l'Ecole de Cavalerie	Nerf de la jambe par la fonction qui lui est attribuée	/	Nerf de la jambe par sa localisation anatomique	/	/

La Guérinière mentionne toutefois « *un autre petit nerf, qui est un ligament en forme d'Y renversé, qui unit l'os du canon avec le boulet* ». Cette structure serait-elle la bride du LSB, bien que la localisation ne corresponde pas exactement ?

2.2.1.2 Critère d'évaluation du « nerf de la jambe »

La Guérinière veut le nerf de la jambe « *gros sans dureté ni enflure ; détaché et éloigné de l'os du canon sans aucune humeur ni grosseur entre-deux, qui fasse paraître la jambe ronde* ». L'appréciation du « nerf » se fait par palpation. Ross et al. (2011) rapportent la difficulté du diagnostic des lésions du TFSD avant l'utilisation en routine de l'échographie. Les critères d'évaluation du TFSD rapportés par La Guérinière correspondent à ceux précisés par Ross et al. (2011) : gonflement, amincissement, douleur à la palpation, aspect macroscopique du TFSD, chaleur, séparation à la palpation du TFSD et du tendon fléchisseur profond du doigt (TFPD) (Tab. II). Toutefois l'écuyer ne fait à aucun moment mention dans son ouvrage de la probable boiterie associée, quelle que soit son grade et sa caractérisation.

Tab. II : Corrélation entre les signes cliniques décrits par La Guérinière en cas d'atteinte du TFSD et les atteintes les plus fréquentes aujourd'hui connues de cette structure. Les anomalies rapportées par La Guérinière sont détectables par palpation. D'après Fiske-Jackson, 2014 ; La Guérinière, 1733 ; Ross et al, 2011, Thorp et al, 2015.

Signes d'une anomalie du « nerf de la jambe » rapportés par La Guérinière	Corrélation avec les atteintes fréquentes du TFSD rapportées aujourd'hui
Chaleur, gonflement, douleur	Tendinite en phase aiguë
« Dureté » et douleur	Témoignage d'une atteinte ancienne dont le tissu de cicatrisation, moins élastique, est de mauvaise qualité (« reparative healing »). Le pronostic pour un retour à la performance est réservé, le risque de récurrence important. Tendinite en phase de remodelage Minéralisation dystrophique ?
« Glaires mouvantes »	Epanchement de la gaine digitale, de la gaine carpal ou de l'articulation métacarpo/tarso-phalangienne
Déformation de la face palmaire/plantaire du canon	Témoignage d'une atteinte ancienne dont le tissu de cicatrisation, moins élastique, est de mauvaise qualité et épaissi (« banane »). Le pronostic pour un retour à la performance est réservé, le risque de récurrence important.
Amincissement	Traduction de la phase finale de cicatrisation d'une atteinte antérieure du TFSD

2.2.1.3 Critères d'évaluation des anomalies de l'appareil locomoteur

La Guérinière accorde dans son ouvrage une grande importance à la description des structures saines et des principales anomalies rencontrées. A cette évaluation à distance et par palpation de l'appareil locomoteur s'ajoute un court paragraphe sur l'examen de boiterie.

L'examen de boiterie suit un protocole proche de celui communément utilisé aujourd'hui et occupe le premier paragraphe du chapitre intitulé « [...] manière d'examiner un Cheval avant que de l'acheter » : « La première chose à examiner lorsque la figure d'un Cheval qu'on veut acheter nous plait, c'est de voir si il ne boite point en le faisant trotter en main sur le pavé. »

Le critère d'appel de la boiterie au trot est encore en vigueur aujourd'hui : « Un cheval qui boite marque tous les temps du trot avec la tête & appuie ferme à terre & promptement le pied de la jambe dont il ne boite point pour soulager l'autre. » La Guérinière accorde également de l'importance à l'examen à distance et à la palpation, comme il est explicité pour l'évaluation du « nerf de la jambe ». L'examen à distance puis rapproché, puis l'examen dynamique au pas et au trot en ligne droite sur sol dur et souple, puis sur le cercle aux deux mains constitue la base de l'examen locomoteur. A cela, peuvent s'ajouter des tests de flexions dynamiques, des anesthésies locorégionales ou de l'imagerie (Mitchell, 2012).

2.2.2 Troisième phalange

La troisième phalange est appelée « *petit pied* ». La Guérinière la décrit comme « un os spongieux, renfermé dans le milieu du sabot, entouré d'une chair, qui lui sert de nourriture ». La « chair » correspond à la membrane kératogène, regroupant elle-même le derme sous-ongulé et la couche germinative basale de l'épiderme. Elle est mise à nu lorsque la boîte cornée du sabot est enlevée (Sawaya, 2011). Le podophylle présente l'aspect lamellaire rapporté par La Guérinière. Les première et deuxième phalanges sont respectivement dénommées « *os du paturon* » et « *os de la couronne* » ; les os sésamoïdes proximaux se nomment « *os triangulaires* » ; il n'est pas fait mention de l'os sésamoïde distal ni du coussinet digital ni des coussinets ungulaires (La Guérinière, 1733 ; Sawaya, 2011).

La description du pied du cheval entre dans la compréhension de la pathologie du pied. A ce titre, il est intéressant de noter qu'il est acquis, pour La Guérinière, du lien de cause à effet entre la conformation du pied et les conséquences sur la locomotion.

2.2.3 Une relation structure/fonction encore incertaine

Les fonctions exactes des structures anatomiques ne sont pas abordées dans *L'Ecole de Cavalerie*. Sont-elles connues à l'époque de l'écuyer et a-t-il fait le choix de ne pas en parler ? Les sources trouvées ne permettent pas d'y répondre. L'accent est pourtant mis sur les structures 'à risques', les éléments traduisant leur lésion, les conformations à éviter ou au contraire à rechercher et les propos tenus par La Guérinière sont justes. Les structures mises en avant par La Guérinière ont été et sont aujourd'hui la motivation de nombreuses études traduisant leur complexité. Il est donc difficile d'affirmer qu'un lien entre structure et fonction ait motivé les propositions d'exercices faites dans *L'Ecole de Cavalerie*. L'œuvre semble bâtie sur l'empirisme, une observation poussée des conséquences d'un exercice sur les structures connues du cheval, et un apprentissage par essai-erreur ne pouvant que s'enrichir au fil du temps et des expériences.

3 Lecture des données de maréchalerie

« La ferrure est de toutes les parties qui regardent la connaissance du cheval l'une des plus utiles, & qui mérite le plus d'attention ; puisqu'on voit tous les jours plusieurs braves Chevaux périr par les pieds qui font le fondement de tout l'édifice, pour avoir été mal ferrés, & faute de savoir y apporter remède. »

François Robichon de la Guérinière. *L'Ecole de Cavalerie*. Paris, 1733 : 40

3.1 Techniques d'exploration du pied du cheval

Le Tab. III présente les principales techniques actuellement disponibles dans l'étude de la biomécanique du pied du cheval.

Tab. III : Aperçu des principales techniques aujourd'hui disponibles pour explorer la biomécanique du pied du cheval. D'après Château et al, 2014 ; Hobbs et Clayton, 2013 ; Harrison et al. 2012 ; Licka et al. 2009 ; Crevier-Denoix et al, 2011

Technique	Objectifs	Avantages	Inconvénients
<p align="center">EMG (Electromyographie)</p>	<p>Comprendre la fonction des muscles pendant le mouvement</p>	<p>Non invasif pour certains types d'EMG Non douloureux Utilisable sur plusieurs cycles successifs</p>	<p>Mesure de l'activité électrique locale autour de l'électrode : peut varier au sens du muscle au cours de la contraction La localisation variable des électrodes et leur sensibilité peut faire varier les profils d'une étude à l'autre pour un même muscle Difficulté d'atteindre tous les muscles, de plus, les chefs de certains muscles ont l'un par rapport à l'autre des comportements différents Petits muscles : le signal des muscles voisins peut être capté, modifiant ainsi l'amplitude du signal mesuré Interférence des mouvements de la peau Invasif pour certains EMG</p>
<p align="center">Plateforme de force</p>	<p>Mesure des forces et des décélérations du pied, étude des interactions entre le pied et le sol Gold standard pour mesurer le GRF (Buchner, 2001 à lire cité dans Hobbs et Clayton 2013)</p>	<p>Les forces moyennes obtenues sur plusieurs échantillons peuvent être synchronisées pour reconstruire le profil des forces sur les quatre membres pendant une foulée complète</p>	<p>Fixation au sol nécessaire. Ne permet pas d'effectuer des mesures à grandes vitesses ni sur différents types de sols.</p>

<p>Fer instrumenté ou fer dynamométrique</p>	<p>Mesure directe de la réaction du sol sur le sabot Mesure des forces verticales, horizontales et transversales exercées sous le pied du cheval Connaitre la répartition des efforts sur la paroi du sabot et sur la trajectoire du centre de pression</p>	<p>Absence de contrainte de fixité au sol</p>	
<p>Accéléromètre triaxial</p>	<p>Caractériser le choc du pied sur le sol et les vibrations générées par ce choc</p>		
<p>Marqueurs cinématiques et caméra haute fréquence</p>	<p>Analyser les mouvements articulaires, l'orientation et les glissements du sabot</p>		<p>Instrumentation lourde et couteuse Mesures réalisées dans un labo ou un espace très délimité</p>
<p>Etude sur cadavres</p>	<p>Etude des structures anatomiques</p>	<p>Complémentée par des études d'histologie, de marqueurs histochimiques... Affranchissement des contraintes liées au vivant</p>	<p>Etude ex-vivo</p>

3.2 Nomenclature du pied du cheval

Tout comme les termes concernant la morphologie du cheval, ceux désignant le pied du cheval n'ont pas changé. Les termes de « *talons* », « *quartiers* », « *pince* », « *sole* », « *fourchette* » sont déjà employés au XVIIe siècle. Ceux de 'lacunes de la fourchette', 'ligne blanche', 'glomes', 'mamelles', 'barre' ne sont pas répertoriés dans *L'Ecole de Cavalerie* de 1733. Le [Tab. IV](#) définit ces termes et la [Fig. 9](#) présente la nomenclature des structures du pied.

[Tab. IV](#) : Définitions des principales structures du pied du cheval. En *italique* les définitions données par La Guérinière dans *L'Ecole de Cavalerie*. D'après glossaire e-hoof.com ; La Guérinière, 1733

	Dénomination	Définition dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i>	Définition ou terme d'usage aujourd'hui si différent de celui de 1733
« partie supérieure du pied »	<i>Sabot</i>	« toute la corne qui règne autour du pied »	
	Quartiers	« les deux côtés du sabot, depuis la Pince jusqu'au Talon. On dit Quartier de dedans & Quartier de dehors »	Aujourd'hui, on préfère l'utilisation des termes de 'quartier interne' et quartier externe'
	<i>Pince</i>	« le bout de corne, qui est au-devant du pied »	
	<i>Talon</i>	« la partie de derrière du pied, où se terminent les quartiers, à l'opposé de la pince »	
	Mamelles	Non mentionné	Segment du côté du pied situé entre la pince et le quartier
	Barres	Non mentionné	Replis de la muraille, qui s'infléchissent à angle aigu le long de la fourchette; elles ont la même structure que le reste de la paroi.
	Lacune de la fourchette	Non mentionné	Dépansions de chaque côté de la fourchette, marquant la transition entre la corne de la fourchette et celle des barres et de la sole
	Glomes	Non mentionné	Structures élastiques, légèrement convexes et prolongeant la fourchette du sabot
« partie inférieure du pied »	<i>Fourchette</i>	« corne tendre et molle, placée dans le creux du pied, qui se partage en deux branches vers le talon en forme de fourche, d'où lui vient le nom de Fourchette »	
	<i>Sole</i>	« espace de corne que l'on voit dans le creux du pied, entre les quartiers et la fourchette. C'est une corne plus dure que celle de la fourchette, & plus tendre, que celle du sabot »	

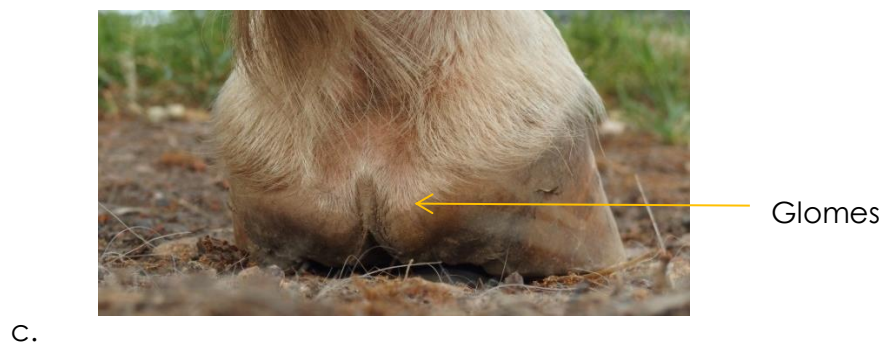
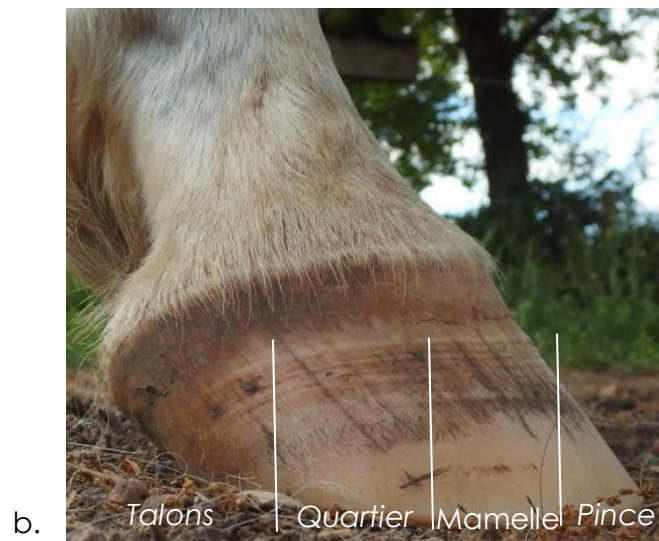
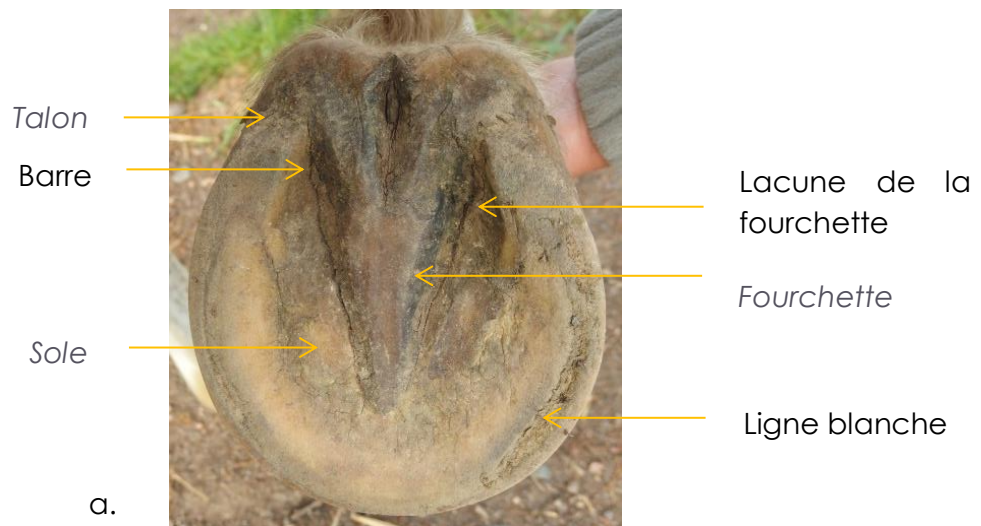


Fig. 9 : Nomenclature des principales structures du pied du cheval. Les termes en *italique* sont ceux mentionnés dans *L'Ecole de Cavalerie* de 1733. a. Face solaire. b. Vue latérale. c. Vue palmaire. Légende d'après glossaire e-hoof.fr ; La Guérinière, 1733 ; Vanschepdale, ? ; Sawaya, 2011. Pour La Guérinière, la corne blanche est considérée « cassante ».

3.3 Analyse de la conformation du pied du cheval

La Guérinière met particulièrement en garde ses lecteurs contre les anomalies du pied du cheval, et fait la dichotomie entre les chevaux de manège pour lesquels les aplombs doivent, sinon être irréprochables, au moins répondre à certains critères ; et les autres. Les chevaux aux mauvaises conformations, en particulier ceux aux pieds comblés, sont prédisposés aux boiteries et donc « *tout au plus bon que pour la charrue* ». Il leur apprend également qu'un pied cerclé traduit une souffrance de la structure – une fourbure.

3.3.1 Anomalies de conformation du boulet et du paturon

La conformation du boulet et du paturon est également un élément important. Si les chevaux présentant une légère laxité du boulet sont utilisés pour le manège ou pour la parade, ils sont fortement déconseillés pour l'attelage. Ces chevaux se reconnaissent aux « *boulet[s] menu[s]* » mais ils sont alors « *trop flexible[s] ce qui rend [le cheval] sujet aux molettes ; et il ne peut pas supporter un long travail* ».

Les pathologies du boulet et du paturon sont rattachés à la ferrure. Ainsi, chez un cheval droit jointé les talons ne doivent pas être gardés trop hauts afin de prévenir la bouleture. La Guérinière tient en moins bon estime les chevaux longs jointés, « *défaut de construction sans remède* ». Ces observations sont toujours d'actualités aujourd'hui.

3.3.2 Anomalies de conformation du pied

Les anomalies de conformation du pied sont rattachées à des pathologies du pied au sens strict. Par exemple, les chevaux aux talons fuyants et longs en pince boiteront car la fourchette, partie sensible du pied, est trop au contact du sol. La principale entité pathologique rattachée aujourd'hui à cette conformation est le syndrome podotrochléaire. Ce terme regroupe toutes les pathologies de la région

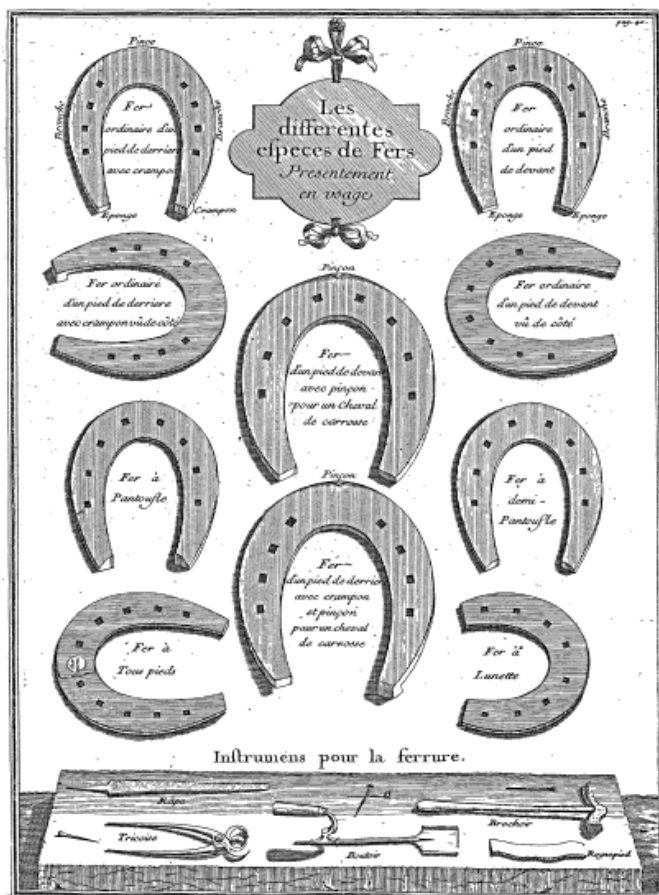
palmaire du pied. Lorsqu'un cheval possède une pince longue et un talon fuyant, la sollicitation du TFPD augmente, en particulier au niveau de son point de coulissage sur l'os sésamoïde distal ou os naviculaire. Ces deux structures ne sont pas rapportées par La Guérinière et de manière générale, aucune corrélation n'est faite avec des lésions du « *nerf de la jambe* ». Comme nous l'avons remarqué au paragraphe précédent, le lien entre les pathologies du pied et celles des structures supérieures ne semblent pas être établi.

Bien que les connaissances anatomiques soient moins étendues qu'aujourd'hui, certaines remarques sont déjà pertinentes :

- Le lien est établi entre l'encastelure et la non-utilisation du pied, car « *cette partie est privée de nourriture* ». Le lien a donc été fait entre le développement du pied et son utilisation.
- La corne de la sole est plus tendre que celle de la paroi (La Guérinière, 1733 ; Château et all, 2002).

3.4 Maréchalerie et ferrures orthopédiques

3.4.1 Vocabulaire de maréchalerie



« Le fer d'un cheval, est une pièce de fer, plate, tournée en rond du côté de la pince ; composée de deux branches, d'une pince, de deux éponges, & quelquefois d'un ou de deux crampons. »

François Robichon de la Guérinière.
L'Ecole de Cavalerie. Paris, 1733 : 75

Fig. 10 : Ci-contre Illustrations des différents types de fers présentés par La Guérinière dans *L'Ecole de Cavalerie*

Le vocabulaire de maréchalerie employé aujourd'hui présente de très nombreuses similitudes celui du XVIIIe siècle : rogne-pied, brochoir, boutoir, triquoise, rogne-pied, râpe, repoussoir, forger, brocher, parer, percer, étamper, enclouer, couder, branches, pinces, éponges, crampon... La nomenclature même du fer est identique (Fig. 10 et Fig. 11). Quelques nuances existent toutefois : les fers présentés par La Guérinière ne semblent pas posséder de rainure ; le terme de crampon désigne au XVIIIe le repli du fer sous les éponges. Ce dispositif se retrouve encore aujourd'hui dans certaines ferrures, notamment chez les chevaux de course de trot (Adams, 2005a) ; mais les crampons peuvent être remplacés par des pointes amovibles en tungstène. Leur usage est controversé au XVIIIe et si La Guérinière reconnaît que leur utilisation permanente « [ruine] & [soule] les nerfs », il les préconise lors du travail sur terrain glissant : « la conservation du Cavalier est préférable à celles des jambes du cheval ». Aujourd'hui encore, leur usage se limite à des cas restreints, en particulier le travail sur sol glissant ou dans un but de modification de la locomotion. Les crampons retardent en effet le départ du pied.

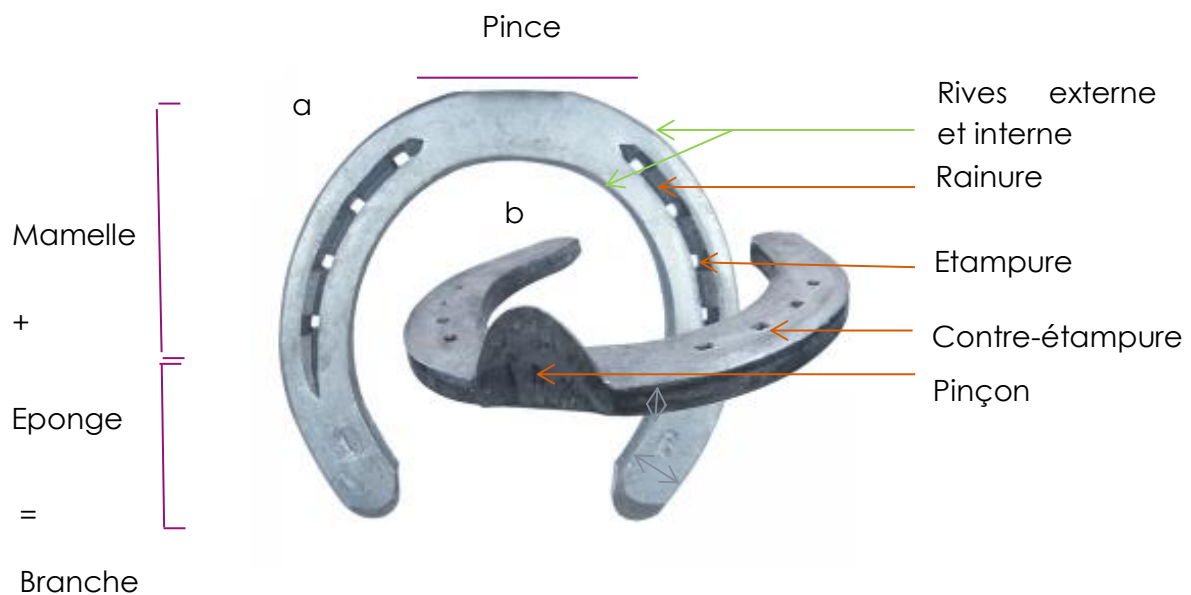


Fig. 11 : Nomenclature des faces inférieure au contact du sol (a) et supérieure au contact de la corne (b) d'un fer à cheval. Image légendée d'après Adams, 2005a. Image : Fer acier RH 20x8 Antérieur un pinçon Redijan www.france-maréchalerie.fr

La pince du fer est en regard de la pince du sabot ; les branches couvrent les quartiers du sabot ; les éponges du fer répondent aux talons.

L'espace entre les deux rives du fer se nomme voûte. On parle de la largeur de la voûte sous le terme de couverture.

On appelle garniture le bord du fer dépassant des bords extérieurs de la muraille.

3.4.2 Règles générales de maréchalerie

3.4.2.1 Les quatre règles « essentielles »

La Guérinière pose quatre règles essentielles en maréchalerie :

- pince en avant et talon derrière ;
- n'ouvrir jamais les talons ;
- employer les clous les plus fins possibles ;
- faire les fers les plus légers selon le pied et la taille du cheval.

La première règle, mettre les clous plus en pince aux antérieurs pour préserver les talons et ne pas enclouer la pince des pieds postérieurs, est toujours d'actualité aujourd'hui. Ainsi, les fers antérieurs sont cloués en pince mais pas en talons ; les fers postérieurs sont cloués aux talons mais pas en pince. Cette assertion est toutefois à moduler en fonction du type de pied. Baup (2013) indique que chez les chevaux présentant des pieds plats, toute pression ou levier excessif de la pince peut être à l'origine de disjonction des tissus lamellaires du pied.

Si La Guérinière conseille de ne pas parer en talon afin d'éviter l'encastelure, Adams (2005b) met également en garde contre cette pratique afin de prévenir la brisure de l'axe phalangien et donc des sollicitations anormales du TFPD et de l'os sésamoïde distal ; structures inconnue à la lecture de *L'Ecole de Cavalerie*. Plusieurs théories se sont affrontées concernant les structures ayant un rôle dans l'amortissement du pied. La 'théorie de la dépression', proposée par Barcy-Clarke en 1817 émet le postulat suivant : l'orientation des talons autorise leur déformation spontanée pendant l'appui ; la fourchette vient par la suite combler le vide laissé (Château et al, 2014). A la fin de la phase d'appui, les talons se contractent à nouveau pour retrouver une taille identique puis plus petite que celle qu'ils avaient avant le poser du pied (Hunt, 2012). Ce cycle d'expansion/rétraction des talons se répète à chaque cycle du poser du pied. L'ablation des talons viendrait perturber cette déformation et donc le rôle d'amortissement du pied. D'un point de vue des pathologies du pied, des talons bas favorisent la mise en tension du TFPD et la compression de l'os sésamoïde distal (Hunt, 2012).

