

# DESSINS ANATOMIQUES SUR CHEVAL : APPORTS PEDAGOGIQUES ET INTERETS PRATIQUES EN FORMATION INITIALE DANS LES ETUDES VETERINAIRES – APPAREIL LOCOMOTEUR ET SYSTEME NERVEUX

---

THESE  
pour obtenir le titre de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**CHEVALIER Camille**  
Née le 31/01/1995 à VERNON (27)

**Directeur de thèse : M. Giovanni MOGICATO**

---

## JURY

PRESIDENTE :  
**Mme Isabelle BERRY**

Professeure à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSEESSEURES :  
**M. Giovanni MOGICATO**  
**Mme Hélène DANIELS**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE  
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE



**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation  
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

**Directeur** : Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie – Thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **PETIT Claude**, (Emérite) - *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

**PROFESSEURS 1° CLASSE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*

**PROFESSEURS 2° CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et Économie de la santé animale*

**PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE**

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

**MAITRES DE CONFÉRENCES HORS CLASSE**

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*  
 Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*  
 M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
 M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*  
 M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*  
 Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
 Mme **PRYMENKO Nathalie**, *Alimentation*  
 M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

#### **MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)**

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
 Mme **BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*  
 Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*  
 Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*  
 M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*  
 M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*  
 Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*  
 Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*  
 Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*  
 M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*  
 M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*  
 Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*  
 Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*  
 Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*  
 Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*  
 Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*  
 M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*  
 M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
 Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*  
 Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*  
 M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*  
 M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*  
 Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

#### **CHARGES D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS**

- M. **FERCHIOU Ahmed**, *Economie, production animale*,  
 M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*  
 Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*  
 Mme **SOUVESTRE Marie**, *Production et pathologie aviaire*  
 Mme **TOUSSAIN Marion**, *Pathologie des équidés*

#### **ENSEIGNANT DE PREMIERE ANNEE COMMUNE AUX ETUDES VETERINAIRES**

- Mme **GAUCHARD Cécile**, *Biologie-écologie-santé*

#### **ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS**

- M **BESSIERE Pierre**, *Microbiologie infectiologie*  
 Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
 M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*  
 M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*  
 M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*  
 M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
 M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*  
 M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

## REMERCIEMENTS

*À la présidente du jury :*

**Madame le Professeur Isabelle BERRY**

Professeur des Universités  
Université de Paul-Sabatier de Toulouse  
Praticien hospitalier  
Biophysique  
Qui me fait l'honneur de présider ce jury de thèse.

*Hommages respectueux.*

*À mon directeur de thèse :*

**Monsieur le Professeur Giovanni MOGICATO**

Professeur en Anatomie à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Anatomie – Imagerie médicale  
Pour m'avoir proposé ce sujet de thèse et accordé sa confiance dans sa réalisation.

*Je n'aurai pu rêver meilleure thèse.  
Un immense merci et mes amitiés les plus chaleureuses.*

*À l'assesseur de ce jury :*

**Madame le Docteur Hélène DANIELS**

Professeur en Immunologie à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Immunologie – Microbiologie – Pathologie infectieuse  
Qui me fait l'honneur d'être assesseur dans mon jury de thèse.

*Mes remerciements les plus sincères.*

***Au Centre Équestre et à la Clinique Équine de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse :***

*Un grand merci pour le prêt de leurs infrastructures et pour m'avoir laissé œuvrer avec leurs chevaux en toute confiance, afin de mener à bien cette thèse.*

***À Mes parents et Mathilde, je vous aime plus que tout.***



## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>TABLE DES FIGURES .....</b>	<b>3</b>
<b>TABLE DES TABLEAUX .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>9</b>
<b>I. ANATOMIE DES SYSTÈMES ÉTUDIÉS : SQUELETTIQUE, MUSCULAIRE, LIGAMENTAIRE ET NERVEUX (Barone [2, 3, 4, 5], Dyce [15], Higgins [19]). .....</b>	<b>10</b>
1) Le système squelettique.....	10
a) Le squelette axial.....	11
b) Le squelette appendiculaire .....	14
2) Le système musculaire .....	17
a) Les muscles de la tête et du cou .....	17
b) Les muscles du tronc .....	20
c) Les muscles des membres thoraciques et pelviens .....	25
3) Les fascias, tendons et ligaments.....	35
a) Les fascias .....	35
b) Les tendons.....	36
c) Les ligaments .....	37
4) Le système nerveux.....	42
<b>II. MÉTHODES TRADITIONNELLES ET NOUVELLES ALTERNATIVES À L'APPRENTISSAGE DE L'ANATOMIE.....</b>	<b>54</b>
1) La dissection : les prémices de la connaissance.....	54
a) Introduction.....	54
b) Les avantages de la dissection.....	55
c) Les inconvénients de la dissection .....	57
d) Des pistes pour les méthodes alternatives .....	59
2) Les outils informatiques au service de l'anatomie.....	61
a) Pour ou contre ?.....	61
b) Exemples d'outils informatiques.....	63
3) Les modèles physiques.....	65
a) Un ancien modèle : le cheval d'Auzoux.....	65
b) La plastination .....	71
c) L'impression en trois dimensions (3D) .....	74
d) Bilan des modèles physiques.....	77
4) Le body painting ou la peinture corporelle.....	79

a) L'art, l'animal et la science .....	79
b) Enseigner avec des pinceaux ? .....	80
c) Les dérivés du body painting .....	83
<b>III. PARTIE EXPÉRIMENTALE : RÉALISATION DE HORSE PAINTING POUR LES SYSTÈMES SQUELETTIQUE, MUSCULAIRE ET NERVEUX À L'ENVT. ....</b>	<b>86</b>
1) Objectifs.....	86
2) Matériels et méthodes .....	86
a) Les chevaux.....	86
b) Matériel .....	87
c) Méthode .....	88
3) Résultats .....	90
a) Le squelette du cheval.....	90
b) Le système musculaire .....	92
c) Les fascias, tendons et ligaments .....	96
d) Le système nerveux .....	103
<b>IV. DISCUSSION .....</b>	<b>107</b>
1) Intérêts pédagogiques du horse painting .....	107
2) Limites et critiques du horse painting .....	107
3) Perspectives comme outil pédagogique à l'ENVT .....	108
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>110</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>112</b>

## TABLE DES FIGURES

---

Figure 1 : Repères anatomiques généraux du cheval (Barone [2]).	10
Figure 2 : Os du crâne et de la tête (Barone [2]).	11
Figure 3 : Anatomie d'une vertèbre lombaire (Kainer [25]).	12
Figure 4 : Os de la colonne vertébrale (Kainer [25]).	12
Figure 5 : Os de la cage thoracique (Barone [2]).	13
Figure 6 : Os du membre thoracique (Ph. : phalange) (Barone [2]).	14
Figure 7 : Os du membre pelvien (Ph. : phalange) (Barone [2]).	15
Figure 8 : Squelette du cheval (Barone [2]).	16
Figure 9 : Musculature cutanée de la tête du cheval (Barone [3]).	18
Figure 10 : Musculature de la région cervicale ventrale (Barone [3]).	19
Figure 11 : Musculature de la région cervicale dorsale : plan moyen (Barone [3]).	19
Figure 12 : Musculature de la région pectorale : plan profond (Barone [3]).	21
Figure 13 : Musculature de la région pectorale : plan superficiel (Barone [3]).	21
Figure 14 : Musculature de la région pectorale (Barone [3]).	22
Figure 15 : Musculature de la paroi latéro-ventrale de l'abdomen : plans profond et superficiel (Barone [3]).	24
Figure 16 : Musculature de la région lombo-iliaque (Barone [3]).	24
Figure 17 : Musculature de l'épaule et du bras (Barone [3]).	26
Figure 18 : Musculature crâniale de l'avant-bras (Barone [3]).	27
Figure 19 : Musculature caudale de l'avant-bras (Barone [3]).	28
Figure 20 : Musculature du bassin (Barone [3]).	29
Figure 21 : Topographie des muscles de la cuisse et leurs loges (Barone [3]).	30
Figure 22 : Musculature des loges fémorale et sciatique de la cuisse (Barone [3]).	30
Figure 23 : Musculature de la loge obturatrice de la cuisse : plan superficiel (A) et profond (B) (Barone [3]).	31
Figure 24 : Topographie des muscles de la jambe (Barone [3]).	32

Figure 25 : Musculature de la jambe (Barone [3]).	34
Figure 26 : Topographie des fascias du cheval (Kainer [25]).	35
Figure 27 : Tendons de l'articulation du boulet (Barone [3]).	36
Figure 28 : Ligament nuchal du cheval (Barone [3]).	37
Figure 29 : Ligament des vertèbres du cheval (11ème vertèbre thoracique) (Barone [3]).	38
Figure 30 : Ligaments de l'articulation du coude (Barone [3]).	38
Figure 31 : Ligaments de l'articulation du carpe (Barone [3]).	39
Figure 32 : Ligaments de la phalange proximale et des os grands sésamoïdes (Barone [3]).	40
Figure 33 : Ligaments métacarpo-digitaux de l'extrémité digitale de la main (Barone [3]).	40
Figure 34 : Ligaments de l'articulation du bassin chez le cheval (Barone [3]).	41
Figure 35 : Ligaments de l'articulation du genou du cheval (Barone [3]).	42
Figure 36 : Schéma de l'organisation du système nerveux.	43
Figure 37 : Topographie de l'encéphale du cheval (Kainer [25]).	44
Figure 38 : Nerfs du plexus brachial du cheval (Barone [5]).	47
Figure 39 : Innervation de la face dorsale de la main du cheval (Pavaux [46]).	47
Figure 40 : Innervation de la face dorsale du pied du cheval (Pavaux [46]).	49
Figure 41 : Système nerveux central et somatique du cheval (McCracken [38]).	52
Figure 42 : Système nerveux autonome du cheval (McCracken [38]).	53
Figure 43 : Planche 23, Représentant le cheval myologique vu de trois faces (Lafosse [30]).	54
Figure 44 : Dissection des nerfs de la tête du cheval.	55
Figure 45 : Modèle de tractus gastro-intestinal équin utilisé à l'ENVT (MedicalExpo [41]).	60
Figure 46 : Musée d'Anatomie Paul Lucien Montané de l'ENVT.	60
Figure 47 : Image du crâne du cheval, vue latérale (Rafaelli [50]).	64
Figure 48 : Image d'un chien en trois dimensions avec les différentes opacités proposées par le logiciel (Pearce [47]).	65
Figure 49 : Modèle anatomique de l'homme utilisé pour l'étude des vaisseaux lymphatiques (Laroque [24]).	66

Figure 50 : Exemple de modèle complet du Cheval d'Auzoux exposé au musée d'anatomie Paul Lucien Montané de l'ENVT (ENVT [16]).	68
Figure 51 : Etiquette avec manicule et numéro sur une pièce d'un modèle humain (Laroque [31])	68
Figure 52 : La série des trentes mâchoires du Dr Auzoux (Degueurce [11]).	69
Figure 53 : Exemple de tare osseuse sur un tarse (Degueurce [11]).	69
Figure 54 : Exposition "Animaux à corps ouvert" au Centre des Sciences de Montréal (A) Modèle de vache plastinée (B) Modèle de mouton plastinée (La bible urbaine [29]).	71
Figure 55 : Schéma du processus de fabrication d'un modèle imprimé en 3D.	74
Figure 56 : Carpe équin droit modélisé en 3D, avec coloration de l'os carpal ulnaire (bleu), intermédiaire (vert), radial (rose), II (gris), III (violet), IV (rouge), accessoire (doré) (Johnson [23]).	75
Figure 57 : Body painting des muscles de l'épaule sur une étudiante (Bennett [6])	79
Figure 58 : Peinture corporelle du squelette du cheval lors d'un saut d'obstacle (Horses Inside Out [20]).	81
Figure 59 : Tractus digestif du cheval par la technique de horse painting à l'ENVT.	82
Figure 60 : Peinture des muscles de la face sur un vêtement (Sattin [51]).	84
Figure 61 : Présentation de deux couches du tapis Anato-Rug (A) les muscles superficiels (B) le squelette, le cœur et les poumons (Braid [8]).	85
Figure 62 : Portrait des chevaux ayant participé au projet de horse painting de l'ENVT (Clinique équine [55])	87
Figure 63 : Le squelette du cheval par la technique de horse painting.	90
Figure 64 : Étapes de la biomécanique du pas du cheval : (A) postérieur gauche en abord de la foulée, (B) (C) phase antérieure de la foulée du poser à la verticale, (D) phase d'appui, (E) phase postérieure de la foulée de la verticale au breakover.	91
Figure 65 : Les muscles superficiels du cheval par la technique de horse painting.	92
Figure 66 : Quelques muscles de l'arrière-main du cheval par la technique de horse painting.	93
Figure 67 : Quelques muscles de l'avant-main du cheval par la technique de horse painting.	93
Figure 68 : Les muscles profonds du cheval par la technique de horse painting.	94
Figure 69 : Les chaînes musculaires du cheval par la technique de horse painting.	95
Figure 70 : Schéma de l'appareil réciproque du cheval (McCracken [38]).	95
Figure 71 : Mise en évidence de l'appareil réciproque lors d'un saut : (A) extension du grasset et du jarret (B) flexion du grasset et du jarret.	96

Figure 72 : Les fascias du cheval par la technique de horse painting. ....	97
Figure 73 : Les muscles à l'origine des tendons des membres du cheval par la technique de horse painting.....	98
Figure 74 : Etapes de la phase d'appui dans la locomotion du cheval (A) amortissement, (B) soutien, (C) propulsion, (D) soutien au trot allongé : F = hyperflexion de l'articulation inter-phalangienne distale, E = hyperextension de l'articulation du boulet. ....	99
Figure 75 : Réalisation du test de la planche à différents angles.....	100
Figure 76 : Représentation des différentes coupes anatomiques réalisées à l'échographie dans le diagnostic des tendinites de la région distale du membre : coupe transversale de la région métacarpienne (A) proximale, (B) moyenne, (C) distale, (D) distale passant par la manica flexoria ; (E) coupe longitudinale de la région métacarpienne proximale. ....	101
Figure 77 : Images échographiques des différentes coupes anatomiques réalisées dans le diagnostic des tendinites de la région distale du membre (tFPD : tendon du fléchisseur profond du doigt, tFSD : tendon du fléchisseur superficiel du doigt, BC : bride carpienne, LSB : ligament suspenseur du boulet, bLSB : branche du LSB) (Audigié [1]). ....	101
Figure 78 : Les ligaments du cheval par la technique de horse painting. ....	102
Figure 79 : Les ligaments du membre thoracique du cheval par la technique de horse painting. ....	102
Figure 80 : Le ligament nuchal du cheval par la technique de horse painting, en position d'extension (A) et de flexion (B).....	103
Figure 81 : La moelle spinale du cheval par la technique de horse painting. ....	103
Figure 82 : Le système nerveux autonome du cheval par la technique de horse painting (sp. : sympathique, parasp. : parasympathique).....	104
Figure 83 : Les nerfs spinaux du système nerveux somatique du cheval par la technique de horse painting (NS = nerfs spinaux).....	105
Figure 84 : Les nerfs cutanés du système nerveux somatique du cheval par la technique de horse painting (NC : nerfs cutanés). ....	105
Figure 85 : Les dermatomes du cheval par la technique de horse painting et sa légende (N. : nerf). ....	106

## TABLE DES TABLEAUX

---

Tableau 1 : Classement des os par leur morphologie. ....	11
Tableau 2 : Fonctions des muscles de la tête. ....	17
Tableau 3 : Fonctions des muscles du cou. ....	20
Tableau 4 : Fonctions des muscles du thorax. ....	23
Tableau 5 : Fonctions des muscles de l'abdomen. ....	25
Tableau 6 : Fonctions des muscles de l'épaule et du bras. ....	26
Tableau 7 : Fonctions des muscles de l'avant-bras. ....	28
Tableau 8 : Fonctions des muscles de la fesse. ....	29
Tableau 9 : Fonctions des muscles de la cuisse. ....	32
Tableau 10 : Fonctions des muscles de la jambe. ....	33
Tableau 11 : Nerfs crâniens, leurs composantes et leurs principales innervations (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte). ....	45
Tableau 12 : Nerfs spinaux cervicaux, leurs composantes et principales fonctions (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte ; RD : rameau dorsal du nerf, RV : rameau ventral du nerf). ....	46
Tableau 13 : Nerfs spinaux du plexus brachial (nerf d'origine principal), leurs composantes et principales fonctions (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte ; RM : rameau médial du nerf, RL : rameau latéral du nerf, RP : rameau proximal du nerf, RD : rameau distal du nerf). ....	48
Tableau 14 : Nerfs spinaux du plexus lombo - sacré (nerf d'origine principal), leurs composantes et principales fonctions (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte ; RP : rameau proximal du nerf, RD : rameau distal du nerf). ....	50
Tableau 15 : Nerfs spinaux sacrés (nerf d'origine principal), leurs composantes et principales fonctions (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte). ....	51
Tableau 16 : Avantages et inconvénients de la dissection. ....	61
Tableau 17 : Avantages et inconvénients des programmes informatiques. ....	63
Tableau 18 : Avantages et inconvénients des modèles physiques. ....	78
Tableau 19: Avantages et inconvénients de la peinture corporelle. ....	83

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

---

**3D** : trois Dimensions

**CIP** : Comité d'Instruction Publique

**ENVA** : École Nationale Vétérinaire d'Alfort

**ENVL** : École Nationale Vétérinaire de Lyon

**ENVT** : École Nationale Vétérinaire de Toulouse

**INSEE** : Institut National de la Statistique et des Études Économiques

**IRM** : Imagerie par Résonance Magnétique

**LSB** : Ligament Suspenseur du Boulet

**SNA** : Système Nerveux Autonome

**SNC** : Système Nerveux Central

**SNP** : Système Nerveux Périphérique

**SNS** : Système Nerveux Somatique

**TDM** : TomoDensitoMétrique

**tFPD** : tendon Fléchisseur Profond du Doigt

**tFSD** : tendon Fléchisseur Superficiel du Doigt

## INTRODUCTION

L'apprentissage est le quotidien des étudiants vétérinaires. Ils ne cessent, au long des cinq années à l'école puis au cours de leur carrière, d'étudier la médecine et d'assimiler un nombre toujours plus grand d'informations. Tout à chacun sait qu'une méthode qui facilitera la rétention d'un cours chez un élève, peut ne pas convenir pour un autre. Cependant, il est nécessaire que les futurs praticiens sortent de ce cursus avec une solide connaissance des fondamentaux.

Parmi eux, se trouve l'anatomie, mère de la médecine et intrinsèque à chaque individu. L'étudiant, conscient de l'importance de ce savoir, cherche alors à l'acquérir par les différentes méthodes d'enseignement qui lui sont proposées. Afin de s'adapter à la variété des types de mémorisation des élèves et forts de leur responsabilité de formation, les enseignants et chercheurs de ce monde ne cessent d'exploiter de nouvelles techniques éducatives afin de substituer aux cours magistraux et livres, des méthodes ludiques tout aussi efficaces.

L'une d'entre elle, la peinture corporelle ou body painting, semble faire discrètement sa place au sein des institutions vétérinaires pour agréementer l'enseignement de l'anatomie. Exemptée de toute technologie et prônant le travail en lien avec l'animal, elle répond aux attentes des nouveaux mœurs cherchant à délaïsser les méthodes ancestrales comme la dissection d'animaux.

C'est dans l'optique de découvrir cette nouvelle approche et de la mettre en pratique que ce travail a été réalisé. Afin de mieux comprendre les enjeux de la pédagogie de l'anatomie, une étude des méthodes existantes avec leurs avantages et inconvénients a permis de cibler les besoins et envies des étudiants vétérinaires de plusieurs pays. Ainsi, il est plus aisé de comprendre à quelles attentes doit répondre le body painting pour être considéré comme une méthode d'apprentissage à part entière de l'anatomie animale.

## I. ANATOMIE DES SYSTÈMES ÉTUDIÉS : SQUELETTIQUE, MUSCULAIRE, LIGAMENTAIRE ET NERVEUX (Barone [2, 3, 4, 5], Dyce [15], Higgins [19]).

Avant d'aborder en détail l'anatomie de l'animal, il faut connaître les termes d'orientation spatiale (crânial, caudal...). L'anatomie peut par la suite s'étudier sous forme de régions (tête, tronc, membre ...). Cette approche offre une vue globale de l'ensemble du corps de l'animal, ici le cheval, et de ses premiers repères anatomiques (Figure 1).

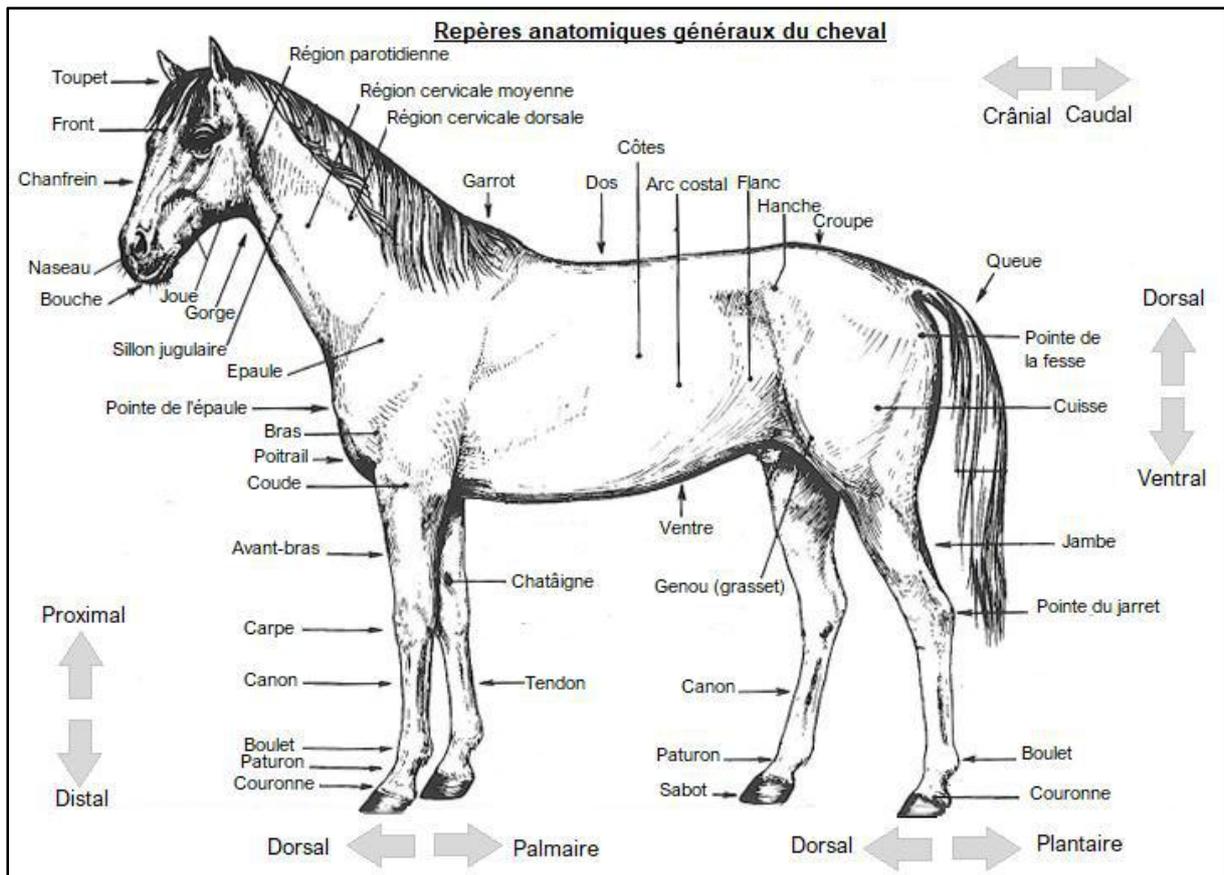


Figure 1 : Repères anatomiques généraux du cheval (Barone [2]).

Afin de poursuivre une étude approfondie et ordonnée de l'anatomie, les éléments de l'organisme sont réunis sous forme d'appareils (locomoteur, urinaire...), pouvant eux-mêmes se subdiviser en systèmes. Un système est un « appareil organique caractérisé par un tissu dominant et par une répartition étendue à toutes les parties du corps (système nerveux, osseux ...) » [32]. Les constituants d'un système ont ainsi la même fonction et permettent ensemble à l'animal, d'évoluer et de vivre.

### 1) Le système squelettique

Le squelette peut se diviser en deux grandes parties : le squelette axial et le squelette appendiculaire. Il est composé d'os représentant 7 à 8% de la masse du corps du cheval. Ils constituent la charpente protectrice des organes internes et ont un rôle de soutien. Ils ont également une fonction homéostatique grâce à leur réserve en calcium, graisse et divers minéraux et participent au processus d'hématopoïèse (production des cellules sanguines). Le

cheval possède environ 205 os, charnières des articulations et donc de la locomotion, en synergie avec les muscles et les ligaments. Ils peuvent être classés selon leur morphologie (Tableau 1) :

Tableau 1 : Classement des os par leur morphologie.

Morphologie	Exemple d'os	Fonction(s)
Long	Humérus, Fémur	Bras de levier pour la locomotion
Court	Carpe, Tarse	Amortissement des chocs
Plat	Crâne, Omoplate	Protection des organes
Irrégulier	Vertèbres	Attache des muscles et tendons, protection de la moelle spinale

#### a) Le squelette axial

Il peut lui-même être scindé en différentes parties : la tête, la colonne vertébrale et le squelette thoracique, formé du sternum et des côtes.

La tête est constituée du crâne qui protège l'encéphale ainsi que des organes de l'audition et de l'équilibre, qui forment le système vestibulo-cochléaire. Elle est également composée des os de la face qui constituent la charpente des cavités oculaire, nasale et buccale (Figure 2).

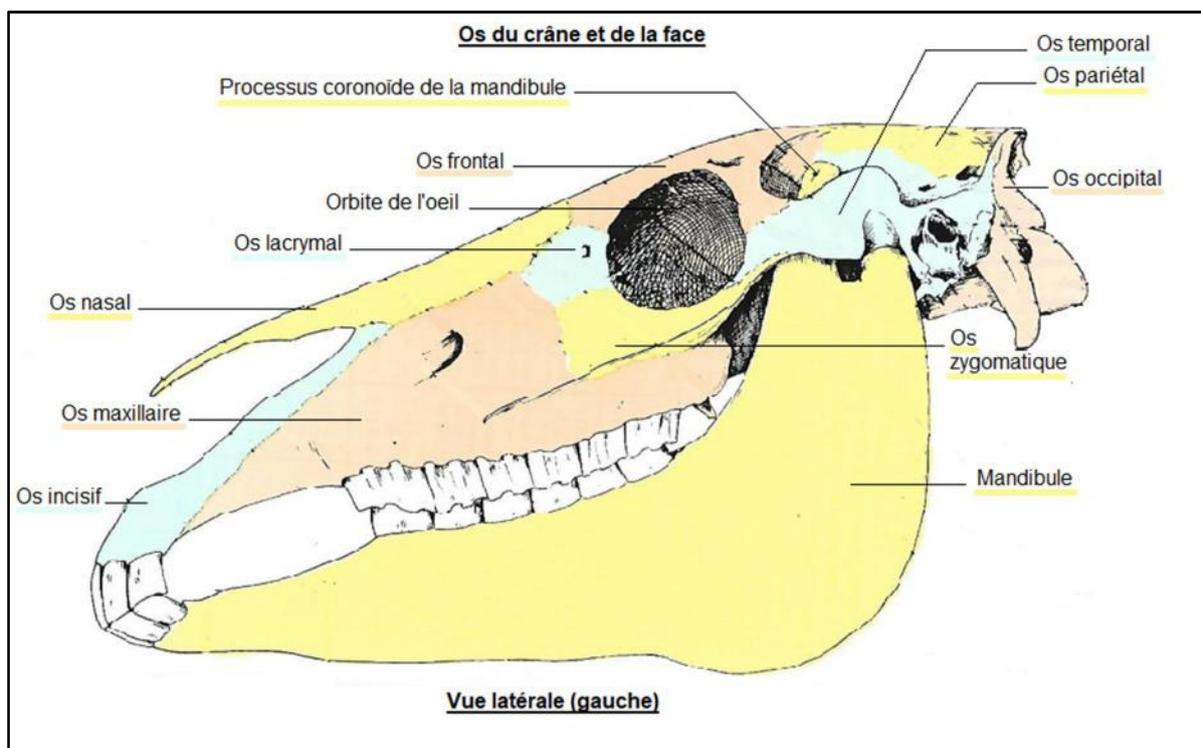


Figure 2 : Os du crâne et de la tête (Barone [2]).

Seuls deux des trente-quatre os de la tête sont mobiles, en regard de l'os temporal : l'os hyoïde pour un maintien plus souple du pharynx, du larynx et de la langue, ainsi que la

mandibule qui permet les mouvements de mâchoire via l'articulation temporo-mandibulaire. Cette dernière participe à la mastication par un mouvement dit de diduction, c'est-à-dire un mouvement latéral de la mâchoire, prédominant chez les herbivores pour la mastication. Les os du crâne et de la face ont aussi un rôle de protection vis-à-vis des organes respiratoires et digestifs, recouverts par la suite par le squelette thoracique et la colonne vertébrale. Elle est liée aux os du crâne par l'articulation atlanto-occipitale, formée à l'aide de la première vertèbre cervicale nommée atlas et qui représente la nuque.

La colonne vertébrale est divisée en cinq segments de vertèbres (Figure 3). Elle commence par sept vertèbres cervicales. L'atlas (C1) et l'axis (C2) débutent la formation de l'encolure, assurant sa flexibilité et le maintien de la tête ainsi que la protection des voies digestives, respiratoires et du réseau vasculaire. En forme de « S », les vertèbres cervicales débutent à la nuque et rejoignent les vertèbres thoraciques à la base de l'encolure.

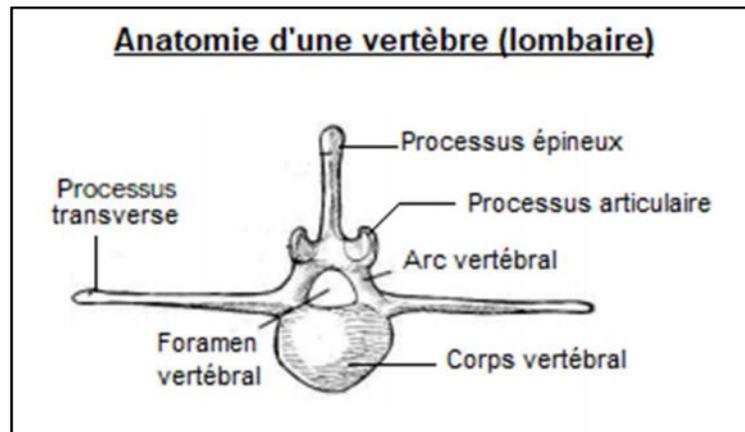


Figure 3 : Anatomie d'une vertèbre lombaire (Kainer [25]).

S'ensuivent dix-huit vertèbres thoraciques dont l'amplitude de mouvement est plus limitée. Ceci est en partie dû à leurs attaches articulaires et à la position des processus épineux orientés en postéroversion (vers l'arrière) puis en antéroversion (vers l'avant) (Figure 4). Les vertèbres thoraciques sont liées à une paire de côtes chacune via des articulations synoviales et forment la cage thoracique. La base de l'encolure est marquée d'une légère protubérance, le garrot, qui possède des processus épineux plus allongés assurant l'ancrage de différents ligaments. Parmi eux se trouve le ligament nucal qui participe au maintien de la tête du cheval.

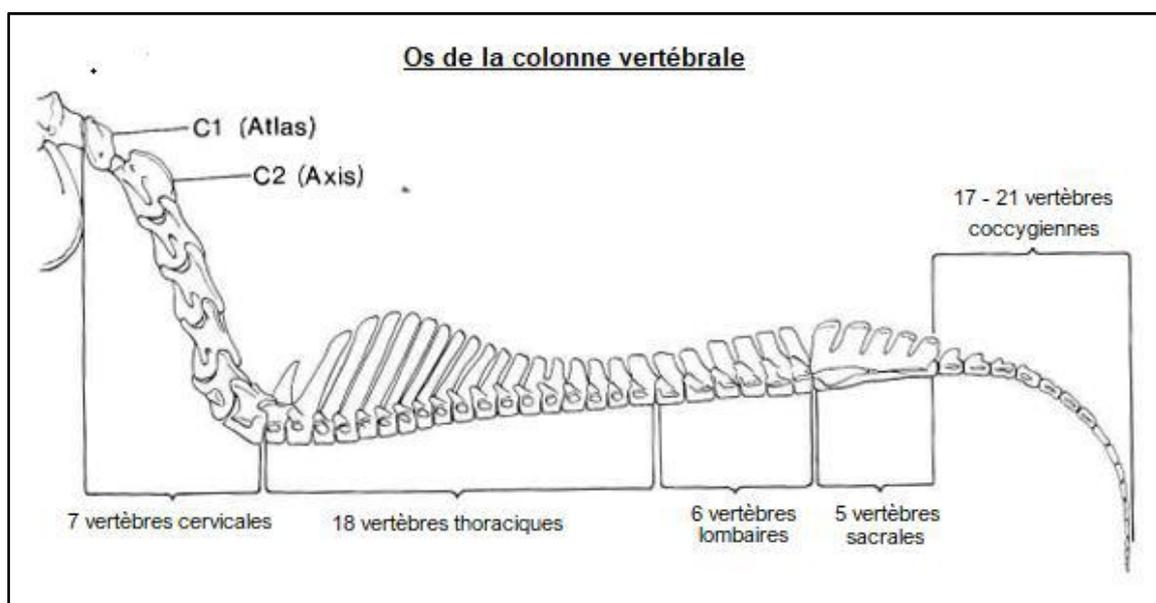


Figure 4 : Os de la colonne vertébrale (Kainer [25]).

L'architecture de la colonne se poursuit par six vertèbres lombaires. Dans cette portion, les processus épineux et transverses sont aplatis, larges et positionnés en antéversion par continuité du segment thoracique. Celui-ci est plus robuste afin d'assurer l'attache des différents muscles et la solidité de la charpente osseuse. L'avant-dernière section est formée de cinq vertèbres sacrées. Elles sont soudées entre elles afin de former le sacrum. Les différents processus fusionnent également ensemble pour créer les crêtes sacrales médiane (à la place des processus épineux), latérale (processus transverses) et intermédiaire (processus articulaires). Cet os unique qu'est le sacrum, est en lien avec les vertèbres lombaires via la charnière lombo-sacrée. Cette articulation est marquée par l'inversion d'inclinaison de la crête sacrale médiane vers l'arrière contrairement aux vertèbres précédentes qui étaient en antéversion. Elle participe à l'inclinaison du bassin et à l'engagement des postérieurs du cheval grâce à ses capacités d'amortissement et de transfert d'énergie. La colonne vertébrale du cheval se termine par dix-sept à vingt-et-une vertèbres caudales, également nommées coccygiennes. La première et la deuxième vertèbre sont les seules à avoir une structure encore complète, bien que leurs processus soient à l'état rudimentaire. Elles sont liées aux fibres musculaires permettant la mobilité de la queue.

La cage thoracique est un élément important du squelette axial formé à l'aide des vertèbres thoraciques, du sternum et des côtes. Le sternum, sur la face ventrale de l'abdomen du cheval, est lui-même constitué de petits os nommés sternèbres qui forment le manubrium sternal en partie crâniale et le processus xiphoïde en partie caudale. Le cheval a autant de paires de côtes que de vertèbres thoraciques soit dix-huit. Chaque côte possède une partie osseuse et une partie cartilagineuse. Elles peuvent être de deux types :

- Sternales (huit premières paires de côtes) : articulées au sternum par leur portion cartilagineuse.
- Asternales (dix dernières paires de côtes) : articulées avec le cartilage de la côte précédente.

Ce dernier modèle de côtes forme la région de l'arc costal qui termine la cage thoracique (Figure 5). Elle protège ainsi l'appareil cardio-vasculaire et la portion antérieure de l'appareil digestif. De plus, les nombreux muscles qui lui sont rattachés assurent l'expansion et la contraction de la cage thoracique, nécessaires au cheval pour respirer.

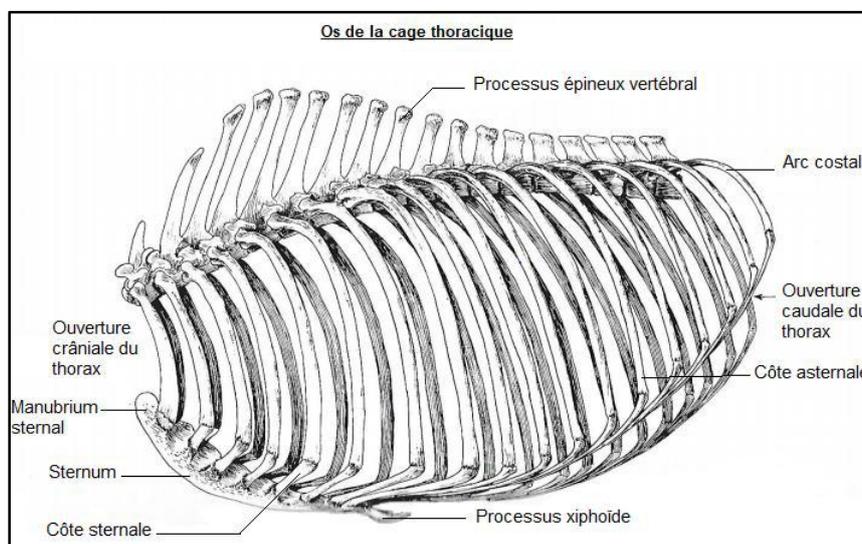


Figure 5 : Os de la cage thoracique (Barone [2]).

## b) Le squelette appendiculaire

Il correspond aux membres thoraciques (antérieurs) et pelviens (postérieurs) de l'animal. Chaque membre est construit sur le même schéma d'os et d'articulations qui permettent la mise en mouvement du cheval et le soutien du corps.

Les membres thoraciques soutiennent 60 à 65% du poids total de l'équidé. Ils sont reliés à la colonne par des muscles, tendons et fascias, eux-mêmes liés à un os plat : la scapula (Figure 6). Elle possède une épine sur sa face latérale et est dépourvue d'acromion chez le cheval. Sa grande surface osseuse lui permet d'être la zone d'attache de nombreux muscles du cou, du thorax, de l'épaule et du bras. Elle possède une cavité dite glénoïdale qui lui permet de s'articuler avec la tête de l'humérus, l'os du bras. Les tubercules majeur et mineur de l'humérus sont peu développés dans cette espèce, bien que ce soient des zones d'insertion musculaire pour le cou, le thorax, l'épaule, le bras et l'avant-bras.

L'humérus est un os solide qui se trouve entre deux articulations : celle de l'épaule dite scapulo-humérale et celle du coude dite huméro-antébrachiale. Celle-ci lie l'humérus au radius et à l'ulna, ces deux derniers étant soudés afin de former l'avant-bras. L'extrémité distale de l'ulna se confond avec celle du radius. L'ulna possède toutefois une extrémité proximale proéminente nommée l'olécrâne sur laquelle des muscles du bras et de l'avant-bras viennent s'attacher. L'articulation suivante est celle du carpe qui s'organise avec les extrémités distales du radius et de l'ulna.

Le carpe mobilise huit os carpiens répartis en deux rangées, du plus médial au plus latéral :

- Rangée proximale : os carpien radial (aussi nommé os scaphoïde), os carpien intermédiaire (os semi-lunaire), os carpien ulnaire (os pyramidal) et os carpien accessoire (os pisiforme).
- Rangée distale : os carpal II (os trapézoïde), os carpal III (os capitatum) et os carpal IV (os crochu ou hamatum). L'os carpal I est absent chez le cheval.

Ces os constituent une série d'articulations synoviales qui participent à l'amortissement des chocs. Le carpe est suivi de trois os métacarpiens dont le principal est l'os métacarpien III. Il est entouré des deux métacarpiens rudimentaires II (médial) et IV (latéral), les métarpes I

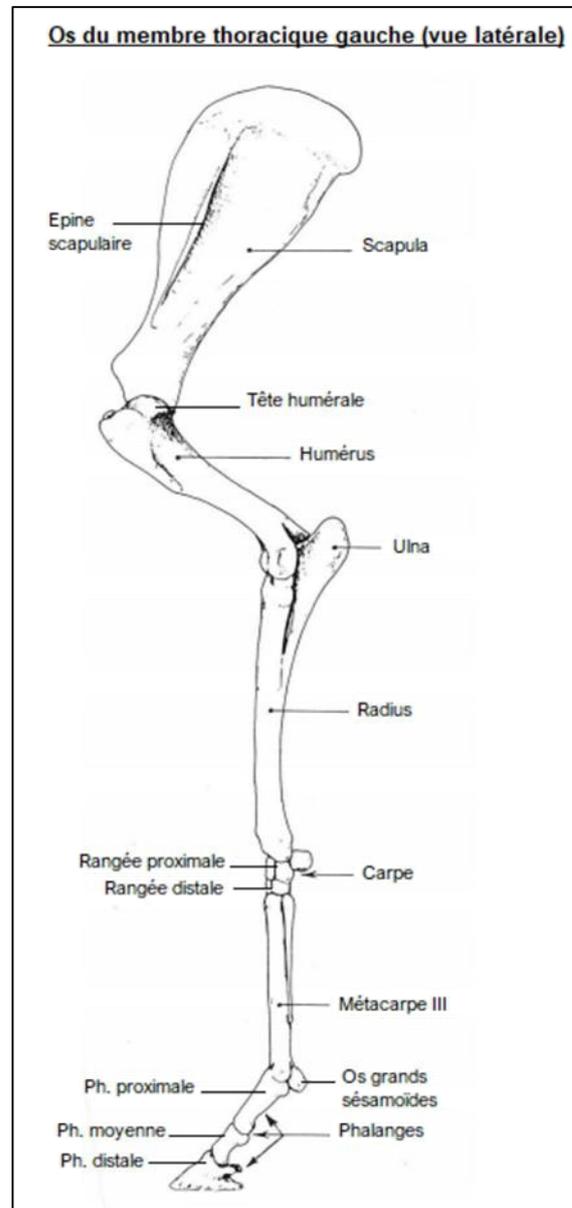


Figure 6 : Os du membre thoracique (Ph. : phalange) (Barone [2]).

et V n'étant pas présents contrairement au chien par exemple. La dernière articulation sur laquelle le membre thoracique se termine est l'articulation métacarpo-phalangienne dite « du boulet ». Elle met en relation la partie distale de l'os métacarpien III avec les deux os grands sésamoïdes et la première des trois phalanges du cheval. L'angle articulaire varie de 120 à 130° en position physiologique. De nombreux ligaments participent à l'union de ces os dont la mobilité est fondamentale pour la locomotion du cheval. La phalange proximale est surnommée le paturon et elle s'articule avec la phalange moyenne via l'articulation inter-phalangienne proximale. La dernière phalange est protégée par une boîte cornée : le sabot. C'est la phalange distale, en continuité de la phalange moyenne au travers de l'articulation inter-phalangienne distale.

Les membres pelviens sont organisés selon le même modèle. Ils permettent au cheval de se propulser lors d'un saut ou pendant le galop, ainsi que de soutenir l'arrière-main. La scapula est ici remplacée par l'os du bassin, qui est la fusion des deux os coxaux unis par la symphyse pubienne. La cavité pelvienne ainsi formée loge le rectum et une partie de l'appareil urogénital.

Le bassin est composé de trois parties :

- L'ilium : c'est la partie dorso-crâniale de l'os avec les épines iliaques dorso-crâniale et ventro-crâniale, cette dernière correspondant à la « pointe de la hanche ».
- L'ischium : c'est la partie ventro-caudale de l'os, sa tubérosité ischiatique forme « la pointe de la fesse ».
- Le pubis : c'est le plancher pelvien portant la symphyse ischio-pubienne et qui offre une grande surface d'attache aux muscles abdominaux et pelviens.

L'os du bassin ainsi formé constitue la base du membre pelvien. (Figure 7). Il peut s'attacher à l'os sacral et former l'articulation sacro-iliaque. En effet, l'ilium est relié à la première vertèbre du sacrum à l'aide de robustes ligaments dorsaux, ventraux et sacro-iliaques, ce qui assure la continuité du squelette axial avec le membre postérieur. Celui-ci se rattache au bassin grâce à l'articulation coxo-fémorale mettant en jeu l'os du fémur (correspondant à l'humérus du membre thoracique).

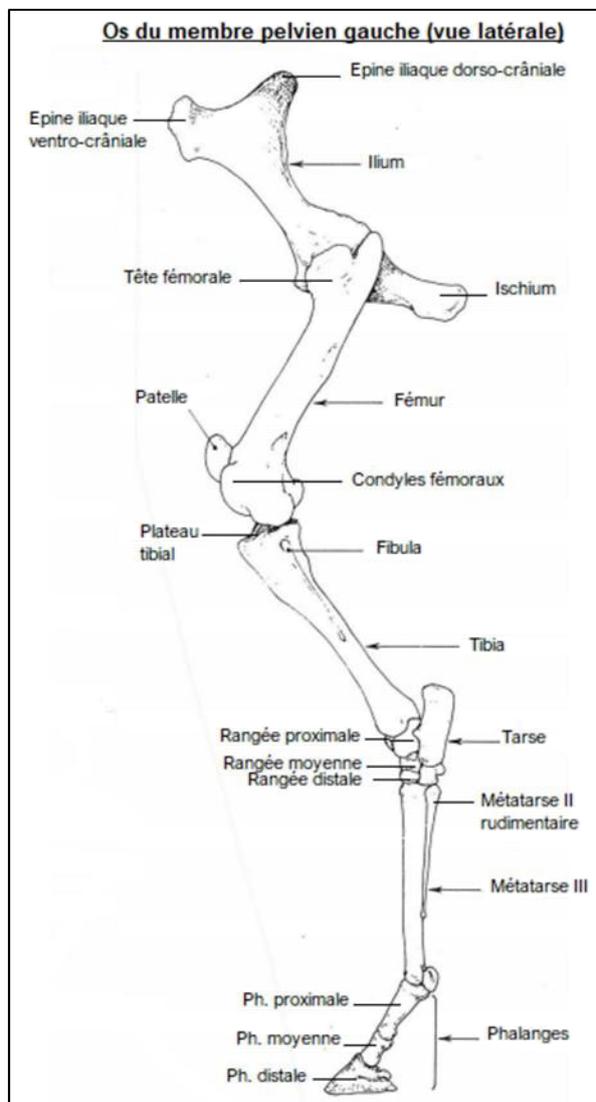


Figure 7 : Os du membre pelvien (Ph. : phalange) (Barone [2]).

Le bassin possède sur sa partie latérale, entre l'ilium et l'ischium, une fosse nommée l'acétabulum, dans laquelle la tête fémorale vient s'insérer afin de former l'articulation coxo-fémorale. Le fémur est l'os le plus lourd du squelette équin et se trouve incliné vers l'arrière. Il forme la cuisse et porte un petit et un grand trochanter, deux proéminences osseuses, qui sont des points d'attache musculaire.

Il va constituer avec deux autres os, l'articulation fémoro-tibio-patellaire, aussi appelée genou ou grasset. La patelle, anciennement nommée rotule, est située le long de l'os sur l'extrémité distale du fémur et sert de moyen d'union aux ligaments. Le tibia et la fibula sont les deux os longs qui vont poursuivre le membre du cheval et former la jambe. La fibula est un os accessoire qui ne possède qu'une extrémité, proximale, suite à une atrophie naturelle de l'os. Un cordon fibreux peut la lier jusqu'à l'extrémité distale du tibia. Ces deux os participent aux mouvements du grasset par le soutien de nombreux muscles et tendons. Sur leurs extrémités distales, une articulation similaire au carpe va travailler avec eux : le tarse, formant l'articulation du jarret. Six os tarsiens répartis sur trois rangées la composent, du plus médial au plus latéral :

- Rangée proximale : le talus et le calcaneus.
- Rangée centrale : l'os central du tarse et la partie proximale de l'os tarsal IV (s'étend sur la rangée centrale et la rangée distale).
- Rangée distale : l'os tarsal II (fusion avec l'os tarsal I), l'os tarsal III et la partie distale de l'os tarsal IV.

Le calcaneus possède une partie proximale proéminente et s'oriente vers l'arrière. De façon similaire au carpe, le tarse est suivi d'un métatarse principal, le métatarse III, entouré des métatarses rudimentaires II (médial) et IV (latéral). La fin du membre avec l'articulation métatarso-phalangienne est construite de façon analogue au membre antérieur ci-dessus. Ainsi se forme le squelette du cheval (Figure 8).

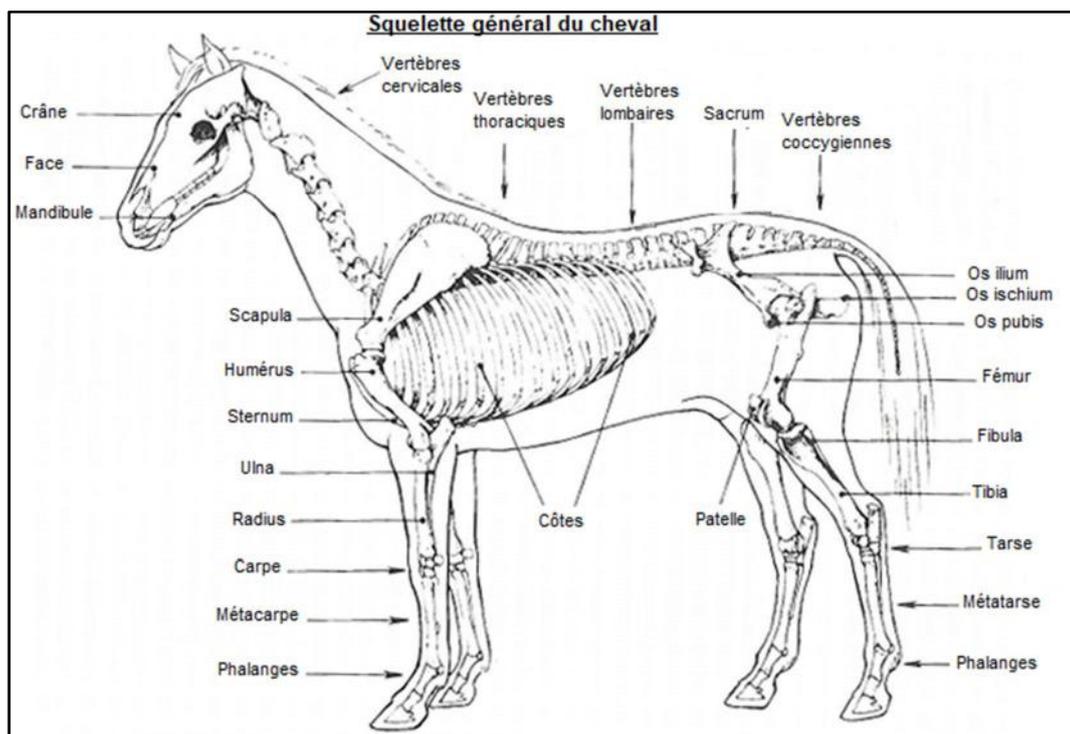


Figure 8 : Squelette du cheval (Barone [2]).