Concernant la dernière règle, le maréchal dispose aujourd'hui d'un nombre important de matières : caoutchouc, aluminium, acier, plastique... qui n'existaient pas en 1733. Le choix du matériel repose sur la locomotion du cheval, que l'on

cherche à préserver, ses éventuelles pathologies, la nature du sol sur lequel il évolue, l'utilisation qui en est faite. Pour La Guérinière, des fers lourds « *lassent & fatiguent le Cheval* » qui défère également plus souvent. L'utilisation de fer lourd rend les allures plus hautes, plus amples, plus démonstratives, en augmentant la flexion des articulations médianes et distales du membre et en allongeant la foulée (Adams, 2005a). A ce titre, les ferrures lourdes sont utilisées à l'excès pour accentuer les allures naturelles, par exemple chez les chevaux de race Tennessee Walking. Ce type de ferrure sollicite d'avantage l'appareil fléchisseur du doigt et 'fatigue' prématurément le cheval, comme l'écrit La Guérinière, le prédisposant aux atteintes tendineuses et articulaires. Les ferrures légères préservent les allures naturelles du cheval.

3.4.2.2 Cinq « consignes » de ferrage supplémentaires

A ces quatre règles s'ajoutent cinq 'consignes' :

1. Le fer suit le contour du pied jusqu'aux talons mais les éponges ne doivent pas se prolonger vers l'arrière, au risque que le cheval défère. Adams (2005b) préconise que les éponges dépassent de 6mm. De plus, prolonger le fer vers l'arrière permet d'augmenter la surface d'appui du pied avec le sol, et de mieux répartir les pressions. Le risque que le cheval défère est toujours présent, mais peut être diminué par l'utilisation d'une ou de deux paires de cloches. Les extensions de fer vers l'arrière sont utilisées dans la correction de certaines pathologies tendineuses, comme la contracture du TFPD.
2. La couverture du fer ne doit pas s'étendre sur la sole, les clous ne doivent pas être étampés trop gras sous peine de faire boiter le cheval. Ce principe est toujours conseillé aujourd'hui.
3. Ne pas faire remonter les clous trop hauts dans la paroi pour ne pas léser la vascularisation. Aujourd'hui, il est conseillé d'atteindre 1/3 de la hauteur de la muraille.
4. Bien river les clous pour éviter les blessures. Cette règle est toujours appliquée.
5. Râper la paroi et les rivets. Toujours conseillé (Adams, 2005b) afin de rétablir la conformation normale de la paroi.

3.4.2.3 Technique de ferrage

Dans *L'Ecole de Cavalerie*, La Guérinière prône le ferrage à froid : appliquer le fer chaud ne facilite pas la ferrure, mais brûle la corne et la fragilise. Pour l'écuyer, cette méthode ne se justifie que chez les chevaux d'attelage, pour lesquels la pause à chaud du pinçon en pince assure un bon maintien du fer. Le ferrage à chaud est communément réalisé de nos jours, la structure tubulaire du pied constituant un excellent isolant thermique (Château et all, 2002).

3.4.2.4 Cinq type de fers proposés dans L'Ecole de Cavalerie

Les catalogues de maréchalerie mettent à disposition des maréchaux de dizaines de modèles de fers dits 'classiques' ou 'orthopédiques'. Ces fers peuvent encore être réajustés pour coïncider au mieux avec la locomotion du cheval à ferrer. Dans *L'Ecole de Cavalerie*, La Guérinière distingue cinq ferrures différentes, qui servent de base à la correction des défauts d'aplombs.

Le Tab. V regroupe ces cinq ferrures, illustrées Fig. 10.

Tab. V : Dénomination et caractéristiques des fers présentés dans *L'Ecole de Cavalerie*, commentées au regard des pratiques de ferrage actuelles. D'après Adams, 2005a ; 2005b ; 2005c. La modernisation des termes de maréchalerie s'est faite avec l'aide du site www.e-hoof.com

Dénomination du fer	Caractéristiques	Effet recherché au XVIII ^e siècle	Et aujourd'hui ?
Fer ordinaire	Fer 'standard', d'épaisseur et de largeur égale sur son tour	Adapté à tous les types de chevaux	Fer de base, utilisé chez de nombreux chevaux.
Fer à pantoufle	Fer dont la rive interne en éponge est plus épaisse que la rive externe	La corne pousse vers l'extérieur. En renouvelant la ferrure, on constate un élargissement des talons	<ul style="list-style-type: none"> * Incite le pied à quitter le sol par le milieu de la pince * Favorise la bascule du pied * Fer lourd. Le départ du pied en pince peut aussi être favorisé par une pince tronquée ou un fer relevé en pince * (Chevaux de polo) * Peu utilisé aujourd'hui. Pour favoriser l'ouverture des talons, on préfère maintenant l'usage de silicone
Fer à demie- pantoufle	Idem que le fer à pantoufle, mais le talus obtenu est moins fort	Idem que le fer à pantoufle	Idem que le fer à pantoufle
Fer à lunette	Fer tronqué en éponge au-delà du premier trou	Aucune utilisation donnée dans l'édition de 1733 de <i>L'Ecole de Cavalerie</i>	Pas d'analogie aujourd'hui
Fer à tous pieds	Possède un gond au niveau de la pince, ce qui permet de l'ajuster à toutes les formes et tailles de pieds.	S'utilise provisoirement lorsqu'un cheval à déférer en voyage.	Ce type de fer n'existe plus. Une analogie moderne pourrait être les hipposandales, d'un concept différent.

3.4.3 Maréchalerie orthopédique

Plus qu'un simple habillage du pied pour limiter son usure, la maréchalerie est un élément thérapeutique primordial des pathologies locomotrices. La diversité des ferrures kinésithérapiques est grande, et semble avoir connu un essor nouveau ces dernières décennies. Parks (2012) décrit six éléments principaux de la biomécanique du pied du cheval pouvant être influencés par la ferrure et donc modifier le mouvement du pied :

- Intensité du choc au moment de l'impact ;
- Déplacement du centre de pression ;
- Modification de la distribution des forces s'exerçant sur le pied ;
- Facilité ou non des mouvements de l'articulation interphalangienne distale ;
- Degré d'adhérence entre le pied et le sol ;
- Cinématique du pied au cours de la phase de soutien.

Sans se rapporter à des données aussi précises, La Guérinière propose déjà de traiter les défauts de conformation et de s'adapter aux particularités du pied par le type de ferrure. Toutes les pathologies rapportées dans *L'Ecole de Cavalerie* trouvent une solution en maréchalerie. Les ferrures préconisées selon le type de pied dans *L'Ecole de Cavalerie* sont comparées à celles aujourd'hui conseillées dans le Tab. VI. Le catalogue du maréchal s'est progressivement enrichi au gré des découvertes en locomotion du cheval. La Fig. 12 propose quelques fers couramment employés de nos jours. Comme mentionné plus tôt, aucun lien n'est rapporté dans *L'Ecole de Cavalerie* entre la ferrure et des pathologies plus hautes. Seules les ferrures ayant trait aux défauts du pied sont abordées et la possibilité de prise en charge des pathologies tendineuses et ligamentaires par la maréchalerie – y compris celles en rapport avec le « *nerf de la jambe* » - n'est pas évoquée par La Guérinière.



Fig. 12 : Quelques exemples de fers orthopédiques couramment utilisés aujourd'hui. Extrait du catalogue Michel Vaillant gamme MV& JMD et du catalogue ACR. a. Fer asymétrique, pince couverte et éponges biseautées (atteinte de l'une des branches du LSB) b. Fer « à oignons » dont la couverture est élargie en talons (soulagement de l'appareil podotrochléaire) c. Fer en œuf (pathologie du tendon fléchisseur profond et de la bride carpienne, soulagement de l'appareil podotrochléaire).

Tab. VI : Ferrures orthopédiques proposées par La Guérinière dans *L'Ecole de Cavalerie*, et comparaison avec celles aujourd'hui proposées. D'après Adams, 2005a ; Adams, 2005b ; Adams, 2005c ; Adams, 2005d ; Château et al., 2002 ; Baup, 2013 ; Denoix, 2011 ; Hunt, 2012. 'Percer maigre' signifie fixer les clous vers la rive externe du fer, à l'opposition de 'percer gras' où les clous sont fixés vers la rive interne.

Type de pied Cause et conséquences dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i>	Ferrure conseillée dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i>	Justification présentée dans <i>L'Ecole de Cavalerie</i>	Ferrure utilisée aujourd'hui	Justification
<p>Pieds plats</p> <p>* Pousse anormale de la corne en quartier</p> <p>* la fourchette touche le sol et fait boiter</p>	<p>* Percer maigre</p> <p>+ parage en pince et quartier</p> <p>+ fer plat</p> <p>+ branches et pince des fers plus droites que la forme du pied</p> <p>* Les clous peuvent percer la sole et le ferrage peut être douloureux</p> <p>* si les talons se resserrent, utiliser un fer à pantoufle sans branches droites</p>	<p>+ rétablir l'équilibre du pied, compenser la pousse excessive sur le pourtour du pied</p>	<p>* Le fer recouvre la paroi et la ligne blanche, et touche juste la sole</p> <p>+ pinçons latéraux</p> <p>+ parage le plus court possible en pince en respectant l'épaisseur de la sole</p> <p>+ ajout éventuel de plaque</p> <p>+ ajout éventuel de silicone</p>	<p>* Si le fer ne repose que sur la paroi, celle-ci s'évase et la sole s'affaisse</p> <p>+ soutien de la paroi</p> <p>+ diminuer les leviers</p> <p>+ augmenter l'amortissement</p> <p>+ stimuler la pousse en talon et augmenter l'amortissement</p> <p>* Si parage excessif en pince, atteinte de la vascularisation du bord solaire</p>

<p style="text-align: center;">« Talons bas et pince grasse » (talons fuyants et long en pince)</p> <p>* la fourchette, si elle est trop développée, touche le sol et fait boiter</p>	<p>* Augmentation de l'épaisseur des éponges</p> <p>* Crampons</p> <p>+ parage et raccourcissement de la fourchette</p> <p>+ pas de parage en quartiers</p> <p>+ étamper à maigre en pince</p> <p>+ fer à pantoufle</p>	<p>* Disparaît avec l'usure du fer</p> <p>* Les talons et la fourchette ne touchent pas le sol</p> <p>+ fortification des talons</p> <p>+ éviter l'affaiblissement de la sole</p> <p>+ risque d'enclouure</p> <p>+ pousse de la corne vers l'extérieur du pied, ce qui élargit les talons</p>	<p>* Crampons en éponges ou en pince</p> <p>* Parage de la pince</p> <p>+ conserver de la hauteur de talon</p> <p>+ augmenter la garniture, éponges nourries et dépassant vers l'arrière, fer en œuf prolongé vers l'arrière</p> <p>+ pince tronquée, fer arrondi en pince, fer à l'envers</p>	<p>* Pour activité sportive. Pas de but thérapeutique</p> <p>* Favoriser la bascule du pied, réduire le risque de déchirure entre le podophylle et le kéraphylle, rétablir l'axe vertical idéal du canon.</p> <p>+ préserver le pouvoir amortisseur des talons, conserver ces derniers, rétablir l'axe vertical idéal du canon</p> <p>+ favorise la bascule du pied et son départ par le milieu de la pince Plus lourd et plus long à fabriquer que les autres fers utilisés, mais une combinaison est possible</p> <p>+ augmenter la surface de contact pour diminuer l'enfoncement</p> <p>+ diminuer les contraintes sur le TFPD et l'appareil podotrochléaire</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Talon bas et serrés</p>	<p>* Fer à pantoufle</p> <p>+ rogner la pince à chaque ferrure</p> <p>+ défaut de pousse de la corne et pied sec : faire tremper le pied une demie journée dans la fiente humide avant le ferrage</p>	<p>* Pousse de la corne vers l'extérieur du pied, ce qui élargit les talons</p>	<p>* Fer à pantoufle</p> <p>* Parage sans ferrure</p> <p>* Fers avec beaucoup de garniture</p> <p>+ ajout éventuel de silicone</p>	<p>* L'absence de rétention par les clous favorise l'ouverture des talons et des quartiers</p>
<p>Pieds comblés (sole voutée)</p> <p>* Sole convexe. La corne pousse en quantité excessive au niveau de la pince et des quartiers. Talons serrés.</p> <p>* « tout au plus bon pour la charrue »</p>	<p>* Fer à pantoufle avec des éponges étroites et épaisses sur le bord intérieur</p> <p>+ percer en maigre</p> <p>+ raccourcir la pince</p> <p>* Fers voûtés</p> <p>* Changer l'environnement du cheval : travail sur sol doux</p> <p>* « barrer les veines dans les paturons, pour arrêter en haut la nourriture qui va à la sole »</p>	<p>* Favoriser une bonne répartition de la corne entre les différentes parties du pied, en particulier la faire repartir vers les talons</p>	<p>* Fers à larges couvertures mais avec une bonne ajusture, de sorte que le pied est surélevé mais la sole en partie protégée</p>	<p>* Protection de la ligne blanche, limiter l'effondrement de la sole sans la mettre à l'appui</p>

<p>Pieds encastelés</p> <p>* Causes : pieds trop longs, trop secs, mal entretenus, mal ferrés</p> <p>* Compression de P3 et des tissus nourriciers du pied, douleur et boiterie</p> <p>* Fourchette petite et sèche par défaut d'utilisation</p> <p>* Démarche compensatrice en pince ce qui « leur raccourcit le nerf, & leur rend par la suite les jambes arquées »</p>	<p>* Parage des talons à plat en conservant la sole au talon</p> <p>+ limiter le parage des quartiers</p> <p>+ parage en pince</p> <p>+ fer à pantoufle ou à demi-pantoufle</p> <p>+ étamper maigre</p> <p>* Souvent associé à des pieds secs : faire tremper le pied une demi-journée dans de la fiente mouillée avant le parage et le ferrage ; appliquer de l'onguent gras un jour sur deux</p>	<p>* Elargir les talons</p> <p>* Rétablir l'équilibre hydrique du pied, favoriser la croissance des talons</p>	<p>* Amincissement maximum des talons lors du parage des quartiers</p> <p>+ axe phalangien</p> <p>+ amincissement des quartiers associé ou non au rainurage vertical ou horizontal de la paroi</p> <p>+ fer à traverse</p> <p>+ maintien de la souplesse du pied : onguent</p> <p>* Garniture importante et fer prolongé en arrière des talons</p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

<p>Bouleture</p>	<p>* Diminuer la hauteur des talons de façon importante au parage pour « leur faire baisser le boulet, & [contraindre] le nerf de s'étendre »</p> <p>+ augmenter la garniture et l'épaisseur en pince</p> <p>* Parage et garniture d'autant plus important que la bouleture est prononcée</p> <p>* Marche sur terrain souple</p>	<p>+ compenser l'usure anormale en pince</p>	<p>* Fort biseau en pince</p> <p>* Ajout éventuel d'une petite florentine (extension en pince)</p>	<p>* Légère mise en tension du TFSD et du LSB</p>
<p>« Chevaux qui se coupent »</p> <p>* Signe de faiblesse, mettre le cheval au repos</p>	<p><u>Pieds antérieurs :</u></p> <p>* Abattre le quartier externe</p> <p>+ éponge interne tronquée</p> <p><u>Pieds postérieurs :</u></p> <p>* Crampon à l'extrémité de l'éponge interne</p>	<p>* Abduction du membre</p>	<p>Très nombreux, à adapter au défaut de conformation à l'origine des blessures. Importance du poids et de la taille du fer.</p>	
<p>Fourbure</p> <p><i>« Lorsque la fourbure est tombée sur la sole, on ne rétablit que très difficilement ces sortes de pieds par la ferrure »</i></p>	<p>* Ne pas parer ni abattre la pince</p>	<p>* Conserver la force de la sole</p>	<p>* Retrait de matière en pince</p> <p>* Abattre progressivement les talons</p> <p>* élévation des talons</p> <p>* Fers à l'envers +/- silicone</p>	<p>* Réduction des pressions</p> <p>* Réalignement de P3</p> <p>* Diminution de la tension du TFPD</p> <p>* Appui sur la partie palmaire du pied</p>

3.4.4 Bilan : la maréchalerie comme solution pour la locomotion au XVIII^e et XIX^e siècle

Plusieurs éléments ressortent de la lecture des ferrures proposées par La Guérinière (Tab. V et Tab. VI) :

- Le parage apparaît déjà comme l'élément de base de la correction ou de la réduction d'un défaut d'aplomb, et s'impose comme un prérequis incontournable de la ferrure ;
- Les remarques concernent majoritairement l'orientation de la pousse de la corne, plus rarement le mouvement global de l'extrémité distale du membre et du pied. Ainsi, il n'y a que lorsque le cheval se coupe que La Guérinière propose de mettre un crampon sur l'éponge interne pour provoquer une abduction artificielle du membre et limiter le risque de blessure
- On s'intéresse à la pince lors du parage, mais aucune solution de ferrage n'en tient compte alors qu'elle est très utilisée aujourd'hui ;
- Il en est de même pour la fourchette et les talons : de nombreux 'ajouts' sont disponibles aujourd'hui, traverse, fer à oignons, en cœur... pour la solliciter et/ou la protéger alors qu'aucune solution n'est proposée dans *L'Ecole de Cavalerie*
- Outre pour l'utilisation des crampons, il n'est pas tenu compte de la nature du sol sur lequel le cheval évolue, alors que cette dernière est capitale dans la compréhension des phénomènes biomécaniques liés à l'impact : en sol meuble, le pied conserve son orientation lors de l'impact. Aucune information n'est donnée dans *L'Ecole de Cavalerie* quant à la nature des sols des manèges.

Les propos rapportés par La Guérinière ne représentent probablement qu'une partie des connaissances en maréchalerie du XVIII^e siècle, et concernent principalement les chevaux de manège. Certains défauts 'communs' – cheval panard ou cagneux – sont mentionnés comme défaut de conformation mais aucune solution de maréchalerie n'est proposée. Est-ce parce que ces chevaux sont systématiquement éloignés des manèges, que ces défauts n'étaient pas considérés comme importants car banals, que l'auteur a fait choix de ne pas en parler – ce qui serait étrange puisqu'il veut son ouvrage complet sur les connaissances du cheval – ou parce qu'il ne connaît pas de solutions ? Il est impossible de répondre à cette question. Toutefois, le nombre important de pages dédiées à la conformation de l'extrémité distale du membre et à la maréchalerie témoigne du réel intérêt des cavaliers pour la ferrure et des observations déjà faites

pour améliorer ou corriger un pied à la fois par le parage et le choix du fer. Des notions capitales aujourd'hui apparaissent en filigrane : l'alignement phalangien n'est pas explicité en tant que tel, mais l'orientation du paturon par rapport au sol et ses conséquences sur la locomotion motivent un paragraphe dédié. Le nombre de fer présentés est limité, et ils apparaissent comme des solutions polyvalentes, adaptables à tous les types de pieds. Seuls les ouvrages historiques entièrement dédiés à la maréchalerie permettraient d'en savoir plus sur les connaissances de l'époque.

Plus qu'une analyse du mouvement, les conseils de La Guérinière semblent résulter d'une observation fine des causes et de leurs effets, effets que nous expliquons ou tâchons d'expliquer aujourd'hui grâce aux nouvelles méthodes d'investigation disponibles.

4 Description des allures du cheval

4.1 Connaissance des allures et compréhension de la locomotion du cheval

La description des allures du cheval a été au cœur de nombreuses polémiques et les réponses attendues sont devenues - au fil des siècles, du développement des connaissances et des techniques d'analyse - de plus en plus précises. Cette connaissance est essentielle aussi bien pour le cavalier que pour le vétérinaire

- Le cycle de poser des membres
 - o permet au cavalier de savoir quand agir via ses mains, ses jambes, son dos, au cours de son cycle de foulée en fonction de l'effet recherché
 - o divise les allures en deux catégories : les allures symétriques et les allures asymétriques ;
 - ce qui permet d'apprécier la qualité de la locomotion, offre un outil de comparaison entre les deux 'côtés' ;
- Le cycle de poser des membres s'est enrichi de la connaissance des muscles et des mouvements articulaires impliqués dans la réalisation de ce schéma.
- Les mouvements de la tête et du dos au cours de ces cycles.

La connaissance des cycles du poser des membres permet d'appréhender les structures mises en jeu. Chaque allure possédant un 'motif' qui lui est propre, les structures mises en jeu, le degré de mise en jeu de chaque structure et les conséquences sur l'appareil locomoteur pris dans son intégralité varient d'une allure à l'autre.

4.2 Moyen d'exploration de la locomotion du cheval

Le Tab. VII présente de manière synthétique les objectifs, les avantages et les limites des principales techniques utilisées aujourd'hui en biomécanique.

Tab. VII : Aperçu des principales techniques aujourd'hui disponibles pour explorer la biomécanique et la locomotion du cheval. D'après Château et al, 2014 ; Dao, 2009 ; Hobbs et Clayton, 2013 ; Harrison et al. 2012 ; Lebœuf et al, 2006 ; Le Borgne et Gossard, 2006 ; Licka et al. 2009 ; Crevier-Denoix et al, 2010 ; UFR STAPS Toulouse.

Technique	Objectifs	Avantages	Inconvénients
EMG	Comprendre la fonction des muscles pendant le mouvement	Non invasif pour certains types d'EMG Non douloureux Utilisable sur plusieurs cycles successifs	Mesure de l'activité électrique locale autour de l'électrode La localisation variable des électrodes et leur sensibilité peut faire varier les profils d'une étude à l'autre pour un même muscle Difficulté d'atteindre tous les muscles, de plus, les chefs de certains muscles ont l'un par rapport à l'autre des comportements différents Petits muscles : le signal des muscles voisins peut être capté, modifiant ainsi l'amplitude du signal mesuré Interférence des mouvements de la peau Invasif pour certains EMG
Plateforme de force	Mesure des forces et des décélérations du pied, étude des interactions entre le pied et le sol Gold standard pour mesurer le GRF (Buchner, 2001 à lire cité dans Hobbs et Clayton 2013)	Les forces moyennes obtenues sur plusieurs échantillons peuvent être synchronisées pour reconstruire le profil des forces sur les quatre membres pendant une foulée complète	Fixation au sol nécessaire. Ne permet pas d'effectuer des mesures à grandes vitesses ni sur différents types de sols.
Fer instrumenté ou fer dynamométrique	Mesure directe de la réaction du sol sur le sabot Mesure des forces verticales, horizontales et transversales exercées sous le pied du cheval Connaitre la répartition des efforts sur la paroi du sabot et sur la trajectoire du centre de pression	Absence de contrainte de fixité au sol	

Accéléromètre triaxial	Caractériser le choc du pied sur le sol et les vibrations générées par ce choc		
Ultrasons « Tensonic »	Mesure de la force dans les tendons Evaluation de l'impact du sol sur la tension du TFSD Evaluation des conséquences des modifications du membre dans le plan sagittal sur la tension du TFSP Suivi de la cicatrisation tendineuse	Non invasif Bonne répétabilité intra-individuelle	Faible répétabilité interindividuelle
Capteurs de déformation	Evaluation des forces et déformations des tendons		Invasif
Centrales de mesure inertielle	Analyser la mobilité dorsale et la symétrie locomotrice		
Marqueurs cinématiques et caméra haute fréquence	Analyser les mouvements articulaires, l'orientation et les glissements du sabot		
Dynamique inversée	Estimer le moment musculaire résultant, la force articulaire de cisaillement et la force articulaire en compression d'une articulation en connaissant la cinématique des segments corporels et les efforts appliqués à l'une des extrémités distales du système pluri-articulé	Etude en conditions statiques ou dynamiques Nécessite la connaissance du bilan des forces s'exerçant sur un seul segment, le segment distal ou le segment proximal Accès à des grandeurs non mesurables (ex : actionneurs articulaires) Obtention de variables non directement mesurables	Etude segments par segments (méthode itérative) Nécessite des données issues d'autres systèmes de mesure (plateforme de force, EMG...)

Roue instrumentée	Mesure de la vitesse instantanée d'un cheval attelé		
Etude sur cadavres		Etude des structures profondes non accessibles Soumission possible à des tests non réalisables sur animal vivant, comme des tests de résistance des structures à la contrainte	Absence de contraintes liées à la pesanteur et aux forces en présence lors de la station debout Absence des contraintes des structures adjacentes

On dénombre chez le cheval trois allures dites 'naturelles' communes à toutes les races : le pas, le trot et le galop. Certaines races possèdent une ou plusieurs allures 'naturelles' supplémentaires, comme le tölt islandais, l'amble du cheval paso péruvien. A ces allures s'ajoutent des allures dites 'artificielles' ou 'défectueuses' : le traquenard, l'aubin. L'amble, qui peut être une allure 'naturelle' voire recherchée dans certaines disciplines, est par exemple banni des courses de trot.

Après avoir présenté la morphologie du cheval et son évaluation, les particularités du pied, La Guérinière s'attache à présenter les différentes allures du cheval.

4.3 Etude du pas

4.3.1 Description de l'allure

« Quand, par exemple, la jambe droite est en l'air et se porte en avant, la gauche de derrière se lève immédiatement après, et suit le même mouvement que celle de devant, et ainsi des deux autres jambes ; en sorte que dans le pas, il y a quatre mouvements : le premier est celui de la jambe droite de devant, qui est suivie de la jambe gauche de derrière, qui fait le second mouvement ; le troisième est celui de la jambe gauche de devant, qui est suivie de la jambe droite de derrière ; et ainsi alternativement. »

François Robichon de la Guérinière. L'école de Cavalerie. 1733 : 75

Première des allures qualifiée de « *naturelle parfaite* » par La Guérinière, le pas, allure la plus lente du cheval, se doit d'être marché à quatre temps successifs et réguliers. Une foulée de pas se décompose en huit phases comme suit (Fig.13) (FEI, 2013) :

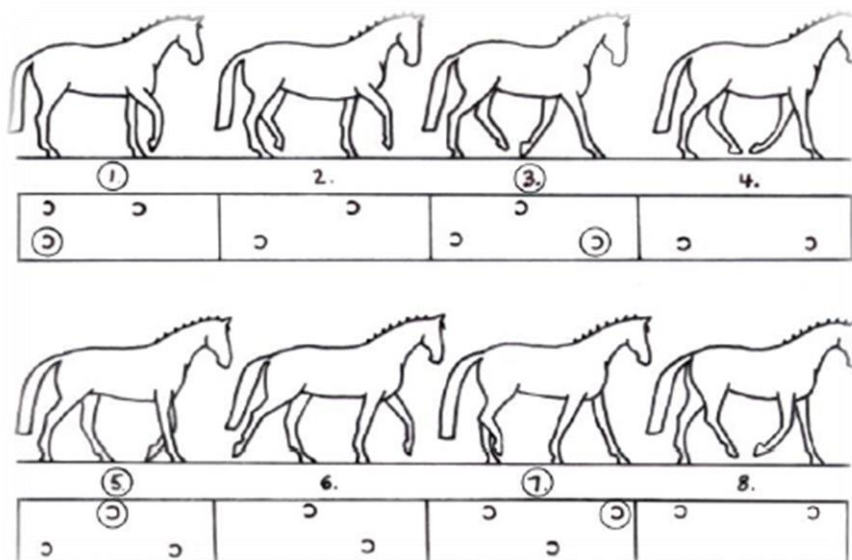


Fig. 13 : Décomposition des quatre temps et huit phases du pas. Chaque nombre entouré correspond au poser d'un membre, donc à un temps. Figure extraite du règlement FEI 2013.

- Temps 1 :
 - o Poser du membre postérieur droit. Le membre postérieur droit, les membres postérieur et antérieur gauches sont à l'appui. Le membre antérieur droit est en protraction.
 - o Le postérieur gauche quitte le sol, le cheval est à l'appui sur son bipède diagonal gauche (AG/PD). Le bipède diagonal gauche est en protraction.
- Temps 2 :
 - o Poser du membre antérieur droit : le cheval va gagner du terrain. Le bipède diagonal gauche est à l'appui mais entame une phase de rétraction.
 - o Le cheval est à l'appui sur le bipède latéral droit. Le membre postérieur gauche est en protraction, le membre antérieur gauche en rétraction.
- Temps 3 :
 - o Poser du membre postérieur gauche en avant du membre postérieur droit. Le bipède latéral droit est toujours à l'appui, et s'apprête à recevoir la masse du cheval. L'antérieur droit est en début de protraction.
 - o Le bipède diagonal droit est à l'appui. Le membre postérieur droit est en rétraction.
- Temps 4 :
 - o Poser du membre antérieur gauche. Le cheval est à l'appui sur les membres antérieur et postérieur gauches ainsi que sur l'antérieur gauche. Le membre postérieur gauche est en protraction.
 - o Le cheval est à l'appui sur le bipède latéral gauche. Le postérieur droit est en protraction et le membre antérieur droit en rétraction.

Chaque temps correspond donc au poser d'un pied et peut se reconnaître au claquement sonore associé.

Ainsi, Etienne Maray (1873) rapporte dans son ouvrage sur la *Machine animale*, les désaccords houleux de ses confrères sur la description du pas. Pour lui, l'origine de ces désaccords reposait sur des moyens d'investigation insuffisants. Pourtant, bien avant les travaux de décomposition photographique des allures de Maray et de MacMurphy, La Guérinière et ses pairs avaient su, par simple observation, décrire et enseigner une allure juste, identique au standard demandé aujourd'hui en compétition. Ce faisant, La Guérinière permettait à ses lecteurs, par la bonne connaissance du mouvement, l'emploi correct des aides au moment opportun selon l'exercice demandé.

4.3.2 Motif de contraction des structures musculo-tendineuses

Le Tab. VIII présente le motif de contraction d'un échantillon de muscle pendant une foulée de pas.

La mise en jeu des structures palmaires de l'extrémité distale du membre lors de la phase d'appui au pas sur sol souple est la suivante (Crevier-Denoix et al, 2011) :

- Première moitié de la phase d'appui : maximum des forces appliquées au TFSD. L'articulation interphalangienne distale (AIPD) se fléchit. Le LSB et le TFSD sont les structures palmaires les plus impliquées dans la stabilité inter phalangienne et la suspension du boulet. Le TFPD et la bride carpienne (BC) y participent dans une moindre mesure ;
- Milieu de la phase d'appui (entre 30 et 50% de la phase de d'appui) : inversion des courbes de mise en tension : la tension appliquée sur le TFPD dépasse celles appliquées au TFSD, LSB et BC.
- Deuxième moitié de la phase d'appui : maximum des forces appliquées au TFPD. L'AIPD s'étend. Le TFPD et la BC contribuent le plus à la stabilité des articulations inter phalangiennes ;

La force appliquée dans le LSB est égale à la composante verticale de la force de réaction au sol.

Tab. VIII : Activité électromyographique mesurée dans plusieurs muscles impliqués dans la réalisation d'une foulée de pas chez un cheval évoluant en ligne droite sur sol dur. Chaque couleur est associée à un membre et souligne l'activité préférentielle du muscle sur ce membre par rapport aux trois autres. PG/D : membre pelvien gauche/droit. AG/D : membre thoracique gauche/droit. La première ligne indique les membres à l'appui, la deuxième les membres au soutien. D'après la synthèse de Wolschrijn et all., 2013.

Appui	P G	P D	A G		P D	A G		P D	A G	A D	P G	P D		A D	P G		A D	P G		A G	A D	P G		A G	
Soutien			A D	P G			A D	P G		P G		A G			A G		P D	A G		P D		P D		A D	
M. Splénus G	■		■			■		■		■				■		■				■		■			
M. splénus D	■		■			■		■		■				■		■				■		■			
M. sterno- c.				■	■										■	■									
M. brachio- c																									
M. long du dos				■	■										■	■									
M. droit de l'abdomen	Aucune activité électromyographique significative détectée																								
M. epiaux G															■	■	■	■	■						
M. epiaux D				■	■	■	■																		

4.4 Le trot

4.4.1 Description de l'allure

« L'action que fait le cheval qui va au trot, est de lever en même temps les deux jambes qui sont opposées et traversées ; à savoir, la jambe droite de devant avec la jambe gauche de derrière, et ensuite la jambe gauche de devant avec la droite de derrière. La différence qu'il y a entre le pas et le trot, c'est que dans le trot, le mouvement est plus violent, plus diligent et plus relevé, ce qui rend cette allure beaucoup plus rude que celle du pas. [...] les jambes du cheval, qui va le pas, [sont] opposées et traversées, comme elles le sont au trot, la position des pieds se fait en quatre temps au pas, et qu'au trot, il n'y en a que de deux, parce qu'il lève en même temps les deux jambes opposées, et les pose aussi à terre en même temps comme nous le venons de l'expliquer. »

François Robichon de la Guérinière. *L'école de Cavalerie*. 1733 : 75

Deuxième allure qualifiée de « *naturelle parfaite* », le trot est une allure à deux temps réguliers séparés d'une phase de suspension ([Fig. 14](#) et [Fig. 15](#)) :

- Temps 1 :
 - Poser du bipède diagonal droit : membre antérieur droit et membre postérieur gauche. Le bipède diagonal gauche est en suspension, chacun des membres en protraction.
 - Phase de suspension : aucun pied ne touche le sol.
- Temps 2 :
 - Poser du bipède diagonal gauche. Le bipède diagonal droit est en suspension, chacun des membres en protraction.
 - Phase de suspension.

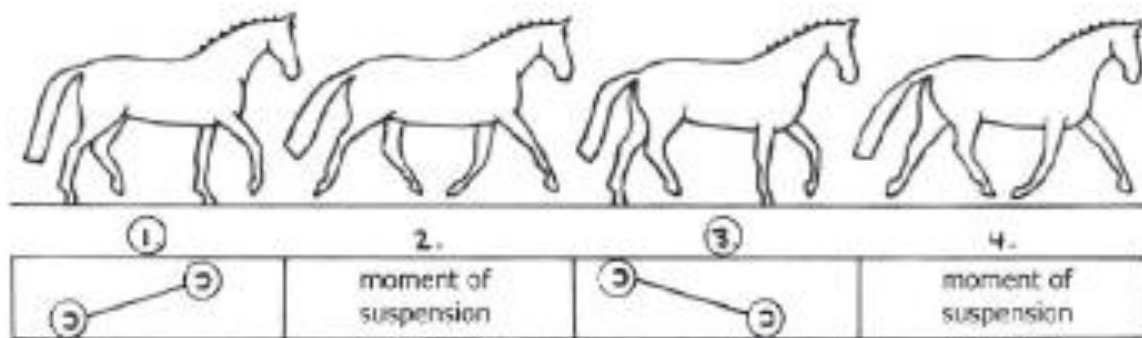


Fig. 14 : Décomposition des deux temps et quatre phases du trot avec marque des pieds au sol. Chaque nombre entouré correspond au poser d'un membre, donc à un temps.



Fig. 15 : Phase de suspension lors d'une foulée de trot

Si les temps du trot décrits sont justes, La Guérinière ne mentionne pas ici la phase de suspension, alors qu'elle apparaîtra dans le chapitre consacré au galop. Pendant la phase de suspension, aucun des quatre membres ne touchent le sol et le cheval ne subit plus de force de réaction du sol.

Les appareils de mesures actuels permettent d'affiner cette perception de l'allure. Des études menées avec des chevaux de dressage de haut niveau (Clayton et Back, 2013) ont mis en évidence une très légère dissociation du poser du diagonal, le membre pelvien touchant le sol 20 à 30ms avant le membre thoracique.

4.4.2 Motif de contraction d'un échantillon de muscles pendant une foulée de trot

Le Tab. IX présente le motif de contraction d'un échantillon de muscles pendant une foulée de trot.

Tab. IX : Activité électromyographique mesurée dans plusieurs muscles impliqués dans la réalisation d'une foulée de trot chez un cheval évoluant en ligne droite sur sol dur. Une bande colorée traduit la présence d'une activité électromyographique du muscle concerné. Une bande quadrillée signifie que l'activité enregistrée est de faible intensité. Chaque couleur est associée à un membre et souligne l'activité préférentielle du muscle sur ce membre par rapport aux trois autres. PG/D : membre pelvien gauche/droit. AG/D : membre thoracique gauche/droit. La première ligne indique les membres à l'appui, la deuxième les membres au soutien. D'après Wolschrijn et al., 2013 ; Licka et al, 2009

Phase Muscles	Appui	PG	AG			PG		AD									
	Soutien	PG		AD	PD	PG	AG	AD		PD	AG		PD	PG	AG	AD	
M. splénius G																	
M. splénius D																	
M. sternocéphalique																	
M. brachiocéphalique G																	
M. brachiocéphalique D																	
M. droit de l'abdomen																	
M. long du dos G																	
M. long du dos D																	
MM. épiauxiaux G																	
Mm. Epiauxiaux D																	

4.4.3 Confirmation de la symétrie du trot

L'utilisation d'une ceinture accélérométrie placée en regard du processus xiphoïde et mesurant les mouvements longitudinaux et dorso-ventraux de chevaux de dressage aux trois allures, corrélée à l'étude du placement des membres (Barey et Galloux, 1995) confirme la périodicité du trot en fonction du poser des membres. Chaque demi-foulée est comparable à la précédente : au degré d'accélération le plus bas lors de la phase de suspension succède un premier pic lors de l'impact du diagonal qui attend son maximum lorsque le membre se trouve à la verticale, supportant alors la plus grande mise en charge. Les phases d'allègement et de mise en charge alternent régulièrement.

L'étude réalisée par Hobbs et Clayton (2013) a confirmé encore différemment la symétrie du trot. Huit chevaux de taille et de masse proches ont été équipés de marqueurs cutanés en multiples endroits du corps. Les enregistrements obtenus témoignent de la symétrie de :

- La vitesse des deux bipèdes diagonaux, gauche et droit ;
- La longueur des demi-foulées gauche et droite ;
- La durée des phases d'appui des membres thoraciques des deux bipèdes diagonaux ;
- La durée des phases d'appui des membres pelviens des deux bipèdes diagonaux ;
- L'amplitude maximale de la force verticale entre les deux membres thoraciques ;
- L'amplitude maximale de la force verticale entre les deux membres pelviens.

4.5 Le galop

4.5.1 Description de l'allure

« C'est une espèce de saut en avant : car les jambes de devant ne sont point encore à terre, lorsque celles de derrière se lèvent ; de façon qu'il y a un instant imperceptible où les quatre jambes sont en l'air. Dans le galop, il y a deux principaux mouvements, l'un pour la main droite, qu'on appelle, galoper sur le pied droit ; et l'autre pour la main gauche, qui est galoper sur le pied gauche. Il faut que dans chacune de ces différences, la jambe de dedans de devant avance et entame le chemin, et que celle de derrière du même côté, suive et avance aussi, ce qui se fait dans l'ordre suivant. »

François Robichon de la Guérinière. L'école de Cavalerie. 1733 : 75

Troisième et dernière des allures qualifiées de naturelles parfaites, le galop est une allure asymétrique à trois temps réguliers séparés d'une phase de suspension (FEI, 2013). Sa description s'attache au choix d'une 'main', un cheval se déplaçant à main droite signifiant que le côté droit de situe vers l'intérieur du manège. Le mécanisme s'inverse à main gauche. La foulée ici décrite s'affranchit de la main à laquelle se déplace le cheval (Fig. 16) :

- Temps 1 :
 - Poser du membre postérieur externe. Les trois autres membres sont en suspension.
- Temps 2 :
 - Poser du bipède diagonal externe. Trois pieds sont en appui, seul le membre antérieur interne est en suspension ; il amorce un mouvement de protraction.
 - Le membre postérieur interne quitte le sol. Le bipède diagonal externe est à l'appui.
- Temps 3 :
 - Poser du membre antérieur interne. Trois pieds sont à l'appui, seul le membre postérieur externe est en suspension.
 - Le membre antérieur interne supporte seul le poids du cheval.
- Phase de suspension : aucun pied ne touche le sol.

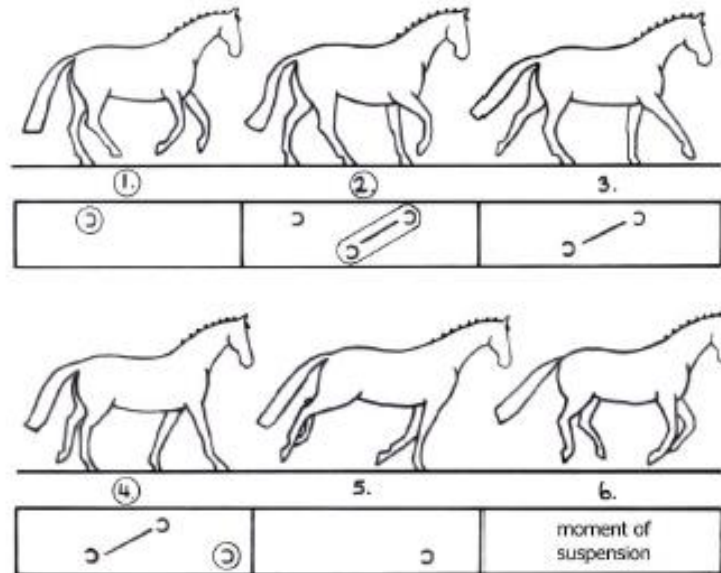


Fig. 16 : Décomposition des trois temps et six phases du galop à main droite. Chaque nombre entouré correspond au poser d'un membre, donc à un temps.

La description proposée par La Guérinière est donc exacte : le bipède latéral intérieur couvre une plus grande surface de terrain que le bipède latéral extérieur, et le troisième temps inclut une phase de suspension, omise dans la description du trot.

Bien que le terme 'galop' fasse référence à l'allure à trois temps précédemment décrite, une variante existe. En effet, les anglo-saxons distinguent le 'canter', allure à trois temps équivalente à notre 'galop', du 'gallop', allure similaire mais à grande vitesse, pendant laquelle le cheval dissocie le poser du bipède diagonal (Barrey, 2013)

4.5.2 Motif de contraction d'un échantillon de muscles pendant une foulée de galop

Les données électromyographiques permettent de connaître l'activité d'un muscle choisi et de comprendre ainsi comment il participe à la foulée (Tab. X).

Tab. X : Activité électromyographique mesurée dans plusieurs muscles impliqués dans la réalisation d'une foulée de galop chez un cheval évoluant sur le cercle à main gauche, la tête maintenue 'rassemblée' par des rênes fixes. Une bande colorée traduit la présence d'une activité électromyographique du muscle concerné. Une bande quadrillée signifie que l'activité enregistrée est de faible intensité. Chaque couleur est associée à un membre et souligne l'activité préférentielle du muscle sur ce membre par rapport aux trois autres. PG/D : membre pelvien gauche/droit. AG/D : membre thoracique gauche/droit. OIA : Oblique interne de l'abdomen ; OEA : oblique externe de l'abdomen. D'après la synthèse de Wolschrijn et all., 2013.

Phase Muscles	Appui Soutien	Descente de l'encolure et du tronc												Elévation de l'encolure et du tronc					
		PG	PD	AG	AD	PG	PD	AG	AD	PG	PD	AG	AD	PG	PD	AG	AD		
		PG	PD	AG	AD	PG	PD	AG	AD	PG	PD	AG	AD	PG	PD	AG	AD		
M. splénius																			
M. sternocéphalique																			
M. brachiocéphalique G																			
M. brachiocéphalique D																			
M. long du dos																			
M. droit de l'abdomen																			
M. OIA G																			
M. OIA D																			
M. OEA																			
Mm. epiaxiaux																			

- La contraction des muscles splénius droit et gauche limite la descente de l'encolure et favorise son extension avant que le membre thoracique 'leading forelimb' ne supporte seul le poids du cheval ;
- Le muscle long du dos prépare l'impact des deux postérieurs. Il assure également l'extension du dos avant que les antérieurs ne touchent le sol ;
- Le muscle droit de l'abdomen assure le soutien de la masse viscérale et initie la flexion thoracolombaire pendant les deux temps suivants.

5 Exercices à valeur kinésithérapique

5.1 Préambule à la relecture des figures présentées dans *L'Ecole de Cavalerie*

L'œuvre s'inscrit dans un contexte social où le cheval est à la fois un « outil » nécessaire aux déplacements, à la traction et à la guerre, mais aussi un faire-valoir social, traduisant la richesse et les mérites de son cavalier. Dans les deux cas, il est nécessaire de connaître et de maîtriser les exercices concourant à sa bonne utilisation. Dans la deuxième partie de son traité, consacrée à *la manière de dresser les chevaux, selon l'usage auquel on les destine*, La Guérinière s'intéresse d'abord au cavalier. S'il constate que la majorité des cavaliers ne seront jamais des « Hommes de Cheval », il s'attache à présenter les multiples instruments que l'homme a inventés pour faciliter le dressage des chevaux et le bon emploi dont l'écuyer doit en faire. Les capacités que le cavalier doit développer pour ne pas être délétère au travail de son cheval et lui permettre de s'exprimer pleinement sont abordées avant le travail du cheval.

Se pose alors la question de l'objectif d'un tel travail. Que recherche finalement le cavalier ? S'appuyant encore sur les ouvrages de La Broue et du duc de Newcastle, La Guérinière résume un cheval bien dressé à un cheval *« qui a la souplesse, l'obéissance et la justesse, car si un cheval n'a le corps entièrement libre et souple, il ne peut obéir aux volontés de l'homme avec facilité et grâce, et la souplesse produit nécessairement la docilité, parce que le cheval alors, n'a aucune peine à exécuter ce qu'on lui demande : ce sont donc ces trois qualités essentielles qui sont ce qu'on appelle un Cheval ajusté. »*

François Robichon de La Guérinière. *L'Ecole de Cavalerie*. 1733 : 94

La hiérarchie des exercices nécessaire à l'obtention de ces trois qualités s'appuie sur la progression physique et psychique du cheval. Le jeune cheval non débourré est comme une page blanche à qui il faut tout apprendre sans dégoût. La part belle est faite au mental : un cheval blasé deviendra vicieux, et il est plus difficile de faire passer ses mauvaises habitudes au cheval que de lui en inculquer directement des bonnes. La répétition incessante d'un même exercice ou la demande d'un exercice que le cheval n'est pas capable de réaliser nuira à son travail.

5.2 « De la nécessité du trot pour assouplir les jeunes chevaux »

5.2.1 Place du travail au trot dans L'Ecole de Cavalerie

« [La souplesse] ne s'acquiert que par le trot. C'est le sentiment général de tous les savants écuyers, tant anciens que modernes, [...] car on ne peut [la] donner à un Cheval, qu'en mettant dans un grand mouvement tous les ressorts de sa machine [...]. C'est par le trot, qui est l'allure la plus naturelle, qu'on rend un Cheval léger à la main sans lui gâter la bouche, et qu'on lui dégourdit les membres, sans les offenser ; parce que dans cette action, qui est la plus relevée de toutes les allures naturelles, le corps du cheval est également soutenu sur deux jambes, l'une devant et l'autre derrière : ce qui donne aux deux autres qui sont en l'air, la facilité de se relever, de se soutenir, et de s'étendre en avant, et par conséquent un premier degré de souplesse dans toutes les parties du corps. »

François Robichon de La Guérinière. L'Ecole de Cavalerie. 1733 : 95

La majorité du chapitre est consacrée à l'environnement du travail du jeune cheval, qui commence donc au trot, sur un sol souple, et en caveçon. L'utilisation d'un caveçon - et donc l'absence de mors - préserve la bouche du jeune cheval des heurts liés aux mouvements du mors qu'il ne pourrait interpréter. Une grande importance est portée à l'ajustement du matériel – suffisamment serré pour ne pas qu'il tourne si le cheval opposait une résistance, correctement placé pour ne pas gêner la respiration – et à sa qualité afin de ne pas blesser l'animal. Le cheval doit pouvoir supporter l'exercice : il a déjà été familiarisé aux hommes, au matériel et à la manipulation et sa croissance est achevée. Pour ne pas le fatiguer inutilement et afin de ne pas ruiner son moral, le travail doit s'arrêter avant que le cheval ne montre des signes de fatigue. Les félicitations orales et les caresses confortent le cheval dans ses réponses. La chambrière est une aide à la disposition du cavalier pour se faire comprendre ; le contact avec le cheval est permis, mais toujours sans excès ni agressivité, afin de préserver le mental de l'animal et de ne pas le rendre rétif aux aides.

« Afin que la leçon du trot à la longe soit plus profitable, il faudra avoir l'attention de tirer la tête du cheval en dedans avec la longe, et de lui élargir en même temps la croupe avec la chambrière, c'est-à-dire, la jeter dehors, en lui faisant faire un cercle plus grand que celui des épaules ce qui donne la facilité à celui qui tient la longe, d'attirer l'épaule de dehors du Cheval en dedans, dont le mouvement circulaire, qu'elle est obligée de faire dans cette posture, assouplit un Cheval. »

François Robichon de La Guérinière. L'Ecole de Cavalerie. 1733 : 96-97

Le travail au trot sur le cercle a plusieurs objectifs. Tout d'abord, habituer le jeune cheval à répondre à des aides simples : avancer et s'arrêter à la demande, céder à la traction de la longe en revenant au centre du cercle, répondre à la sollicitation de la chambrière sans la craindre en repartant à la même allure sur le cercle. Une fois ces bases maîtrisées, il apprendra à changer de main sur le cercle sans passer par son centre, à en agrandir et rétrécir le diamètre. Le travail sur deux pistes du cheval, approfondi par la suite dans les exercices de l'épaule en dedans et de la croupe au mur, apparaît dès les débuts du travail du jeune cheval. De façon récurrente, ces exercices de dissociations des épaules et des hanches représentent comme un des fondements de l'obtention d'un cheval disponible aux demandes de son cavalier.

5.2.2 Notion de souplesse

Le Larousse définit un élément souple comme se pliant ou se déformant facilement, se faisant sans à-coups ni raideur ou possédant beaucoup de facilité pour mouvoir son corps, lui imposer des positions et des mouvements divers. Un cheval souple serait donc capable de s'incurver latéralement, d'étendre ou de fléchir ses articulations –dont celles formant le rachis – avec une amplitude conséquente, à la demande, et pour un résultat visuellement fluide ou dont il résulte une impression de fluidité.

Afin de se plier, le cheval doit savoir s'étendre. En effet, dans un stade ou sur une piste de course circulaire, le coureur évoluant sur la petite courbure de la piste – 'la corde' – parcourt une plus petite distance que le coureur évoluant à l'extérieur, sur la grande courbure de la piste. Il en est de même au niveau de l'organisme : lors du mouvement en incurvation, les structures situées du côté de la petite courbure se contractent et se raccourcissent, celles du côté de la grande courbure doivent s'étendre.

Le cheval ne se compose pas de deux segments à comparer l'un par rapport à l'autre. Chaque zone de rotation est à prendre en considération, à son échelle individuelle et aussi dans les multiples combinaisons d'éléments auxquelles elle appartient. Là réside la difficulté – mais aussi l'intérêt – de l'équitation.

La souplesse nécessite ainsi le développement d'une musculature symétrique et élastique, apte à s'étirer et par conséquent à se contracter. Son obtention est cependant régie par les contraintes anatomiques et les propriétés des structures biomécaniques impliquées dans la posture et la locomotion. Le déplacement

incurvé sur cercle, en assurant à la fois la contraction d'un muscle et l'étirement de son antagoniste, offre un travail global du muscle.

5.2.3 Notions d'anatomie du rachis du cheval

5.2.3.1 Particularités de la quadrupédie

La structure d'un quadrupède peut être assimilée à l'image d'une outre d'eau suspendue à un support en bois sur quatre pieds (Fig. 17). La barre transversale de la structure, le rachis, repose sur quatre pieds, les membres thoraciques et pelviens. Deux de ces membres sont imbriqués dans la structure, il s'agit des membres pelviens via l'articulation coxo-fémorale. Les deux autres membres sont liés à la barre par un système de haubanage. Il s'agit des membres thoraciques, maintenus et articulés autour du thorax par une solide musculature.

La barre transversale n'est pas rigide : le rachis, constitué de la succession d'éléments indépendants – les vertèbres - peut être théoriquement mobilisé dans toutes les directions. Cette flexibilité est essentielle au mouvement, et donc aux fonctions de survie. Ses interactions avec les autres structures anatomiques – muscles, fascia, articulations – limitent toutefois cette mobilité et confèrent au rachis des courbures, zones préférentielles de mobilité selon l'axe sagittale.

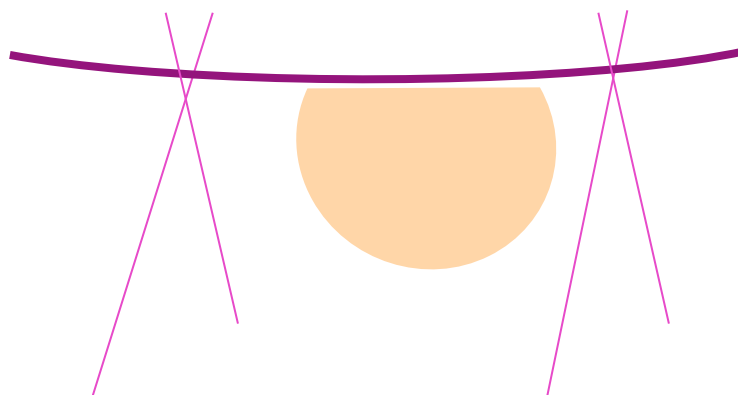


Fig. 17 : Image simplifiée et schématique de la structure d'un quadrupède. Cette dernière peut être assimilée à une outre d'eau suspendue sur un support en bois. La barre transversale supportant l'outre d'eau représente le rachis supportant la masse viscérale. Les quatre pieds du support matérialisent les quatre membres.

Le rachis est un soutien primordial à l'ensemble des structures assurant les fonctions vitales de l'animal c'est-à-dire les organes thoraciques et abdominaux. Afin de se maintenir selon une ligne d'ensemble horizontale, le rachis doit lutter contre la force de gravité – la sienne et celle des organes thoraciques et abdominaux - qui agit 'par-dessous' et, dans le cas des animaux de travail, du poids de la charge qui lui est assignée, appliquée 'du dessus'.

Le rachis possède donc une double caractéristique de solidité et de flexibilité.

A chaque extrémité de ce pont, la succession de vertèbres se poursuit pour former deux régions anatomiques, l'encolure et la queue. Elles participent toutes deux au balancier nécessaire au maintien du rachis malgré les forces auxquelles il est soumis, tout en conservant une souplesse suffisante à sa mobilisation.

Les termes de biomécanique et les propriétés biologiques des structures anatomiques impliquées dans la locomotion sont détaillés dans les Annexes I à VII.