## 2) Le système musculaire

Les muscles sont le résultat d'un assemblage de fibres, qui par leur contraction et leur relâchement vont permettre les mouvements du cheval. Ils sont reliés aux os par l'intermédiaire de structures fibreuses, les tendons, ou directement fixés dessus.

Ils représentent 60% du poids du cheval et peuvent être de trois types :

- Lisses (ou viscéraux) : leur contraction est inconsciente. Il s'agit principalement des muscles des organes internes comme l'appareil digestif ou la vessie. C'est le système nerveux autonome qui permet leur fonctionnement via des stimuli qu'il envoie.
- Striés (ou squelettiques) : la contraction est cette fois volontaire et provient du cerveau du cheval qui envoie l'information aux muscles. Ils assurent ainsi la locomotion, le maintien postural, la protection des organes et la thermorégulation.
- Lisses et striés : c'est le muscle cardiaque. Son mélange de fibres lui assure une contraction automatique et involontaire associée à une puissance musculaire. Il coordonne les battements cardiaques et la circulation sanguine.

Ces muscles peuvent ensuite être classés selon leur fonction : extenseurs (ou releveurs), fléchisseurs (ou abaisseurs), rotateurs, abducteurs (s'écartent de l'axe du corps) ou adducteurs (se rapprochent de l'axe du corps). Ils sont répartis sur différents plans : superficiel, moyen et profond. Les muscles profonds sont attachés aux os à l'aide de leurs différents points d'insertions, près des articulations ce qui les renforce. Leurs terminaisons nerveuses envoient des informations au cerveau pour aider au maintien postural de l'animal. Les muscles superficiels se trouvent entre le plan profond, ou moyen, et la peau et sont donc facilement palpables. Ils sont éloignés des os et articulations et prennent leur origine sur des fascias, os ou autres muscles. Les muscles ainsi répartis garantissent une large possibilité d'actions à travers tout l'organisme du cheval et une grande finesse de mouvements.

### a) Les muscles de la tête et du cou

Ce sont les supports moteurs des sens tels que l'ouïe avec les mouvements des oreilles. Certains muscles façonnent également les expressions faciales du cheval (Figure 9). Les muscles de la tête peuvent être classés en cinq groupes (Tableau 2) :

Tableau 2 : Fonctions des muscles de la tête.

Groupe	Exemples de muscles	Fonction(s)
<b>Cutanés du crâne, de la face et de l'oreille</b>	Frontal, orbiculaire de l'œil, zygomatique, releveur de la lèvre supérieure, nasal...	Mouvements des lèvres, narines, paupières, oreilles et muscles de la face
<b>Supra-hyoïdiens</b>	Mylo / génio / occipito / stylo / cérato – hyoïdien ...	Déplacements de l'os hyoïde et des organes associés
<b>Masticateurs</b>	Masséter, temporal, ptérygoïdien, digastrique ...	Mouvements de la mâchoire inférieure
<b>Oculomoteurs</b>	Droit dorsal, oblique ventral, rétracteur du bulbe de l'œil ...	Mouvements des yeux
<b>Oreille moyenne</b>	Zygomatoco-auriculaire, interscutulaire...	Mouvements des oreilles

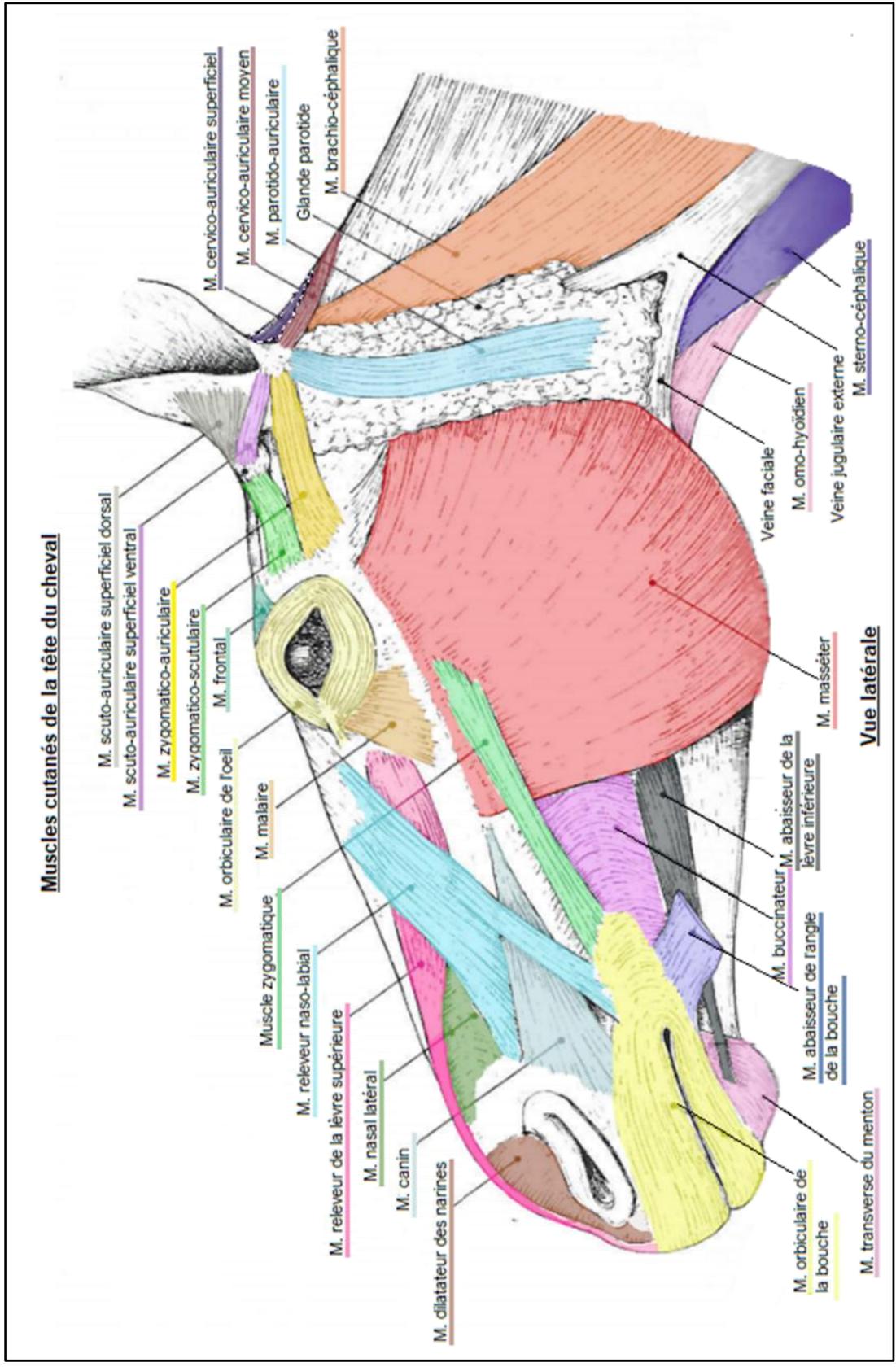


Figure 9 : Musculature cutanée de la tête du cheval (Barone [3]).

Les muscles du cou, eux, sont subdivisés en trois régions, recouvertes par le muscle cutané du cou également nommé le muscle sphincter du cou. La première région est la région cervicale ventrale découpée en trois plans (Figure 10) :

- Superficiel : muscles sterno et brachio-céphalique.
- Moyen : muscles omo et sterno-hyoïdien et sterno-thyroïdien.
- Profond : muscles scalènes ventral et moyen.

Sur ce schéma, les muscles du plan superficiel de la région cervicale dorsale, la 2<sup>ème</sup> région, sont visibles : ce sont les muscles trapèze et omo-transversaire.

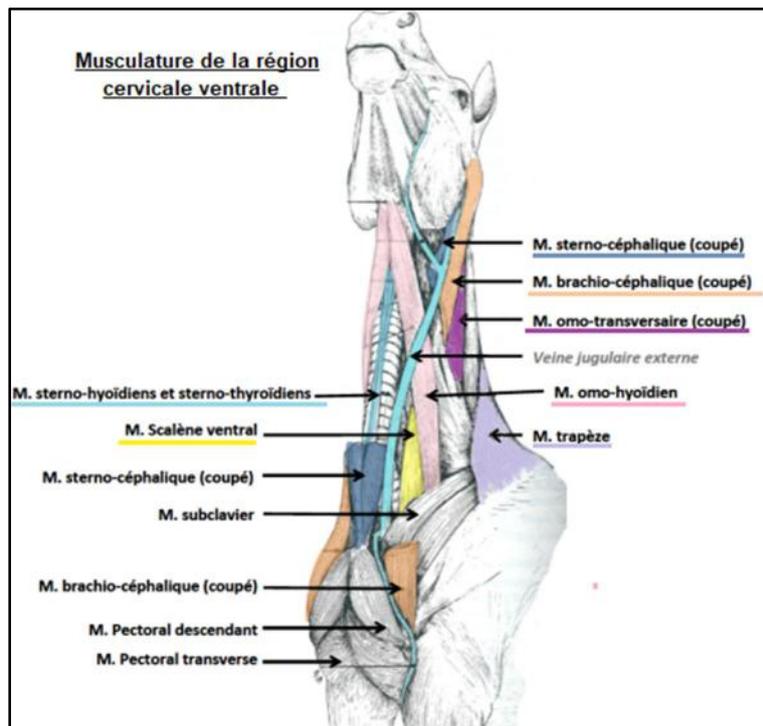


Figure 10 : Musculature de la région cervicale ventrale (Barone [3]).

Le plan moyen est constitué du muscle rhomboïde, dentelé ventral du cou et splénus de la tête et du cou (Figure 11). En-dessous, le plan profond est formé du semi-épineux de la tête et du longissimus de la tête et de l'atlas.

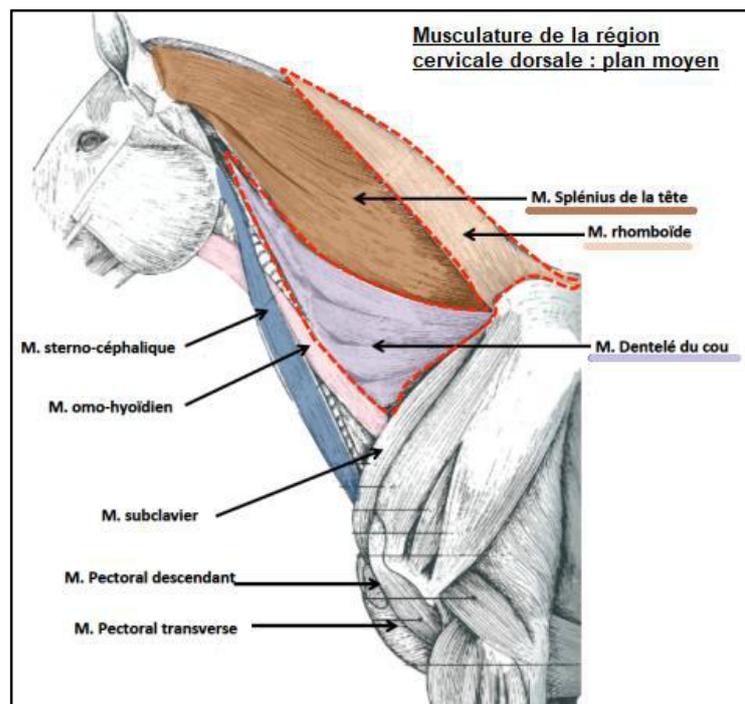


Figure 11 : Musculature de la région cervicale dorsale : plan moyen (Barone [3]).

Entre ces deux régions, la région cervicale moyenne accueille les muscles juxta-vertébraux de la région cervicale ventrale, les muscles longs du cou de la région cervicale dorsale et les muscles extrinsèques de la tête. Les différentes fonctions de ces muscles sont regroupées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Fonctions des muscles du cou.

Régions		Muscles	Fonction(s)
Cervicale ventrale	Plan superficiel	Sterno-céphalique	Flexion de la tête et locomotion
		Brachio-céphalique	Flexion de la tête et soulèvement du membre thoracique
	Plan moyen	Sterno-hyoïdien et sterno-thyroïdien	Mouvement de l'os hyoïde et du larynx en direction caudale
		Omo-hyoïdien	Abaisseur de l'os hyoïde et du larynx
Plan profond	Scalène ventral et moyen	Ouverture de la cage thoracique et flexion du cou	
Cervicale moyenne	Muscles juxta-vertébraux de la région cervicale ventrale : muscles longs du cou		Flexion de la colonne vertébrale
	Muscles juxta-vertébraux de la région cervicale dorsale : épineux, transversaires et épineux transversaires		Extenseurs de la colonne vertébrale
	Muscles extrinsèques de la tête		Mouvement des articulations atlanto-occipitale et atlanto-axiale
Cervicale dorsale	Plan superficiel	Trapèze	Abduction de l'épaule
		Omo-transversaire	Mouvement de l'épaule en direction crâniale et locomotion
	Plan moyen	Rhomboïde	Abduction de l'épaule et redressement de l'encolure
		Dentelé ventral du cou	Mouvement de la scapula en direction crâniale
		Splénius de la tête et du cou	Extension de la tête et du cou
	Plan profond	Semi-épineux de la tête	Extension de la tête et du cou
Longissimus de la tête et de l'atlas			

## b) Les muscles du tronc

Ils regroupent les muscles du thorax et de l'abdomen qui protègent les organes et participent à la puissance des mouvements. Le muscle cutané du tronc recouvre les différents plans musculaires.

Parmi les muscles du thorax, se trouve la région pectorale en deux plans : profond avec le pectoral ascendant et subclavier (Figure 12) et superficiel avec les pectoraux descendant et transverse (Figure 13).

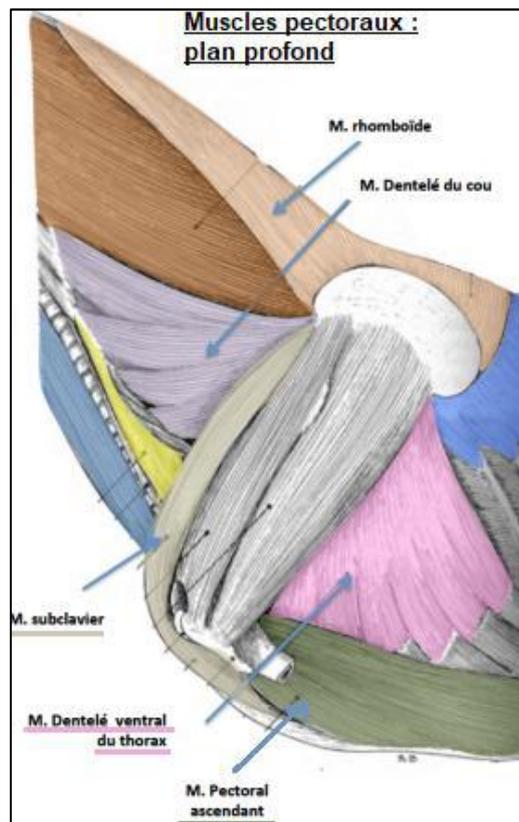


Figure 12 : Musculature de la région pectorale : plan profond (Barone [3]).

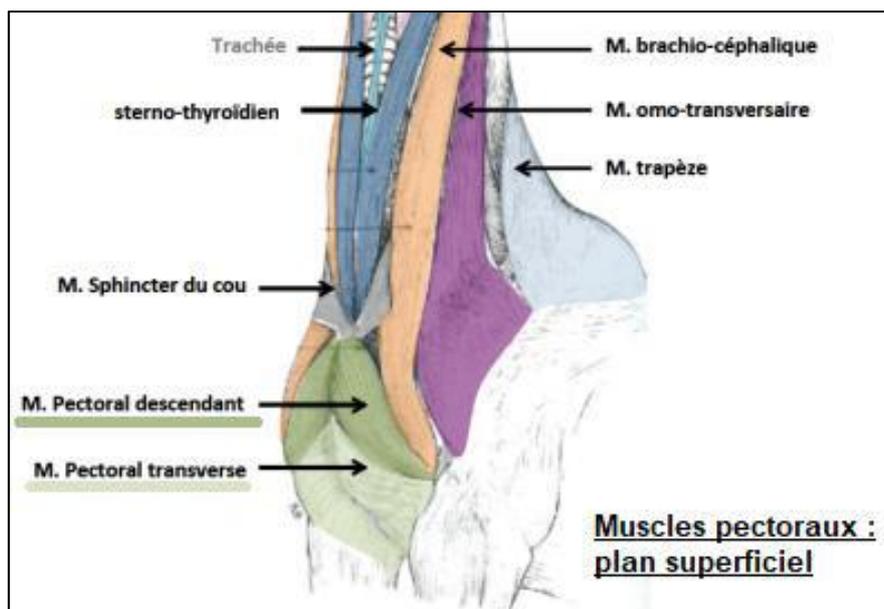


Figure 13 : Musculature de la région pectorale : plan superficiel (Barone [3]).

La musculature du dos du cheval est très développée et constitue la région dorso-lombaire. Elle s'étend du garrot à la fin des côtes pour les muscles du plan moyen avec les muscles dentelés dorsaux divisés en une portion crâniale et une portion caudale. Les muscles de la masse commune forment le plan profond et se terminent plus caudalement sur l'os du bassin, au-dessus des muscles juxta-vertébraux. Le muscle du grand dorsal au plan superficiel les recouvre (Figure 14) :

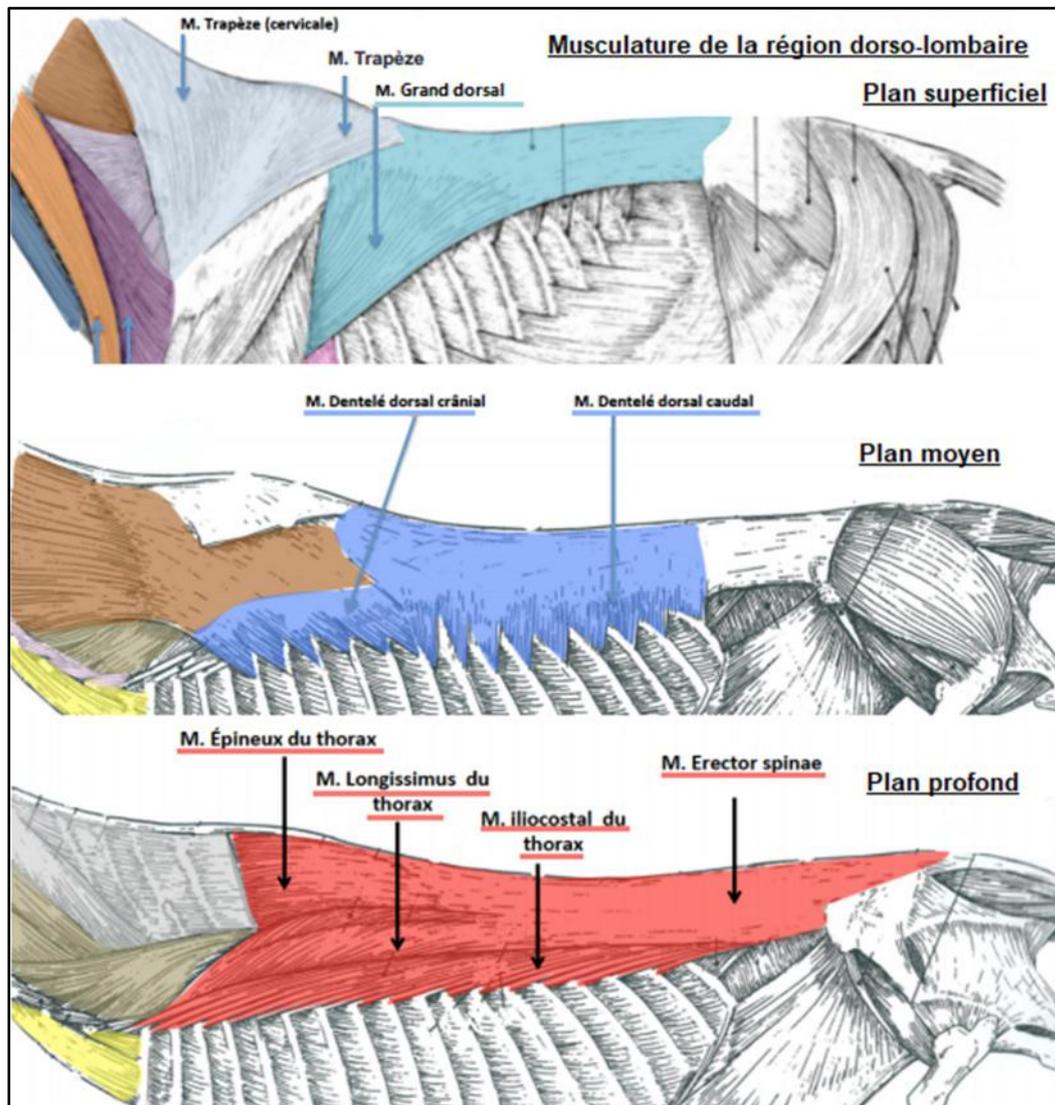


Figure 14 : Musculature de la région pectorale (Barone [3]).

La paroi thoracique, qui est la 3<sup>ème</sup> région du thorax, est formée de nombreux muscles dont ceux du cou, de la région pectorale et de la région dorso-lombaire. S'ajoutent le dentelé ventral du thorax (Figure 12), le droit du thorax qui s'insère sur la face latérale du sternum (Figure 15) et les muscles intercostaux internes et externes le long des côtes. Ils sont accompagnés du muscle transverse du thorax et des muscles éleveurs des côtes. Ces muscles cachés en profondeur, travaillent ensemble pour assurer les mouvements de l'ensemble de la cage thoracique. Les fonctions des différents muscles du thorax sont explicitées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Fonctions des muscles du thorax.

Groupe		Muscles	Fonction(s)
Région pectorale	Plan superficiel	Pectoral descendant	Abduction du bras
		Pectoral transverse	Adduction du membre thoracique
	Plan profond	Pectoral ascendant	Adduction du bras
		Subclavier	Soutien de l'articulation scapulo-humérale
Région dorso-lombaire	Plan superficiel	Grand dorsal	Flexion de l'épaule et propulsion du corps
	Plan moyen	Dentelés dorsaux crânial et caudal	Inspiration (mouvement en direction crâniale) et expiration (mouvement en direction caudale)
		Fascia thoracolombaire	Séparation des plans superficiel et moyen du plan profond
	Plan profond	Muscles de la « masse commune » au-dessus des muscles juxtavertébraux	Extenseurs du rachis
Paroi thoracique	<i>Trapèze, grand dorsal, brachio-céphalique, omotransversaire, pectoral ascendant</i> (Tableaux 3 et 4)		
	<i>Rhomboïde, dentelé ventral du cou, subclavier, dentelé</i> (Tableaux 3 et 4)		
	Dentelé ventral du thorax		Inspiration et locomotion
	Droit du thorax		Inspiration
	Intercostaux	Internes	Expiration et fermeture des espaces intercostaux
		Externes	Inspiration et fermeture des espaces intercostaux
	Transverse du thorax		Expiration (étirement des cartilages costaux vers le sternum)
Élévateur des côtes		Inspiration	

Une partie de ces muscles et de ceux du cou forment la ceinture thoracique pour maintenir les membres antérieurs. Les muscles abdominaux vont jouer un rôle similaire en se combinant aux muscles pelviens et vont protéger les viscères abdominaux. Ils s'attacheront sur différentes surfaces ostéo-fibreuses. Parmi elles se trouve la ligne blanche qui débute au sternum et se termine sur le pubis en un tendon dit prépubien. Le ligament inguinal est aussi important et prend appui sur le pubis jusqu'à l'angle de la hanche. Les différentes épaisseurs musculaires sont organisées en couches concentriques et construisent ainsi le flanc du cheval, en prenant appui en partie sur la ligne blanche et le ligament inguinal. La paroi latéro-ventrale

de l'abdomen du cheval est composée en profondeur des muscles droit et transverse, recouverts par le muscle oblique interne puis le muscle oblique externe (Figure 15).