5.2.3.2 Les vertèbres, structures osseuses de base du rachis

5.2.3.2.1 Définition

L'unité de base du rachis se nomme vertèbre. Une vertèbre est un os court, impair et irrégulier, dont la forme évolue selon la place qu'elle occupe au sein du rachis (Barone, 1989a). Le corps vertébral est assimilable à un tunnel au centre duquel est protégée la moelle épinière. Sur chacune de ses faces apparaît une proéminence osseuse appelée processus dont le développement varie sur la longueur du rachis. Le processus de la face dorsale reçoit le nom de processus épineux ; il est particulièrement saillant au niveau des vertèbres thoraciques. Selon sa localisation, le processus épineux aura soit une orientation crâniale, soit une orientation caudale. Chez le cheval, on estime que le changement d'orientation des processus épineux a lieu à la seizième vertèbre thoracique, appelée vertèbre anticlinale.

Les vertèbres sont unies les unes aux autres à la fois par leur corps et leur arc par un court ligament nommé disque intervertébral (Barone, 1989a) (Fig. 18).

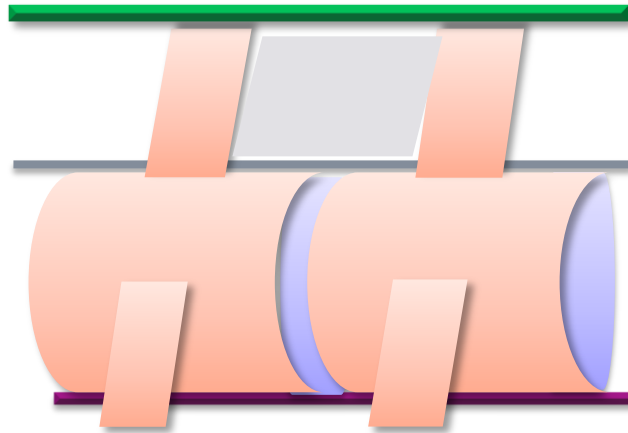


Fig. 18 : Principaux moyens d'union de deux vertèbres successives. Le disque intervertébral est représenté en bleu, le ligament supra-épineux en vert. Le ligament longitudinal ventral en violet, le ligament longitudinal dorsal en gris foncé, les ligaments inter-épineux en gris clair.

L'articulation formée par deux corps vertébraux x et $x+1$ est constituée d'une surface articulaire convexe – la surface crâniale de la vertèbre $x+1$ – et d'une surface articulaire concave – la fosse vertébrale caudale de la vertèbre x qui enveloppe la tête de la vertèbre $x+1$. La courbure de la fosse vertébrale décroît de la région cervicale à la région lombaire où elle s'annule. Les vertèbres caudales sont alors biconvexes. La liaison entre les deux surfaces articulaires se fait au moyen d'un ligament interosseux fibro-cartilagineux appelé disque intervertébral. Un ligament dorsal, mince et sans valeur fonctionnelle majeure, et un ligament ventral, absent de C2 à T5 et dont la puissance augmente à mesure que l'on se rapproche de la région caudale, s'ancrent sur les disques intervertébraux et complètent ce moyen d'union.

L'axe vertébral est entouré d'une puissante musculature juxta-vertébrale. Le plus souvent multifides, ces muscles participent activement à la stabilité de cet axe. A l'instar des ligaments, leur contraction rigidifie l'axe et contribue à sa mobilité ; leur capacité élastique autorise un mouvement contrôlé local et global du rachis.

Notons que les articulations intervertébrales combinent systématiquement les mouvements de latéoflexion et de rotation (Boulocher, 2012).

5.2.3.2.2 Formule vertébrale de l'axe vertébral du cheval

La Fig. 19 rappelle de façon simplifiée la structure du cheval. L'axe vertébral du cheval se compose chez la majorité des animaux de cinquante-quatre vertèbres (Boulocher, 2012b ; Reynor, 2008), réparties comme suit :

- Sept vertèbres cervicales, bases de la dénomination anatomique de l'encolure et notées C1 à C7 ;

- Dix-huit vertèbres thoraciques. Les premières se situent dans la région interscapulaire. La région du garrot s'étend de la troisième à la sixième vertèbre thoracique, puis commence la région du dos. Elles sont notées T1, T2... T18 ;
- Six vertèbres lombaires, bases de la région anatomique des lombes, communément nommée rein. Elles sont notées L1 à L6 ;
- Cinq vertèbres sacrées, bases de la région anatomique de la région sacrale également nommée croupe et notée S1 à S6 ;
- Quinze à vingt-et-une vertèbres coccygiennes, bases anatomiques de la queue et notées Cd1 à Cd21.



Fig. 19 : Représentation schématique simplifiée de la structure du cheval

La succession de cinq types différents de vertèbres permet de déterminer cinq courbures dans l'axe vertébral du cheval (Boulocher, 2012a) :

- La courbure nucale également nommée courbure cervicale haute, de l'os occipital à la troisième vertèbre cervicale (C3) et à concavité ventrale ;
- La courbure cervico-thoracique également nommée courbure cervicale basse, de la quatrième vertèbre cervicale (C4) à la quatrième vertèbre thoracique (T4) et à concavité dorsale ;
- La courbure thoraco-lombaire s'étendant de la cinquième vertèbre thoracique (T5 à T18) aux premières vertèbres lombaires et à courbure concavité ventrale. La faible hauteur des processus épineux et la réduction de taille des corps des vertèbres incluses dans cette courbure et l'indépendance des côtes par rapport au sternum contribuent à la forte mobilité de la zone ;
- La courbure lombo-sacrée ;
- La courbure sacrale.

5.2.3.2.3 Remarques sur la structure vertébrale du cheval

La résistance à la charge du segment cervical maintenu uniquement par les muscles et les ligaments juxta-vertébraux est (Pagger et all., 2010) :

- Maximum lorsque le segment cervical dépouillé est en extension ;
- Minimum lorsque ce segment est en flexion, en flexion et en extension avec une rotation de 30° entre l'occiput et T1 ;

et cela indépendamment de l'âge, contrairement aux ovins par exemple. Le rôle des structures musculaires et ligamentaires associées au segment cervical gagnent en importance lors des mouvements de flexion avec ou sans rotation et d'extension avec une rotation globale de la colonne. La résistance à la contrainte dorso-ventrale du segment cervical reste, dans toutes les situations, inférieure à celle du segment thoraco-lombaire (Pagger et all., 2010).

Si les résultats de cette étude sont extrapolés à l'ensemble du rachis, l'extension du rachis, attitude prohibée en équitation, peut être considérée comme une réponse naturelle à la mise en charge. Au-delà du caractère logique de l'attitude – lorsque l'on place une charge supérieure à sa résistance à l'équilibre sur une surface, celle-ci ploie – on peut supposer qu'elle augmente la résistance du rachis et favorise le soutien de la charge.

5.2.3.3 Le ligament supra-épineux, acteur principal de la mobilité et de la rigidité du rachis

5.2.3.3.1 Description anatomique

La corde du ligament nuchal s'insère depuis la protubérance occipitale jusqu'à C3, C4 ou C5. Au-delà, elle se poursuit sous le terme de ligament supra-épineux. Ce dernier, moins élastique que la corde du ligament nuchal, prend relais sur le processus épineux de chaque vertèbre en s'amincissant progressivement pour se terminer au niveau du sacrum. La corde du ligament nuchal coulisse facilement au niveau de l'atlas, de l'axis et du garrot grâce à des bourses, appelées

respectivement bourse nuchale crâniale, bourse nuchale caudale et bourse supra-épineuse (Budras et al, 2009).

La corde du ligament nuchale quitte les premières vertèbres cervicales et ne prend plus relais sur aucune vertèbre jusqu'à ce qu'elle rejoigne les processus épineux des premières vertèbres thoraciques où elle prend alors le nom de ligament supra-épineux. Sur toute sa longueur 'flottante', le ligament nuchal détache des extensions lamellaires, appelées lames du ligament nuchal. Ces lames s'étendent crânialement et ventralement à leur origine. Les sites de terminaisons de ces lames varient selon les auteurs : une étude récente (May-Davis et Kleine, 2014) rapporte une terminaison historique de C2 à C6 ou C7 alors que leurs travaux de dissections montrent une attache sur C6 parfois absente. Cette variation anatomique aurait comme conséquence une plus grande instabilité de la région cervico-thoracique, région par ailleurs établie comme la plus mobile du segment thoracique.

5.2.3.3.2 Participation passive essentielle du ligament supraépineux dans la locomotion du cheval

Le ligament nuchal participe à la lutte passive contre la gravité en supportant la tête et l'encolure (May-Davis et Kleine, 2014), tandis que les muscles splénius et semi-épineux de la tête y contribuent activement (Gellman et al., 2002). Sous l'effet de la gravité, la tête et avec elle l'encolure plongent. Leur descente est modérée par le ligament nuchal qui accumule de l'énergie élastique ; lorsqu'il atteint son degré d'étirement maximum, la tête et l'encolure sont renvoyées vers le haut et l'énergie libérée. Lors de cette remontée, les muscles para-vertébraux ventraux, omotransversaire et brachiocéphalique sont étirés et participent au mouvement de protraction des membres thoraciques ; puis le cycle recommence.

La corde du ligament nuchale agit comme un élastique tendu entre les premières vertèbres cervicales et les premières vertèbres thoraciques. Les hauts processus épineux du garrot agissent comme bras de levier (Boulocher, 2012b). En jouant sur la position des deux points d'ancrage de la corde du ligament nuchal – la protubérance occipitale par la position de la tête et les premières vertèbres thoraciques par la flexion ou l'extension du dos – la tension de la corde du ligament nuchal se change, modifiant ainsi la valeur de la courbure cervico-thoracique et par le jeu des insertions, la position du thorax entre les membres thoraciques, leur degré de pro- et de rétraction, et facilite la tension abdominale, donc le degré d'engagement des membres pelviens, libérant ainsi la mobilité du dos.

5.2.3.4 Mobilité du rachis du cheval et conséquences lors du mouvement

Le rachis possède trois mouvements principaux, auquel s'ajoute le mouvement de rotation propre à l'articulation C1-C2 :

- la flexion, correspondant à une courbure convexe de la ligne du dos ;
- l'extension, correspondant à une courbure concave de la ligne du dos ;
- l'incurvation, correspondant à une courbure du dos dans le plan transversal.

5.2.3.4.1 Mouvement de flexion du rachis

La flexion du rachis ouvre l'angle $A_x C_x A_{x+1}$, où A_x est le sommet de l'arc vertébral de la vertèbre x et C_x est le point de jonction entre les deux corps vertébraux des vertèbres x et $x+1$ (Fig. 20). Ainsi, la ligne supérieure des arcs vertébraux s'écartent et les corps vertébraux se rapprochent. Les disques intervertébraux sont alors comprimés ventralement et le noyau migre dorsalement. L'ouverture des arcs vertébraux se traduit par l'écartement des processus épineux et l'élongation de la portion du ligament supra-épineux située entre ces deux processus. Plus les processus épineux seront hauts, et plus la distance séparant leurs sommets sera grande en flexion. Par l'effet du bras de levier, la contrainte d'élongation subie par le ligament supra-épineux de la portion correspondante sera elle aussi augmentée. Ainsi, les conséquences de la flexion du rachis différeront selon la portion du dos considérée : l'écartement de deux des hauts processus épineux thoraciques influe d'avantage sur la mise en tension du ligament supra-épineux que celui de deux processus épineux des dernières vertèbres thoraciques.

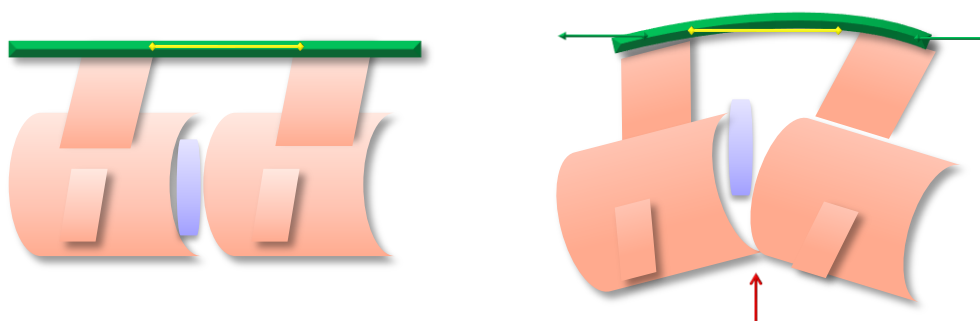


Fig. 20 : Schématisation d'un mouvement de flexion du rachis à l'échelle de deux vertèbres. A gauche, deux vertèbres au repos, à droite, deux vertèbres lors de la flexion du rachis. Les corps vertébraux se rapprochent (flèche rouge), les arcs s'éloignent, tout comme les sommets des processus épineux. Le disque intervertébral (en bleu) migre dorsalement. Le ligament supra-épineux (en vert) subit une contrainte d'étirement et est mis sous tension. Ligaments dorsal et ventral ne sont pas représentés. Les proportions ne sont ici pas respectées. La barre jaune est l'échelle, avec pour référence la distance au repos entre les processus épineux de deux vertèbres successives. Schéma de l'auteur.

L'écartement des arcs vertébraux entraîne la mise sous tension des ligaments supra-épineux, inter-épineux, lamellaire et longitudinal dorsal ; au contraire, le ligament longitudinal ventral se relâche. Or, ces différents ligaments ne possèdent pas le même degré d'élasticité et ce degré peut varier pour un même ligament selon sa localisation sur le rachis. Ainsi armés, ces ligaments vont limiter le mouvement dans les zones de plus grande fibrosité. Le jeu combiné de la hauteur des processus épineux, de la concavité des surfaces articulaires des vertèbres et de la capacité élastique des différents ligaments ou portions de ligament, va déterminer des zones à forte ou faible mobilité en flexion.

5.2.3.4.2 Mouvement d'extension du rachis

L'extension du rachis ferme l'angle $A_x C_x A_{x+1}$, où A_x est le sommet de l'arc vertébral de la vertèbre x et $C_x A_{x+1}$ est le point de jonction entre les deux corps vertébraux des vertèbres x et $x+1$ (Fig. 21). Ainsi, la ligne supérieure des arcs vertébraux se ferme et les corps vertébraux s'écartent. Les disques intervertébraux sont alors comprimés dorsalement et le noyau migre ventralement. L'écartement des corps vertébraux entraîne la mise sous tension du ligament longitudinal ventral et le rapprochement des arcs vertébraux le relâchement des ligaments supra-épineux, inter-épineux, lamellaire et longitudinal dorsal.

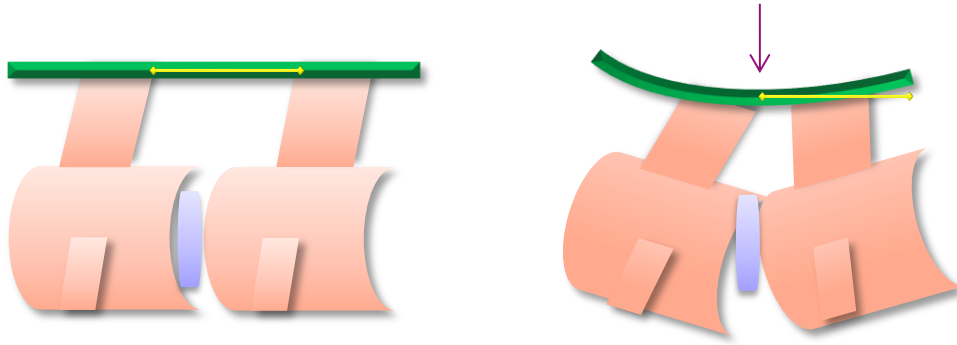


Fig. 21 : Schématisation d'un mouvement d'extension du rachis à l'échelle de deux vertèbres. A gauche, deux vertèbres au repos, à droite, deux vertèbres lors de l'extension du rachis. Les arcs vertébraux se rapprochent tout comme les sommets des processus épineux (flèche rouge), les corps s'éloignent. Le disque intervertébral (en bleu) migre ventralement. Le ligament supra-épineux (en vert) ne subit aucune contrainte et se relâche. Les ligaments longitudinaux dorsal et ventral ne sont pas représentés. Les proportions ne sont ici pas respectées. La barre jaune est l'échelle, avec pour référence la distance au repos entre les processus épineux de deux vertèbres successives.

La mobilité globale du rachis est limitée par le rapprochement des processus épineux et des lames vertébrales.

5.2.3.4.3 Le mouvement d'incurvation

Lors d'incurvation, le bord ipsilatéral à la flexion des surfaces articulaires de deux vertèbres successives se rapproche. Les processus articulaires s'emboîtent du côté du pli.

Tout mouvement d'incurvation du rachis est associé à un mouvement de rotation vertébrale.

5.2.3.4.4 Le mouvement de rotation de l'articulation atlanto-occipital

La présence des muscles droits et obliques de la tête et la spécification des articulations atlanto-occipitale et atlanto-axiale permettent à la région nuchale des mouvements dans toutes les directions.

5.2.3.4.5 Implication du muscle long du dos

Le muscle long du dos intervient pendant la propulsion postérieure. Son activité électromyographique, plus élevée pendant la phase de propulsion ipsilatérale, a lieu au moment de déplacement maximum de la colonne vertébrale, laissant supposer qu'il détient majoritairement un rôle stabilisateur du rachis et non un rôle actif dans les mouvements de la colonne vertébrale (Licka et al, 2009).

5.2.4 Implication des particularités du rachis du cheval dans la mise en place d'exercices à visée kinésithérapique

Les régions de plus grande mobilité et de plus grande rigidité conditionnent la capacité ou non du cheval à se plier, et ce pour chaque plan de l'espace. Les exercices proposés au cheval doivent en tenir compte, s'appliquant à développer les charnières en s'appuyant sur les points fixes. Par exemple, la hauteur des processus épineux des vertèbres associée à la présence des côtes rend la région thoracique crâniale la moins mobile du rachis. En revanche, la hauteur des processus épineux thoraciques offre un bras de levier substantiel à l'appareil ligamentaire supra-épineux passif.

Le travail d'assouplissement du cheval concernera principalement la région thoracique caudale - jonction thoraco-lombaire - et la région abdominale – jonction lombo-sacrée (Boulocher, 2012a ; 2012b). Ces deux dernières régions seront par la suite sollicitées dans le travail rassemblé, aboutissement de la formation du cheval.

5.2.5 Analyse biomécanique d'une foulée de trot en ligne droite

Nous avons vu précédemment que le trot est une allure symétrique au cours de laquelle les bipèdes diagonaux se posent alternativement, séparés par une phase de suspension au cours de laquelle aucun des quatre pieds ne touche le sol. Pendant que l'un des bipèdes est en protraction, l'autre est en rétraction.

Rappelons que (Annexe I) :

- Les mouvements de flexion et d'extension ont lieu dans le plan sagittal ;
- Les mouvements d'incurvation ont lieu dans le plan frontal ;
- Les mouvements de rotation ont lieu dans le plan transversal, mais peuvent s'avérer complexes.

5.2.5.1 Impact du trot sur le rachis

5.2.5.1.1 Mouvement d'incurvation

Au trot en ligne droite, la contraction des muscles de la propulsion, en particulier des muscles abdominaux et des muscles para vertébraux, provoque une incurvation du rachis : la ligne du dessus plie à gauche lorsque le diagonal gauche est à l'appui et le diagonal droit au soutien. Autrement dit, le rachis s'incurve du côté où le postérieur s'engage sous la masse (Fig. 22) (Denoix, 2014).

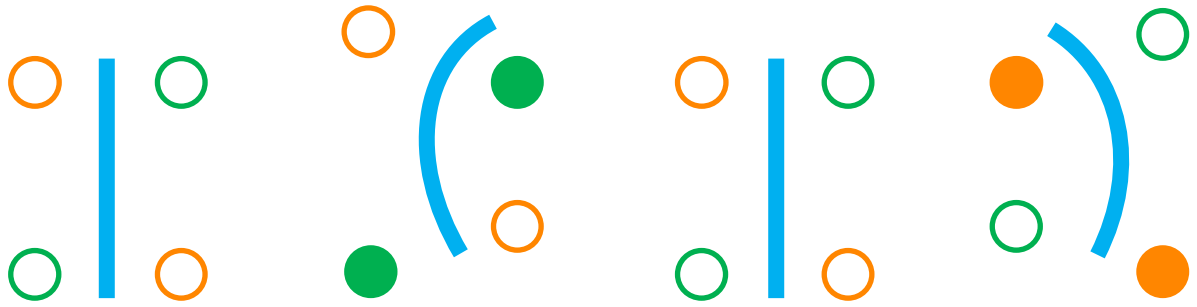


Fig. 22 : Représentation schématique simplifiée de la courbure du rachis selon la position des bipèdes diagonaux d'un cheval au trot en ligne droite. L'incurvation du rachis a été exagérée dans un but didactique. Les points représentent les pieds à l'appui, les cercles les pieds au soutien. Le rachis est matérialisé par le trait bleu, le bipède diagonal gauche par les cercles et les points orange, le bipède diagonal droit par les points et les cercles violets.

5.2.5.1.2 Mouvement de rotation

A ce mouvement d'incurvation s'ajoute un mouvement de rotation provoqué par la montée de l'épaule et de la hanche du diagonal au soutien, qui vont chercher le terrain lors de la protraction (Fig. 23).

Les sources trouvées ne mentionnent pas la limite de la répercussion crâniale et caudale de la mise au soutien du bipède, ni la différence dans le degré de rotation provoquée par la mise au soutien respective du membre thoracique et du membre pelvien. Toutefois, il est admis que lors d'un déplacement au trot en ligne droite, les masses musculaires à considérer (Tab. XI) se feront selon une symétrie centrale par rapport au milieu du dos (Denoix, 2014).



Fig. 23 : Représentation schématique simplifiée de la rotation du rachis en vue caudale selon la position des bipèdes diagonaux d'un cheval a. à l'arrêt sur une surface plane b. au trot en ligne droite sur une surface plane. Le schéma passe par une coupe transversale imaginaire, dans l'axe des membres pelviens. La mise au soutien du membre pelvien provoque la rotation de la partie caudale du rachis ; la mise au soutien du membre antérieur provoque la rotation en sens inverse de la partie crâniale du rachis. Les points représentent les pieds à l'appui, les cercles les pieds au soutien. La partie caudale du rachis est matérialisée par le trapèze bleu clair, la partie crâniale du rachis par le trapèze bleu foncé, le bipède diagonal gauche par les cercles et les points orange, le bipède diagonal droit par les points et les cercles violets. Les proportions ne sont pas respectées.

Tab. XI : Muscles impliqués dans les mouvements du tronc lors de déplacements au trot en ligne droite, respectivement pour l'avant et l'arrière main. Ces muscles réalisent une contraction excentrique lorsque la masse musculaire doit être retenue, puis une contraction concentrique. D'après Denoix, 1997, 2014.

Muscle	Fonction et Conséquences	
M. trapèze	Elévation de l'épaule controlatérale à celle du membre thoracique à l'appui	
M. dentelés	Soutien de la base de l'encolure et des huit premières côtes	
M. grand dorsal	Traction dorsale de l'humérus	Déplacement du tronc vers l'avant
M. pectoraux	Liaison entre le sternum et l'extrémité supérieure de l'humérus ou du bord antérieur de l'épaule	Elévation et abaissement du tronc dans la ceinture thoracique
M. erector spinae	Rapprochement des processus épineux	Extension de la colonne thoraco-lombaire
	Basculer dorsale du bassin	Extension de l'articulation lombo-sacrée
M. droit et oblique de l'abdomen	Flexion de l'ensemble de la colonne thoraco-lombaire et de l'articulation lombo-sacrée	
M. fessier profond		
M. fessier moyen	Elévation de la hanche controlatérale à l'appui	
M. glutéo-fémoral		
M. ilio-pectoral	Latéroflexion du membre pelvien en protraction : 'engagement du postérieur sous la masse'	
	Favorise la flexion homolatérale des muscles obliques externes et internes	
	Flexion de l'articulation lombo-sacrée	
M. multifide lombo-thoracique	<i>Controlatéral au membre thoracique en protraction</i> : Rotation active du rachis du côté du membre thoracique en protraction.	

5.2.5.1.3 Mouvement de flexion/extension et positions relatives de la tête et du garrot

Les positions respectives de la tête et du garrot tendent à s'inverser au cours d'une foulée de trot (Tab. XII) : les mouvements du garrot 'suivent' ceux de la tête et atteignent leur amplitude maximum (respectivement minimum) juste avant que la tête n'atteigne son amplitude minimum (respectivement maximum). L'abaissement spontané de la tête provoque une mise en tension du ligament nuchal, qui constitue alors un soutien passif au rachis pour lutter contre la masse viscérale.

Tab. XII : a. Appréciation qualitative des mouvements de la tête, du garrot et du sommet de la croupe chez un cheval évoluant au trot en ligne droite sur sol dur b. Appréciation qualitative des mouvements de flexion-extension des différents segments du dos

a.

	Mouvement vertical	Hauteur maximum	Hauteur minimum	
Tête	Courbe sinusoïdale avec deux oscillations symétriques pendant la foulée	Début de la phase d'appui	Fin de la phase d'appui	La tête descend pendant la phase d'appui et remonte pendant la phase de soutien
Garrot	Courbe sinusoïdale avec deux oscillations symétriques pendant la foulée	Deuxième moitié, fin de la phase d'appui	Fin de la phase de soutien	Le garrot monte pendant la phase d'appui et descend pendant la phase de soutien. Le mouvement du garrot est proche de l'inverse de celui de la tête
Sommet de la croupe	Courbe sinusoïdale avec deux oscillations symétriques pendant la foulée	Amplitude du mouvement vertical supérieure à celui du garrot		

b.

	Extension maximale	Flexion maximale
Segment thoracique	Début de la deuxième moitié de la phase d'appui (action passive de la masse viscérale)	Phase de soutien, concomitante à l'élévation de la tête
Segment thoraco-lombaire	Deuxième moitié de chaque phase d'appui	Suit la flexion maximale du segment thoracique
Segment lombo-sacré	Fin de la phase d'appui	Fin de la phase de soutien, pendant la protraction maximale des membres postérieurs

Les mouvements de protraction et de rétraction des membres contribuent également au mouvement de flexion extension du rachis (Tab. XIII). La symétrie par bipède diagonal du trot ne remplit jamais les conditions de flexion ou d'extension maximales du rachis ; les mouvements de protraction et rétraction s'annulent en permanence tout le long de la foulée, et on peut supposer que l'impact des mouvements du membre sur les mouvements verticaux du dos se compense. Le jeune cheval évoluant sans cavalier, il est possible de considérer, que, de manière simplifiée, seule s'applique la masse viscérale.

Tab XIII : Agents influant sur les mouvements de flexion et d'extension du rachis. D'après Wolschrijn et al, 2014.

	Flexion du rachis	Extension du rachis
Action directe	Contraction des muscles abdominaux, en particulier du muscle droit de l'abdomen	Masse viscérale (Poids du cavalier)
Action indirecte	Rétraction des membres thoraciques Protraction des membres pelviens	Protraction des membres thoraciques Rétraction des membres pelviens

Ainsi, la réalisation d'une foulée de trot combine les mouvements possibles dans les trois plans de l'espace : la rotation dans le plan transversal, la flexion-extension dans le plan sagittal et l'incurvation dans le plan frontal. Contrairement au déplacement au pas où l'amplitude verticale domine, les mouvements du dos au trot en ligne droite présentent une amplitude identique selon les trois axes - longitudinal, transversal, et vertical (Boulocher, 2012a).