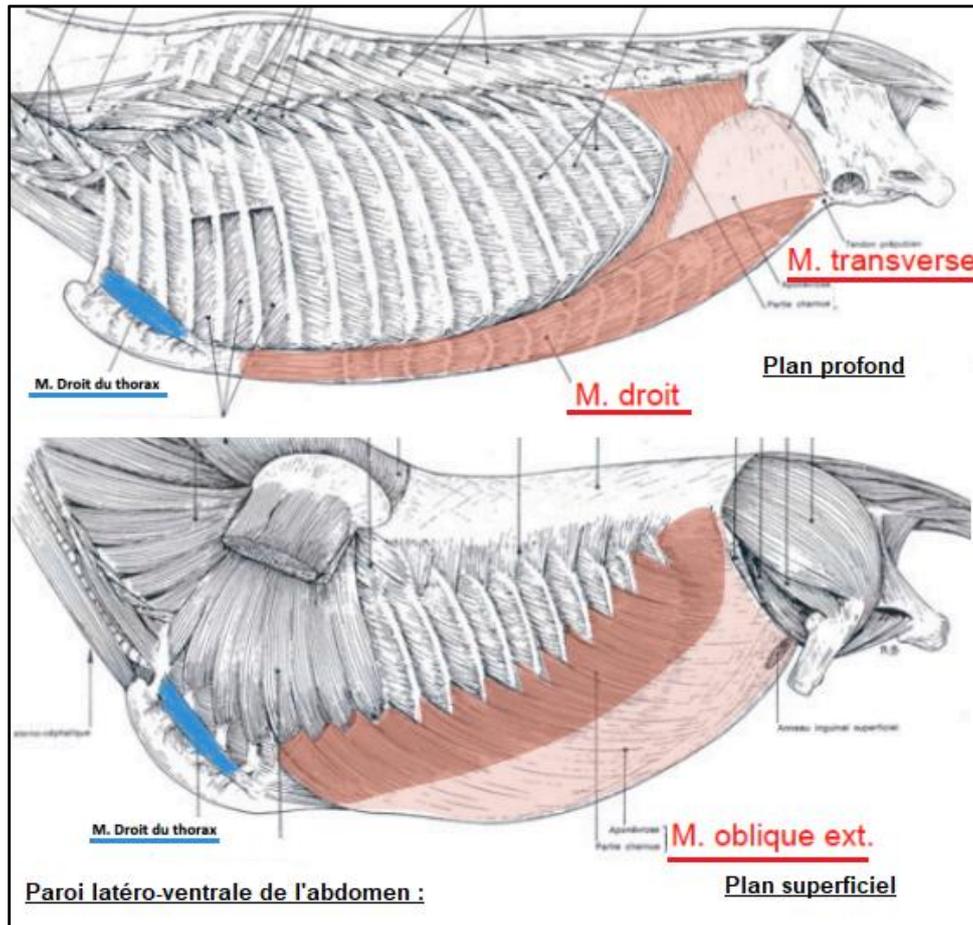


Figure 15 : Musculature de la paroi latéro-ventrale de l'abdomen : plans profond et superficiel (Barone [3]).

La région lombo-iliaque est formée de quatre muscles : l'iliaque, le grand psoas, le petit psoas et le carré des lombes. Ils soutiennent les régions lombo-sacrée et pelvienne et stabilisent ainsi l'arrière-main du cheval (Figure 16). Les muscles de cette région et de la paroi abdominale ont différents rôles décrits dans le Tableau 5 ci-dessous.

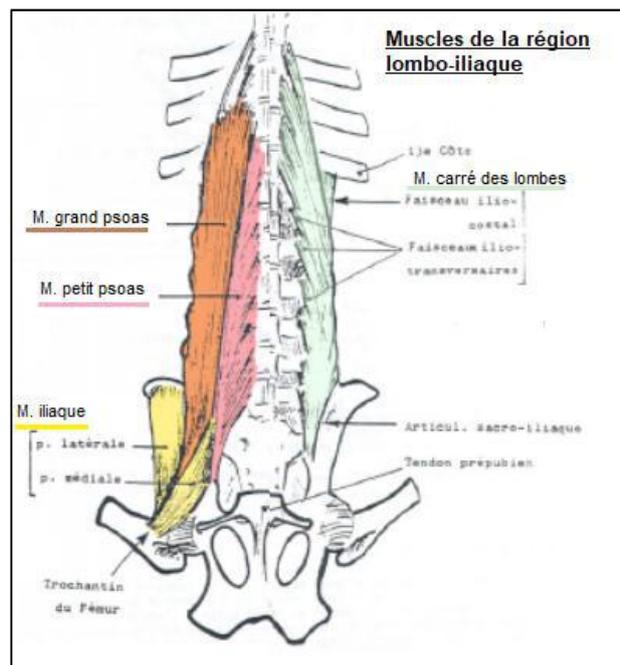


Figure 16 : Musculature de la région lombo-iliaque (Barone [3]).

Tableau 5 : Fonctions des muscles de l'abdomen.

Groupe	Muscles	Fonction(s)
Paroi latéro-ventrale de l'abdomen	Oblique externe	Expiration et soutien
	Oblique interne	
	Transverse	
	Droit	Expiration, soutien et fléchisseur de la colonne vertébrale
Région lombo-iliaque	Iliaque	Flexion de la hanche
	Grand psoas	
	Petit psoas	Flexion de la colonne vertébrale
	Carré des lombes	

### c) Les muscles des membres thoraciques et pelviens

Ils ont un rôle fondamental dans la locomotion du cheval. Ces muscles assurent le soutien du squelette et de l'ensemble du corps, la puissance et l'endurance nécessaires à son mode de vie ainsi qu'une grande amplitude dans ses possibilités de mouvements.

Le membre antérieur est agencé à partir de différents groupes musculaires. Tout d'abord, les muscles dits extrinsèques au membre s'insèrent sur la ceinture thoracique et le maintiennent en continuité avec l'ensemble du corps. Ce sont les muscles du cou (trapèze, omotransversaire, brachio-céphalique, rhomboïde et dentelé du cou) (Tableau 3) et les muscles du thorax (grand dorsal, dentelé ventral du thorax et les pectoraux ascendant, descendant et transverse) (Tableau 4). Puis, les muscles intrinsèques sont divisés en trois groupes afin de renforcer les os correspondants et d'agir sur le segment osseux suivant.

Les muscles de l'épaule se répartissent le long de la scapula et actionnent le bras. Les muscles deltoïde, supra et infra-épineux ainsi que le petit rond sont sur la face latérale, tandis que les muscles sous-scapulaire, grand rond et coraco-brachial se trouvent sur la face médiale (Figure 17). Depuis la scapula ou la partie proximale de l'humérus jusqu'aux os de l'avant-bras, s'étendent les muscles du bras.

Parmi eux se distinguent :

- les muscles brachiaux crâniens qui fléchissent le coude : ce sont le muscle brachial et le muscle biceps brachial.
- les muscles brachiaux caudaux qui permettent son extension : ce sont les muscles triceps brachial, tenseur du fascia antébrachial et anconé. Le triceps brachial est divisé en trois chefs : le chef latéral sur la face latérale, le chef long caudalement et le chef médial sur la face médiale. Ces deux derniers sont recouverts par le muscle grand dorsal et le tenseur du fascia antébrachial.

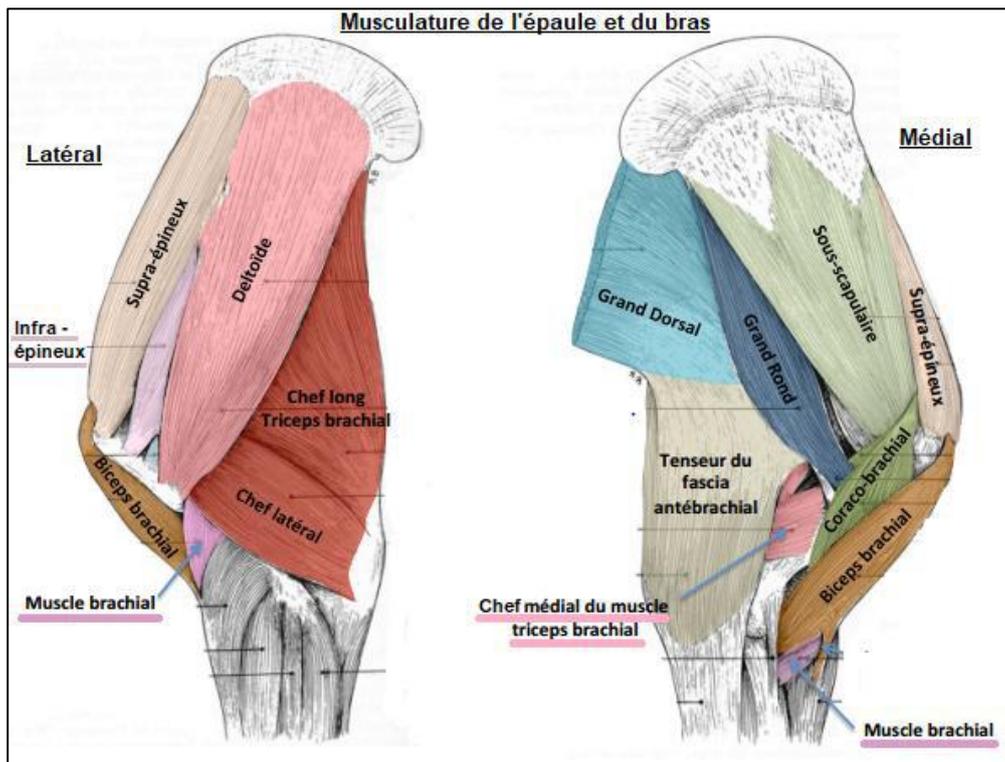


Figure 17 : Musculature de l'épaule et du bras (Barone [3]).

Les muscles du bras sont enveloppés dans le fascia brachial, une gaine fibreuse qui les protège. Les rôles de ces muscles et ceux de l'épaule sont expliqués dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Fonctions des muscles de l'épaule et du bras.

Groupe		Muscles	Fonction(s)
Epaule	Face latérale	Delfoïde	Flexion et abduction de l'épaule
		Supra-épineux	Extension de l'épaule
		Infra-épineux	Abduction de l'épaule
		Petit rond	Rôle accessoire de l'infra-épineux dans l'abduction
	Face médiale	Grand rond	Adduction et flexion de l'épaule
		Sous-scapulaire	Adduction de l'épaule
		Coraco-brachial	
Bras	Région crâniale	Brachial	Flexion du coude
		Biceps brachial	
	Région caudale	Triceps brachial	Extension du coude
		Anconé	
		Tenseur du fascia antébrachial	Tenseur du fascia antébrachial

Le troisième groupe de muscle est celui de l'avant-bras, recouvert par le fascia antébrachial. De la même façon, ils prendront leur origine sur l'extrémité distale de l'humérus ou l'extrémité proximale des os de l'avant-bras pour se terminer sur :

- le carpe ou le métacarpe III pour les muscles moteurs du carpe.
- les phalanges pour les muscles extenseurs et fléchisseurs des doigts.

Les muscles en position crâniale ont un rôle dans l'extension de la main, contrairement à ceux en position caudale qui servent à la flexion. Les muscles antébrachiaux crâniens comprennent sur le plan superficiel, le muscle extenseur radial du carpe ainsi que les muscles extenseurs dorsal et latéral du doigt. Seul le muscle extenseur oblique du carpe est présent en profondeur (Figure 18).

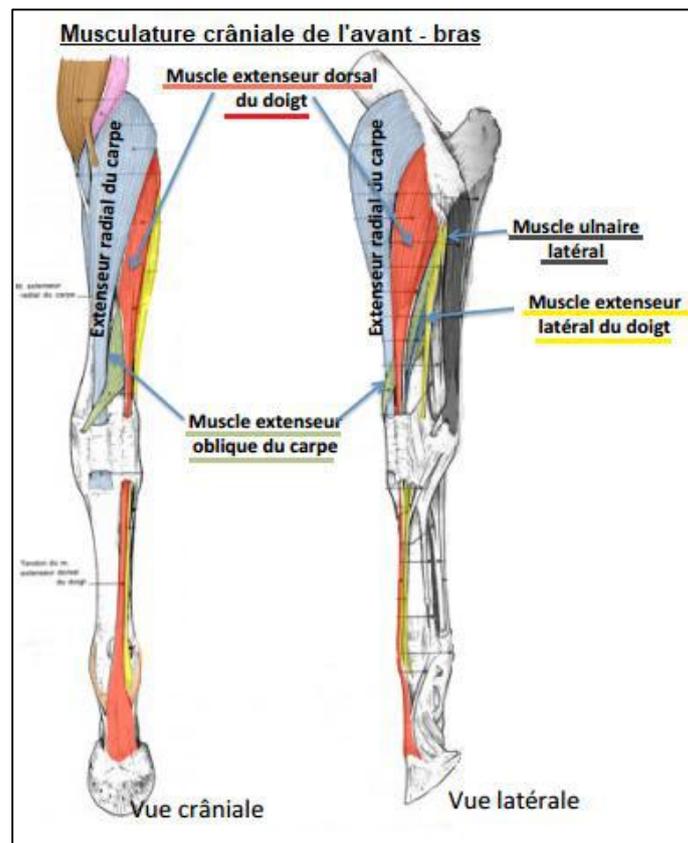


Figure 18 : Musculature crâniale de l'avant-bras (Barone [3]).

Les muscles antébrachiaux caudaux superficiels sont nommés l'ulnaire latéral (Figure 18) et les fléchisseurs ulnaire et radial du carpe. Le fléchisseur ulnaire du carpe se divise en deux chefs sur sa partie crâniale : un chef huméral et un chef ulnaire. Le plan profond est composé de deux muscles soutenant l'articulation métacarpo-phalangienne (Figure 19) :

- le muscle fléchisseur superficiel du doigt, qui est accompagné d'une bride radiale et donne sur sa partie distale le tendon perforé.
- le muscle fléchisseur profond du doigt, qui possède différents chefs ulnaire, huméral et radial se terminant sur le tendon perforant distalement.

Le tendon perforant du muscle fléchisseur profond va donc passer sous le tendon perforé du muscle fléchisseur superficiel.

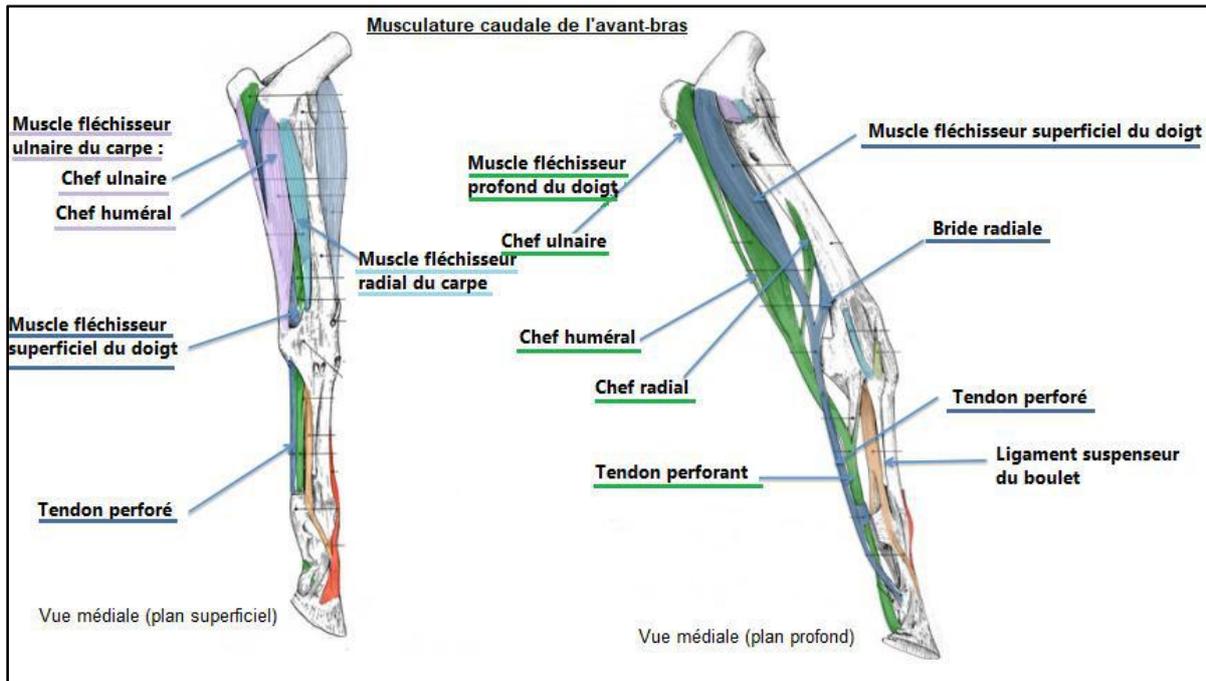


Figure 19 : Musculature caudale de l'avant-bras (Barone [3]).

Les fonctions détaillées de ces muscles de l'avant-bras se trouvent dans le tableau ci-dessous (Tableau 7).

Tableau 7 : Fonctions des muscles de l'avant-bras.

Région		Muscles	Fonction(s)
Région antébrachiale crâniale	Plan superficiel	Extenseur radial du carpe	Extension de la main sur l'avant-bras
		Extenseur dorsal du doigt	Extension des phalanges, du doigt et de la main
		Extenseur latéral du doigt	Extension du doigt
	Plan profond	Extenseur oblique du carpe	
Région antébrachiale caudale	Plan superficiel	Ulnaire latéral	Flexion du carpe
		Fléchisseur ulnaire du carpe	
		Fléchisseur radial du carpe	
	Plan profond	Fléchisseur superficiel du doigt	Flexion des phalanges, du doigt et de la main
		Fléchisseur profond du doigt	

Ainsi deux chaînes musculaires antagonistes donnent au membre thoracique ses fonctions locomotrices. Ceux situés crânialement actionnent le membre pour qu'il avance à l'opposé des muscles caudaux qui sont importants pour la phase d'appui en faisant basculer une partie du poids du cheval vers l'avant.

Le membre pelvien est construit selon le même modèle que le membre thoracique avec les muscles du bassin, de la jambe et de la cuisse. Chaque groupe agit à nouveau sur le segment osseux distal ce qui permet par exemple aux muscles de la cuisse de fléchir ou étendre la jambe.

L'articulation coxo-fémorale et le bassin sont dirigés par les muscles fessiers et pelviens profonds. Ces derniers regroupent le muscle carré fémoral, les muscles jumeaux et les muscles obturateurs interne et externe. L'obturateur interne se divise en trois faisceaux : l'ilio sacral et deux faisceaux ischio-pubiens. De façon similaire, le muscle jumeaux possède une partie crâniale et une partie caudale. Le muscle fessier superficiel recouvre les trois autres muscles fessiers (Figures 20 et 22). Pour participer aux mouvements de flexion de la hanche, des muscles dits extrinsèques au membre pelvien sont requis : l'iliaque et le grand psoas (Figure 16, Tableau 5).

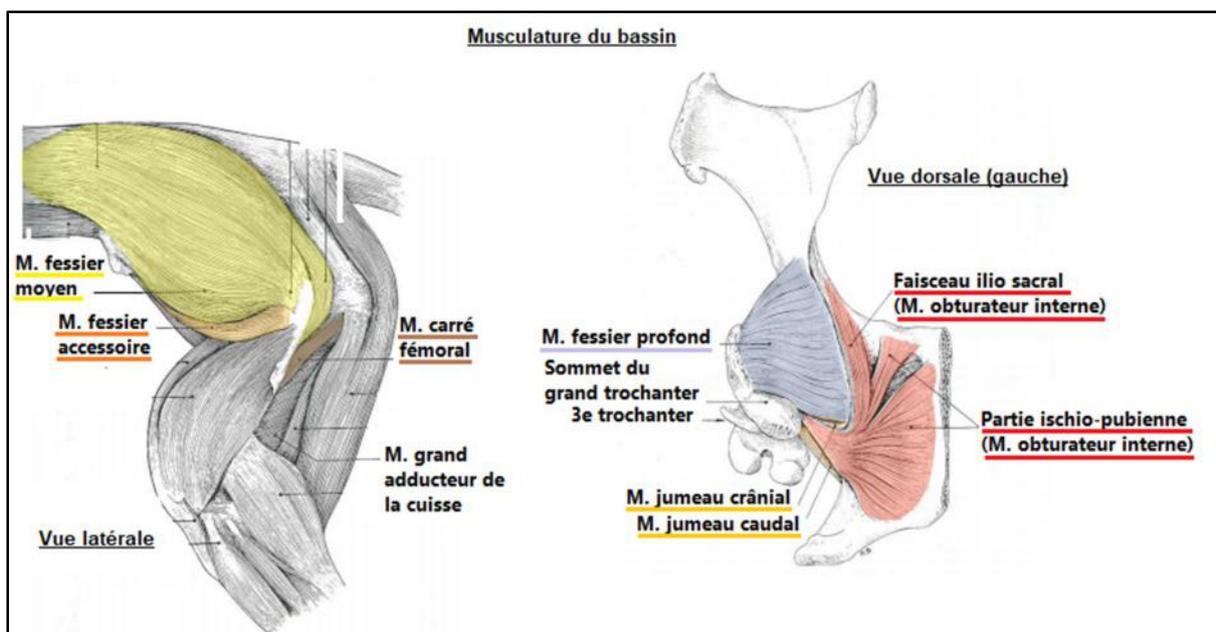


Figure 20 : Musculature du bassin (Barone [3]).

Les fonctions de ces muscles sont décrites dans le tableau suivant (Tableau 8).

Tableau 8 : Fonctions des muscles de la fesse.

Muscles	Fonction(s)
<b>Muscles fessiers (superficiel, moyen, accessoire et profond)</b>	Extension de la hanche (abduction de la cuisse en plus pour le muscle profond)
<b>Obturateur crânial</b>	Abduction de la cuisse et rotation en dehors du rayon fémoral
<b>Jumeaux</b>	
<b>Obturateur externe</b>	Adduction de la cuisse et rotation en dehors du rayon fémoral
<b>Carré fémoral</b>	

Le segment anatomique suivant concerne la cuisse. Sa topographie permet d'établir trois loges musculaires qui possèdent chacune une fonction (Figure 21) :

- muscles fémoraux caudaux (loge sciatique) : composés des muscles ischio-jambiers pour la flexion de la jambe.
- muscles fémoraux crâniens (loge fémorale) : ce sont les muscles quadriceps fémoral et tenseur du fascia lata qui ont un rôle dans l'extension de la jambe.
- muscles fémoraux médiaux (loge obturatrice) : formés des muscles adducteurs de la jambe et de la cuisse.

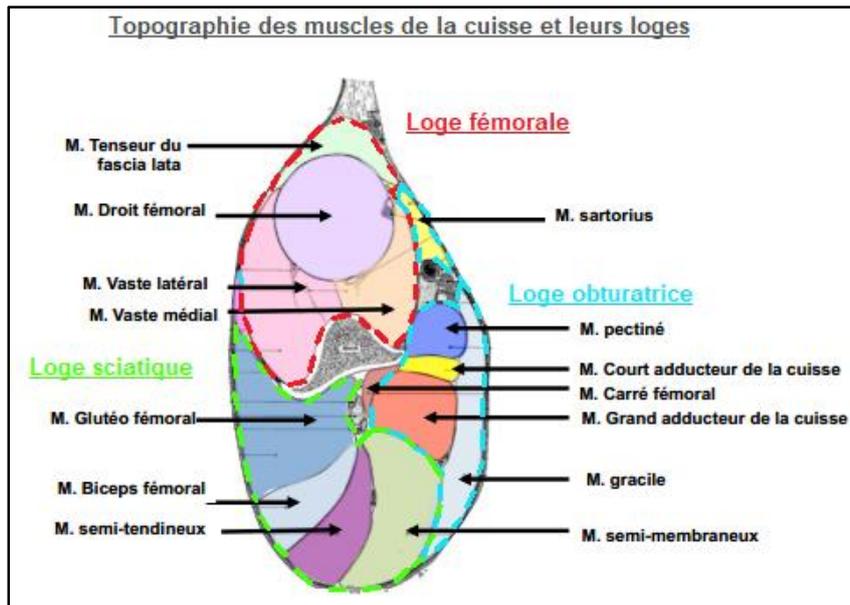


Figure 21 : Topographie des muscles de la cuisse et leurs loges (Barone [3]).

Ils sont entourés d'une enveloppe fibreuse nommée le fascia fémoral sur sa partie médiale et le fascia lata sur sa partie latérale. Les ischio-jambiers de la loge sciatique soutiennent l'articulation du genou à l'aide de trois muscles volumineux : le biceps fémoral, le semi-tendineux et le semi-membraneux. A cela s'ajoute le muscle glutéobiceps ainsi nommé suite à sa fusion entre les muscles glutéofémoral en partie crâniale et biceps fémoral en partie caudale (Figure 22).