5.2.5.2 Impact du trot sur les membres

La contraction isométrique a lieu pendant la phase d'appui, de l'instant où le membre touche le sol jusqu'à celui où il le quitte. Au trot, LSB et TFSD sont les deux structures les plus impliquées dans le transfert d'énergie élastique de l'extrémité distale du membre du cheval. Sur sol dur, leur déformation ainsi que celle du TFPD augmente par rapport au pas. En revanche, la déformation de la BC est plus faible au trot qu'au pas (Crevier-Denoix et al, 2011).

Au contraire, la mise en charge globale du membre décroît au galop et le TFSD délègue une partie de son rôle au TFPD (Clayton et Back, 2013). Alors que le muscle fléchisseur superficiel du doigt se compose de fibres à contraction isométriques faiblement fatigables, le muscle fléchisseur profond du doigt comporte des fibres à contraction concentrique fatigables. Lorsque l'effort se prolonge et qu'elles ne sont plus à même d'assurer leur rôle, le muscle fléchisseur superficiel du doigt supporte la totalité de la charge ; ce surcroît de travail est à l'origine des nombreuses lésions tendineuses observées aujourd'hui chez les galopeurs (Clayton et Back, 2013).

Ainsi, un déplacement au trot conduit à une plus grande déformation des structures tendineuses et ligamentaires de la face palmaire du canon par rapport au pas, BC exceptée. En revanche, cette allure ne semble pas prédisposer aux lésions de TFSD comme peut le faire le galop de course.

5.2.5.3 Conséquences de la symétrie du trot en ligne droite sur le travail et la locomotion du cheval

Le travail au trot en ligne droite sans contraintes offre, par sa répétabilité, un travail symétrique du cheval. A chaque foulée, la moitié droite du cheval a théoriquement autant travaillé que la moitié gauche et ce dans toutes directions. Ce travail peut être considéré comme 'économique' par rapport aux allures asymétriques. Dans ces dernières, il faut deux foulées pour faire travailler de la même manière les deux moitiés du cheval, alors qu'il n'en faut qu'une au trot. Pratiqué raisonnablement, le trot limite les pathologies de surcharge par asymétrie, ce qui est d'autant plus intéressant que l'on travaille avec un jeune cheval.

Le trot offre une symétrie 'simple' : le corps est soutenu alternativement par chaque bipède diagonal, et la phase de suspension offre un passage d'un bipède à l'autre sans heurt. En conséquence, le polygone de sustentation (Base Of Support : BOS) au trot peut être assimilé à un rectangle de faible largeur (Hobbs et Clayton, 2013). Il assure une relative stabilité, en particulier face aux mouvements de rotation transverses, particulièrement importants chez les grands quadrupèdes comme le cheval.

Les mouvements du rachis ont lieu dans les trois plans, sans dominance d'un mouvement par rapport à un autre.

5.2.5.4 Comparaison des trois allures lors d'un déplacement en ligne droite

Les différentes caractéristiques de chacune des trois allures sont reprises dans le Tab. XIV. Cette partie va chercher à mettre en avant les éléments en faveur et/ou en défaveur du travail au trot, chez le jeune cheval.

- Le trot présente un intérêt 'psychologique' pour le jeune cheval. En effet, il offre spontanément plus d'impulsion et d'allant, tout en limitant les 'débordements' qui peuvent avoir lieu au galop.
- Le pas et le trot sont deux allures symétriques contrairement au galop. Ainsi, à l'issue d'une foulée, chaque moitié de cheval a travaillé de manière identique. Il faut deux foulées de galop pour arriver au même travail or, même si le temps consacré au galop à chaque main est identique au cours d'une séance, la fatigue du travail précédent influera sur la qualité du travail à l'autre main.
- Aucun signal n'est présent au pas pour le muscle droit de l'abdomen, alors que le signal existe au trot et au galop. Or ce muscle contribue à limiter l'extension thoraco-lombaire passive due à la masse viscérale. Le travail de ce muscle contribue à la formation de la ceinture abdominale et contribue à diminuer l'impact du poids du cavalier sur la locomotion.
- Au trot, le mouvement global du dos est faible, surtout en comparaison aux deux autres allures. De plus, l'amplitude de ce mouvement est identique dans les trois plans, limitant l'accumulation de contraintes sur une même zone et favorisant le développement d'un grand nombre de structures locomotrices.
- Au trot, le LSB et le TFSD sont les deux structures les plus impliquées dans le transfert d'énergie élastique, alors qu'au galop une partie de ce travail est reportée sur le muscle FPD, dont les fibres sont moins compétentes pour ce type de contraction.

Tab. XIV : Synthèse comparative des mouvements du rachis au pas, au trot, au galop en ligne droite sur sol dur. D'après Boulocher, 2012a ; Wolschrijn et al., 2014.

Allure	Allure de la courbe traduisant le mouvement...			Flexion-extension	Incurvation latérale	Rotation axiale	Appréciation du mouvement général du dos
	vertical du dos	de latéoflexion du dos	de rotation du dos				
Pas	Sinusoïdale, deux pics par foulée	Sinusoïdale, un pic par foulée	Sinusoïdale, un pic par foulée	Constant après T10	Minimale entre T17 et L5 Maximale au niveau des vertèbres thoraciques et du pelvis	Augmente progressivement de T6 à la tubérosité coxale	Domination des mouvements dans le plan vertical
Trot	Sinusoïdale, deux pics par foulée	Sinusoïdale, un pic par foulée	Sinusoïdale, un pic par foulée	Relativement constant et de faible amplitude sur toute la longueur du dos	Relativement faible sur toute la longueur Inférieur au degré de latéoflexion de T17-L5 au pas	Faible	Mouvement global du dos le plus faible des trois allures considérées Amplitude des mouvements identique dans les trois plans de l'espace
Galop	Sinusoïdale, un pic par foulée	Sinusoïdale, un pic par foulée	Sinusoïdale, un pic par foulée	Allure présentant la plus grande amplitude	Amplitude intermédiaire entre le pas et le trot, plus proche de celle du pas que de celle du trot	Valeur maximale inférieure à celle du pas	

5.2.6 Adaptation de la locomotion au déplacement sur le cercle sur une surface plane

Le premier travail proposé par La Guérinière au cheval s'effectue sur le cercle. Le déplacement selon un trajet ellipsoïdal modifie les forces en jeu et donc la locomotion. Le travail sur le cercle est encore aujourd'hui majoritairement plébiscité par les cavaliers toutes disciplines confondues. Pourtant, Hobbs et al. (2011) constatent le nombre encore faible d'études consacrées aux changements biomécaniques induits par le déplacement sur le cercle chez le cheval.

5.2.6.1 Répercussions du déplacement sur le cercle sur les forces en présence

Pendant la phase d'appui d'un déplacement sur le cercle s'ajoute, à la réaction verticale du sol pendant la phase d'appui, une composante horizontale dirigée vers le centre du cercle : la force centripète (Château et al, 2013 ; Hobbs et al, 2011). Cette composante horizontale résulte de la poussée extérieure réalisée par le cheval. Sous l'effet de cette poussée, le centre de gravité (Centre Of Masse : COM) réalise un mouvement de rotation horaire. L'inclinaison interne du cheval maintient la résultante verticale de la force de réaction du sol (GRF) à l'extérieur du cercle décrit par le COM. Lorsque la distance du COM au GRF multipliée par le GRF normal atteint en valeur le moment horaire, ce dernier s'annule sous l'action d'un moment antihoraire de même valeur. (Hobbs et al, 2011). Les différentes études rapportées par les auteurs témoignent de la diversité des adaptations biomécaniques des espèces à ces contraintes selon leurs caractéristiques locomotrices propres.

5.2.6.2 Répercussions du déplacement sur le cercle sur la locomotion du cheval

Lors d'un déplacements sur le cercle, les membres extérieurs doivent parcourir un plus long chemin que les membres intérieurs, ce qui crée une dysmétrie dans l'allure. Plus le cercle est petit, plus l'animal s'incline sur son cercle et plus la trajectoire ajoutée des membres externes est longue (Hobbs et al, 2011).

Au pas sur un cercle de 1.5m de diamètre, la durée de la phase d'appui augmente de manière significative (Château et al, 2005 ; Château et al, 2013). Le départ des talons se faisant plus tôt dans le déroulement de la phase d'appui, et le départ du pied dure proportionnellement plus longtemps (Château et al, 2005). Au galop sur le cercle, la propulsion fournie par le membre intérieur augmente de manière significative. La phase d'appui de ce membre est également augmentée, permettant ainsi la production d'une force centripète suffisante pour maintenir la trajectoire. Ce prolongement s'ajuste à la trajectoire ajoutée des membres extérieurs et au motif de l'allure (Hobbs et al, 2011).

Lors de déplacement en ligne droite, l'adduction globale du membre au moment de l'impact provoque l'inclinaison de l'os métacarpien III selon un axe latérodorsal-médioventral. Lors d'un cercle serré au pas, au début de la phase d'appui, le cheval étend le membre antérieur intérieur vers l'avant et le centre du cercle, dans la direction du mouvement. Ce faisant, il réalise un mouvement d'abduction. Ce membre reste à sa place pendant la mise en charge : le poids du corps suit la courbe du cercle et vient passer au-dessus du membre immobile ; une adduction du corps et du membre se produit, qui atteint son maximum lorsque les talons quittent le sol (Château et al, 2005). Hobbs et al. (2011) ont quant à eux travaillé sur des cercles de plus grands diamètres. Dans leur étude, les os métacarpiens III (MCIII) intérieur et extérieur présentaient tous les deux un mouvement d'adduction. Ces deux observations pourraient témoigner de la nécessité pour le cheval évoluant sur le cercle à faible vitesse de contrôler en permanence la localisation du COM par rapport à la gravité (Hobbs et al, 2011). Le cercle considéré, de dix mètres de diamètre, est qualifié par les cavaliers de petit cercle, les chevaux au travail évoluant habituellement sur un cercle de vingt mètres de diamètre. En comparaison aux études de Château (2005) et de Clayton et Sha (2006) ce cercle de dix mètres est de grande taille – le cercle considéré par Clayton et Sha est d'environ trois mètres de diamètre. A plus grande allure sur un cercle de dix mètres de diamètre, l'inclinaison du corps augmente, tout comme celle du MCIII. D'un point de vue clinique, l'inclinaison du membre en fonction du cercle et de l'allure pourra se traduire par des contraintes articulaires, ligamentaires et tendineuses asymétriques. Ces risques augmentent notamment sur les membres antérieurs lorsque les forces s'exerçant dans le plan frontal ne sont pas compensées. Pour les membres postérieurs, l'inclinaison des os métatarsiens III intérieur et extérieur au pas est identique. Au trot et au galop, leur inclinaison correspond à celle des MCIII : elle varie qualitativement dans le même sens que l'inclinaison du corps (Hobbs et al, 2011).

Quelle que soit l'allure, le corps s'incline d'autant plus vers le centre du cercle que la vitesse augmente (Hobbs et al, 2011). La vitesse est reliée par une valeur carrée à la force centripète, contrairement au diamètre du cercle ; aussi, la vitesse influencera-t-elle plus l'inclinaison du corps que la taille du cercle.

La qualité du sol influe également sur les conséquences articulaires du travail sur le cercle. En effet, l'étude menée par Château et al. (2013) sur un cercle de huit mètres de diamètre au trot témoigne de la redistribution sur sol souple des forces podales selon un axe palmaro-distal, c'est-à-dire selon l'axe d'alignement des rayons du membre à l'appui. Sur sol dur, ces forces s'exercent selon un axe latéro-médial et contribuent à une 'usure' de l'AIPD. Ces forces latéro-médiales sont proches des forces asymétriques exercées sur le pied lors d'un déplacement sur un sol irrégulier. La Guérinière mentionne plusieurs fois l'importance de la qualité du sol, qui peut, sur le long terme, ruiner les chevaux. Ces réflexions s'inscrivent dans la vision d'ensemble du cheval, dont le travail ne se résume pas aux seuls exercices de gymnastique mais prend en compte son environnement et sa santé sur le long terme.

Starke et al. (2012) rapporte une variabilité individuelle non prévisible dans l'asymétrie des mouvements verticaux de la tête et du tronc, bien que l'amplitude de ces mouvements reste comparable d'une main à l'autre. Les chevaux possèderaient une 'main préférentielle', droite ou gauche. L'amplitude de ces mouvements pourrait également varier avec la taille du cheval au regard de la taille du cercle, modifiant ainsi, pour chaque individu, les contraintes exercées.

Le Tab. XV résume ces informations.

Tab. XV : Modification de la foulée lors de déplacements en ligne droite, sur un petit cercle et sur un cercle de 10m ; la surface du sol est considérée plane. Les chiffres rapportent aux conditions expérimentales et la barre transverse compare les résultats selon les conditions expérimentales. Par exemple Protraction : diminuée/(1) signifie que la protraction est diminuée dans les conditions expérimentales considérées par rapport à la protraction au pas sur ligne droite sur sol dur. D'après Hobbs et al. 2011 ; Château et al. 2005 ; Château et al. 2013 ; Starke et al., 2012

	(1) Ligne droite au pas sur sol dur	(2) Petit cercle au pas sur sol dur	Cercle de 10m sur sol souple		
			(3) Pas	(4) Trot	(5) Galop
Tronc	Absence d'inclinaison		Augmentation de l'inclinaison vers le centre du cercle /(2) / (2) (3) /(2) (3) (4)		
MCIII intérieur		Mouvement d'abduction, vers l'avant et le centre du cercle suivi d'une adduction par rapprochement du tronc		Augmentation de l'angle d'inclinaison /(1) (3)	Augmentation de l'angle d'inclinaison /(1) (3) (4)
MCIII extérieur		Augmentation de la distance parcourue au cours d'une foulée /(1)	/(1) (2)	Mouvement d'adduction	
MTIII intérieur			Absence de différence significative dans leur inclinaison	Inclinaison identique à celle des MCIII	
MTIII extérieur					
Pied					
AIPD		Diminution du degré maximum de flexion et d'extension /(1)			
AIPP		Diminution du degré maximum de flexion et d'extension /(1)			
AMP		Pas de modifications significatives /(1)			
Rétraction		Diminution /(1)			
Protraction		Diminution /(1)			

5.2.7 Influence de l'ajout ou non du poids du cavalier

Le poids du cavalier s'ajoute aux agents extenseurs du rachis du cheval (Tab. XIII page 100). En dressage, le cavalier trotte en général 'assis', c'est-à-dire qu'il est en permanence au contact du dos de son cheval, sans marquer de phase de suspension. Cette contrainte augmente l'extension maximale du rachis (Boulocher, 2012a), nécessitant alors une plus grande contraction des muscles abdominaux.

La propulsion de la masse du couple cavalier/cheval, plus importante que la masse du cheval seul, demande un plus grand effort de propulsion des membres, sollicitant d'avantage les structures musculo-tendineuses et ligamentaires.

5.2.8 Bilan : conséquences de la progression de travail proposée par La Guérinière

Le travail initial en longe permet d'affranchir le jeune cheval du poids du cavalier. Il a ainsi à ne 'prendre en charge' que son propre équilibre, et son centre de gravité n'est pas affecté par celui du cavalier.

Mais le travail en longe sur le cercle proposé par La Guérinière fait perdre certains des avantages précédemment cités sur le travail au trot en ligne droite : le déplacement sur le cercle génère des contraintes asymétriques : allongement de la longueur de la foulée pour les membres extérieurs (Hobbs et al, 2011), déplacement du COM (Clayton et Sha, 2006), asymétrie des contraintes exercées sur les articulations distales du membre (Château, 2002).

Pour faire face à ces contraintes, le travail sur le cercle devra suivre les conseils du travail aux allures asymétriques : chaque exercice devra être répété également à chaque main, et le changement de main devra se réaliser avant que les premiers signes de fatigue n'apparaissent.

Le travail sur le cercle apporte quand même plusieurs avantages : la moitié extérieure du cheval devant couvrir une plus grande distance, les muscles dorsaux sont soumis à une contradiction : ils doivent s'étendre d'avantage pour couvrir la surface, mais aussi favoriser une plus grande amplitude des mouvements de pro- et de rétraction des membres. De leur côté, les muscles de la moitié interne du cheval doivent se contracter davantage. En variant le diamètre du cercle et l'allure du cheval sur le cercle, l'inclinaison globale du corps et des membres varient (Hobbs et

al, 2011 ; Château, 2005) : le cheval doit donc apprendre à gérer différemment son équilibre pour faire face aux contraintes de la gravité et de son COM.

Dans la progression proposée par l'écuyer, une fois le cheval à l'aise au travail en longe en caveçon, un mors doux est ajouté et après une période de transition le travail monté commence. La Guérinière incite alors le cavalier à poursuivre son travail sur des lignes droites de longueurs variables : grand et petit côté du manège, doubler dans la largeur avec ou sans changement de main. Ces exercices permettent d'allier les avantages du travail sur les petits cercles au travail en ligne droite.

5.3 De l'épaule en dedans

Il existe encore peu d'études consacrées à la biomécanique du mouvement de l'épaule en dedans, pourtant si plébiscité par tous les cavaliers. Dans le cadre de cette étude, nous nous appuyerons à la fois sur les articles qui lui sont consacrés et sur une décomposition du mouvement en séquence se rapprochant de mouvements connus.

5.3.1 Description du mouvement de l'épaule en dedans

D'après le règlement de dressage FEI, l'épaule en dedans se réalise au trot rassemblé, le cheval évoluant avec une incurvation constante d'environ 30° autour de la jambe interne du cavalier, c'est-à-dire dans la direction opposée à celle du mouvement. Une attention particulière est portée sur l'engagement et la régularité de la cadence. Le membre antérieur interne croise le membre antérieur externe 'par devant'. Le membre postérieur interne s'avance sous la masse du cheval. Il évolue sur la même piste que le membre antérieur externe ce qui provoque l'abaissement de la hanche interne (Fig. 24). Le Box Pédagogique, plateforme multimédia destinée à la formation des moniteurs d'équitation, propose une vidéo explicative de l'exercice, qui peut se réaliser aux trois allures.

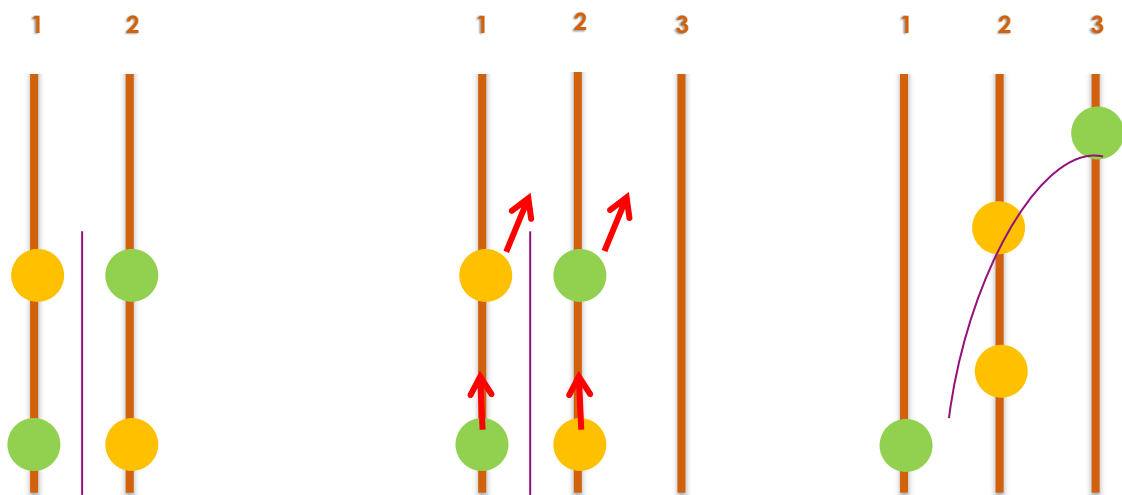


Fig. 24 : Représentation schématique du patron du poser des membres lors d'un départ en épaule en dedans depuis un déplacement en ligne droite. Dans un but didactique, la courbure du rachis est exagérée.

La Guérinière propose d'aborder cet exercice sur le grand côté du manège, au pas. La foulée est raccourcie, et les épaules sont sorties de devant les hanches, vers l'intérieur du manège. La tête et les épaules sont incurvées autour de la jambe interne du cavalier : le cheval marche incurvé comme sur un petit cercle, mais progresse en ligne droite (Fig. 25).

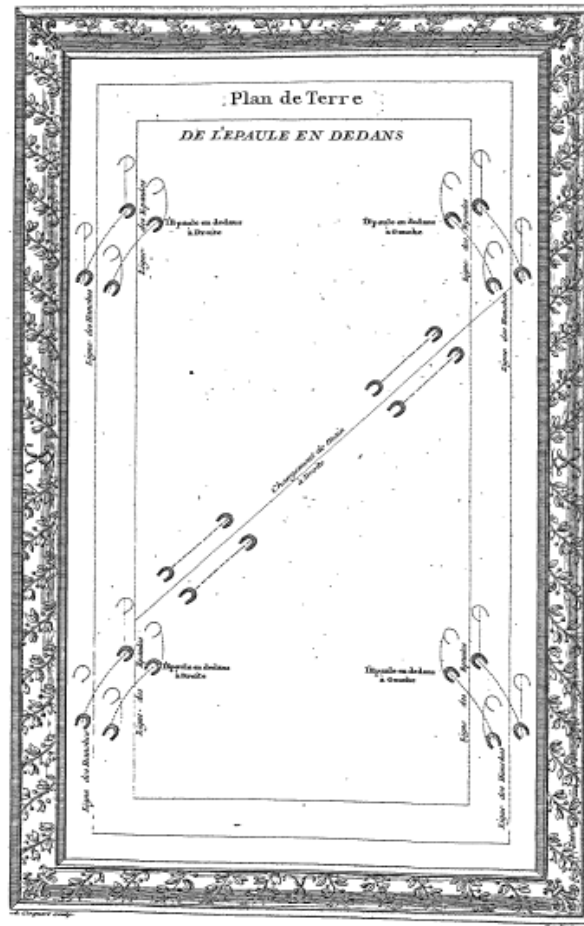


Fig. 25 : « Plan de terre de l'épaule en dedans », gravure de Parrocel extraite de *L'Ecole de Cavalerie* (1733). L'auteur s'appuyant sur l'apprentissage de l'exercice, et non à la démonstration d'un exercice maîtrisé, ce « plan de terre » inclut les mouvements facilitant l'apprentissage de l'épaule en dedans : l'incurvation du cheval au profit des angles du manège ou de la fin d'une diagonale.

5.3.2 Place de l'épaule en dedans dans le travail du cheval

5.3.2.1 Place de l'épaule en dedans aux XXe et XXIe siècles

En compétition, l'épaule en dedans figure dans les reprises imposées de concours complet et de dressage jusqu'au niveau Saint George, dernier niveau préparatoire avant les prestigieuses reprises du Grand Prix et du Grand Prix Spécial (Pradier, 2010).

5.3.2.2 Place et intérêt de l'épaule en dedans dans le travail du cheval en 1733

« [...] mais ce même trot, soit sur une ligne droite, soit sur des cercles, ne donne à l'épaule & à la jambe du cheval, qu'un mouvement en avant, lorsqu'il marche sur la ligne droite ; & un peu circulaire de la jambe & de l'épaule de dehors, lorsqu'il va sur le cercle : mais il ne donne pas une démarche assez croisée d'une jambe par-dessus l'autre, qui est l'action que doit faire un Cheval dressé, connaissant les talons c'est-à-dire, qui va librement de côté aux deux mains. »

François Robichon de La Guérinière. L'école de Cavalerie 1733 : 104-105

Une fois le jeune cheval familiarisé aux aides au trot, capable, à la demande, d'avancer et de tourner aux deux mains, l'écuyer doit s'attacher à lui apprendre à tourner sur un cercle serré ou à se déplacer de côté. Cette faculté, fruit avant tout d'une nécessité – le cheval doit être capable de se dégager facilement d'une situation dans laquelle il serait encerclé – devient également un gage d'appréciation du degré de dressage du cheval, qui sait répondre à des aides fines. Témoin de l'habileté du cheval et de son cavalier, l'apprentissage de ce mouvement fut matière à réflexion de nombreux hommes de cheval.

« La difficulté de trouver des règles certaines, pour donner à l'épaule & à la jambe la facilité de ce mouvement circulaire d'une jambe par-dessus l'autre, a toujours embarrassé les Ecuyers, parce que sans cette perfection un Cheval ne peut tourner facilement, ni fuir les talons de bonne grâce. »

François Robichon de La Guérinière. L'école de Cavalerie tome 1. 1733 :104-105

« Afin de bien approfondir la leçon de l'épaule en dedans, qui est la plus difficile & la plus utile de toutes celles qu'on doit employer, pour assouplir les chevaux ; il faut examiner ce qu'ont dit M. de La Broue, & M. le Duc de Newcastle, au sujet du cercle, qui, selon le dernier, est le seul moyen d'assouplir parfaitement les épaules d'un cheval. »

François Robichon de La Guérinière. L'école de Cavalerie.1733 : 104-105

Il résulte de la lecture de *L'Ecole de Cavalerie* que le travail sur le cercle s'avère bénéfique dans un premier temps au travail d'assouplissement du cheval, mais ne peut y suffire seul. S'appuyant sur les écrits de La Broue et du Duc de Newcastle, La Guérinière propose l'exercice de l'épaule en dedans en relais au travail sur le cercle et sur le carré. Ces auteurs entendent par travail sur le cercle ce que l'on appelle aujourd'hui travail sur le cercle tête en dedans, hanches en dehors. Dès que le jeune cheval est familiarisé aux ordres de départ, d'arrêt et de changement de main sur le cercle, La Guérinière recommande en effet cette attitude afin de développer la souplesse du cheval par l'acquisition d'un mouvement circulaire des antérieurs. Le problème soulevé par les trois écuyers est que le travail sur le cercle (tête en dedans, hanches en dehors) contraint plus l'avant que l'arrière main, la seconde s'assouplit plus que la première, et les chevaux ont tendance à reporter leur poids sur les épaules et non sur les hanches. De plus, s'attachant toujours au bien être moral aussi bien que physique des chevaux, La Guérinière, comme ses prédécesseurs, note que la répétition du travail sur le cercle tend à blaser les chevaux.

Le mouvement circulaire des épaules, tant recherché par La Guérinière, traduit l'aptitude du cheval à aller chercher ses foulées 'loin devant' et sa capacité d'abduction et d'adduction. Seules les articulations proximales des membres sont aptes à réaliser ces deux derniers mouvements de façon active (Denoix, 2014) (Annexe VII). L'obtention de ce mouvement passe donc par le développement des capacités musculaires proximales du membre antérieur.

« [...] l'épaule ne peut s'assouplir, si la jambe de derrière de dedans n'est avancée et approchée en marchant de la jambe de derrière de dehors : & c'est cette judicieuse remarque, qui m'a fait chercher & trouver la leçon de l'épaule en dedans dont nous allons donner l'explication. »

François Robichon de La Guérinière. L'école de Cavalerie. 1733 :105

5.3.3 La Guérinière et les bienfaits de l'épaule en dedans

Pour La Guérinière, les bienfaits de l'épaule en dedans reposent sur :

- Le mouvement circulaire de l'épaule interne, qui doit contourner l'épaule externe pour que le pied interne vienne se poser au-delà du pied externe sur la même ligne ;
- Le mouvement d'engagement du membre pelvien interne, venant chercher le terrain au-delà du membre externe sous la masse du cheval ;
- Le chevauchement des membres lors de l'épaule en dedans permet au cheval d'acquérir une certaine indépendance dans la mobilisation des membres et d'améliorer sa coordination, et facilite les mouvements de côté.