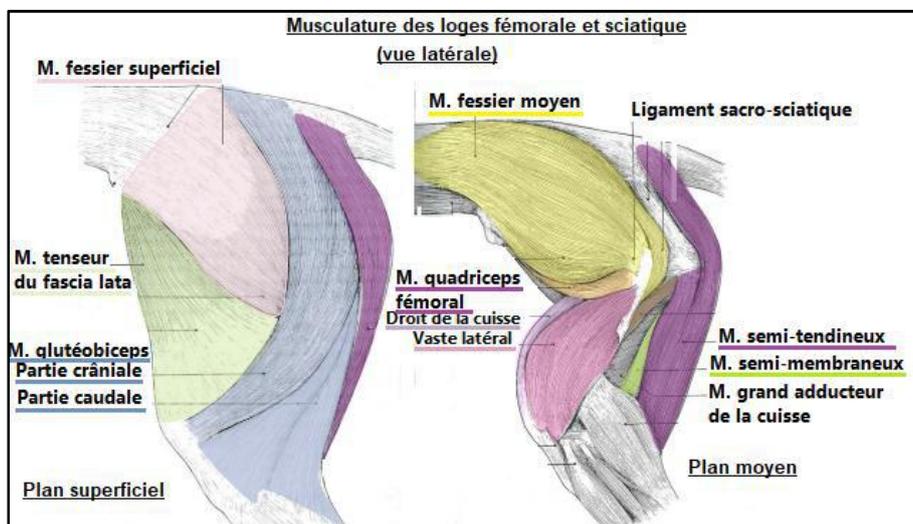
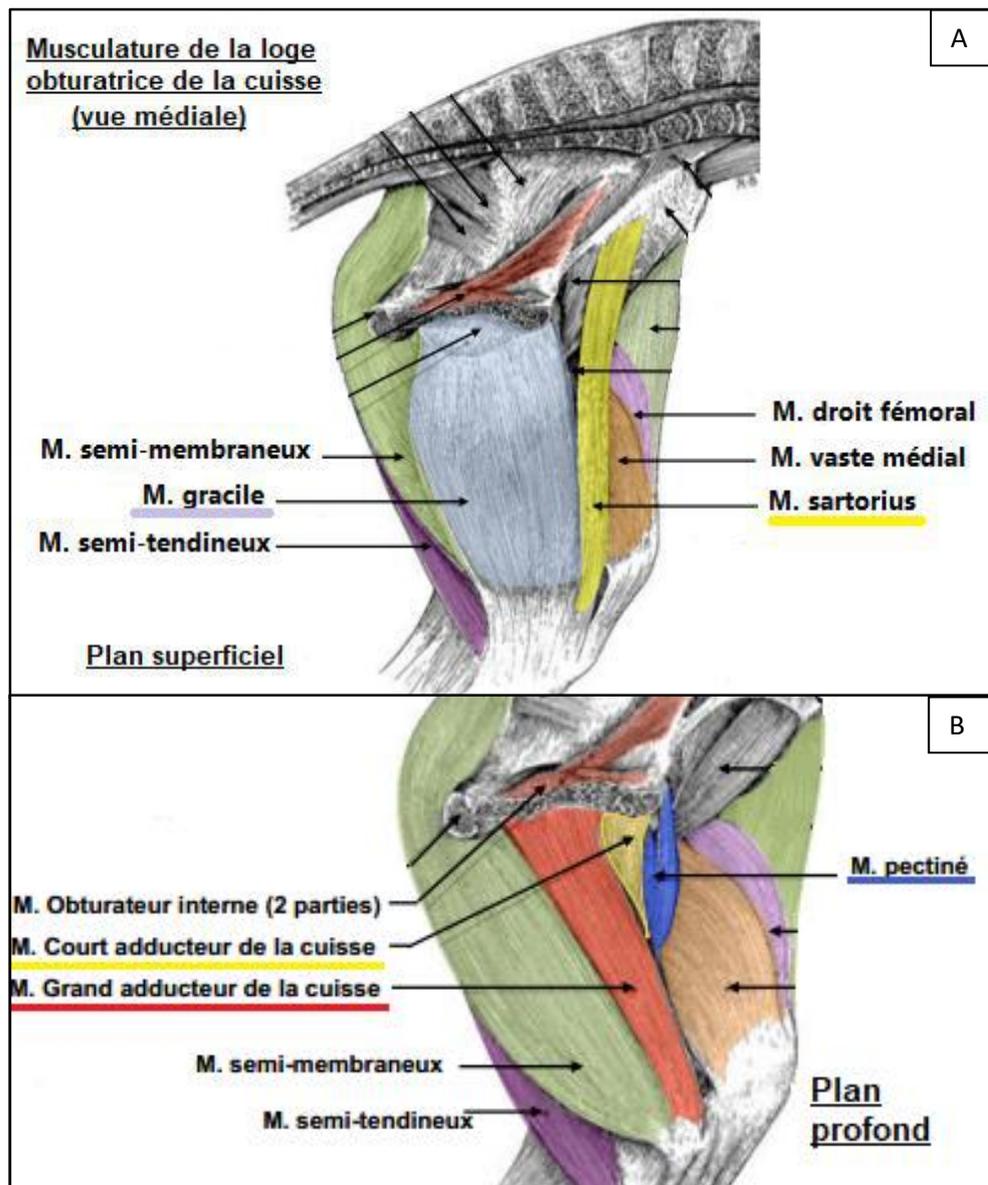


Figure 22 : Musculature des loges fémorale et sciatique de la cuisse (Barone [3]).

Les muscles de la loge fémorale se terminent tous sur la patelle. Le muscle tenseur du fascia lata est superficiel. Le quadriceps fémoral est divisé en 4 sous-parties : le vaste latéral, le vaste médial et le vaste intermédiaire positionné sous le doigt fémoral (Figure 22). Le muscle vaste intermédiaire possède deux ramifications qui tendent à se confondre avec les muscles adjacents (latéral et médial).

La loge obturatrice se compose de quatre muscles. Les muscles sartorius et gracile sur la couche superficielle participent à l'adduction de la jambe. En profondeur, ce sont le muscle pectiné et les adducteurs de la cuisse (grand et court) qui agissent sur le segment concerné (Figures 23 a et b).

Figure 23 :  
Musculature de la  
loge obturatrice  
de la cuisse : plan  
superficiel (A) et  
profond (B)  
(Barone [3]).



Les fonctions des muscles de la cuisse sont décrites dans le tableau ci-dessous (Tableau 9).

Tableau 9 : Fonctions des muscles de la cuisse.

Loge	Muscles	Fonction(s)
<b>Sciatique</b>	Glutéofémoral	Membre au soutien : extension de la hanche Membre à l'appui : extension de la jambe
	Biceps fémoral	Flexion de la jambe
	Semi - tendineux	
	Semi - membraneux	
<b>Fémorale</b>	Tenseur du fascia lata	Tenseur du fascia lata, extension de la jambe et flexion de la hanche
	Quadriceps fémoral	Extension de la jambe (flexion de la hanche en plus pour le muscle droit fémoral)
<b>Obturatrice</b>	Gracile	Adduction de la jambe
	Sartorius	Flexion de la hanche et adduction de la jambe
	Pectiné	Adduction de la cuisse et flexion de la hanche
	Court et grand adducteur de la cuisse	Adduction de la cuisse

La dernière portion de la musculature du membre pelvien s'articule à l'aide des muscles de la jambe qui sont répartis crânialement et caudalement. Les muscles latéraux auront principalement une fonction d'extension des phalanges et de flexion du tarse à l'inverse des muscles médiaux qui sont leurs antagonistes (Figure 24).

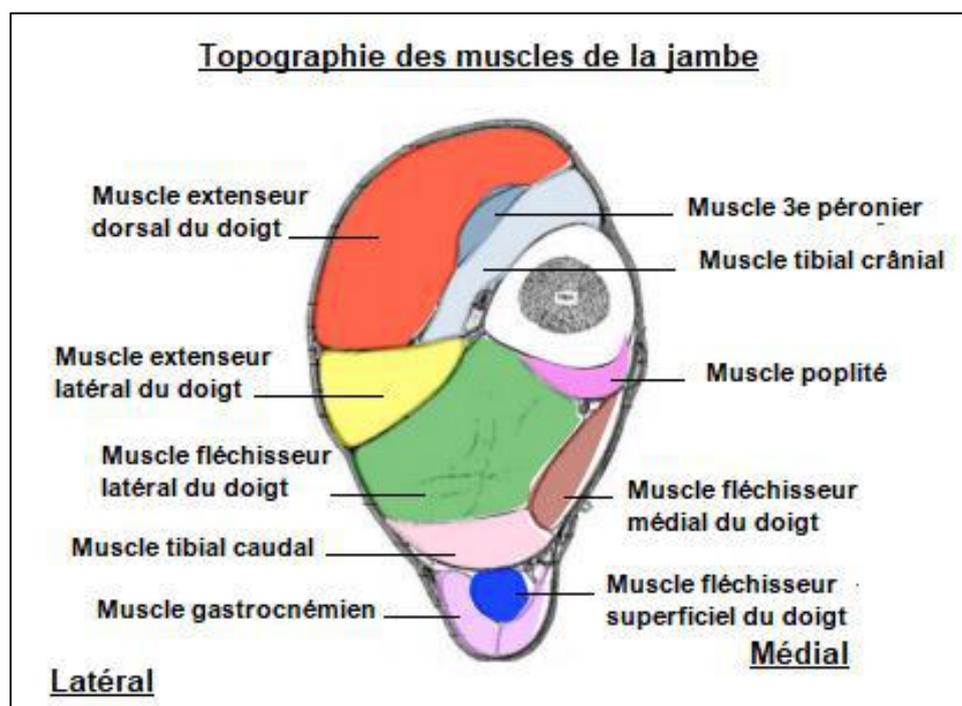


Figure 24 : Topographie des muscles de la jambe (Barone [3]).

Les muscles crâniens sont composés des muscles extenseurs dorsal et latéral du doigt, de même que pour le membre antérieur et se terminent comme leur nom l'indique sur le doigt. D'autres muscles sont présents et se finissent cette fois sur le métatarse : le tibial crânial et le troisième péronier, recouverts par le muscle extenseur dorsal du doigt. Les muscles caudaux, aussi nommés muscles jambiers plantaires, se transforment en tendons à leur arrivée sur la face plantaire du pied. Ils se répartissent en deux couches :

- superficielle : formée du muscle fléchisseur superficiel du doigt et du muscle gastrocnémien. Ce dernier fusionne avec le muscle soléaire pour former le triceps sural.
- profonde : composée des muscles poplité, tibial caudal et fléchisseurs des doigts latéral et médial.

Le muscle gastrocnémien est constitué d'un chef médial et d'un chef latéral qui se terminent au sommet du calcaneus. De façon analogue au membre antérieur, le muscle fléchisseur superficiel du doigt donne le tendon perforé et s'insère sur la deuxième phalange du pied. Hormis le muscle poplité, tous les muscles de la couche profonde se rejoignent pour émettre un tendon nommé le tendon perforant qui se termine sur la troisième phalange du cheval (Figure 25 ci-contre). Les rôles de ces différents muscles sont annotés dans le tableau ci-dessous (Tableau 10).

Tableau 10 : Fonctions des muscles de la jambe.

Région	Muscles	Fonction(s)
<b>Muscles jambiers crâniens</b>	Tibial crânial	Flexion du pied
	3 <sup>ème</sup> péronier	
	Extenseur dorsal du doigt	Extension du pied, du doigt et des phalanges
	Extenseur latéral du doigt	Extension des phalanges
<b>Muscles jambiers caudaux</b>	Gastrocnémien	Extension du pied et soutien passif du grasset et du jarret
	Soléaire	Accessoire du gastrocnémien
	Fléchisseur superficiel, latéral et médial du doigt	Flexion du pied, du doigt et des phalanges et soutien passif du grasset et du jarret
	Tibial caudal	Accessoire du fléchisseur superficiel du doigt
	Poplité	Flexion de la jambe

L'ensemble de la myologie du cheval met ainsi en valeur deux chaînes musculaires primordiales pour sa locomotion : celle des extenseurs et celle des fléchisseurs. La chaîne des extenseurs est située le long du dos et formée des muscles de la colonne vertébrale et de la hanche. Elle permet la propulsion de l'animal vers l'avant. La chaîne des fléchisseurs en revanche, parcourt le ventre de l'animal et comprend des muscles de l'encolure. Ils sont importants pour le maintien de l'animal et le soutien des organes internes.

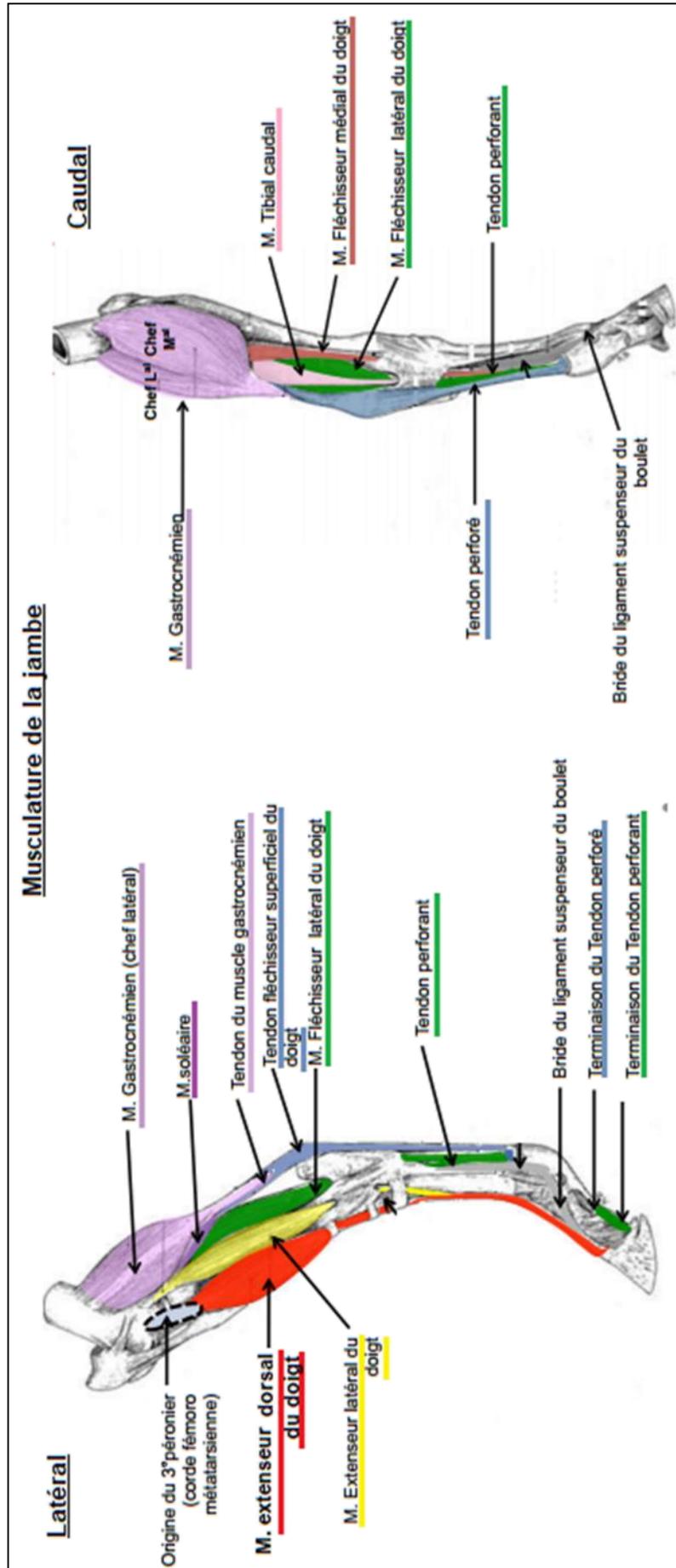


Figure 25 : Musculature de la jambe (Barone [3]).

### 3) Les fascias, tendons et ligaments

Ces structures fibreuses servent à mettre en relation les différents constituants de l'organisme comme les systèmes musculaires et squelettiques. Elles sont composées principalement de tissu conjonctif, lui-même formé d'éléments cellulaires (fibroblastes, adipocytes...), de substances fondamentales (protéoglycanes...) et de fibres (collagène, réticuline, élastine). Selon la proportion de ces fibres, le tissu sera alors plus ou moins élastique ou rigide. Dans le cas des tendons, ligaments et fascias, ce tissu est qualifié de tissu conjonctif dense. En effet les fibres conjonctives sont présentes en grande quantité et les fibres de collagène sont organisées en larges faisceaux enchevêtrés ce qui confère au tissu une grande résistance. Ces fibres ont un rôle important dans le soutien des autres structures de l'organisme et subissent des tractions, avec une capacité d'extension plus ou moins grande selon leur nature.

#### a) Les fascias

Ce sont des membranes fibreuses et élastiques qui enveloppent une unité anatomique. Elles sont présentes à l'intérieur, entre et autour des muscles, des os et des organes et sont des structures passives qui participent à la transmission de l'énergie physique. Les muscles par exemple sont maintenus ensemble dans cette enveloppe qui les protège des chocs et ils glissent à l'intérieur, les uns contre les autres lors de mouvement. Les fascias maintiennent les éléments à leur place et servent de point d'attache musculaire. Leur composition, riche en collagène, leur offre une grande résistance. La dénomination des fascias se fait en respectant la région anatomique qu'ils couvrent (Figure 26). Il existe un fascia dit superficiel, qui met en relation la peau, les muscles, les nerfs et les vaisseaux. Limitant les pertes de chaleurs, il forme une première couche isolante et protectrice pour les muscles situés en-dessous.

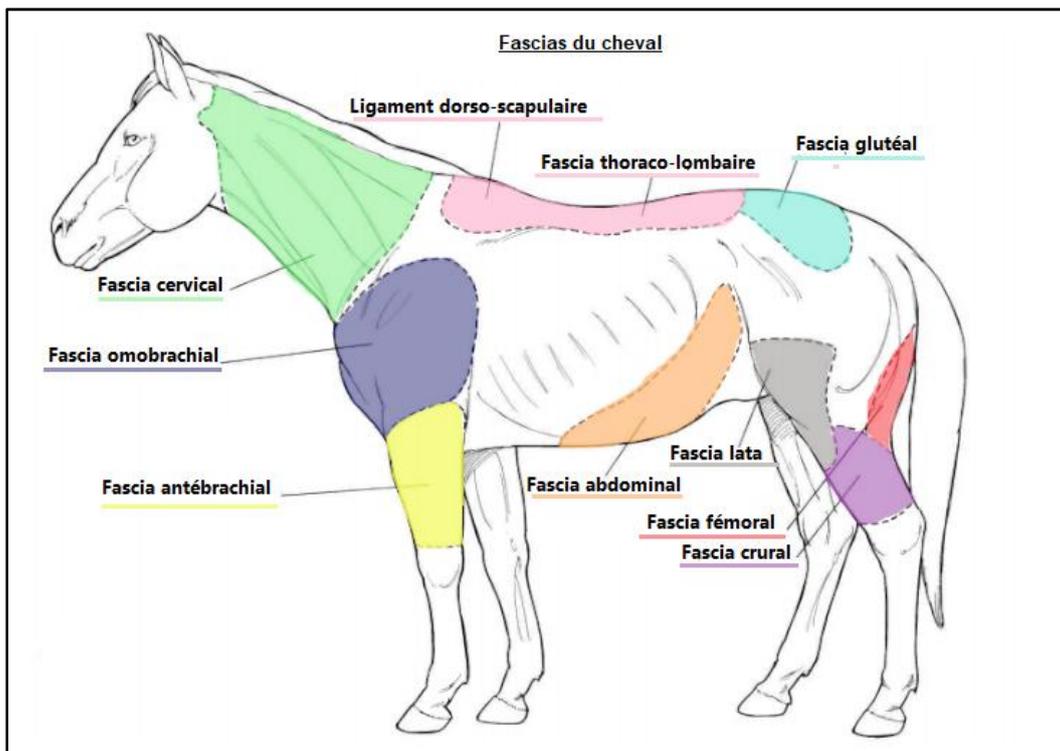


Figure 26 : Topographie des fascias du cheval (Kainer [25]).

Le fascia cervical englobe les muscles du cou et affermit leur contraction. La région lombo-sacrée est protégée crânialement par le fascia thoraco-lombaire et caudalement par le fascia glutéal. Le fascia thoraco-lombaire porte le ligament dorso-scapulaire et couvre les muscles spinaux (muscles de la masse commune) de la base du cou au sacrum. Il sépare les plans musculaires moyen et profond de cette région. Les muscles abdominaux sont protégés par le fascia abdominal et le fascia iliaque qui soutient les muscles extrinsèques du membre pelvien. La partie proximale du membre antérieur est couverte par le fascia omobrachial, puis le fascia antébrachial pour la région du même nom. Enfin la loge sciatique (latérale) de la cuisse possède le fascia lata, la loge obturatrice (médiale) de la cuisse le fascia fémoral et la jambe le fascia crural, nommé également fascia jambier.

## b) Les tendons

Ils relient les extrémités du muscle à son insertion osseuse : chaque muscle a donc un tendon d'origine et un tendon de terminaison. Pour les muscles courts et plats, les tendons sont remplacés par des aponévroses d'insertion qui remplissent le même rôle. Une ossification locale peut être présente dans les zones de frictions intenses : les os sésamoïdes sont ainsi formés. Plusieurs tendons peuvent être soutenus ensemble par une gaine tendineuse dans laquelle ils coulissent. La disposition des fibres de collagène est plus longitudinale et elles sont parallèles entre elles ce qui associe à leur résistance, une certaine capacité d'étirement afin d'accompagner les mouvements du cheval et de transmettre la force musculaire. Les tendons ont une irrigation vasculaire faible ce qui rends leur guérison très longue.

Chez les équidés, plusieurs tendons fondamentaux pour sa locomotion sont présents au niveau de la jambe et jusqu'aux phalanges. Comme observé sur la Figure 25 ci-dessus, le tendon perforant est issu du muscle fléchisseur profond du doigt et le tendon perforé provient du muscle fléchisseur superficiel du doigt. Ils se terminent sur la face palmaire ou plantaire de l'extrémité digitale de la main ou du pied respectivement. Ils participent à la mise en mouvement de l'articulation du boulet, avec sur la face dorsale du pied le tendon de l'extenseur latéral du doigt et le tendon de l'extenseur dorsal du doigt (Figure 27).

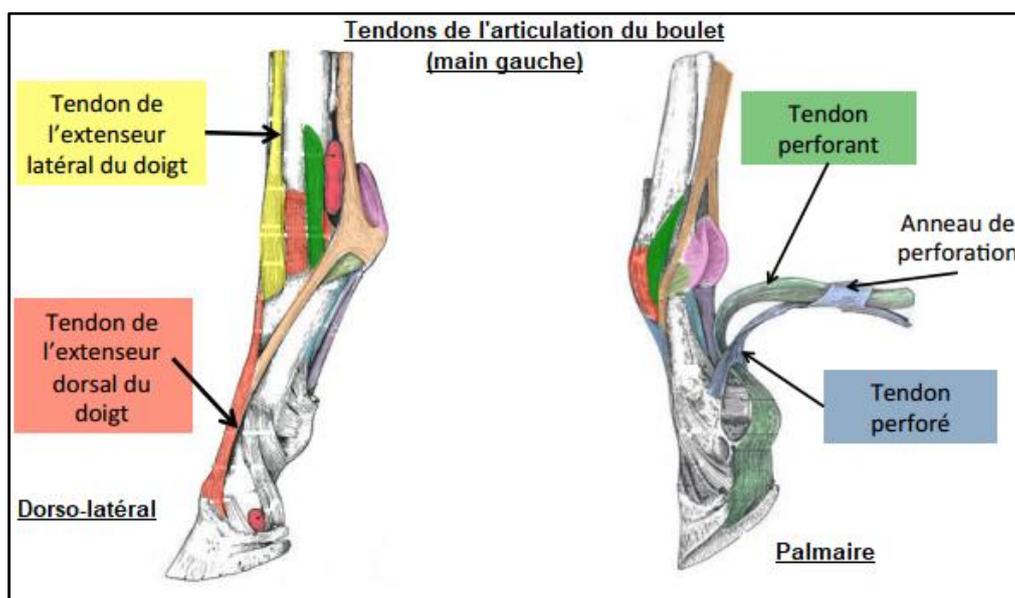


Figure 27 : Tendons de l'articulation du boulet (Barone [3]).

### c) Les ligaments

Les ligaments sont également des fibres de tissu conjonctif mais cette fois, ils établissent le lien entre deux os (ou deux organes). Les fibres les constituant s'entrecroisent ce qui diminue leur élasticité par rapport aux tendons mais augmente leur solidité. Leur faible vascularisation allonge leur temps de cicatrisation de façon analogue aux tendons. Ils sont très résistants et régulent l'amplitude des mouvements notamment lors d'hyperflexion ou d'hyperextension. Les articulations sont renforcées par ces structures qui les stabilisent. Les ligaments peuvent être funiculaires (ex : ligament nuchal), annulaires afin d'englober l'articulation (ex : ligament annulaire du boulet), interosseux (ex : ligament interépineux) ou encore simplement de soutien pour l'articulation (ex : ligament collatéral).

Un des ligaments les plus importants pour le cheval est le ligament nuchal, présent le long de l'encolure et plus riche en élastine que les autres ligaments. Il se divise en deux parties (Figure 28) :

- une partie funiculaire, aussi appelée la corde : constituée de deux faisceaux fibreux extrêmement résistants, elle relie la protubérance de l'os occipital du crâne au garrot.
- une partie lamellaire, aussi nommée lame : elle sert de liaison entre les vertèbres cervicales et la partie funiculaire du ligament nuchal.

En effet, le ligament nuchal équilibre le poids de la tête et aide les muscles extenseurs de façon passive. Il a un rôle dans la locomotion en tirant sur les processus épineux lorsque l'animal baisse sa tête ce qui raidit sa région dorso-lombaire. Il permet aussi un effet propulsif des membres en effectuant un mouvement de balancier cervico-céphalique. Il soutient également la tête lorsque le cheval somnole debout.