5.3.4 Analyse biomécanique de l'épaule en dedans

5.3.4.1 *Analyse biomécanique de l'épaule en dedans : conséquences sur l'extrémité proximale des membres*

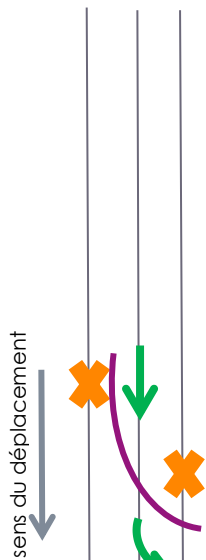
Lors du préambule dédié à l'épaule en dedans, La Guérinière parle de mouvement circulaire de l'épaule et de la jambe, et non de la jambe seule. Cette précision témoigne de l'observation juste des restrictions anatomiques du cheval : aussi bien pour les membres thoraciques que pelviens, seules les articulations les plus proximales sont capables de décrire des mouvements d'adduction et d'abductions volontaires, d'amplitude significative (Denoix, 2014). Les articulations plus distales présentent des mouvements d'adduction ou d'abduction involontaires, en réponse au mouvement. Denoix (2014) résume ainsi les mobilisations musculaires lors du travail latéral : lors de ces exercices, seuls les muscles impliqués dans l'abduction et l'adduction de l'épaule et de la hanche sont sollicités. L'abduction ou l'adduction s'accompagne d'un mouvement de rotation. Les Tab. XVI et Tab. XVII rappellent les noms, insertions et fonctions de ces muscles. La Fig. 26 détaille, étape par étape, les mouvements de l'épaule en dedans.

Tab. XVI : Muscles responsables de l'abduction des membres thoraciques et pelviens respectivement. Ces muscles réalisent une contraction concentrique. Lors de l'abduction du membre postérieur, la contraction des muscles protracteurs du membre - muscles ilio-psoas et tenseur du fascia lata – précède la contraction des muscles abducteurs. D'après Denoix, 1997, 2014.

Muscle	Fonction	Conséquences
M. trapèze <i>Partie cervicale, à l'appui</i>	Traction ventro-médiale de l'extrémité dorsale de la scapula.	Déplacement latéral de l'extrémité ventrale de la scapula
M. rhomboïde <i>Partie cervicale, à l'appui</i>		Elongation des muscles pectoraux, descendant et transverse majoritairement
M. deltoïde <i>Action plus importante à l'appui</i>	Traction latérale et rotation de l'extrémité proximale de l'humérus.	
M. infra épineux <i>Action plus importante à l'appui</i>		
M. fessier moyen <i>Action plus importante à l'appui, pendant la propulsion</i>	Traction médiadorsale du grand trochanter.	Déplacement latéral de l'extrémité distale du fémur.
M. fessier superficiel <i>Action plus importante au soutien, lors de l'engagement du membre pelvien</i>	Traction médiale du grand trochanter.	Elongation du muscle ilio-psoas controlatéral et des muscles grand et petit adducteurs, du muscle semi-membraneux.
M. fessier profond <i>Action plus importante au soutien, lors de l'engagement du membre pelvien</i>	Participe à la rotation du fémur via le grand trochanter lors de l'abduction à l'appui.	
M. gluteo- biceps	Participe à la rotation du fémur via le grand trochanter lors de l'abduction à l'appui.	

Tab. XVII : Muscles responsables de l'adduction des membres thoraciques et pelviens respectivement. D'après Denoix, 1997, 2014.

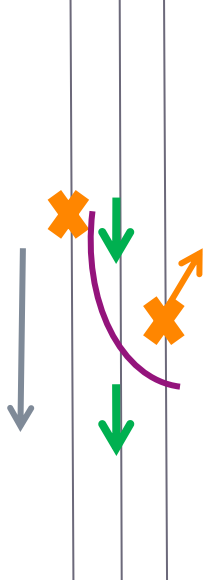
Muscle	Fonction	Conséquences
M. trapèze	Traction médiale du bord supérieur de la scapula	
M. rhomboïde		
M. deltoïde Et infra-épineux	Déviations latérales de l'humérus	
M. infra-épineux		
M. pectoral descendant <i>Action majoritaire dans l'adduction au soutien</i>	Traction de l'extrémité distale de l'humérus vers le sternum et rotation interne de l'humérus	Déplacement médial du coude, qui, du fait de la conformation de la cage thoracique, subit un léger mouvement de rotation interne. L'articulation scapulo-humérale est déplacée latéralement.
M. pectoral transverse	Traction de l'extrémité proximale du radius vers le sternum	Lors de leur contraction, élongation des muscles triceps brachial, infra-épineux et deltoïde.
M. pectoral ascendant	Traction ventrale de l'humérus	
M. semi-membraneux	Fléchisseur du grasset soutien Extenseur du grasset et de la hanche à l'appui Agit avec les muscles semi-tendineux et glutéo-biceps	
M. gracile M. adducteur	Liaison entre le pubis et l'ischium et les extrémités inférieure du fémur et supérieure du tibia	Puissants muscles de l'adduction
Mm. Grand et petit adducteurs M. pectiné	Mouvement médial du membre. Provoque également la rotation interne du fémur, et la déviation latérale du jarret.	Elongation du muscle glutéo-biceps, du muscle tenseur du fascia lata et des muscles fessiers profond et moyen. Le muscle fessier moyen est principalement mis en jeu sur le membre à l'adduction au soutien, à cause de l'extension de la hanche et de la flexion et la rotation externe du fémur. Lors de l'adduction à l'appui, l'élongation du muscle tenseur du fascia lata domine.
M. ilio-psoas <i>Contribue à l'engagement</i>	Flexion de l'articulation de la hanche	Flexion des articulations inter-vertébrales lombosacrées et lombaires.
M. fessiers	Extension de la hanche et du grasset	



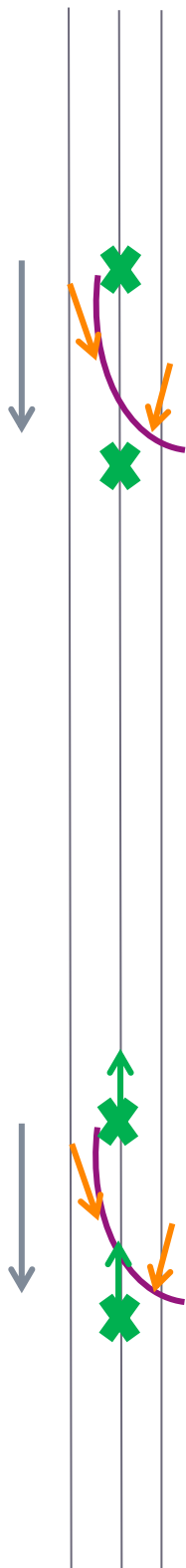
Diagonal gauche à l'appui, diagonal droit au soutien.
Abduction des antérieurs et adduction des postérieurs.

Muscles...	Droite	Gauche
trapèze et rhomboïde deltoïde et infra- épineux biceps brachial brachio-céphalique et omo-transversaire pectoraux descendant et transverse grand dorsal et pectoral ascendant tenseur du fascia lata fessier profond fessier moyen ilio-psoas pectiné adducteurs de la cuisse Semi membraneux	contraction concentrique <i>plus marquée sur le membre à l'appui</i>	
	contraction	élongation
	élongation	
	élongation maximale	contraction
	élongation	élongation
	élongation	contraction concentrique
	contraction concentrique	

Le diagonal gauche termine sa phase d'appui, diagonal droit sa phase de soutien.
Abduction des antérieurs ; adduction des postérieurs.



Muscles...	Droite	Gauche
trapèze et rhomboïde deltoïde et infra- épineux biceps brachial brachio-céphalique et omo-transversaire pectoraux descendant et transverse grand dorsal et pectoral ascendant tenseur du fascia lata fessier profond fessier moyen ilio-psoas pectiné adducteurs de la cuisse Semi-membraneux	contraction concentrique <i>plus marquée sur le membre à l'appui</i>	
	contraction	élongation
	élongation	
	élongation maximale	contraction
	élongation	élongation
	élongation	contraction concentrique
	contraction concentrique	



Le diagonal droit est à l'appui, le gauche au soutien.
Adduction des antérieurs; abduction des postérieurs.

Muscles...	Droite	Gauche
trapèze et rhomboïde deltoïde et infra- épineux	élongation	élongation
biceps brachial brachio-céphalique et omo-transversaire	élongation	contraction concentrique maximale
pectoraux descendant et transverse	contraction concentrique	contraction concentrique
grand dorsal et pectoral ascendant	<i>pas de mention du m. pectoral descendant</i>	élongation
tenseur du fascia lata fessier profond fessier moyen	contraction concentrique	contraction centrique
lilio-psoas	contraction concentrique	
pectiné adducteur de la cuisse Semi membraneux	élongation	élongation

Le diagonal droit termine sa phase d'appui, le gauche est au soutien.
Adduction des antérieurs ; abduction des postérieurs.

Muscles...	Droite	Gauche
trapèze et rhomboïde deltoïde et infra- épineux	élongation	élongation
biceps brachial brachio-céphalique et omo-transversaire	élongation	contraction concentrique maximale
pectoraux descendant et transverse	contraction concentrique	contraction concentrique
grand dorsal et pectoral ascendant	<i>pas de mention du m. pectoral descendant</i>	élongation
tenseur du fascia lata fessier profond fessier moyen	contraction concentrique	contraction concentrique
lilio-psoas	contraction concentrique	
pectiné adducteur de la cuisse Semi membraneux	élongation	élongation

Fig. 26 : Représentation schématique de la coordination des membres lors d'une foulée d'épaule en dedans. En vert : diagonal droit ; en orange : diagonal gauche ; en violet : rachis. La croix matérialise le bipède à l'appui. D'après Denoix, 2014 et Le Box Pédagogique. Les courbures ont été exagérées dans un but didactique.

Les avantages retirés du travail latéral et donc de l'épaule en dedans peuvent se résumer comme suit (Denoix, 2014) :

1. L'incurvation cervicale demandée lors de l'épaule en dedans impose aux muscles brachio-céphalique et omotransversaire une importante variation d'amplitude entre l'extension passive du membre à l'appui et la contraction demandée lors de la phase de soutien. Or, ces muscles sont également ceux de l'amplitude de la foulée (distance parcourue) et leur développement contribue à l'obtention du geste des antérieurs.

2. L'alternance des mouvements d'abduction et d'adduction des membres antérieurs met en jeu les muscles pectoraux. Le muscle pectoral descendant est notamment impliqué dans l'élévation de l'humérus, contribuant ainsi au geste horizontal de la foulée. L'abduction de l'antérieur droit provoque la contraction des muscles grands dorsal et pectoral ascendant, particulièrement impliqués dans la propulsion des antérieurs.

3. L'alternance des mouvements d'abduction et d'adduction des antérieurs offre le développement de la musculature de toutes les faces de l'épaule :

- muscles infra-épineux, deltoïde, trapèze, rhomboïde ;
- muscles pectoraux ;
- muscle grand dorsal ;

permettant ainsi la réalisation de mouvement de latéreflexion et de rotation.

3. L'alternance des mouvements d'abduction et d'adduction des membres postérieurs mobilise par contraction et étirement successif des muscles ilio-psoas, fessier moyen, grand et petit adducteur, semi-membraneux. De ce fait, ces muscles mobilisateurs de la hanche gagnent en élasticité d'où l'acquisition d'une plus grande mobilité des hanches.

4. Le déplacement du membre postérieur interne s'accompagne de l'abaissement de la hanche ipsilatérale. Pour glisser sa hanche sous la masse, le cheval doit apprendre à plier les jarrets et mettre du poids sur ses hanches, prémices de l'équilibre dit « sur les hanches ».

5. Le travail de croisement des hanches développent la proprioception et l'agilité globale du cheval.

5.3.4.2 Analyse biomécanique de l'épaule en dedans : conséquences sur l'extrémité distale des membres

Le mouvement des antérieurs pendant l'exécution d'une épaule en dedans peut être comparée à la translation de multiples petits fragments de cercles le long d'une ligne droite. Cette analogie sera donc employée dans ce travail pour présenter les conséquences biomécaniques de l'épaule en dedans sur l'extrémité distale du membre.

Afin de s'adapter aux contraintes liées au déplacement sur une surface inégale ou à un déplacement sur le cercle, les articulations distales du membre présentent des mouvements supplémentaires à ceux de la ligne droite. Ces mouvements résultent d'une adaptation de l'extrémité du membre aux contraintes de l'impact et non d'une mobilisation des muscles ; ce sont donc des mouvements passifs. Lors de déplacements sur un petit cercle au pas, l'AIPD subit une rotation médiale et un pincement latéral de l'interligne articulaire. Ces modifications sont maximales à la fin de l'appui. Le décollement des talons diminue les contraintes imposées à la partie palmaire du pied et autorise la rotation latérale du pied, réalignant ainsi les phalanges (Château et al, 2005 ; Château et al., 2014). L'articulation inter-phalangienne proximale (AIPP) et l'articulation métacarpo-phalangienne (AMCP) connaissent également des mouvements de rotation.

Tout travail pouvant être assimilé à un cercle ou à portion de cercle de petit diamètre amène les articulations distales du membre thoracique à subir des contraintes asymétriques. Si ces exercices sont bénéfiques pour le développement de la musculature, la souplesse et la réactivité aux ordres du cavalier, leurs conséquences passives doivent être gardées en mémoire. Ainsi, ces exercices seront demandés à part égale aux deux mains, en tenant compte de la fatigue musculaire induite par le précédent exercice pouvant être à l'origine d'une moins bonne coordination des membres, et donc d'atteintes et/ou d'une mauvaise répartition des charges. De même, ces exercices devront être adaptés à la clinique du cheval : le déplacement sur cercles serrés est déconseillé chez les chevaux souffrant d'arthropathie dégénérative des articulations distales du membre (Château et al., 2014). L'auteur souligne également les conséquences de la ferrure sur les contraintes imposées à l'extrémité distale du membre. Tout artifice visant à retarder le départ du pied du sol participera à l'amplification des contraintes qui y sont appliquées.

5.3.4.3 Analyse biomécanique de l'épaule en dedans : étude du tronc

Le déplacement latéral des membres modifie le mouvement du tronc par rapport à sa cinésiologie en ligne droite (Denoix, 2014). Les mouvements spontanés de rotation vertébrale associée au poser des membres vont gagner en amplitude dans la région – thorax crânial ou bassin – effectuant le mouvement d'abduction. La rotation de la partie crâniale du thorax accompagne l'antérieur en abduction, de même que celle du bassin accompagne le postérieur.

La latéroflexion imposée par l'incurvation entraîne également des contractions et des allongements asymétriques et dont l'amplitude et/ou l'intensité varient (Denoix, 2014) :

- Si le membre est en abduction ou en adduction, un même muscle peut être sollicité au cours des deux mouvements avec une intensité différente ;
- Au sein d'un même mouvement d'abduction ou d'adduction, si le membre est au soutien ou à l'appui ;

Le Tab. XVIII rappelle les muscles du tronc mobilisés lors de déplacements latéraux.

Tab. XVIII : Muscles impliqués dans les mouvements du tronc lors de déplacements au trot **lors de déplacements latéraux**, respectivement pour l'avant et l'arrière main. Ces muscles réalisent une contraction excentrique lorsque la masse musculaire doit être retenue, puis une contraction concentrique. D'après Denoix, 1997, 2014.

Muscle	Conséquences
M. trapèze	Elévation de l'épaule controlatérale à celle du membre thoracique à l'appui
M. rhomboïde	
M. grand dorsal	
M. fessier profond	Elévation de la hanche controlatérale à l'appui
M. fessier moyen	
M. glutéo-fémoral	
M. ilio-psoas	Flexion coxo-fémorale Latéroflexion du membre pelvien en protraction : 'engagement du postérieur sous la masse' Favorise la flexion homolatérale des muscles obliques externes et internes
M. multifide lombo-thoracique <i>Controlatéral au membre thoracique en protraction</i>	Rotation active du rachis du côté du membre thoracique en protraction.

5.3.5 Intérêts de l'épaule en dedans dans le travail du cheval

Les muscles proximaux responsables de l'abduction et de l'adduction des membres ne se réduisent pas à cette seule action. Nous avons vu précédemment leur implication dans la mobilisation du membre dans l'axe sagittal. La multiplication des axes de sollicitation des membres limite l'accumulation des contraintes en un seul point et favorise un développement musculaire plus harmonieux. Par exemple, la rotation du fémur réalisée lors de l'épaule en dedans augmente à la fois les contraintes d'étirement des muscles antagonistes et les contraintes de contraction des muscles agonistes (Denoix, 2014). De même, alors que l'élévation de la hanche a lieu en ligne droite lors de la phase de soutien du membre pelvien ipsilatéral, elle survient pendant les déplacements latéraux lors de la phase d'appui de membre pelvien ipsilatéral, modifiant les masses mises en charges et les contraintes articulaires.

5.3.6 Comparaison entre les apports du travail sur le cercle et du travail en épaule en dedans

Les deux principales différences dans le travail de l'épaule en dedans par rapport au travail sur le cercle tiennent :

- Dans le chevauchement du membre externe par le membre interne lors d'une épaule en dedans ;
- Par le passage de postérieur interne à l'intérieur de l'antérieur interne et du postérieur externe à l'extérieur de l'antérieur externe lors de l'épaule en dedans.

Hobbs et al. (2011) ont étudié les modifications biomécaniques des membres thoraciques lors du déplacement sur le cercle aux trois allures. Le membre thoracique intérieur décrit pendant la deuxième partie de la phase de soutien un mouvement 'dans le sens de la marche' c'est-à-dire vers l'avant et vers l'intérieur du cercle. Aussi bien le travail sur le cercle que celui en épaule en dedans sollicite les muscles proximaux des quatre membres.

L'incurvation cervicale demandée lors de l'épaule en dedans impose aux muscles brachio-céphalique et omotransversaire une importante variation d'amplitude entre l'extension passive du membre à l'appui et la contraction demandée lors de la phase de soutien (Denoix, 2014).

Le travail conseillé par La Guérinière, sur le cercle hanche en dehors, peut ainsi se placer comme une étape intermédiaire entre le travail incurvé sur le cercle et le travail en épaule en dedans, ce dernier nécessitant une plus grande coordination et un déplacement dans le sens inverse à l'incurvation du rachis.

5.4 L'attitude du cheval au travail, au cœur de la polémique équestre actuelle

5.4.1 L'attitude du cheval au travail, un sujet de polémique aujourd'hui

Si, dans *l'Ecole de Cavalerie*, les exercices sont décrits et hiérarchisés, l'écuyer fait peu mention de l'attitude générale recommandée pour le cheval au travail alors que cette dernière est devenue depuis un sujet polémique. La nuque doit-elle être le point le plus haut ? L'encolure doit-elle être portée haute ou basse ? Quelle valeur de l'angle tête-encolure est la plus bénéfique ? L'attitude du cheval doit-elle évoluer au fur et à mesure du perfectionnement de son travail ?

Grisone parle le premier de l'importance de la position de la tête et de l'encolure pour avoir un cheval disponible. La détente de la mâchoire inférieure est gage de qualité et deviendra plus tard signe de légèreté. La relation entre la main et la bouche du cheval restera signe de la qualité de l'équitation, et chacun s'y attachera (Franchet d'Espèrey, 2000a) multipliant la diversité des embouchures (Franchet d'Espèrey, 2000b)

Ce travail cherchant à analyser, au regard des connaissances et des questions d'aujourd'hui, cet ouvrage de référence dans l'équitation, cette question se doit d'être abordée. C'est dans l'analyse de l'iconographie que nous trouvons le plus de réponses. Les gravures de Parrocel pour *l'Ecole de Cavalerie* illustrent pour le lecteur d'alors ce que ce doit d'être un cheval d'école : elles constituent une référence dans la compréhension des exercices proposés.

La recherche d'un modèle de chevaux aux ganaches légères afin de favoriser l'attitude rassemblée parle en faveur d'une fermeture de l'angle tête-encolure.

5.4.1 Analyse de l'attitude générale du cheval au travail, appuyée sur l'iconographie

Chacune des gravures encartées dans les différentes éditions et rééditions de l'ouvrage présentent les similitudes suivantes : le cheval est présenté avec un port de tête haut, un angle tête-encolure modérément ouvert, un équilibre global horizontal ou reporté sur les hanches (Fig. 27). La bascule de la nuque à droite ou à gauche ne peut être interprétée, le cheval étant représenté comme regardant le lecteur dans la plupart des gravures. Le parallélisme des membres dans les allures symétriques cité comme gage de la qualité du travail par certains auteurs contemporains (Heuschman, 2009) n'est pas mis en avant ni par l'auteur ni par l'illustrateur.

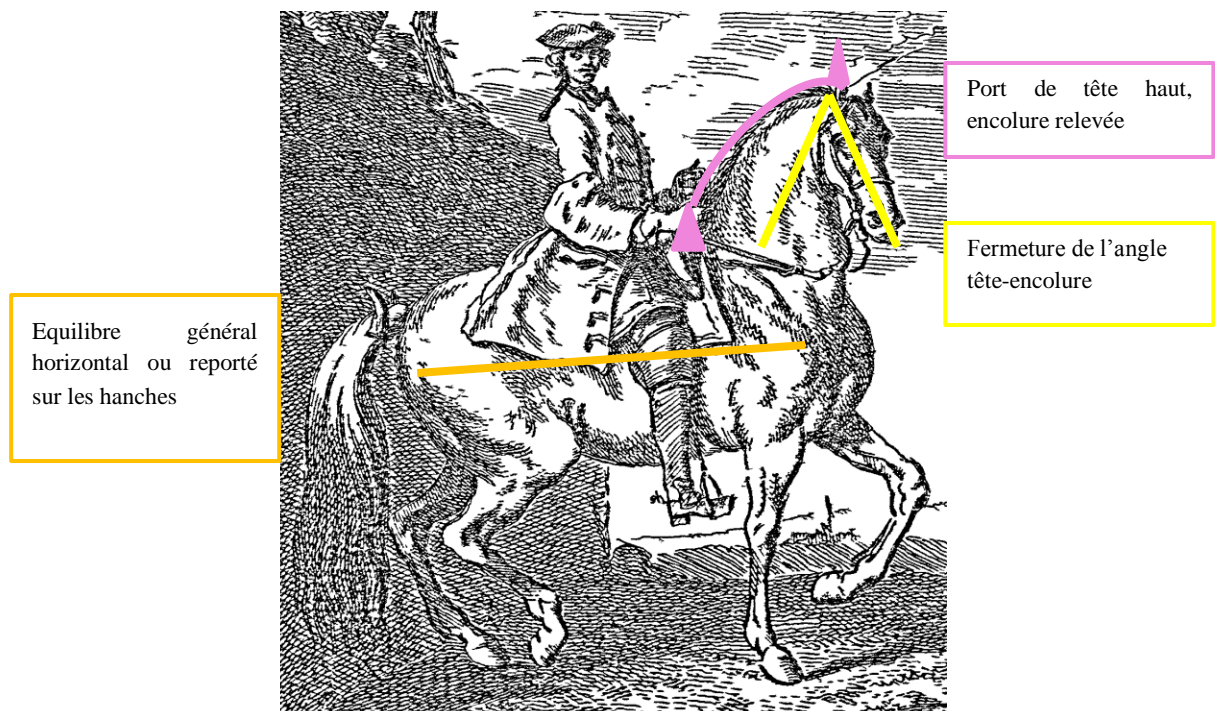


Fig. 27 : Attitude récurrente des chevaux au travail dans *L'Ecole de Cavalerie* ; annotations d'après une gravure de Parrocel pour la croupe au mur, François Robichon de la Guérinière, *L'Ecole de Cavalerie* tome 1, 1736 :203.

5.4.2 Interprétations biomécaniques

Gomez Alvarez et al. (2006) ont étudiés les conséquences de cinq positions de la tête et de l'encolure sur la locomotion de chevaux de dressage de haut niveau évoluant sans cavalier. Leur conclusion est la suivante (Tab. XIX) :

- l'élévation de la tête et de l'encolure provoque
 - o une extension de la région thoracique,
 - o une flexion de la région lombaire,
 - o une diminution de l'amplitude des mouvements dans le plan sagittal ;
- l'abaissement de la tête et de l'encolure provoque
 - o une flexion de la région thoracique,
 - o une extension de la région lombaire,
 - o une augmentation de l'amplitude des mouvements dans le plan sagittal ;
- la position de la tête et de l'encolure n'influe pas sur la vitesse au sein d'une allure ;
- la position de la tête ne modifie pas les mouvements latéraux du rachis, sauf dans une position extrême tête et encolure maintenues très hautes (« attitude renversée ») ;
- plus l'attitude est marquée, plus elle aura de conséquences sur la locomotion ;
- l'extension d'encolure (tête et encolure élevées) réduirait d'avantage les mouvements du rachis que la flexion d'encolure.

Tab. XIX : Répercussion de l'élévation ou de l'abaissement de la tête et de l'encolure sur le rachis. D'après Gomez Alvarez et al, 2006.

	Région thoracique	Région lombaire	Amplitude des mouvements dans le plan sagittal
Elévation de la tête de l'encolure	Extension	Flexion	Diminution
Abaissement de la tête de l'encolure	Flexion	Extension	Augmentation

L'activité et la liberté des hanches recherchées par La Guérinière seraient ainsi favorisées par l'attitude encolure et tête haute représentée par Parrocel dans ses gravures.

Le travail encolure basse, au contraire, ne semble pas favoriser l'engagement postérieur. La mise en tension du ligament supra-épineux et l'écartement des

processus épineux possèdent néanmoins une action antalgique pour les chevaux souffrant de conflits des processus épineux (Boulocher, 2012b).

Le Tab. XX reprend la synthèse établie par Wolschrijn et al. (2013) et compare les trois principales attitudes de la tête du cheval utilisées en équitation classique. La lecture de ce tableau n'est cependant pas complète. En effet, les informations se concentrent sur la position de la tête ; rien n'est rapporté sur l'activité des postérieurs ou la tension du dos. Or la contraction des muscles abdominaux favorise le gainage du caisson abdominal, un meilleur soutien de la masse viscérale et se répercute sur le degré de flexion ou d'extension du dos (Denoix, 1997 ; 2014). Le relèvement de la tête et de l'encolure s'accompagne d'une diminution de l'amplitude des foulées au pas mais non au trot, et une diminution des mouvements de flexion plus ou moins d'extension du dos au pas et au trot. En limitant les mouvements de flexion du segment caudal du dos, le relèvement de l'encolure limite-t-il le mouvement de contraction/élongation du caisson abdominal ?