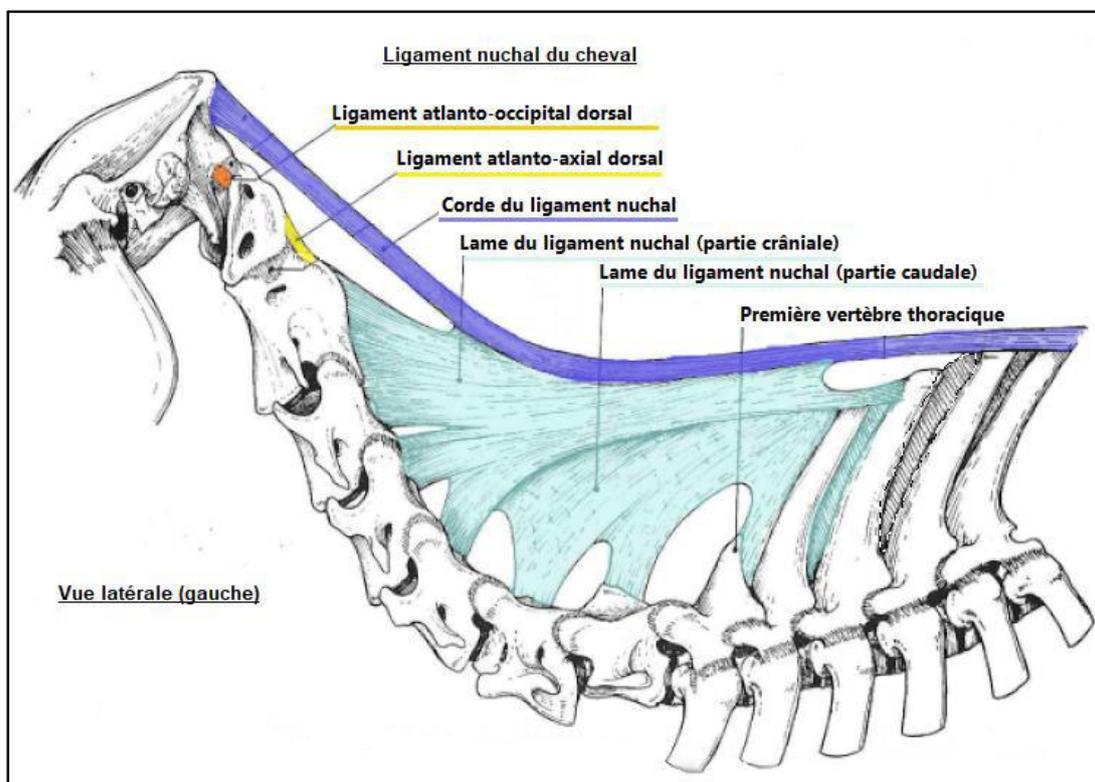


Figure 28 : Ligament nuchal du cheval (Barone [3]).

Le ligament nuchal se poursuit par le ligament supra-épineux qui relie chaque processus épineux des vertèbres entre eux jusqu'au sacrum (Figure 29). Il se tend lors de la flexion de la colonne pour limiter l'écartement entre les processus épineux. Les corps vertébraux sont connectés entre eux par le ligament longitudinal ventral situé sous la colonne vertébrale et qui ne débute qu'en région thoracique crâniale. Il se trouve toutefois en région cervicale entre l'atlas (C1) et l'axis (C2) et forme le ligament atlanto-axial (Figure 28). Le ligament longitudinal dorsal s'étend au-dessus des disques inter-vertébraux de la colonne, de l'axis au sacrum. Les espaces entre les processus épineux sont occupés par les ligaments interépineux afin de stabiliser la colonne vertébrale. Elle est ainsi protégée dans son ensemble par ce système ligamentaire.

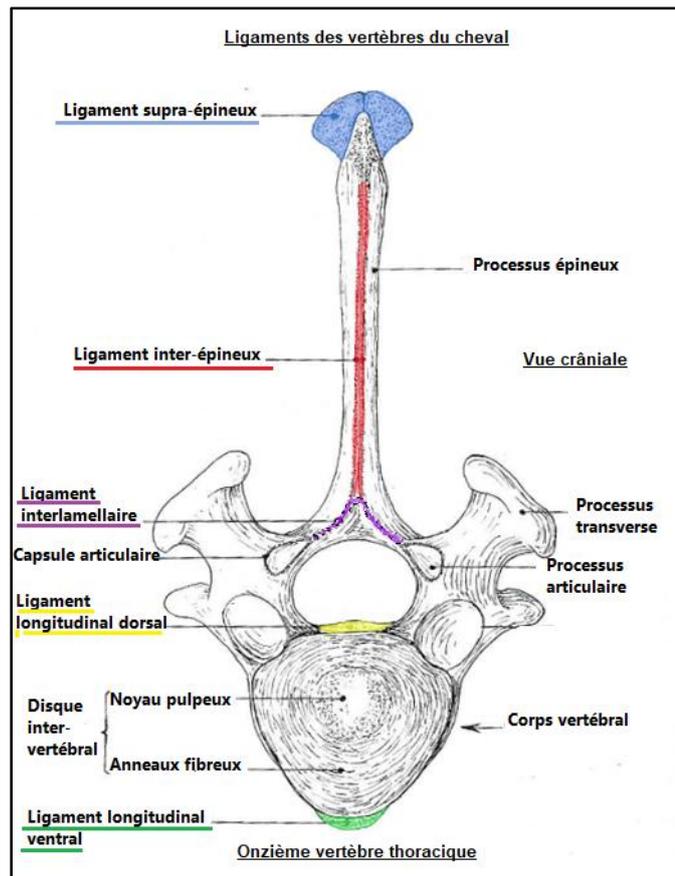


Figure 29 : Ligaments des vertèbres du cheval (11ème vertèbre thoracique) (Barone [3]).

En région thoracique, le sternum est revêtu d'une enveloppe fibreuse importante, divisée en deux cordons : les ligaments sternaux. Concernant le membre thoracique, la scapula travaille avec l'humérus à l'aide d'une capsule articulaire dite scapulo-humérale. Elle est renforcée par les deux faisceaux du ligament gléno-huméral, du nom de la cavité glénoïdale de la scapula dans laquelle la tête humérale se loge.

Pour le coude, un ligament oblique se trouve crânialement à la capsule articulaire et les ligaments collatéraux médial (très développé) et latéral la maintiennent de chaque côté (Figure 30). Sur leurs parties proximales, le radius et l'ulna sont unis par les ligaments radio-ulnaires, décomposés en un ligament médial et un latéral.

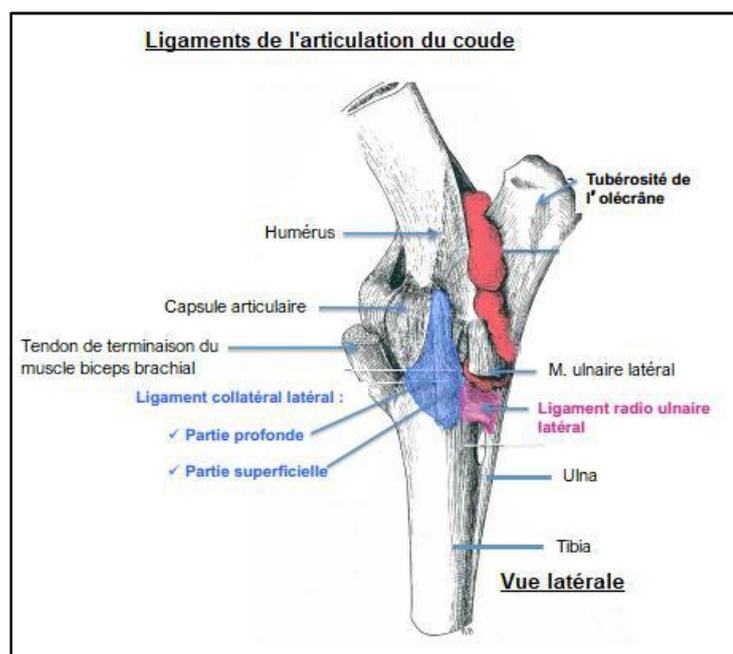


Figure 30 : Ligaments de l'articulation du coude (Barone [3]).

Le carpe est entouré de différents ligaments dont le ligament commun dorsal qui s'étend de la partie distale de l'avant-bras au métacarpe. Deux ligaments collatéraux médial et latéral prennent leurs attaches aux mêmes endroits que le ligament commun dorsal.

Sous le ligament commun dorsal se trouvent d'autres ligaments (Figure 31) :

- Intercarpiaux : ces ligaments lient les os du carpe entre eux et sont appelés dorsaux, interosseux et palmaires selon leur profondeur dans l'articulation.
- Carpo-métacarpiaux dorsaux : ils unissent les os de la dernière rangée du carpe au métacarpe sur la face dorsale.

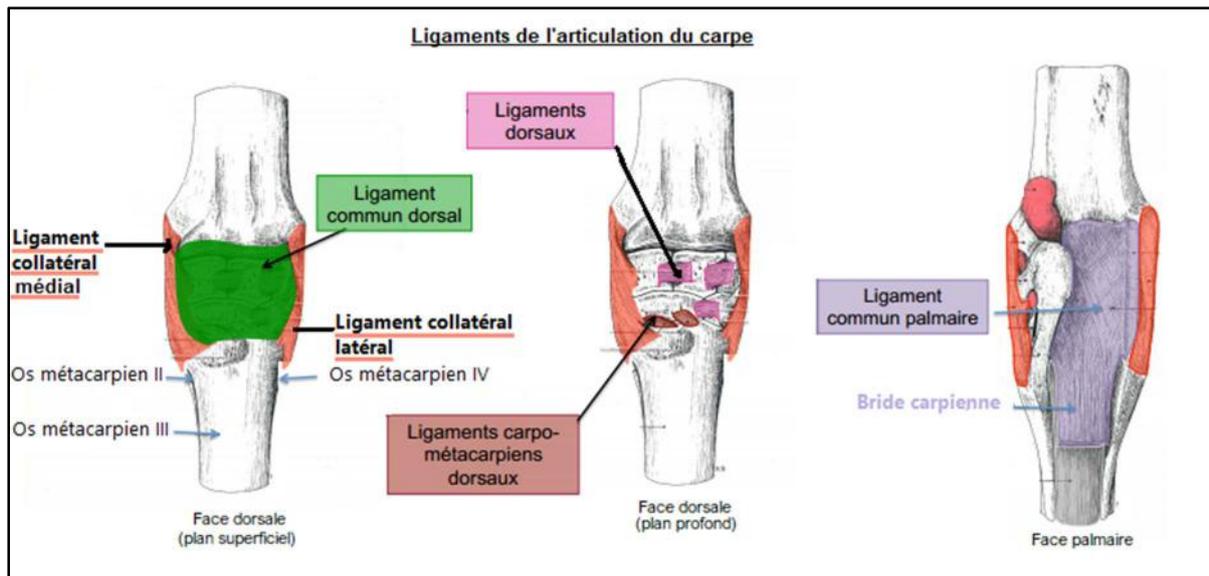


Figure 31 : Ligaments de l'articulation du carpe (Barone [3]).

De façon similaire au ligament commun dorsal, un ligament commun palmaire s'étend en profondeur de la partie distale du radius et de l'ulna au métacarpe, sur toute la face palmaire du carpe. Entre ce ligament et le fascia jambier existe un canal carpien dans lequel les tendons des muscles fléchisseurs du doigt vont passer, ainsi que le nerf médian. Une bride appelée bride carpienne est issue du ligament commun palmaire et va rejoindre le tendon perforant du muscle fléchisseur profond (Figure 31).

L'articulation du boulet est riche en ligaments afin de la consolider et amortir les chocs du cheval. Tout d'abord, les ligaments intersésamoïdiens palmaires entourent les os grands sésamoïdes de l'articulation et forment une gouttière dans laquelle les tendons des muscles fléchisseurs vont coulisser, nommée le scutum proximal.

S'ensuivent les ligaments sésamoïdo-phalangiens qui lient les os grands sésamoïdes à la phalange proximale. Parmi eux se trouvent les ligaments collatéraux médial et latéral ainsi que le ligament dorsal (auss appelé distal) sur la face palmaire. Il est d'abord superficiel, moyen (3 ligaments le compose) et se divise en ligaments croisés puis courts dans les couches profondes (Figure 32).

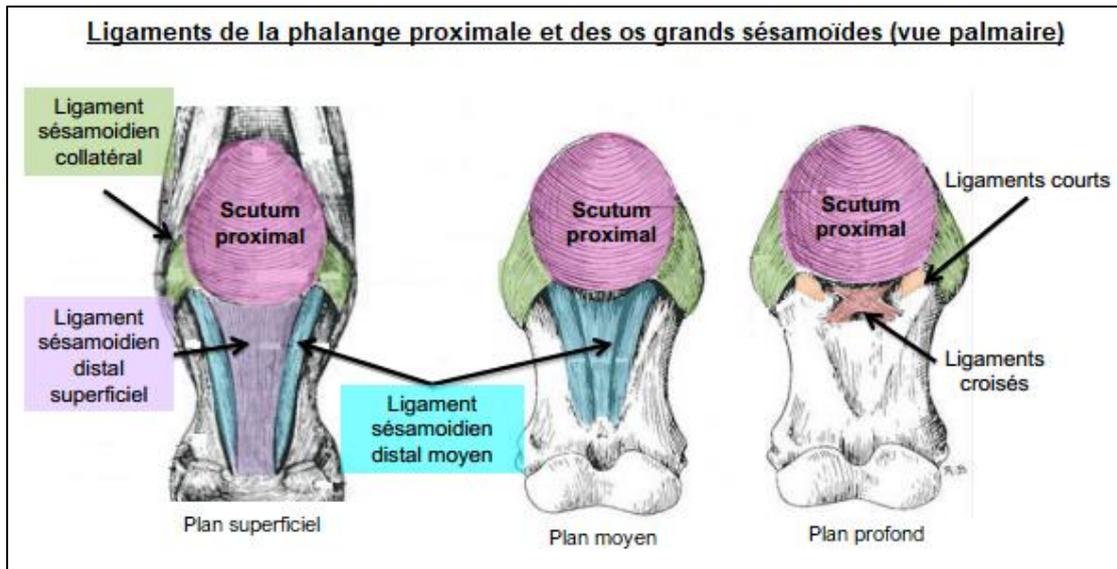


Figure 32 : Ligaments de la phalange proximale et des os grands sésamoïdes (Barone [3]).

Non loin de la capsule articulaire métacarpo-phalangienne, se trouve les ligaments métacarpo-phalangiens collatéraux latéral et médial. Il existe un muscle inter-osseux, aussi nommé le ligament suspenseur du boulet (LSB) de par sa structure très fibreuse riche en collagène. Il s'insère sur la face palmaire du métacarpe, en région proximale et se divise en deux branches se terminant sur un os grand sésamoïde chacune. Elles émettent chacune une bride qui rejoint le tendon du muscle extenseur dorsal du doigt sur la face dorsale du pied (Figure 33).

Cet assemblage ligamentaire permet de stabiliser le boulet tout en laissant une certaine amplitude de mouvement. Ainsi lorsque le cheval galope ou saute, les articulation du boulet et du carpe sont en hyperextension par étirement du ligament suspenseur du boulet et du tendon perforé. Lorsque le membre se relève, le ligament et le tendon reprennent leur position initiale et une flexion peut alors se faire.

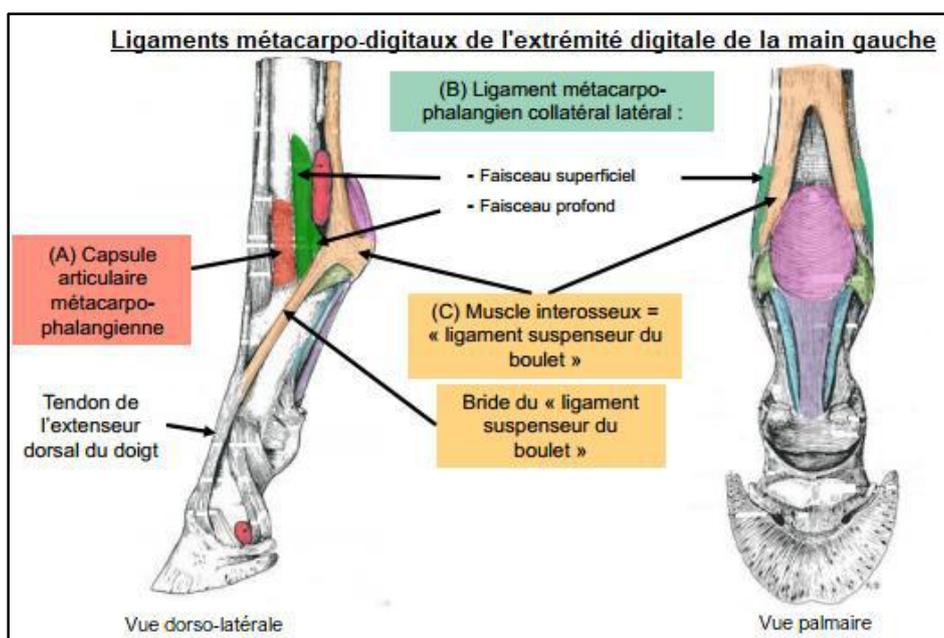


Figure 33 : Ligaments métacarpo-digitaux de l'extrémité digitale de la main (Barone [3]).

Le bassin du cheval est aussi constitué de ligaments, comme le ligament sacro-sciatique qui se détend lors de la mise-bas. Il s'insère sur le bord du sacrum et ses deux portions se terminent sur l'épine sciatique (ligament sacro-spinal) et la tubérosité ischiatique (ligament sacro-tubéral). Un ligament sacro-iliaque dorsal est également présent avec une portion membraneuse et une portion funiculaire et un ligament inguinal relie l'aile de l'ilium à l'acétabulum. Le fémur va venir s'articuler dans l'acétabulum du bassin à l'aide de la capsule coxo-fémorale et du ligament de la tête fémorale qui la maintient en place dans la cavité (Figure 34).

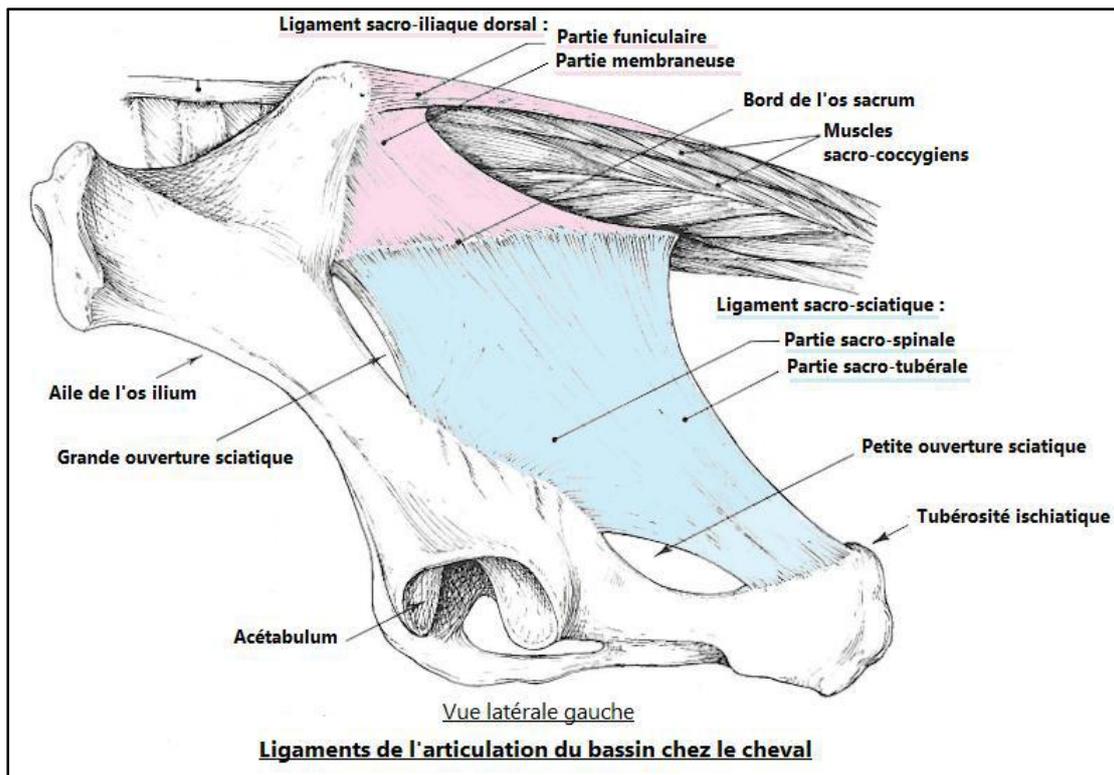


Figure 34 : Ligaments de l'articulation du bassin chez le cheval (Barone [3]).

Le genou met en jeu la partie distale du fémur, la patelle et les extrémités proximales de la fibula et du tibia. Le fémur possède une trochlée fémorale avec deux lèvres, médiale et latérale, pour que la patelle coulisse à l'avant de l'os dans un sillon. La trochlée possède également deux proéminences nommées condyles fémoraux latéral et médial qui s'assemblent avec le plateau du tibia. Celui-ci possède deux renflements recouverts chacun par un épais revêtement fibro-cartilagineux nommés ménisque latéral et ménisque médial (Figure 35). Le ligament transverse du genou les attachent entre eux. Ils sont reliés au tibia par le ligament croisé crânial sur le plan latéral et en avant du tibia, ainsi qu'avec le ligament croisé caudal sur le plan médial de l'articulation et en arrière du plateau tibial.

Chaque face de l'articulation fémoro-tibiale est renforcée par un ligament collatéral (latéral et médial). La patelle est attachée au fémur à l'aide de deux fibro-cartilages parapatellaires : le latéral est réduit et le médial est étiré en crochet sur la patelle. D'épais ligaments fémoropatellaires latéral, intermédiaire et médial participent aussi à cette union. La patelle se lie avec le tibia à l'aide de trois ligaments patellaires médial, intermédiaire et latéral.

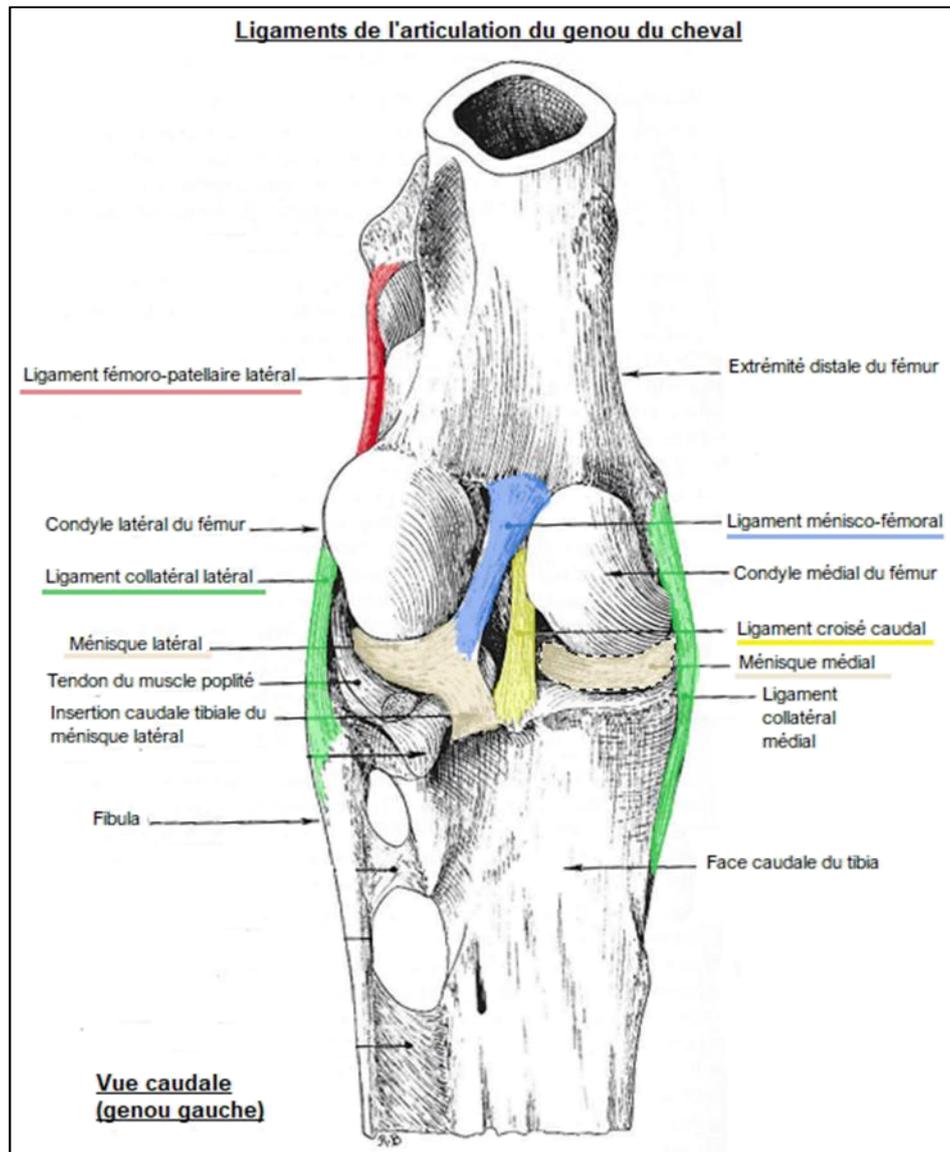


Figure 35 : Ligaments de l'articulation du genou du cheval (Barone [3]).

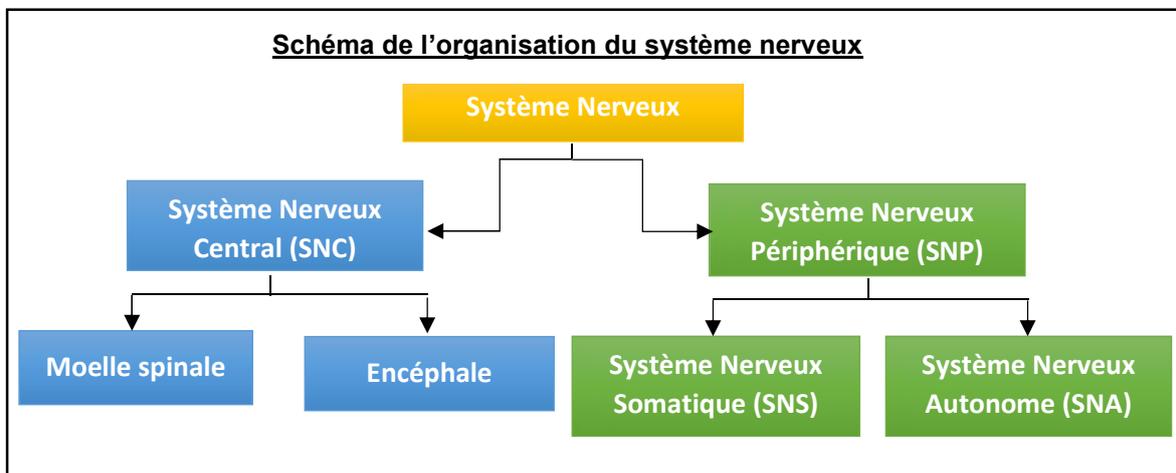
Un assemblage de ligaments est aussi présent sur le jarret. L'articulation tibio-tarsienne est entourée de deux ligaments collatéraux médial et latéral, divisés en une portion courte qui se termine sur le tarse et une portion longue sur le métatarse. Les ligaments à l'intérieur de l'articulation suivent le même schéma que pour le carpe.

Les différents moyens d'union que sont les fascias, tendons et ligaments induisent une réelle synergie entre le système squelettique et les muscles. Les différentes articulations sont protégées par ces structures et leur capacité de mouvement est contrôlée. Elles mettent en jeu les muscles qui, par leurs liaisons aux os, actionnent le squelette et modifient la posture du cheval.

#### 4) Le système nerveux

Chaque mouvement que le cheval exécute est régi par une commande centrale : le système nerveux. Il est constitué des neurones, supports de l'information, réunis en nerfs entourés de cellules gliales. Le système nerveux a plusieurs composantes (Figure 36) :

- Le système nerveux central (SNC) : il est composé de l'encéphale protégé par la boîte crânienne et de la moelle spinale. L'encéphale regroupe le cerveau, le cervelet et le tronc cérébral en lien avec la moelle spinale.
- Le système nerveux périphérique (SNP) : ce sont les nerfs crâniens, en continuité avec l'encéphale ainsi que les nerfs spinaux issus de la moelle spinale. Le SNP se subdivise en deux nouveaux systèmes :
  - Le système nerveux somatique (SNS) : il reçoit les stimuli des sens (lumière, odeur, son...) qui activent les neurones dits sensitifs de ce système ainsi que les muscles.
  - Le système nerveux autonome (SNA) : il fait fonctionner de façon involontaire certaines structures comme les organes (cœur, intestins, muscles lisses...). Il possède un contingent sympathique qui s'exprime lorsque l'animal est alerte et actif, à l'inverse d'un contingent parasympathique quand le cheval est plus calme ou au repos.



*Figure 36 : Schéma de l'organisation du système nerveux.*

Les nerfs qui parcourent ces systèmes relaient l'information en quelques millisecondes sous formes d'influx nerveux à travers tout l'organisme et interviennent dans le comportement, la locomotion, le fonctionnement des organes, les réflexes, la sensibilité... Ainsi les nerfs peuvent être sensitifs en communiquant depuis les organes des sens (yeux, oreilles, peau...), mais également depuis la sensibilité générale de l'animal, vers le SNC : c'est le système afférent. Ils peuvent aussi être moteurs et font le trajet inverse, du SNC jusqu'aux muscles et glandes, afin de répondre au message nerveux que le cerveau a reçu et initie l'action : c'est le système efférent. Les interneurones sont présents uniquement dans le SNC et relaient les informations entre les nerfs sensitifs et moteurs. Par exemple, si le cheval voit un danger, l'information va passer par le système afférent, de l'œil jusqu'au cerveau. Elle est ensuite transmise de ce nerf sensitif à un neurone moteur, via l'interneurone, pour utiliser le système efférent afin de rejoindre les muscles du cheval pour qu'ils s'actionnent et lui permettent de fuir le danger.

Les informations nerveuses que reçoit le cheval sont donc centralisées dans l'encéphale. Il baigne dans du liquide cérébro-spinal et est recouvert par les différentes couches de méninges. Il coordonne rapidement les réponses motrices ou sécrétrices (hormones...) à

mettre en place face aux stimuli reçus par le cheval depuis son environnement. Cet organe de 600 grammes se décompose en trois grandes structures (Figure 37) :

- Le télencéphale (cerveau) : il est formé des deux hémisphères cérébraux et du bulbe olfactif. C'est le récepteur des informations sensorielles de la vue, l'ouïe, l'olfaction ... mais également des paramètres qui font du cheval un être sensible et unique comme la mémoire, le tempérament, l'apprentissage ou encore les émotions. Il est important dans la coordination des activités.
- Le métencéphale dorsal (cervelet) : c'est le centre de l'équilibre qui affine la posture et la précision des mouvements.
- Le tronc cérébral, lieu de passage des fibres afférentes, efférentes ainsi que des nerfs crâniens (excepté le nerf I (olfactif)).

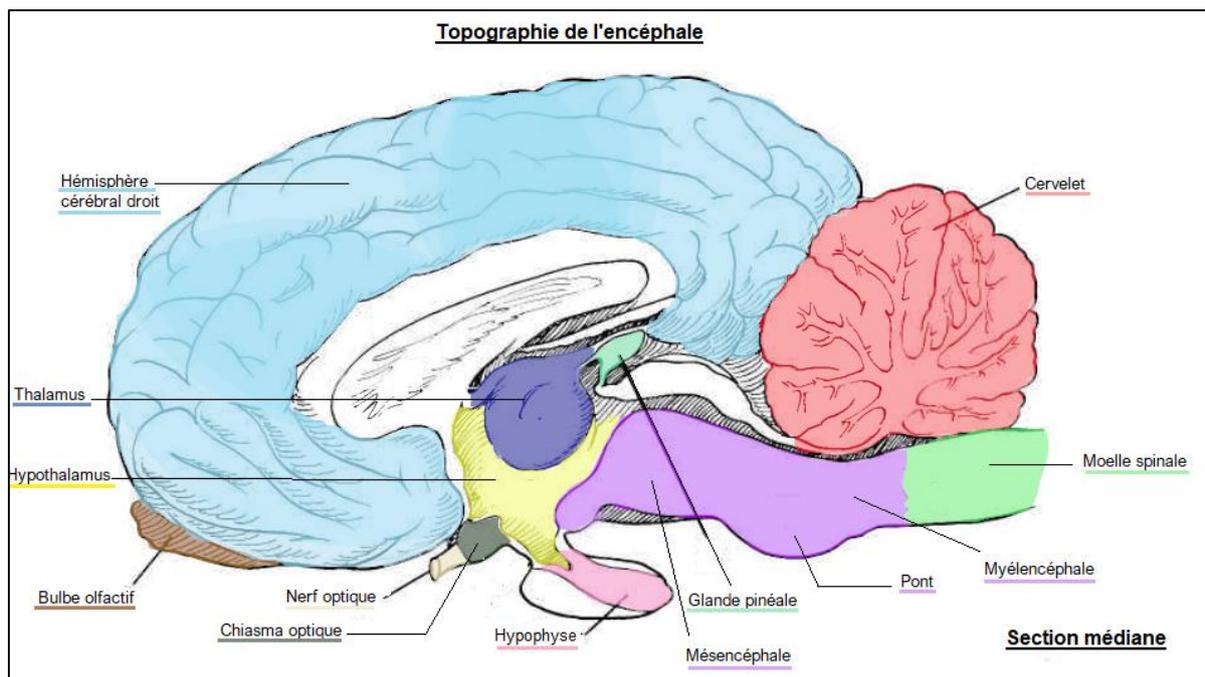


Figure 37 : Topographie de l'encéphale du cheval (Kainer [25]).

Le tronc cérébral se décompose en plusieurs parties responsables de nombreuses fonctions. L'une d'elle, le diencephale, reçoit une structure très petite, l'hypothalamus, qui travaille avec l'hypophyse et sont toutes deux responsables du contrôle des glandes endocrines ainsi que d'une partie du SNA. Ils régissent aussi l'activité sexuelle, le plaisir, le sommeil via la glande pinéale ou encore l'agressivité de l'équidé. Une portion des voies visuelles s'y trouve également comme le chiasma optique. Le thalamus est la structure qui trie les informations reçues et les envoie vers la zone du cerveau la plus adaptée pour les interpréter. Une autre partie du tronc cérébral concerne le mésencéphale qui est responsable du traitement des informations visuelles et de l'oreille interne. Le métencéphale ventral (le pont) et le myélocéphale qui participe à la motricité consciente sont également présents. Les nerfs crâniens, au nombre de douze, sont issus du tronc cérébral à l'exception du nerf olfactif dont l'origine se trouve dans le bulbe du même nom. Ces nerfs auront une composante motrice et/ou sensitive et innervent principalement la tête et le cou du cheval (Tableau 11).

Tableau 11 : Nerfs crâniens, leurs composantes et leurs principales innervations (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte).

Nerf crânien	Innervation(s)
Olfactif (I)	Odorat
Optique (II)	Vision
Oculomoteur (III)	Muscles oblique ventral, droit médial, droit dorsal, droit ventral, releveur de la paupière supérieure, sphincter de la pupille, ciliaire
Trochléaire (IV)	Muscle oblique dorsal de l'œil
Trijumeau (V)	Muscles masticateurs
	Sensibilité de la peau et des muqueuses de la face et des yeux
Abducteur (VI)	Muscle droit latéral de l'œil et une partie du muscle rétracteur du globe oculaire
Facial (VII)	Muscles de l'expression faciale
	Sécrétion des glandes lacrymales et salivaires, de la langue et du palais
Vestibulo-cochléaire (VIII)	Audition et équilibre
Glosso-pharyngien (IX)	Muscles du pharynx et sécrétion des glandes salivaires zygomatiques et parotides
	Sensibilité de la langue, du pharynx et de l'oreille moyenne
Vague (X)	Muscles du larynx, pharynx et des viscères
	Sensibilité du larynx, pharynx et des viscères
Accessoire (XI)	Muscles trapèze, sterno et brachio-céphalique
Hypoglosse (XII)	Muscles de la langue

La moelle spinale est un long tube protégé par la colonne vertébrale, formée de fibres nerveuses qui acheminent les informations à l'ensemble du corps. Il y a autant de nerfs spinaux que de vertèbres, à l'exception d'un nerf cervical supplémentaire présent entre l'atlas et l'os occipital. Les nerfs sortent entre les corps vertébraux des vertèbres. La moelle épinière est formée de substance blanche et de substance grise contenant les différents constituants cellulaires des nerfs. Ces nerfs spinaux et les nerfs crâniens forment le SNP.

De façon similaire aux nerfs crâniens, les nerfs spinaux vont innover le reste du corps. Ils possèdent tous un rameau dorsal et un rameau ventral, qui peut être à la fois sensitif et moteur. Le rameau dorsal est responsable de l'innervation de la peau avec les nerfs cutanés. Ils informent le cerveau sur la température extérieure, la pression mais également la douleur ressentie au niveau de la peau. Chaque nerf sensitif, ou groupe de nerfs, est ainsi responsable d'un territoire de la peau nommé dermatome ou territoire sensitif cutané.

Les nerfs cervicaux sont au nombre de 8 et possèdent différentes innervations sensibles et motrices, dont les principales sont regroupées dans le Tableau 12.

*Tableau 12 : Nerfs spinaux cervicaux, leurs composantes et principales fonctions (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte ; RD : rameau dorsal du nerf, RV : rameau ventral du nerf).*

Nerf spinal cervical	Innervation(s)
I	RD : n. sub-occipital / RV : rejoint le n. XII ; reçoit des fibres du SNA
II	RD : n. occipital majeur / RV : n. grand auriculaire ; n. transverse du cou → Sensibilité de l'oreille et du haut de la tête
III à VI	Nerfs cutanés et moteurs à chaque rameau → branches cutanées de C5 et C6 pour le n. supra-claviculaire → RV de C5 à C7 pour le n. phrénique
VII et VIII	RD : peu développés / RV : formation du plexus brachial

Les nerfs spinaux thoraciques sont mixtes et donnent un rameau ventral, moteur, qui innerve les muscles intercostaux en passant entre chaque muscle. Les deux premiers nerfs thoraciques appartiennent au plexus brachial.

En effet, au niveau des membres thoraciques et pelviens, les nerfs se rejoignent sous forme respectivement de plexus brachial et lombo-sacré. Ceci aboutit à la formation d'un énorme faisceau nerveux situé sous l'épaule pour le plexus brachial, entre les muscles scalènes. Ces nerfs innervent en plus du membre, la ceinture et la paroi thoracique. Le plexus brachial regroupe les rameaux ventraux des nerfs spinaux C6 (6<sup>ème</sup> nerf spinal cervical) à T2 (2<sup>ème</sup> nerf spinal thoracique) (Figure 38).

Les muscles du membre thoracique sont ainsi mobilisés par la commande nerveuse de ce plexus (Tableau 13). Une spécificité du cheval est que le nerf radial n'innerve pas la face dorsale de la main contrairement au chien ou au chat, car il s'arrête avant le métacarpe. Ce sont les nerfs de la face palmaire qui vont revenir dorsalement à la main pour l'innervent (Figure 39). Cette particularité est importante à prendre en compte lors des anesthésies locorégionales du cheval, qui servent pour le diagnostic des boiteries.

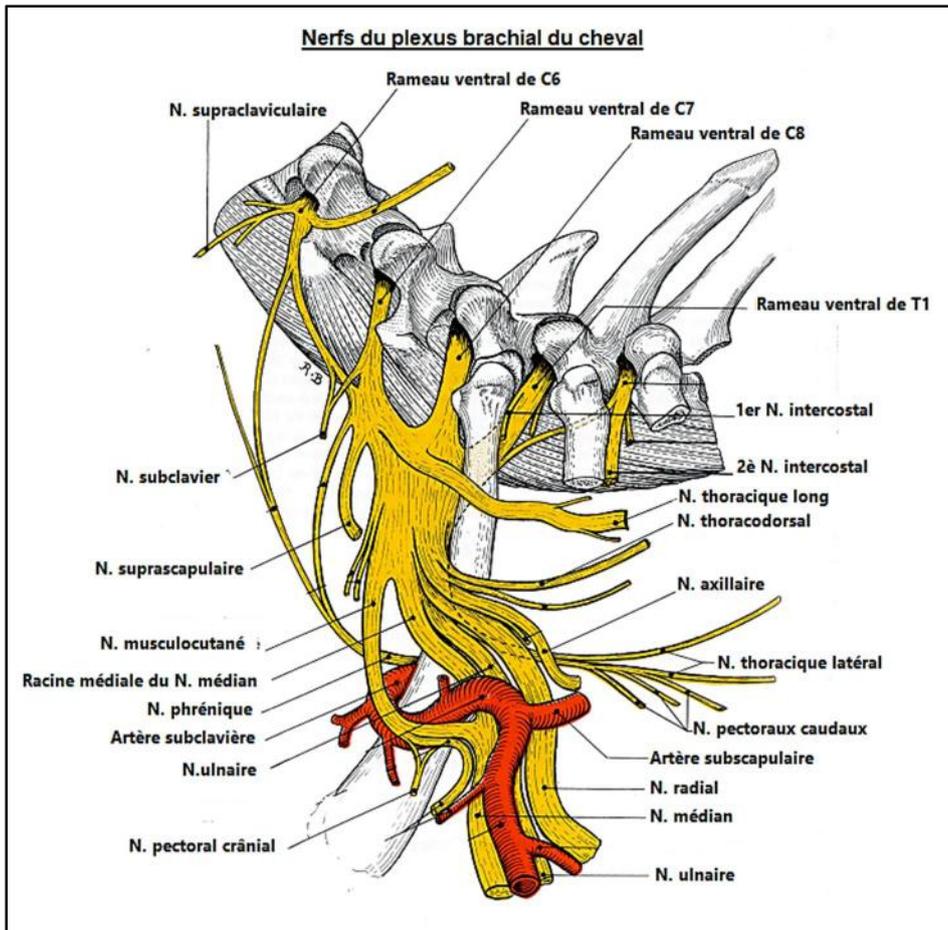


Figure 38 : Nerfs du plexus brachial du cheval (Barone [5]).

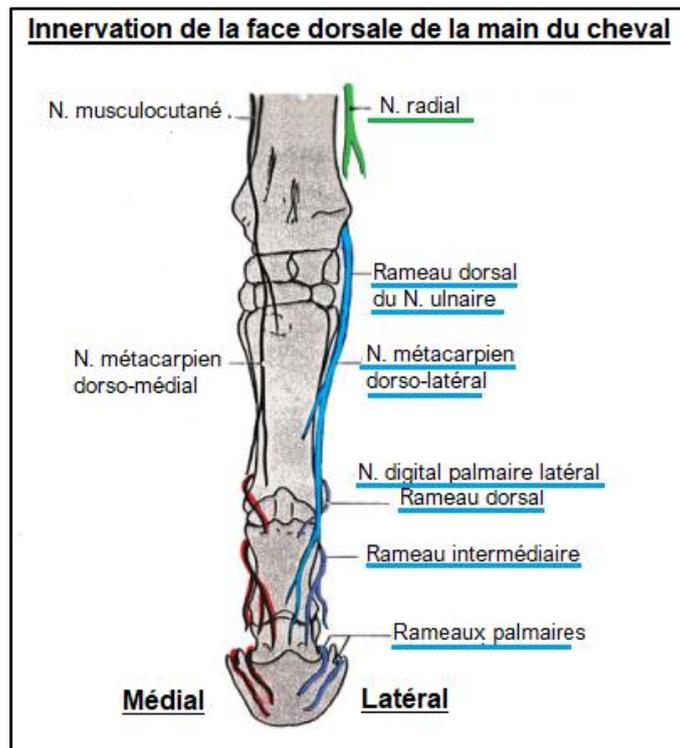


Figure 39 : Innervation de la face dorsale de la main du cheval (Pavaux [46]).

Tableau 13 : Nerfs spinaux du plexus brachial (nerf d'origine principal), leurs composantes et principales fonctions (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte ; RM : rameau médial du nerf, RL : rameau latéral du nerf, RP : rameau proximal du nerf, RD : rameau distal du nerf).

Nerf spinal du plexus brachial		Innervation(s)
Branches du tronc	N. thoracodorsal	Muscle grand dorsal
	N. long thoracique	Muscle dentelé ventral du thorax
	N. thoracique latéral	Muscle cutané du tronc
		Sensitivité de la peau du tronc et de la face latérale du bras
	N. pectoraux crâniens	Muscles pectoraux transverse et descendant
N. pectoraux caudaux	Muscle pectoral ascendant	
Branches du membre	N. sous-scapulaire (C6)	Muscle sous-scapulaire
	N. supra-scapulaire (C7)	Muscles supra et infra-épineux
	N. musculo-cutané (C7)	RP : Muscles coracobrachial et biceps-brachial RD : muscle brachial
		N. cutané médial de l'avant – bras → Sensitivité de l'avant – bras
	N. axillaire (C8)	RM : Muscles sous-scapulaire et grand rond RL : Muscles petit rond, deltoïde, brachio-céphalique et articulation de l'épaule
		N. cutané latéral crânial du bras → Sensitivité du bras N. cutané crânial de l'avant-bras → Sensitivité de l'avant-bras
N. radial (T1)	Tous les muscles extenseurs du membre thoracique et le fléchisseur du carpe (extension du membre)	
	N. cutanés latéral caudal du bras et de l'avant – bras → Sensitivité de la face dorsale du bras et de l'avant – bras	
N. ulnaire (T2)	Muscles fléchisseurs ulnaire du carpe, superficiel et profond du doigt	
	N. cutané antébrachial caudal → Sensitivité des parties caudale et latéral du membre Rameaux dorsal et palmaire de la main → Sensitivité des faces dorsale et palmaire de la main	
N. médian (T2)	Muscles carré, fléchisseurs radial du carpe, superficiel et profond du doigt	
	N. interosseux de l'avant – bras et nerfs palmaires médial et latéral → Sensitivité de la face palmaire de la main	

Les 5 nerfs lombaires sont agencés selon le schéma classique avec les nerfs ilio-hypogastrique (L1 et L2), ilio-inguinal (L3), cutané fémoral latéral (L4), génito-fémoral (L5) et fémoral (L5). Certains nerfs lombaires appartiennent au plexus lombo-sacré.

Le plexus lombo-sacré correspond à la réunion des rameaux ventraux de L3 (3<sup>ème</sup> nerf spinal lombaire) à S2 (2<sup>ème</sup> nerf spinal sacré) qui innervent le membre pelvien et sa ceinture. Contrairement à ce que laisse supposer son nom, le nerf génito-fémoral ne fait pas partie du plexus qui innerve ce membre. Le nerf sciatique se ramifie en nerf tibial et en nerf fibulaire commun au niveau de l'articulation de la hanche. Les innervations des six nerfs qui composent ce plexus sont décrites dans le tableau suivant (Tableau 14).

Comme pour le nerf radial, le nerf fibulaire superficiel s'arrête avant la première phalange chez le cheval. Ce sont les rameaux plantaires qui vont venir innerver le pied dorsalement (Figure 40). Les ramifications du nerf tibial innervent la face plantaire avec le nerf cutané jambier latéral caudal.

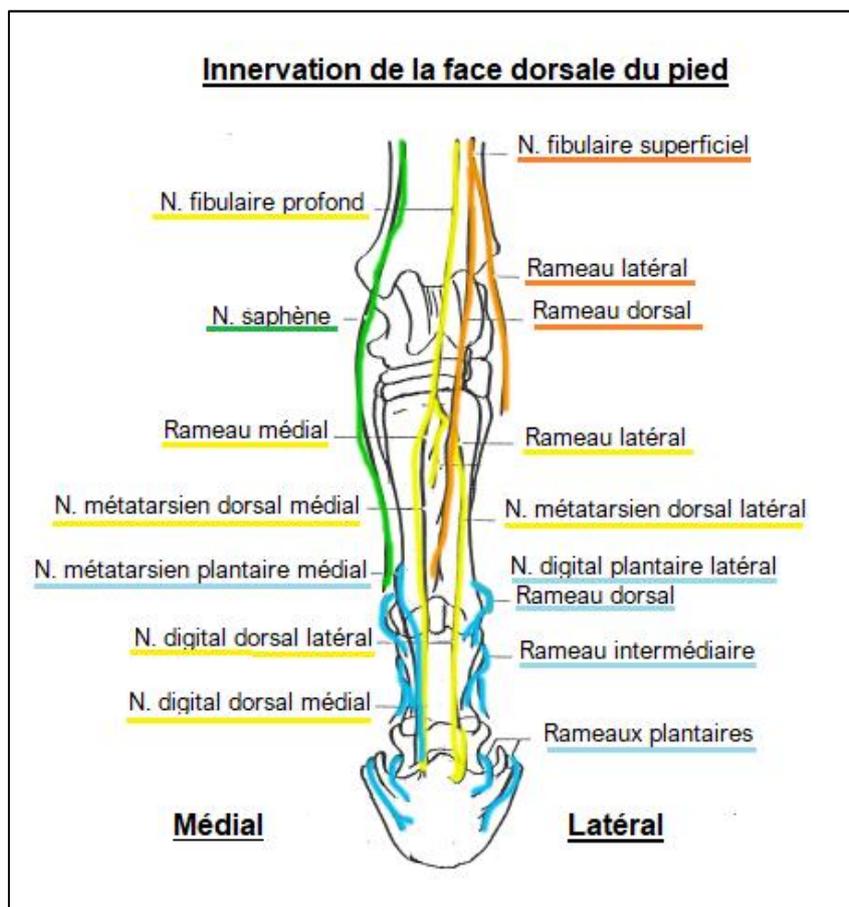


Figure 40 : Innervation de la face dorsale du pied du cheval (Pavaux [46]).

Tableau 14 : Nerfs spinaux du plexus lombo - sacré (nerf d'origine principal), leurs composantes et principales fonctions (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte ; RP : rameau proximal du nerf, RD : rameau distal du nerf).