Tab. XX : Conséquence de la position de la tête et de l'encolure sur la mobilité du dos et l'amplitude des allures, comparaison entre trois attitudes (attitude 1 par rapport à l'attitude 2). D'après Wolschrijn et al., 2013. L'attitude exacte demandée au cheval n'est pas rapportée dans la synthèse. De plus, il n'est fait aucune mention de la conséquence de ces attitudes sur l'activité des muscles considérés en partie IV.D

1 \ 2	Allure	Absence de contrainte Position spontanée	Tête et encolure relevée	Tête et encolure basse	Conséquences sur l'amplitude des foulées
Absence de contrainte Position spontanée	Au pas		Augmentation de l'amplitude des mouvements de flexion-extension et de latéroflexion de la partie caudale du dos	Augmentation de l'amplitude des mouvements de flexion-extension de la partie caudale du dos	/
	Au trot		?	?	/
Tête et encolure relevée	Au pas	Diminution de l'amplitude des mouvements de flexion-extension et de latéroflexion de la partie caudale du dos		Diminution de l'amplitude des mouvements de flexion-extension de la partie caudale du dos	Diminution de l'amplitude des foulées
	Au trot	?		Diminution du mouvement de flexion au niveau de T17 au trot	Aucune conséquence sur l'amplitude des foulées notées
Tête et encolure basse	Au pas	Diminution de l'amplitude des mouvements de flexion-extension de la partie caudale du dos	Augmentation de l'amplitude des mouvements de flexion-extension de la partie caudale du dos		/
	Au trot	?	Augmentation du mouvement de flexion au niveau de T17 au trot		/

6 Limites relatives à l'étude comparative de la locomotion du cheval

6.1 Limites et difficultés actuelles à la comparaison des différentes études

Les études actuelles ne s'attachent pas seulement à qualifier la locomotion du cheval, elles la quantifient. Ces valeurs chiffrées de plus en plus précises permettent de décrypter la locomotion du cheval, et les éléments pouvant y provoquer une variation même minime.

Ainsi, Crevier-Denoix et al. (2010) ont comparé la mise en charge des membres antérieurs sur deux types de sable : le premier à 19% d'humidité, le second à 13%. Sur le second sol, la phase d'appui était significativement plus longue que sur le premier sable. De même, la propulsion était plus marquée et plus longue, alors que la force de freinage était identique. Khumsap et al (2002) ont quant à eux étudié l'impact de la vitesse au sein d'une même allure – ici le pas - sur la foulée. La longueur de la foulée augmente avec la vitesse alors que la durée de la foulée et de la phase de soutien diminue. Par voie de conséquence, les impulsions verticales de propulsions et de freinage diminuent. Les composantes de la réaction du sol augmentent dans toutes les directions : l'activité musculaire n'est donc pas à l'origine de cette augmentation.

Au cours des années, de nouvelles études et l'expérience des équipes de recherches ont permis d'améliorer sans cesse les techniques d'exploration de la biomécanique. Les conséquences de la vitesse, de l'inclinaison du sol, de sa nature... apparaissent d'autant plus flagrantes.

Parmi les principales variables d'une étude à l'autre, la nature du sol, la vitesse, le diamètre du cercle, les défauts d'aplomb des chevaux, le ferrage, l'entraînement des chevaux avant la manipulation apparaissent parmi les plus récurrentes.

La multitude des études utilisées pour la rédaction de ce travail, réalisées par autant d'équipes dans des lieux différents et sur une grande période temporelle – principalement les deux dernières décennies - ne permet pas une approche qualitative. Il sera fait mention des conditions expérimentales, mais les informations fournies seront volontairement quantitatives, s'appuyant uniquement sur l'existence ou non d'une différence significative. Comprendre la locomotion oblige à une vision holistique, chaque variante se répercutant sur la totalité de la machine animale. Il est toutefois difficile d'étudier la totalité du cheval en une seule fois.

Ce travail de thèse s'est donc construit par confrontation et mise en commun d'études centrées sur différentes parties du cheval, dont l'assemblage offre une vision reconstituée et donc partiellement inexacte du fonctionnement du cheval.

6.2 Limites de l'étude relatives à l'évolution du standard des chevaux

6.2.1 Importance du choix de la race et de la morphologie du cheval d'équitation de manège : répartition des races de chevaux en France au XVIIIe siècle

«Tous les auteurs ont donné la préférence au Cheval d'Espagne, & l'ont regardé comme le premier de tous les Chevaux pour le manège, à cause de son agilité, de ses ressorts, & de sa cadence naturelle : pour la pompe & la parade, à cause de sa fierté, de sa grâce & de sa noblesse ; pour la guerre dans un jour d'affaire, par son courage & sa docilité. Quelques-uns s'en servent pour la chasse & pour le carrosse ; mais c'est dommage de sacrifier à ce dernier usage un si noble animal. »

François Robichon de La Guérinière, *L'Ecole de Cavalerie*. 1733 : 20

Les chevaux présents dans les académies sont variés, mais Parrocel choisi de représenter le canon de l'époque : un cheval qualifié aujourd'hui de baroque, de type ibérique, à la croupe rebondie et l'encolure développée, conformation accentuée par le travail.

Pourtant, Corine Doucet rapporte dans son étude sur les académies équestres en France du XVIe au XVIIIe siècle, que les chevaux de la péninsule ibérique seraient plus un idéal du cheval, une représentation faussée d'une réalité bien différente. Le prix de ces chevaux semble limiter leur emploi, en France tout du moins. En revanche, plusieurs études d'archives (Guillotet, 2000b ; Jelen, 2012) témoignent de l'utilisation d'étalons frisons, hollandais et danois. Il semble pourtant qu'ils soient destinés à l'élevage de chevaux de carrosse et non d'école (Guillotet, 2000b). La mode peut, ici encore, être prise en compte, tout comme la localisation géographique des manèges. Il ressort de la lecture des archives (Jelen, 2012) que les chevaux des académies des Etats Septentrionaux étaient majoritairement d'origine germanique.

Des archives flamandes de 1730, régissant l'élevage des chevaux dans les provinces septentrionales, témoignent de l'utilisation de chevaux de races frisonnes, barbe, anglais et allemands pour les carrosses ou la monte. La sélection et la reproduction sont réglementés afin de maintenir un 'type' de cheval correspondant aux standards esthétiques – dans les Flandres, des chevaux de robe noire - et pratiques de l'époque. Si les chevaux ibériques sont plébiscités par La Guérinière, les modes semblent régionales et les chevaux danois, westphaliens, et hanovriens possèdent déjà les faveurs des écuyers flamands (Jelen, 2012). On peut donc supposer une corrélation entre la localisation des manèges et les races de chevaux utilisées.

La destination du cheval et l'usage qui en est fait nécessitent des aptitudes particulières, influant directement sur les critères de sélection des élevages. Aujourd'hui, les multiples disciplines équestres recherchent chacune des morphologies et des capacités physiologiques différentes. Les attentes des cavaliers du XXI^e siècle diffèrent sensiblement de celles du XVIII^e. Il y a trois siècles, distinction est faite entre les chevaux 'de campagne' et les chevaux d'écoles ou de guerre. Les seconds sont préférés aux premiers pour leur docilité, leur souplesse naturelle, leur brillant et leur esthétisme. Ce dernier critère, purement subjectif, répond également à un phénomène de mode et donc de siècle.

6.2.2 Conséquence de l'évolution des standards sur les travaux de recherche actuels

Si les chevaux de la péninsule ibériques sont plébiscités par La Guérinière au XVIII^e siècle, les compétiteurs actuels leurs préfèrent les chevaux de selle allemands, français, ou hollandais alors que les exercices et les exigences – légèreté, fluidité des mouvements et brillant du couple cavalier-cheval - restent pratiquement inchangés. Cette évolution des standards de races s'est accompagnée d'une évolution du harnachement et de la position du cavalier.

La Fédération Internationale de l'Élevage du Cheval de Sport (WBFSH – World Breeding Federation for Sport Horse) établit chaque année, en partenariat avec la Fédération Equestre Internationale (FEI), le classement par discipline des studbooks représentées en compétition internationale. Ce classement, proche de celui établi pour les cavaliers, s'appuie sur les résultats des chevaux : chaque bon classement apporte au studbook du cheval un certain nombre de points dont l'addition aboutit au classement, publié chaque année en septembre. En 2014, les cinq studbooks les plus performantes sur la scène internationale de dressage sont le KWPN néerlandais

(Koninklijk Warmbloed Paardenstamboek), le Hanovrien et le Westphalien allemands, le Cheval de Selle Danois (Danish Warmblood), et l'Oldenburg allemand. Le cheval de Pur Sang Lusitanien portugais et le cheval de Pur Race Espagnole se classent respectivement à la dixième et la treizième place sur trente-neuf. Cette tendance se retrouve également dans les épreuves nationales en France - niveaux amateurs et pro (IFCE, 2011).

La recherche bibliographique réalisée pour cette thèse s'est trouvée confrontée à cette modernisation des chevaux, la majorité des études portant sur les chevaux de selle de conformation moderne et non sur des chevaux ibériques baroques. Face au degré de précision des moyens de mesures actuels, les variations individuelles constituent un biais souligné par certains auteurs et se doivent d'être prises en compte dans ce travail.

Solé et al. (2013) ont cherché à comprendre pourquoi les chevaux ibériques, si plébiscités au dix-huitième siècle, sont ainsi 'passés de mode'. Ils sont attachés à la cinématique ainsi qu'à la morphologie des chevaux de Pure Race Lusitanienne, de Pure Race Espagnole et au cheval de Race Minorquine évoluant au trot sans cavalier. Il résulte de leur étude que, pour les trois races, l'angle tibio-tarsométatarsien est trop aigu pour favoriser une bonne utilisation des postérieurs, et les variations d'amplitude des membres pelviens en pro- et rétraction plus faible en comparaison des races dominant la scène internationale. Il est alors intéressant de se demander si ces critères influent sur le 'bien-être locomoteur' de l'animal. D'après Sollé et al., il s'agit avant tout de critères comparatifs entre races. La lecture de cet article laisse à penser que la locomotion du cheval ibérique est fonctionnelle, et répond à une volonté de sélection esthétique.

Il ne se révèle donc pas indépendant des préoccupations actuelles de l'usage du cheval et de ce qu'on attend de lui. Les travaux qui s'y rapportent – traité d'équitation, publications scientifiques – s'intéressent aux questions de leur époque, et se rapportent donc à la morphologie majoritaire des chevaux utilisés.

Conclusion

Au XVII^e siècle se développe en Europe un nouveau courant de pensées équestre issu des rencontres culturelles du carrefour méditerranéen. En plus de ses critères guerriers, l'équitation se voit attribuer des caractéristiques esthétiques. Ces deux éléments – le beau et l'utile – constitueront les dogmes fondateurs des académies équestres : offrir à la jeunesse de l'élite européenne un enseignement de qualité lui permettant de briller aussi bien en temps de guerre qu'en temps de paix. Publiée en 1733, à l'âge d'or des académies et alors que la médecine vétérinaire connaît un essor, L'École de Cavalerie propose à ses lecteurs une synthèse complète en deux tomes des connaissances équestres et hippiques de son époque. Par la pertinence de son texte, la richesse et le nombre des illustrations, la diversité de formats et de qualité des multiples rééditions de son ouvrage, La Guérinière a su étendre son influence au-delà du cercle restreint de la noblesse et ce à travers les siècles, faisant de son ouvrage et des exercices proposés une référence actuelle en équitation classique.

Bien que nous ayons depuis considérablement accru nos connaissances vétérinaires, l'utilisation d'outils pour étudier la locomotion et la biomécanique du cheval a à peine plus d'un siècle. Ces dernières décennies, la diversité et la précision des outils disponibles ne cessent de croître, permettant d'accompagner le cheval athlète dans des limites de performances toujours repoussées. Pourtant, les propos rapportés par La Guérinière témoignent de la pertinence des observations des écuyers du XVIII^e siècle. Ainsi, la description des allures du cheval, base de la compréhension de sa locomotion, est quasi-exacte. Le raisonnement mené par La Guérinière s'appuie sur une bonne connaissance de l'anatomie du cheval et des mouvements autorisés par chaque structure, même si le nombre de celles mises en avant dans le travail du cheval est réduit. La fonction biomécanique exacte de certaines structures ne semble pas encore maîtrisée. Le travail du cheval vise à développer des 'zones clés' – épaules, hanche – dans le but d'obtenir un cheval souple et gracieux tout en préservant les structures sensibles – pieds, structures tendineuses de l'extrémité distale du membre.

Alors que le statut de l'animal est en pleine évolution et que les polémiques sur les techniques de dressage ferment régulièrement les sports équestres, La Guérinière nuance chacun de ses exercices au regard du bien-être psychique du cheval.

Thèse de Mlle Héloïse CHENOT

Le Professeur Responsable
VetagroSup

Vu et permis d'imprimer.

Le Président du Jury

Lyon, le 01 OCT. 2015

Le Directeur général
VetagroSup

Par Délégation
Dr. L. FREYBURGER
Directeur de l'Enseignement
et de la Vie Étudiante
VetAgroSup Campus Vétérinaire

Président de l'Université
Professeur F. N. GILLI

Bibliographie

ACR. *Catalogue en ligne, Gamme orthopédique*. Consulté le 28 septembre 2015.
<http://www.ac-concepts.com>

Adams O.R. 2005a. *Classification des fers et des clous à cheval*. In Denoix J.-M., Crevier N., Guignan S. 2005. *Les boiteries du cheval*. Traduction de la troisième édition abrégée américaine. Edition Maloine : 367-376.

Adams O.R. 2005b. *Ferrure du pied normal*. In Denoix J.-M., Crevier N., Guignan S. 2005. *Les boiteries du cheval*. Traduction de la troisième édition abrégée américaine. Edition Maloine : 377-388.

Adams O.R. 2005c. *Ferrures correctives*. In Denoix J.-M., Crevier N., Guignan S. 2005. *Les boiteries du cheval*. Traduction de la troisième édition abrégée américaine. Edition Maloine : 389-407.

Adams O.R. 2005d. *Boiteries*. In Denoix J.-M., Crevier N., Guignan S. 2005. *Les boiteries du cheval*. Traduction de la troisième édition abrégée américaine. Edition Maloine: 145-268.

Alexander R. McN. 1991. *Energy-saving mechanisms in walking and running*. J. exp. Bio. 160 : 55-69

Auriol-Jollinier M. 2000. *La Guérinière, premier pédagogue équestre moderne. La raison au service d'un art d'élite*. In Franchet d'Esperey P. 2000. *François Robichon de la Guérinière : Ecuyer du Roi et d'aujourd'hui*. Colloque du 14 juillet 2000 à l'Ecole Nationale d'Equitation. Edition Belin 2000 : 127-134.

Barone R. 1989a. *Anatomie comparée des mammifères Tome 1 Ostéologie*. Editions Vigot, Paris. 761 pages.

Barone R. 1989b. *Anatomie comparée des mammifères Tome 2 Myologie et arthrologie*. Editions Vigot, Paris. 984 pages.

Barrey E. 2013. *Gaits and interlimb coordination*. In Back W., Clayton H. 2013. *Equine Locomotion*. Seconde Edition. Elsevier Publishers : 85-98.

Barrey E., Galloux P. 1995. *Analyse des allures chez le cheval de dressage : exemples et perspectives d'application*. Equ'Atlon 7(28) :14-21.

Baup B., Corona A. 2013. *La gestion du pied plat*. In Proceeding des Journées annuelles de l'AVEF. 11-13 décembre 2013. Deauville.

Boulocher C. 2012a. *Connaitre les bases de biomécanique du dos du cheval : le segment thoraco-lombaire*. Le Nouveau Praticien Vétérinaire équine ; 8(28) : 11-14.

Boulocher C. 2012b. *Connaitre les points clés de l'anatomie du dos du cheval pour comprendre les dorsalgies*. Le Nouveau Praticien Vétérinaire équine ; 8(28) : 15-20.

Budras K.-D., Sack W. O., Röck S. 2009. *Axial Skeleton and Neck*. In *Anatomy of the horse*. Cinquième édition. Editions Schlütersche : 56-57.

Cavendish W. Duc de Newcastle. 1700. *Nouvelle méthode pour dresser les chevaux*. Traduit par J. de Solleysel. Paris. 396 pages. L'ouvrage original est disponible en version numérisée dans les Fonds Anciens numériques de la bibliothèque vétérinaire de VetAgroSup. Consulté le 4 octobre 2012.

Château H., Camus M., Holden-Douilly L., Falala S., Ravary B., Vergari C., Lepley J., Denoix J.-M., Pourcelot P., Crevier-Denoix N. 2013. Kinetics of the forelimb in horses circling on different ground surfaces at the trot. *The Vet. Journal* 198 : 20-26.

Chateau H., Camus M., Holden-Douilly L., Pourcelot P., Falala S., Robin D., Denoix J.-M., Crevier-Denoix N. 2014. *Notions de biomécanique chez le cheval*. In *Proceeding du Congrès AVEF Junior, mars 2014, Maisons-Alfort*.

Chateau H., Degueurce C., Denoix J.-M. 2002. *Biomécanique du pied du cheval*. *Pratique Vétérinaire Equine* Vol.34, numéro spéciale : 7-15.

Château H., Degueurce C., Denoix J.-M. 2005. *Three-dimensional kinematics of the equine distal forelimb : effects of a sharp turn at the walk*. *Equine vet. J.* 37 (1) : 12-18.

Clayton H., Back W. 2013. *Hind limb function*. In *Equine Locomotion*. Second Edition. Elsevier Publishers :127-146.

Clayton H., Chateau H., Back W. 2013. *Fore limb function*. In Clayton H., Back W. *Equine Locomotion*. Second Edition. Elsevier Publishers : 99-126.

Clayton H., Sha D.H. 2006. *Head and body centre of mass movement in horses trotting on a circular path*. *Equine Vet J Suppl* 08 (36) : 462-467.

Crevier-Denoix N., Ravary B., Vergari C., Falala S., Jerbi H., Château H., Denoix J.-M., Pourcelot P. 2011. *Biomécanique des tendons et incidence des sols*. In *Proceeding des Journées annuelles de l'AVEF. 2-4 décembre 2011. Lyon*.

Crevier-Denoix N., Robin D., Pourcelot P., Falala S., Holden L., Estoup P., Desquilbet L., Denoix J.-M., Château H. 2010. *Ground reaction force and kinematic analysis of limb loading on two different beach sand tracks in harness trotters*. *Equine Vet. J.* 42 (38) : 544-551.

Dao T.T. 2009. *Modélisation du Système Musculo-squelettique des Membres Inférieurs : Modèle Biomécanique vs. Méta Modèle*. Engineering Sciences. Université de Technologie de Compiègne, 2009. French. <tel-00454959>

Deblaise P. 2000. *L'Ecole de Cavalerie ou l'école du livre au XVIIIe siècle*. In Franchet d'Esperey P. *François Robichon de la Guérinière : Ecuyer du Roi et d'aujourd'hui*. Colloque du 14 juillet 2000 à l'Ecole Nationale d'Equitation. Edition Belin 2000 : 67-79.

Denoix J.-M. 1997. *Approche de la kinésithérapie du cheval*. Seconde édition. Editions Maloine. 291 pages.

Denoix J.-M. 2011. *Les ferrures kinésithérapiques des tendinopathies*. In *Proceeding des Journées annuelles de l'AVEF.2-4 décembre 2011*. Lyon.

Denoix J.-M. 2014. *Biomécanique et gymnastique du cheval*. Editions Vigot. 190 pages.

Dictionnaire en ligne Larousse www.larousse.fr Consulté les 18 et 30 mai 2015.

Doucet C. 2003. *Les académies équestres et l'éducation de la noblesse (XVIe-XVIIIe siècle)*. *Revue historique* 2003/4 (628) : 817-836.

Doucet C. 2012. *Le point sur l'inventaire en cours des manèges français du XVIe au XXe siècle*, *In Situ* [En ligne] 2012 ; 18 mis en ligne le 31 juillet 2012, consulté le 01 juillet 2014. URL : <http://insitu.revues.org/9658> ; DOI : 10.4000/insitu.9658

Ecole Nationale d'Equitation (ENE). 2000. *Catalogue de l'exposition François Robichon de la Guérinière, Ecuyer du roi et d'aujourd'hui ? du 14 juillet au 30 septembre 2000 à l'ENE*. Disponible au format PDF dans la bibliothèque en ligne de l'ENE.

E-Hoof : glossaire multilingue des termes de maréchalerie. www.e-hoof.fr Consulté tout au long de ce travail de thèse

Equi-Leger, l'équitation de la légèreté à la recherche de la 2è manière de Baucher. <http://www.equi-leger.fr/baucher.html> Consultation le 24 juin 2015.

FEI 2013. *Dressage Rules. 24th edition*. Updates effective on 01.01.2013.

FEI/WBFSH *World Ranking List – Dressage Studbook 2014*. 30 septembre 2014. Disponible sur le site de la WBFSH (World Breeding Federation of Sport Horse) : www.wbfs.org Consultation mars 2015.

Fiske-Jackson A. 2014. *Tendon injuries in horses – treatment and healing*. *Veterinary Times* N°04. 27/01/2014. Consulté le 5 juillet 2015.

France Maréchalerie. www.france-marechalerie.fr Consulté le 19 mai 2015

Franchet d'Esperey P. 2000a. *La Guérinière, héritier ou précurseur ?* In *François Robichon de la Guérinière : Ecuyer du Roi et d'aujourd'hui*. Colloque du 14 juillet 2000 à l'Ecole Nationale d'Equitation. Edition Belin : 147-154.

Franchet d'Espérey P. 2000b. *Un point sur l'évolution des mors dans la première moitié du XVIIIe siècle*. In François Robichon de la Guérinière : *Ecuyer du Roi et d'aujourd'hui*. Colloque du 14 juillet 2000 à l'Ecole Nationale d'Equitation. Edition Belin : 63-66.

Gellman K.S., Bertram J.E.A., Hermanson J.W. 2002. *Morphology, histochemistry and function of epaxial cervical musculature in horse (Equus caballus)*. Journal of Morphology 251 : 182-194.

Goff L., Stubbs N. 2007. *Applied animal biomechanics*. In McGowan C., Goff L., Stubbs N. *Animal Physiotherapy : assessment, treatment and rehabilitation of animals*. Blackwell Publishing : 32-55.

Gomez Alvarez C. B., Rhodin M., Bobbert M. F., Meyer H., Weishaupt M. A., Johnston C., Van Weeren P.R. 2006. *The effects of head and neck position on the thoracolumbar kinematics in the unriden horse*. Equine vet. J., Suppl. 36 : 445-451.

Grange Y. 2000. *Cheval et pouvoir : « Acquérir par l'usage la plus grande justesse »*. In Franchet d'Espérey P. *François Robichon de la Guérinière : Ecuyer du Roi et d'aujourd'hui*. Colloque du 14 juillet 2000 à l'Ecole Nationale d'Equitation. Edition Belin: 155 -166.

Grisone F. 1558. *Oridini di cavalcare*. 163 pages. . L'ouvrage original est disponible en version numérisée dans les Fonds Anciens numériques de la bibliothèque vétérinaire de VetAgroSup. Consulté le 29 mai 2015.

Guillot G. 2000a. *Essai de reviviscence de l'écuyer François Robichon de la Guérinière et de ses proches*. In Franchet d'Espérey P. *François Robichon de la Guérinière : Ecuyer du Roi et d'aujourd'hui*. Colloque du 14 juillet 2000 à l'Ecole Nationale d'Equitation. Edition Belin: 13-25.

Guillot G. 2000b. *La remonte des manèges au XVIIIe siècle*. In Franchet d'Espérey P. *François Robichon de la Guérinière : Ecuyer du Roi et d'aujourd'hui*. Colloque du 14 juillet 2000 à l'Ecole Nationale d'Equitation. Edition Belin: 59-62.

Harrison S.M., Whitton R.C. King M., Haussler K.K., Kawcak C.E., Stover S.M., Pandy M.G. 2012. *Forelimb muscles activity during equine locomotion*. The journal of experimental biology 215 : 2980-2991

Hertogh C. 2013. Université des Antilles et de la Guyane. Cours de STAPS. http://calamar.univ-ag.fr/uag/staps/cours/anat/new/intro.htm#intro_os Mis à jour en août 2013. Consulté le 30 mai 2015.

Heuschman G. 2009 *Dressage moderne, un jeu de massacre ?* Editions Belin. Traduction d'après Heuschman G. *Finger in der Wunde*. Wu Wei Verlag 2006. 128 pages.

Hobbs S., Clayton H. 2013. *Sagittal plane ground reaction forces, center of pressure and center of mass in trotting horses*. The Veterinary Journal 198 : 14-19.

Hobbs S.J., Licka T., Polman R. 2011. *The difference in kinematics of horses walking, trotting and cantering on a flat and banked 10m circle*. Equine vet. J. 43 (6) : 686-694.

Hunt R.J. 2012. *Fariery for the hoof with low or underrun heels*. Vet Clin Equine 28 : 351-364.

IFCE/Haras Nationaux, ENE – Cadre Noir de Saumur, Institut de l'Élevage, Fédération Française d'Équitation (FFE), Fédération nationale des Conseils des Chevaux (FCC). 2011. *Le dressage en France et à l'International*. Bibliothèque des Haras Nationaux.

Jelen A. 2012. *Le fonctionnement des académies équestres et haras septentrionaux au XVIIIe siècle à partir d'un patrimoine archiviste national et régional*. In Situ [en ligne] 2012 ; 18. Mis en ligne le 31 juillet 2012 et consulté le 01 juillet 2014. <http://insitu.revues.org/9729> ; DOI : 10.4000/insitu.9729

Jollet E. 2000. *Charles Parrocel et les gravures de l'Ecole de Cavalerie : la passion maîtrisée*. In Franchet d'Esperey P. *François Robichon de la Guérinière : Ecuyer du Roi et d'aujourd'hui*. Colloque du 14 juillet 2000 à l'Ecole Nationale d'Équitation. Edition Belin : 111-121.

Khumsap S., Clayton H.M., Lanovaz J.L., Bouchey M. 2002. *Effect of walking velocity on forelimb kinematics and kinetics*. Equine vet. J., 34 : 325-329.

Le Borgne P., Gossard C. *Fondements mécaniques d'un modèle articulaire : biomécanique, mécanobiologie et mécanotransduction*. ITBM-RBM 27 : 107- 116

Le Box Pédagogique. Plateforme multimédia pour les moniteurs d'équitation. <http://leboxpedagogique.jimdo.com/dressage/> Consultée le 6 juin 2015.

Leboeuf F., Achard de Leluardière F., Lacouture P., Duboy J., Leplanquais F., Junqua A. 2006. *Etude biomécanique de la course à pied*. EMC (Elsevier SAS, Paris), Podologie, 27-020-A-20.

Licka T., Frey A., Peham C. 2009. *Electromyographic activity of the longissimus dorsi muscles in horses when walking on a treadmill*. Veterinary Journal 180 : 71-76

Liévaux P. *Le manège et les écuries du roi aux Tuileries*. In Franchet d'Esperey P. *François Robichon de la Guérinière : Ecuyer du Roi et d'aujourd'hui*. Colloque du 14 juillet 2000 à l'Ecole Nationale d'Équitation. Edition Belin : 27-58.

Maray J. E. 1873. *La machine animale, locomotion terrestre et aérienne*. G. Baillière. Paris. 1873 : 154 – 196. Consulté le 01/12/2014. <http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?32624>

May-Davis S., Kleine J. 2014. *Variations and Implications of the Gross Anatomy in the Equine Nuchal Ligament Lamellae*. Journal of Equine Veterinary Science 34 : 1110–1113.

Michel Vaillant maréchalerie. Catalogue en ligne, gamme Fers alu kinésithérapiques MV&JMD. Consultation le 28 septembre 2015. <http://www.michel-vaillant.com>

Mitchell J. S. 2012. *Lameness and performance evaluation in ambulatory practice*. Vet Clin Equine 28 : 101–115.

Pagger H., Schmidburg I., Peham C., Licka T. 2010. *Determination of the stiffness of the equine cervical spine*. Vet. Jour. 186 : 338-341.

Parks A. H. 2012. *Therapeutic farriery One veterinarian's perspective*. Vet Clin Equine 28 : 333–350.

Pradier P. 2010. *Mécanique équestre et équitation. Réflexions d'un cavalier de la fin du XXe siècle sur l'équitation*. Editions Belin. 255 pages.

Raynor M. 2008. *Anatomie du cheval à colorier*. Editions Vigot. 136 pages.

Reece W.O. 2013a. *Bones, joints and synovial fluid*. In *Functional Anatomy and Physiology of Domestic Animals*. Wiley-Blackwell : 179 – .

Reece W.O. 2013b. *Muscle*. In *Functional Anatomy and Physiology of Domestic Animals*. Wiley-Blackwell : 206 – 227.

Robichon de la Guérinière F. 1733. *L'Ecole de Cavalerie*. 312 pages L'ouvrage original est disponible en version numérisée dans les Fonds Anciens numériques de la bibliothèque vétérinaire de VetAgroSup.

Robichon de la Guérinière F. 1736a. *L'Ecole de Cavalerie Tome Premier*. Jacques Guérin imprimeur-Libraire. 364 pages. L'ouvrage original est disponible en version numérisée dans les Fonds Anciens numériques de la bibliothèque vétérinaire de VetAgroSup.

Robichon de la Guérinière F. 1736b. *L'Ecole de Cavalerie Tome Second*. Jacques Guérin imprimeur-Libraire. 303 pages. L'ouvrage original est disponible en version numérisée dans les Fonds Anciens numériques de la bibliothèque vétérinaire de VetAgroSup.

Ross M. W., Genovese R.L., Dyson S.J., Jorgensen J.S. 2011. *Superficial digital Flexor Tendonitis*. In Ross M. W., Dyson S.J. 2011. *Diagnosis and management of lameness in the horse*. Second edition. Elsevier Saunders : 706 – 726.

Sawaya S. 2011. *Les productions cornées des mammifères domestiques*. Cours de formation au DEVF avril 2011. VetAgro Sup – Campus Vétérinaire de Lyon.

Scali M. 2010. *Baucher. Coll. Les grands maitres expliqués*. Editions Belin.

Solé M., Santos R., Gomez M.D., Galisteo A.M., Valera M. 2013. *Evaluation of conformation against traits associated with dressage ability in unriden Iberian horses at the trot*. Research in Veterinary Science 95 : 660-666.

Starke S., Willems E., May S., Pfau T. 2012. *Vertical head and trunk movement adaptations of sound horses trotting in a circle on a hard surface*. The Veterinary Journal 193 : 73-80.

Thorpe C. T., Spiesz E.M., Chaudhry S., Screen H. R. C., Clegg P.D. 2015. *Science in brief : Recent advances into understanding tendon function and injury risk*. Equine Veterinary Journal 45 : 137-140.

UFR STAPS Toulouse. Cours de Master 1. Consultation le 29 septembre 2015
http://www.f2smhstaps.ups-tlse.fr/tp/fichier/SC2/M1_UESc2_3-Cinetique.pdf

UNESCO. *L'Equitation de Tradition Française*. In *Listes et registres du Patrimoine Culturel Immatériel*.

<http://www.unesco.org/culture/ich/index.php?lg=fr&pg=00011&RL=00440>

Van Weeren R. 2013. *History*. In Clayton H., Back W. *Equine Locomotion*. Seconde Edition. Elsevier Publishers : 1-30.

Vanschepdael P. Date inconnue. *Les Compagnons Maréchaux-ferrants du devoir. Anatomie et physiologie du sabot du cheval*. Association ouvrière des Compagnons du Devoir et du Tour de France.

Wolschrijn C., Audigié F., Wijnberg I., Johnston C., Denoix JM., Back W. 2013. *The neck and back*. In Clayton H., Back W. *Equine Locomotion*. Second Edition. Elsevier Publishers :199-227.

Annexes

Annexe I : Vocabulaire biomécanique

La biomécanique se définit comme l'application des lois de la mécanique aux problèmes de biologie, de physiologie et de médecine (Larousse, 2015).

Trois plans et trois axes permettent de définir une structure et ses éventuels mouvements dans l'espace (Fig. 28) : le plan frontal, le plan sagittal et le plan transversal, auxquels correspondent l'axe vertical, l'axe sagittal et l'axe horizontal.

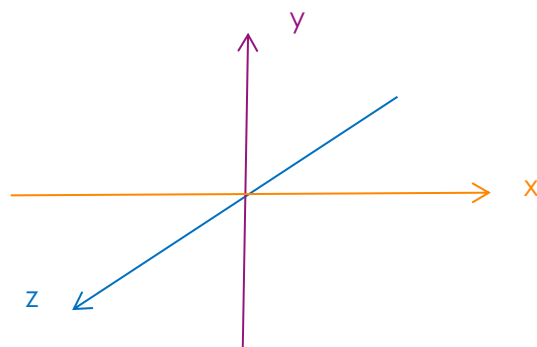


Fig. 28 : Représentation schématique permettant de définir une structure et ses éventuels mouvements dans l'espace. En violet, l'axe vertical y contenu dans le plan frontal, en bleu l'axe sagittal z contenu dans le plan sagittal et en orange l'axe horizontal x contenu dans le plan transversal.

Annexe II : Propriétés des os, arceaux rigides de l'organisme

La compréhension des phénomènes locomoteurs repose en grande partie sur la structure intrinsèque des éléments locomoteurs, et donc leurs propriétés biomécaniques.

Les os sont composés de multiples cellules dont la principale particularité réside dans la rigidité de leur milieu extracellulaire. Un os se compose à 25% en masse d'eau, 45% de minéraux - principalement calcium et phosphore - et 30% de matière organique - quasi exclusivement du collagène (Reece, 2013a).

L'assemblage des os donne le squelette dont la forme est propre à chaque espèce (Fig. 29). Le squelette assure la protection des viscères crâniens, thoraciques et abdominaux. Sa solidité en fait le point d'ancrage des autres structures de l'organisme dont, pour la locomotion, les muscles, tendons et ligaments. L'alignement des segments osseux contribue à la transmission d'énergie d'une extrémité à l'autre du segment considéré.

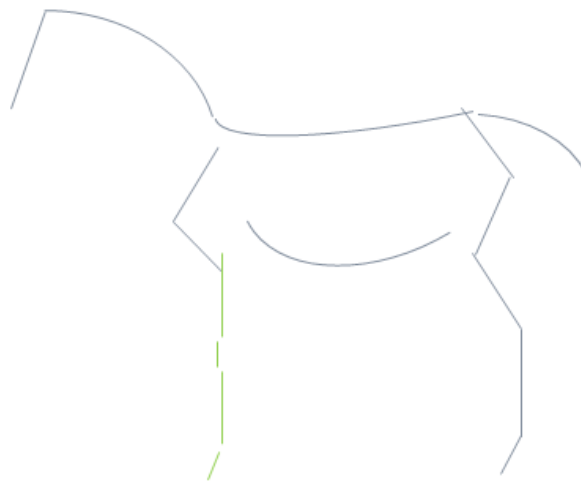


Fig. 29 : Aperçu simplifié et schématisé de la structure d'un cheval. Les segments peuvent être considérés à différents niveaux : à l'échelle de l'os (un os = un segment) ou par association. Par exemple, le membre thoracique - en vert sur le schéma - peut être considéré comme un segment dont l'alignement est nécessaire à la propagation de l'énergie élastique autorisant une locomotion à faible coût énergétique (voir infra).

Trois types d'os se distinguent : les os plats, les os courts et les os longs. Les os plats regroupent la scapula ; les os courts les vertèbres ou les os du carpe et du tarse. Les os longs représentent la grande majorité des os des membres. Ils se composent de deux parties :

- Pour sa périphérie, d'os dit compact ;
- Pour sa partie trabéculaire, d'os dit spongieux.

La solidité des os résulte principalement de leur organisation. L'os compact est dur, sans espace. De multiples vaisseaux sanguins s'étendent dans des canaux, appelés canaux de Harvers et orientés parallèlement au grand axe de l'os. Autours de ces canaux se développent des anneaux concentriques. On appelle 'ostéon' un ensemble d'anneaux concentriques et 'lamelle' chaque anneau. Les lamelles sont formées par plusieurs cellules osseuses, les 'ostéocytes', logées dans une lacune et disposées en cercle. Les ostéocytes sont reliés entre eux sur une même lamelle et d'une lamelle à l'autre par des extensions cytoplasmiques s'avancçant dans des canalicules. Les ostéocytes sont de la même façon reliés aux canaux de Harvers. La matrice extracellulaire, entre les ostéocytes, se compose pour sa part organique de collagène et d'une part minérale, offrant à l'os sa rigidité. Au sein d'un même ostéon, le sens d'orientation des fibres de collagène qui le compose s'inverse d'une lamelle à l'autre, offrant ainsi une résistance à la contrainte dans toutes les directions. L'espace entre les ostéons est comblé par des lamelles interstitielles. Bâties sur le même principe que les ostéons, elles ne s'organisent pas autour d'un canal et leurs anneaux sont incomplets. Perpendiculairement aux canaux de Harvers s'étendent les canaux de Volkman. Les deux types de canaux et les vaisseaux sanguins qu'ils contiennent communiquent entre eux (Reece, 2013a). L'os spongieux a l'apparence d'une éponge. Il se compose de trabécules de tissus minéralisés, organisés parallèlement aux lignes de plus grand stress (Reece, 2013b). L'os spongieux contribue ainsi, malgré son apparence 'aérée', à la solidité de l'os au même titre que l'os compact.

Les os sont des structures dynamiques, capables de répondre aux contraintes physiologiques et pathologiques par l'adaptation, en synthétisant ou détruisant de la matière.

Les os n'assurent pas qu'une fonction locomotrice ; ils participent également à l'homéostasie calcique et phosphorique et à l'hématopoïèse.

Annexe III : Propriétés des articulations, zone de rencontre entre deux os

On appelle articulation la zone de 'contact', de rencontre, entre deux os. plusieurs types d'articulations se distinguent. Les plus présentes dans l'appareil locomoteur sont les articulations synoviales et les articulations intervertébrales (voir infra). Les articulations synoviales autorisent le glissement d'une surface osseuse par rapport à une autre (Reece, 2013a).

Le degré de mobilité d'une articulation se définit comme l'amplitude physiologique que possède cette articulation, dans n'importe quelle direction. Ce degré de mobilité se calcule à partir de la position d'équilibre et se divise en deux zones (Goff et Stubbs, 2007) :

- la zone neutre, de faible résistance. Le mouvement est produit avec le minimum de résistance interne ;
- la zone élastique, de plus forte résistance. Elle s'étend de la fin de la zone neutre au degré physiologique maximum de l'articulation.

La zone neutre d'un mouvement de translation passif est plus étroite que celle d'un mouvement actif, diminuant ainsi l'amplitude de ce mouvement.

Chaque articulation possède un à trois degrés de liberté selon les trois axes de translation et autant en rotation (Hertogh, 2013).

Annexe IV : Propriétés des muscles, unités contractiles

Les muscles sont des structures anatomiques capables de se contracter et de se détendre (Larousse, 2015). Se faisant, elles assurent le mouvement d'un segment du corps par rapport à un autre ou au contraire opposent une résistance au mouvement. Contrairement aux muscles lisses dont l'action est 'locale', les muscles striés impliqués dans le mouvement et la locomotion peuvent mobiliser des segments vastes ou distants de leur origine par la mise en jeu de chaînes de transmissions. Pour se faire, l'une des extrémités du muscle, appelée 'origine', s'ancre solidement tandis que l'autre extrémité, appelée insertion, peut soit s'ancre également dans l'os ou se poursuivre par un tendon aux propriétés élastiques (Reece, 2013b).

a) Structure du muscle

Les muscles sont constitués de cellules particulières, les sarcomères. Ces cellules plurinucléées sont particulièrement longues. Leur réticulum endoplasmique, en forme de T, va libérer le calcium à l'origine de la contraction.

L'organisation, la taille et la forme des cellules varient d'un muscle à l'autre. Certains possèdent de longues cellules parallèles, d'autres des fibres courtes, pennées, à l'orientation variable.

b) Propriétés d'un muscle

Les muscles sont des structures excitables. Leur activité répond à un influx nerveux, traduit au niveau cellulaire par des mouvements d'ions. Selon les muscles concernés, l'innervation peut être fine – un grand nombre de terminaisons nerveuses se répartit pour une mobilité précise portion par portion – ou grossière – un faible nombre de terminaisons nerveuses mobilise une section 'en masse'. Cette activité se traduit par la contractilité du muscle. Les muscles sont également élastiques. Ils possèdent ainsi la capacité de se déformer depuis leur point d'équilibre et d'y revenir sans rupture tant que leur capacité élastique n'est pas excédée. Enfin, les muscles sont toniques. Ils sont capables de maintenir leur contraction, assurant ainsi le maintien de la posture. (Hertogh, 2013 ; Denoix, 1997)

c) *Classification des muscles selon leur mode de contraction*

La classification la plus connue des muscles traduit la capacité de fonctionnement anaérobie des fibres qui le composent : type I, IIa ou IIb. Cette classification s'intéresse à la capacité des fibres musculaires à produire de l'énergie pour permettre la contraction musculaire et aux modalités de cette production.

On distingue trois modes de contraction des muscles (Tab. XXI et Fig. 30) : la contraction isométrique, la contraction concentrique et la contraction excentrique (Clayton et al, 2013 ; Clayton et Back, 2013 ; Hertogh, 2013).

- La contraction concentrique déplace deux segments osseux. Lors de la contraction, le muscle se raccourcit, tire sur ses insertions et provoque une rotation des os au niveau de leur articulation commune.
- La contraction excentrique pendant laquelle le muscle s'étire en réponse à une contrainte extérieure.
- La contraction isométrique n'entraîne aucun mouvement du muscle et le travail fourni est nul. La contraction sans modification de la taille permet, lors de la mise en charge du membre pendant la phase d'appui, l'accumulation d'énergie élastique dans les tendons. A la levée de la mise en charge, à la fin de la phase d'appui, cette énergie sera relâchée et participera, pour un faible coût énergétique, au mouvement de l'extrémité distale du membre. L'alignement des segments favorise sa circulation.

Le type de contractions réalisables par un muscle donné dépend de l'orientation des fibres qui le composent et se traduit par la PCSA (Physiological Cross-Section Area : Section Physiologique), le rapport du nombre de fibres sur l'aire de la section. Des fibres courtes et pennées autorise une PACSA plus grande. Ces muscles sont souvent associés à des tendons et leur contraction est isométrique. Le muscle sera d'autant plus impliqué dans la lutte contre la gravité. Les muscles présentant une faible PACSA possèdent des fibres longues, alignées selon l'axe du corps musculaire. Ils déplacent les segments osseux les uns par rapport aux autres. Les muscles à faible PACSA sont impliqués dans la locomotion (Clayton, 2010). De la PACSA dépend également la force maximale du muscle, directement liée à la forme et aux types de fibres constituant le muscle (Hertogh, 2013).

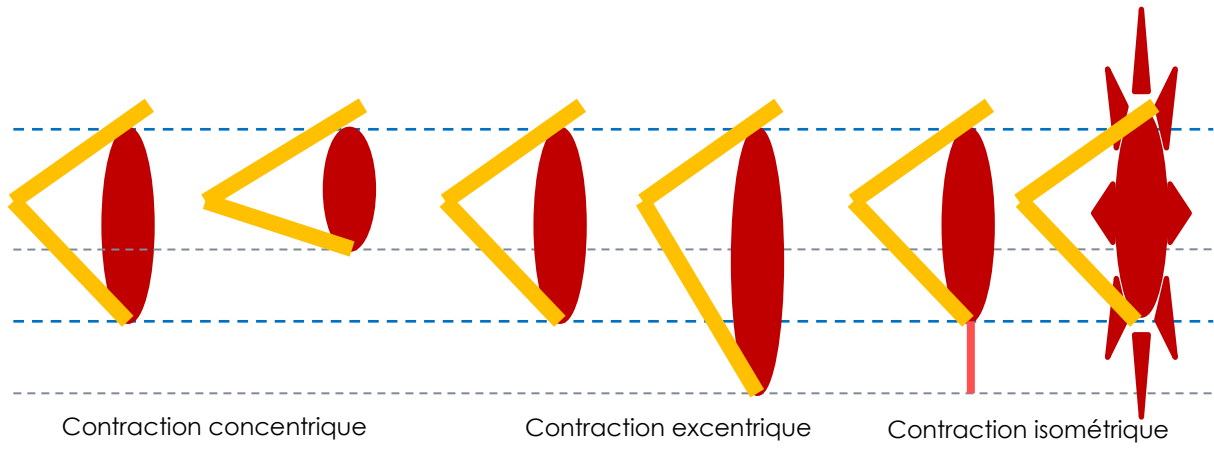


Fig. 30 : Représentation schématique des différents modes de contraction des muscles.

Tab. XXI : Propriétés contractiles des muscles et conséquences dans la locomotion. D'après Clayton et al, 2013 ; Clayton et Back, 2013 ; Hertogh, 2013.

Type de contraction	Evolution de la longueur du muscle au cours de la contraction	Mouvement articulaire nette	Puissance articulaire nette	Morphologie des fibres musculaires	Vitesse de contraction des fibres	Conséquence de la contraction musculaire	Localisation préférentielle de ces muscles
Concentrique	Raccourcissement	Idem que la vitesse angulaire	Positive	Fibres longues, orientées parallèlement à l'axe du corps du muscle	Rapide	Déplacement d'un segment par rapport à un autre. Autorise une très grande amplitude de mouvement	Extrémité proximale du membre Ex. : muscles extrinsèques du membre thoracique, responsable de l'attache du membre au tronc
Excentrique	Augmentation	Opposée à la vitesse angulaire	Négative	Idem	Rapide	Aucune. La contraction musculaire se fait en réponse à une force extérieure.	Idem
Isométrique	Identique	Absence de mouvement articulaire	Nulle	Fibres courtes et pennées, dont l'orientation ne suit pas forcément l'axe du corps du muscle Muscles souvent associés à de longs tendons ou à des fascias bien développés.	Lente	Absence de déplacement d'un segment par rapport à un autre. Stockage d'énergie élastique dans les tendons associés, qui sera ensuite libérée pour une locomotion à moindre coût	Muscles impliqués dans la lutte contre la gravité, qui rigidifient la structure

Annexe V : Mise en charge des tendons et accumulation d'énergie élastique

Les tendons permettent l'accumulation puis la libération d'énergie élastique (Clayton et al, 2013), assurant ainsi un mouvement retour 'passif' des segments considérés. Ce mécanisme est particulièrement intéressant au niveau des régions 'balanciers', la tête et l'extrémité des membres.

La tête et la nuque sont deux éléments essentiels de la locomotion, dont les oscillations sont liées au poser des membres à chaque allure. La région cervicale dorsale est occupée par trois structures principales (Gellman et al, 2002) : le ligament nuchal, le muscle splénius et le muscle semi-épineux de la tête. Elles occupent la majorité de l'espace laissé vacant par les courbures cervicales et s'attachent sur le crâne, les vertèbres cervicales et les vertèbres thoraciques. Le ligament nuchal est une structure entièrement passive qui fournit à elle seule plus de la moitié de l'énergie nécessaire à la mobilisation de la tête et de l'encolure au pas et ce par l'accumulation et la libération d'énergie élastique. Le muscle supra-épineux possède également un long tendon, courant sur plus des deux tiers de sa longueur depuis son extrémité crâniale et diminuant ainsi, au même titre que le ligament nuchal, a mobilisation du couple tête encolure pour un faible coût énergétique.

Annexe VI : Les différents mouvements des membres

Les membres du cheval peuvent être assimilés à un pendule pesant, c'est-à-dire à un système oscillant autour de son point d'équilibre, dont la masse de l'axe le reliant à son point de rotation n'est pas négligeable et pour lequel il faut tenir compte de l'énergie cinétique. Le complexe musculo-tendineux ajoute également une composante élastique.

Au cours d'un cycle, trois phases se distinguent (Fig. 31):

- L'équilibre : le membre est à l'appui au sol, soumis à la gravité et à la force exercée par le tronc sur ses attaches ;
- La protraction : le membre se déplace vers l'avant ;
- La rétraction : le membre se déplace vers l'arrière ;
- L'abduction : le membre s'éloigne du tronc ;
- L'adduction : le membre se rapproche du tronc.

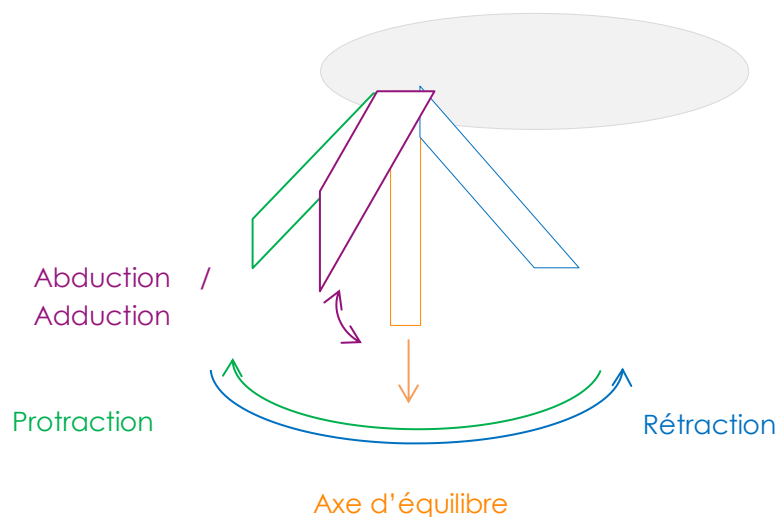


Fig. 31 : Les différentes positions du membre, exemple avec le membre thoracique.

Le cycle commence membre à l'appui. Lorsque la masse globale passe au-dessus du membre, la phase de protraction débute, d'abord membre en extension afin de favoriser la circulation de l'énergie élastique accumulée, puis le membre se fléchit progressivement pour permettre le passage par la position d'équilibre sans appui sur le sol. En fin de protraction, le membre se déroule et se verrouille en extension avant l'impact.

Ces mouvements sont permis par (Clayton et al, 2013) :

- La composante musculaire qui amorce, entretient et limite le mouvement ;
- La gravité liée à la masse du membre ;
- L'énergie cinétique accumulée par la masse représentée par le membre ;
- L'énergie élastique absorbée et relâchée par le système tendineux de la partie distale du membre ;
- La réaction du sol qui entre en jeu dès que le pied le touche.

L'alignement des segments osseux pendant la phase d'amortissement assure la transmission des forces à un faible coût énergétique (Alexander, 1991). L'angulation d'un segment par rapport à un autre mettrait fin à cette chaîne de transmission et la zone angulée absorberait seule la force. Dans le cycle du membre thoracique, la contraction excentrique des muscles permet ainsi (Denoix, 2014) :

- 2) De limiter la descente du boulet par l'action des muscles de l'avant-bras et du système tendineux, en particulier du ligament suspenseur du boulet et des brides radiale et carpienne ;
- 3) L'ouverture du coude et donc la verticalisation de l'humérus par l'action du muscle triceps brachial ;
- 4) La minimalisation de la fermeture de l'angle scapulo-humérale par l'action du muscle supra-épineux.

Au contraire, lors de la phase de propulsion, la contraction concentrique des muscles maintient l'alignement des segments osseux et permet le passage de la masse « au-dessus » du membre, utilisant la mise en tension de la phase d'amortissement (Denoix, 2014) :

- 5) Rétraction globale du membre par action des muscles pectoral ascendant et grand dorsal ;
- 6) Traction crâniale de l'extrémité proximale de la scapula par l'action de la partie cervicale du muscle trapèze et du muscle rhomboïde ;
- 7) Ouverture de l'articulation scapulo-humérale par action du muscle supra-épineux
- 8) Flexion du boulet par les muscles fléchisseurs et « l'effet-rebond » du système tendineux.

La flexion progressive de l'extrémité distale du membre vers l'extrémité proximale du membre concorde avec le soulèvement du tronc.

Annexe VII : Particularités de l'attache des membres thoraciques et pelviens du cheval

Les membres thoraciques sont maintenus le long du tronc par une puissante ceinture de muscles et de fascias. Cette particularité anatomique autorise un léger mouvement du tronc dans les quatre directions par rapport aux membres thoraciques si on considère ces derniers comme fixes : vers l'avant, vers l'arrière, vers le haut et vers le bas. Cette ceinture musculaire autorise également un mouvement d'abduction et d'adduction actif que ne possèdent pas les autres articulations du membre thoracique, pour lesquelles ce mouvement répond aux contraintes exercées sur le membre afin d'en amortir les chocs (Denoix, 1997).

Deux groupes de muscles entrent en jeu (Denoix, 1997 ; Clayton et al, 2013) :

- les muscles dits extrinsèques, dont l'une des extrémités s'insère hors du membre : tronc, encolure ou tête ;
- les muscles dits intrinsèques, dont les deux extrémités s'insèrent sur le squelette du membre : scapula, humérus, radius et ulna, os du carpe.

Les muscles extrinsèques participent au soutien du tronc entre les membres et au déplacement du membre dans son ensemble.

Les muscles intrinsèques permettent le déplacement d'un segment osseux par rapport à l'autre dans la limite d'amplitude de mouvement permise par les articulations.

Les membres pelviens sont liés au rachis par l'articulation coxo-fémorale. Elle est la seule du membre pelvien à posséder un mouvement d'abduction actif. Pour les articulations plus distales, ce mouvement répond aux contraintes exercées sur le membre afin d'en amortir les chocs (Denoix, 1997).

L'extrémité des membres est pauvre en muscles et riches en structures tendineuses et ligamentaires. Cette assertion est d'autant plus vraie pour le cheval, chez qui on ne trouve aucun muscle en dessous du carpe ou du tarse.

NOM Prénom : CHENOT-HERVILLARD Héloïse

TITRE : Lecture de *L'Ecole de Cavalerie* (François Robichon de la Guérinière, 1733) au regard des connaissances actuelles en biomécanique et locomotion du cheval

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, le 16 octobre 2015

RESUME :

L'œuvre de La Guérinière s'inscrit depuis le XVIII^e siècle parmi la littérature incontournable de l'équitation classique française. A ce titre, elle a été inscrite en 2011 au Patrimoine Culturel Immatériel de l'UNESCO comme ouvrage de référence de l'Equitation de Tradition Française. La lecture de ce texte au regard des connaissances actuelles en biomécanique et locomotion du cheval a montré la pertinence des propos rapportés par l'auteur. Bien que ces connaissances se soient développées au cours des derniers siècles, *L'Ecole de Cavalerie* témoigne d'une compréhension globale juste du fonctionnement locomoteur du cheval et des moyens disponibles pour la corriger ou l'améliorer. Les méthodes présentées dans *L'Ecole de Cavalerie* s'inscrivent dans le respect du cheval et la volonté de contribuer à son bien-être physique et mental. Par ses nombreux aspects, *L'Ecole de Cavalerie* demeure une œuvre moderne au service du cheval.

MOTS CLES :

- Cheval
- Locomotion
- Biomécanique
- Patrimoine culturel

JURY :

Président :	Madame le Professeur Elvire SERVIEN
1er Assesseur :	Monsieur le Professeur Olivier LEPAGE
2ème Assesseur :	Madame le Maître de Conférence Caroline BOULOCHER
Jury invité :	Madame le Docteur Monika GANGL

DATE DE SOUTENANCE : 16 octobre 2015

**ADRESSE DE L'AUTEUR : 6, villa de l'Espérance
94120 Fontenay sous Bois**