Nerf spinal du plexus lombo - sacré		Innervation(s)		
Cutané fémoral latéral (L4)	Muscle grand psoas			
	Sensitivité de la peau de la région médio – crâniale de la cuisse au grasset			
Fémoral (L5)	Muscle iliopsoas, sartorius et quadriceps fémoral (flexion de la hanche et extension de la jambe)			
	Sensitivité de la face médiale du grasset et de la jambe au métatarse			
Obturateur (L6)	Muscles adducteurs de la cuisse (adduction du membre)			
Sciatique (S1)	Sciatique	Muscles fessier profond, jumeaux, carré fémoral et obturateur interne		
		Sensitivité de l'articulation de la hanche		
	Tibial	RP : Muscles biceps fémoral, semi – tendineux et membraneux (extension de la cuisse)		
		RD : Muscles gastrocnémien, soléaire et jambiers caudaux		
			N. cutané jambier caudal → Sensitivité de la face caudale de la jambe N. plantaires latéral et médial → Sensitivité de la face plantaire du pied	
	Fibulaire commun	Superficiel	Muscle extenseur latéral du doigt	
N. digitaux dorsaux → Sensitivité superficielle du pied				
Profond	Muscles jambiers crâniens et latéraux			
	N. sensitifs métatarsiens dorsaux → Sensitivité dorsale du métatarse			
Glutéaux (S1)	Rameau crânial : muscles fessiers (que la partie crâniale pour le fessier superficiel) et tenseur du fascia lata Rameau caudal : muscles piriforme, glutéobiceps et partie caudale du fessier superficiel (extension de la cuisse dans la propulsion)			

Pour finir, les différents nerfs sacrés vont innervent l'arrière-main du cheval (Tableau 15). Le nerf honteux reçoit des fibres parasympathiques ce qui implique des problèmes d'incontinence lors de lésions par exemple, puisqu'il innerve le périnée et les organes externes de l'appareil génital. Il possède différents rameaux nerveux qui vont innervent d'autres régions caudalement.

Tableau 15 : Nerfs spinaux sacrés (nerf d'origine principale), leurs composantes et principales fonctions (bleu : composante sensitive, rouge : composante motrice, vert : composante mixte).

Nerf spinal sacré	Innervation(s)	
Cutané fémoral caudal (S2)	N. cluniaux caudaux → Sensitivité de l'arrière de la cuisse	
Honteux	Honteux	Branches motrices des muscles rétracteur de l'anus et coccygien
		Sensitivité du périnée et des organes externes de l'appareil génital
	Périnéal profond	Muscles ischiocaverneux, bulbocaverneux et urétral
	Périnéal superficiel	Sensitivité de la peau du périnée et de l'anus
	Scrotaux Labiaux	Sensitivité du scrotum (mâle) ou des lèvres de la vulve (femelle)
	Préputial / scrotal Mammaire	Sensitivité du prépuce (mâle) ou des mamelles (femelle)
	Dorsal du pénis ou du clitoris	Sensitivité du pénis (mâle) ou du clitoris (femelle)
Rectaux caudaux	Muscles de l'anus	
	Sensibilité de l'anus	

Le système nerveux somatique, également nommé volontaire, transmet le message nerveux depuis l'information sensorielle externe perçue par l'organisme. Cette information vient de l'extéroception (le toucher, la vision, l'audition...) ou de la proprioception (équilibre...) et est transportée jusqu'au SNC. Celui-ci renvoie en conséquence des signaux nerveux, dits effecteurs, vers les muscles striés squelettiques pour permettre leur contraction (Figure 41).

Dans le cas où l'information provient des organes internes, de l'olfaction et de la gustation, on ne parle pas de système nerveux somatique mais de système nerveux viscéral. Ainsi, selon l'origine de l'information, le système afférent peut-être qualifié de somatique ou viscéral.

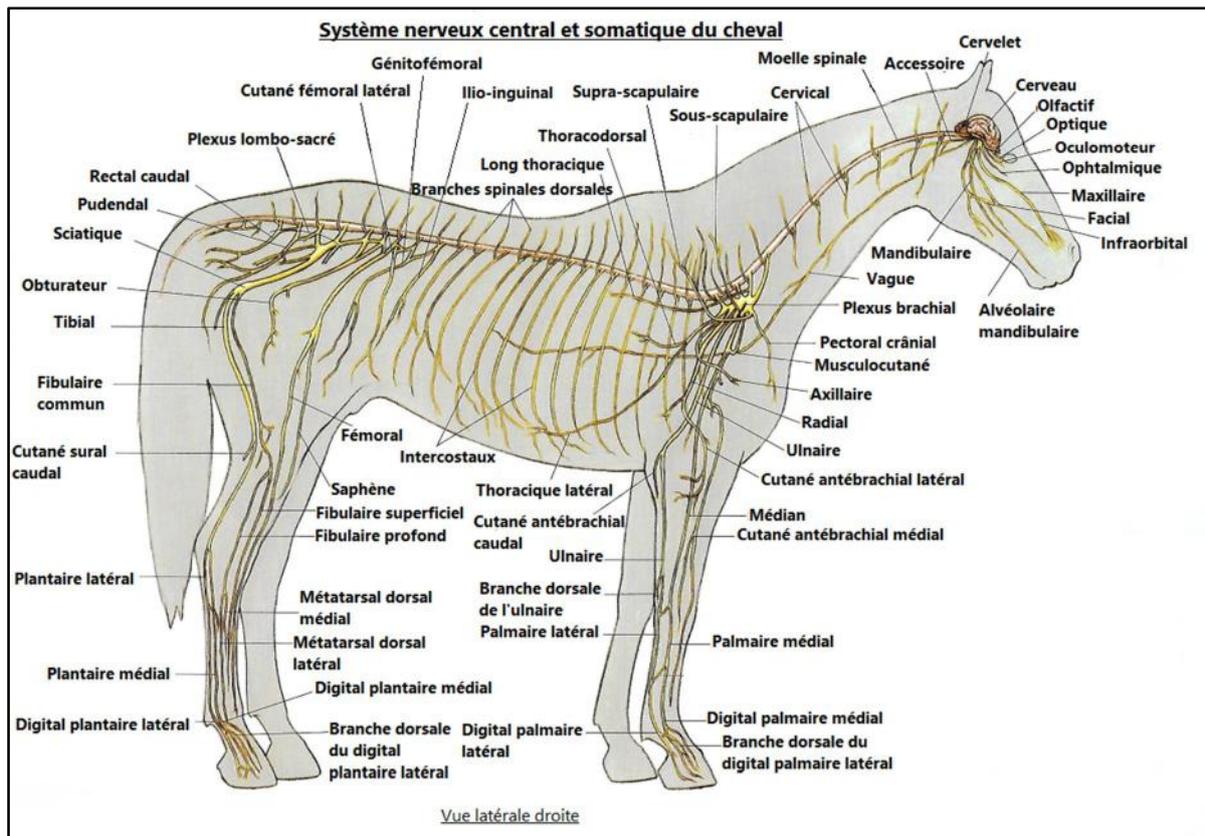


Figure 41 : Système nerveux central et somatique du cheval (McCracken [38]).

Le système nerveux autonome, aussi surnommé végétatif, est involontaire c'est-à-dire que l'animal ne ressent pas le besoin ou l'envie de faire l'action. Par exemple, si le cheval voit un obstacle, il pense à le sauter et ses membres effectuent le mouvement : c'est le système nerveux somatique. En revanche, à chaque seconde, il ne pense pas qu'il doit respirer, son cerveau effectue cette action sans que l'animal le commande : c'est le système nerveux autonome. Il contrôle donc la fonction des muscles lisses (viscères...), du muscle cardiaque et des sécrétions des glandes. Le SNA fonctionne en accord avec le SNC qui reçoit les informations comportementales (sexuel, alimentaire, défensif ...) et l'hypothalamus qui régule la vie instinctive, affective et émotionnelle. C'est un système efférent qualifié de viscéral, comme le système afférent du même nom.

Le SNA possède une composante sympathique, dont les noyaux centraux pour le relai de l'information sont situés dans la corne latérale, de la moelle spinale cervicale basse à la moelle spinale lombaire haute soit de C8 à L4. Le SNA sympathique participe à l'éveil, l'activité, la dépense énergétique et prépare le corps à répondre à la question « Fuir ou combattre ? ». Les noyaux de la composante parasympathique sont présents dans le tronc cérébral et la corne latérale de la moelle spinale sacrée. Ce système s'oppose au sympathique et régule le repos, le sommeil et la récupération énergétique en diminuant le rythme basal de certains organes, comme le cœur, au profit d'autres muscles comme ceux du tube digestif pour la digestion. Les fibres nerveuses efférentes transmettent ainsi les informations du SNC aux nerfs spinaux pour innervier les vaisseaux, glandes et viscères (Figure 42).

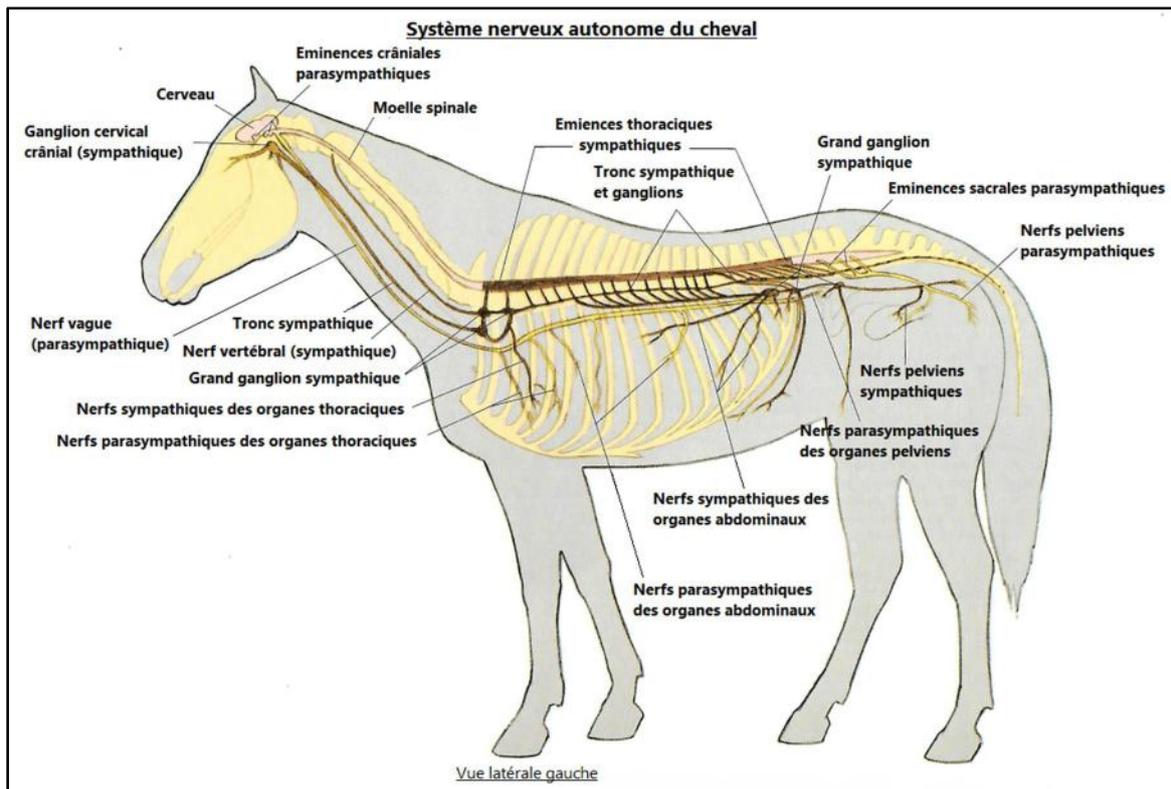


Figure 42 : Système nerveux autonome du cheval (McCracken [38]).

L'ensemble de ces systèmes constitue la charpente anatomique de l'animal. Leur connaissance est nécessaire pour appréhender les mécanismes du fonctionnement physiologique du cheval.

## II. MÉTHODES TRADITIONNELLES ET NOUVELLES ALTERNATIVES À L'APPRENTISSAGE DE L'ANATOMIE.

La médecine, qu'elle soit humaine ou vétérinaire, requière une connaissance approfondie de l'être que l'on soigne. Ainsi, une chirurgie ou une lecture d'images radiographiques, ne peut être correctement réalisée sans des notions solides de ce qui constitue l'animal face à nous : son anatomie. Cet apprentissage débute dès les premières années du cursus vétérinaire et regroupe de nombreuses espèces comme le chien, le chat, le cheval mais également les animaux de production tels que la vache, le porc et les espèces aviaires. Cette diversité animale implique des différences anatomiques spécifiques à connaître pour les soigner, allant du système musculo-squelettique à l'organisation du tractus digestif avec par exemple, la présence de quatre estomacs pour la vache quand le chien, lui, n'en possède qu'un. Les variations au sein de ces espèces ajoutent encore de la complexité et du travail dans l'apprentissage de cette matière [40]. L'anatomie étant l'essence même de la médecine, sa connaissance est fondamentale et ne doit pas être négligée. C'est pourquoi les chercheurs et enseignants n'ont de cesse de la réinventer à l'aide de nouveaux outils pédagogiques, afin de répondre au défi du savoir.

### 1) La dissection : les prémices de la connaissance

#### a) Introduction

Les premières dissections pour comprendre l'anatomie des animaux remontent bien avant la création de la première école vétérinaire, en 1762, selon les écrits d'Alain Bouchet [7]. A défaut de pouvoir les réaliser sur l'homme, les savants de l'époque cherchaient à comprendre le fonctionnement de l'organisme humain en étudiant celui des animaux au travers des dissections. La soif du savoir amena par la suite les médecins à poursuivre leurs découvertes sur l'anatomie animale afin de mieux comprendre la physiologie qui en découle.

Ces travaux enrichirent les connaissances médicales mais également celles de la biologie animale. Les recherches furent encouragées, particulièrement en hippologie et cela par pure stratégie. En effet, les chevaux étaient le socle des armées et nécessaires à la défense du territoire il y a de cela quelques siècles encore. C'est ainsi qu'un des descendants de la famille Lafosse, pionnière en médecine vétérinaire, publia un ouvrage princeps *Cours d'hippiatrique, ou traité complet de la médecine des chevaux* [7, 30]. Cet atlas fut rendu célèbre par ses soixante-cinq planches d'anatomie, peintes par Sollier et mêlant l'art à la science pour mettre en couleur l'anatomie du cheval (Figure 43).



Figure 43 : Planche 23, Représentant le cheval myologique vu de trois faces (Lafosse [30]).

Ce manuel comme d'autres par la suite, fut l'un des premiers supports d'enseignement de l'anatomie, avec la dissection. Aujourd'hui, les livres tout comme les cours magistraux dispensés dans les amphithéâtres des écoles, fournissent un support d'apprentissage littéraire pour les étudiants vétérinaires. Le module d'anatomie est aussi enrichi de séances pratiques sous forme de dissections d'organismes animaux pour aider les élèves à rendre plus concret ce qu'ils apprennent lors de leurs cours théoriques. En effet, ils sont parfois jugés abstraits par les étudiants à cause de leur grand volume d'informations [28]. Pour résoudre ce problème, les méthodes d'enseignements sont régulièrement revisités et rivalisent de créativité avec le développement de la technologie. C'est de cette façon que la dissection, classifiée parfois d'obsolète et dépassée [43], est au cœur d'une réflexion sur son utilité en tant que pratique d'apprentissage dans le domaine de l'anatomie humaine et animale.

#### b) Les avantages de la dissection

Cette technique permet à l'étudiant d'être en relation directe avec du tissu non pas vivant, mais figé dans son état naturel ou presque. Il peut ainsi avoir une observation précise d'un système organique tant dans sa morphologie que dans ses relations avec les autres appareils de l'organisme. Certaines structures étant complexes à appréhender, elles nécessitent du temps afin d'éviter les erreurs de compréhension [36] et cela est permis par les séances de dissection. Avec un cadavre, le temps est arrêté et l'élève peut prendre le temps nécessaire pour appréhender la position dans le corps et donc l'orientation spatiale d'un organe ou un os [44] (Figure 44). Afin de trouver ces derniers, il va procéder à une série de coupes et d'étapes plus ou moins laborieuses mais qui le marqueront d'autant plus qu'il y procède en toute autonomie. Il pourra ainsi se remémorer cette démarche lors des séances suivantes et cela concrétisera dans son esprit la topographie de l'organisme qu'il aborde [43].



Figure 44 : Dissection des nerfs de la tête du cheval.

L'élève peut toucher, ressentir et évaluer la texture de l'organe, sa résistance, sa fragilité, sa souplesse en le manipulant ce qu'un livre ne peut apporter. Ceci met également en évidence la limite d'utiliser par exemple des ordinateurs pour apprendre l'anatomie, puisqu'ils ne

procurent pas ces sensations tactiles et visuelles, contrairement au cadavre [43]. L'étudiant peut de cette façon donner vie aux planches étudiées au préalable dans son cours et créer une image tridimensionnelle mettant en relation les vaisseaux, les nerfs et les différents systèmes entre eux [39]. Une étude menée dans une école vétérinaire turque a montré que le système nerveux (40,9%), le système cardiovasculaire (26,3%) et le système musculo-squelettique (8,1%) sont jugés comme étant les plus difficiles à appréhender par les élèves [28]. Ces résultats soutiennent l'importance de donner à ces derniers du temps, pour assembler leur perception de l'architecture du corps, comme le permettent les séances de dissection.

En remplacement de la dissection, l'utilisation d'alternatives artificielles est suggérée. Cependant, ces nouveaux modèles sont « figés » et présentent donc une limite dans l'expression de la diversité du vivant. Chaque être est unique et il en est de même des tissus qui le composent. Il existe une grande variabilité morphologique et par conséquent anatomique, des animaux que l'étudiant va rencontrer et cela au sein même d'une seule espèce. La dissection répond à cette attente en soumettant aux élèves différents individus et non un modèle unique comme le ferait un ordinateur, un dessin ou encore plus récemment, un os ou organe en silicone [39, 43, 56]. Ces alternatives pédagogiques proposent un archétype dit de normalité mais éloigné de la réalité du vivant et ses variabilités individuelles que les séances de dissection mettront, elles, en avant [44].

Les heures de dissection offrent aussi l'avantage de rassembler les étudiants en petits groupes de travail, façonnant leurs sens de la communication, du partage du savoir et du travail en équipe, qui leur seront utiles tout au long de leur carrière [36]. Pendant celle-ci, une grande majorité d'élèves sera amenée à tenir un bistouri au cours d'interventions chirurgicales. La dissection les prépare à cela, en les familiarisant avec différents instruments qu'ils seront amenés à manipuler. Elle performe la réalisation de mouvements précis et assurés ainsi que la coordination entre l'œil et la main, afin de travailler dès les premières années la dextérité et les compétences manuelles [36, 39]. Les dissections confrontent également les étudiants à un autre aspect de leur future carrière : la mort. Elle fait partie intégrante de la médecine et l'élève peut s'y retrouver confronté sans y être préparé [28]. L'idée de la mort et la vision du cadavre peuvent ainsi être abordées sans aucune pression pour le futur praticien [39, 43, 44].

De cette façon et part bien des aspects, l'apprentissage de l'anatomie est une base fondamentale pour la pratique de la médecine vétérinaire et est essentielle lors d'un examen physique par exemple [56]. L'étudiant le sait et met tout en œuvre pour acquérir le vocabulaire propre à cette discipline et intégrer naturellement une vision tridimensionnelle de l'animal. Cet exercice est difficile et nécessite beaucoup d'heures de travail et de révision au long du cursus [56]. Une étude américaine sur les connaissances anatomiques des résidents en médecine, met ainsi en évidence des lacunes ou du moins la nécessité de sessions de rappels en anatomie pour plus de la moitié de la promotion à un stade avancé de leur parcours [36]. Ce type d'étude remet en question les méthodes d'apprentissage dont la dissection, très répandue dans les écoles comme au Canada où 97% des universités de médecine la pratique [43].

### c) Les inconvénients de la dissection

Bien qu'elle possède de nombreux avantages, certains points négatifs sont à relever. Tout d'abord, c'est une pratique onéreuse qui nécessite de gros moyens financiers pour l'obtention des cadavres, leur conservation et leur utilisation [18, 39, 43]. En effet, un même corps est exploité pendant plusieurs séances nécessitant un lieu de stockage et des conditions optimales de conservation ; gérés par du personnel qualifié. L'élimination du cadavre constitue à nouveau une dépense puisqu'une société spécialisée prend en charge leur destruction.

A cela s'ajoutent les besoins en enseignants pour accompagner les étudiants pendant les séances, ce qui représente un investissement financier et humain non négligeable. En effet, ces sessions se pratiquent en petits groupes et non en promotion de centaine d'élèves ce qui mobilise un important volume horaire sur le nombre d'heures totales consacrées à l'enseignement des sciences vétérinaires. Les étudiants sont inexpérimentés et le temps que l'instructeur soit disponible pour répondre aux interrogations et hésitations de chacun, bloque leur progression pour poursuivre la séance [33]. Il y a donc ici une question sur la rentabilité en termes de temps et de connaissances acquises qui est soulevée [24].

En outre, tous les enseignants et anatomistes ne prônent pas les bienfaits de la dissection pour la vision en trois dimensions qu'elle est censée apporter. En effet le cadavre, dans sa définition intrinsèque, est mort et ne répond donc pas comme un être vivant le ferait lors d'une intervention ou une palpation pendant un examen général [39]. Il est donc difficile d'associer la dissection à une première approche clinique de l'animal vivant. Le parallèle fait avec la chirurgie est tout aussi controversé puisqu'il s'agit d'une situation où l'animal est vivant, avec des organes vascularisés, contrairement à la dissection où les corps sont modifiés par le processus de fixation avec des tissus changeant de couleur et de texture [39]. Ce sont les élèves eux-mêmes qui ont rapporté ce fait, au travers d'une étude rétrospective. Les étudiants de quatrième année d'une université ont ainsi nuancé leur propos enregistrés trois ans auparavant au sujet de la dissection, expliquant qu'elle n'était pas aussi applicable à leur carrière qu'ils pensaient [18].

Certains sceptiques ne voient alors pas l'intérêt de la dissection, puisque n'étant pas similaire au vivant, elle n'apporte rien de plus qu'on ne peut trouver dans les livres [13]. Ajoutons à cela qu'elle est réalisée par des étudiants novices et possède donc son lot d'erreurs. Ils vont couper et séparer les structures selon leurs ébauches de connaissances et modifier la topographie naturelle de l'animal. Les relations entre les différents systèmes sont alors altérées et l'élève en pensant bien faire peut fausser son apprentissage [49].

Un autre phénomène rapporté est le mal-être que peuvent ressentir les étudiants, au cours de ce premier contact avec un cadavre. Au-delà de la sensibilité émotionnelle propre à chaque individu, c'est parfois la première expérience sensorielle qu'ils ont avec un corps ouvert. Cela peut provoquer une répulsion physique et de l'anxiété face à la mort et à la manipulation du corps froid, tout en devant ignorer l'odeur désagréable qui en émane. Ces différentes impressions peuvent être un frein à l'apprentissage puisque l'étudiant doit gérer ses émotions pendant la dissection et n'est donc plus concentré sur la séance. Par analogie, les étudiants vétérinaires peuvent être anxieux à l'idée de disséquer un animal de compagnie comme un

chien ou un chat quand ils en possèdent un eux-mêmes [28, 40]. Dans une école vétérinaire turque, 28% des élèves ont déclaré avoir hésité à toucher un cadavre, ce qui révèle un certain malaise émotionnel provoqué par la séance de dissection [28].

De façon inconsciente, les étudiants peuvent avoir besoin de dédramatiser ce qu'ils voient, ce qui peut conduire à des comportements de jeux inappropriés avec les organes, pour évacuer le stress ressenti, comme cela a pu être rapporté dans des études américaines de médecine [39]. Certains auteurs suggèrent également que l'utilisation des animaux dans un tel contexte pourrait diminuer la sensibilité professionnelle des étudiants à l'égard de la vie animale [45]. Ces dernières suppositions restent minoritaires et bien que les sentiments de dégoût exprimés à l'égard de la dissection soient souvent rapportés, ils restent néanmoins rapidement surmontés en général [24].

L'aspect sanitaire des dissections est parfois évoqué dans la littérature, avec la question du contrôle des agents infectieux pouvant être véhiculés par les animaux disséqués, bien que des vérifications soient effectuées avant leur arrivée [39, 18]. L'exposition aux facteurs chimiques, comme le formaldéhyde, nécessaires à la conservation de certaines pièces cadavériques est une raison de plus pour certains anatomistes d'abandonner la dissection [18, 28].

Une autre question est de plus en plus soulevée en ces temps modernes : quelle serait la justification éthique de la dissection ? En effet, avec l'évolution des mœurs et de la place de l'animal dans la société depuis le milieu des années 80, l'utilisation des animaux à des fins scientifiques fait polémique. Les associations animales se battent pour les bannir des salles de classes et proposent différentes alternatives d'enseignement à la dissection (modèles anatomiques, vidéos, logiciels de simulation...). Ces remises en question ont mené à la publication d'une circulaire (N°2016-108) le 8 juillet 2016 par la ministre de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, interdisant les dissections sur des animaux morts élevés à seule fin d'expérience scientifique dans toutes les classes jusqu'au baccalauréat [42].

Mais cette réflexion autour de la dissection perdure dans les années du supérieur et donc au sein des écoles vétérinaires. Le paradoxe naît dans la définition de ce qu'est un vétérinaire « Médecin vétérinaire, qui soigne les animaux » [12] qui paraît incompatible avec le fait de tuer des animaux sains dans un but pédagogique quand d'autres méthodes alternatives peuvent remplir cette fonction [28, 45]. L'utilisation de ces techniques est d'autant plus en accord avec le principe des 3 R « Remplacement, Réduction, Raffinement » de Russel et Burch de 1959 [22], selon lequel tout doit être mis en œuvre pour minimiser l'utilisation et la souffrance animale, principe enseigné à l'école vétérinaire [28]. Les technologies informatiques et les modèles en trois dimensions semblent être une solution éthique afin de répondre aux principes de « Remplacement » et de « Réduction », permettant la diminution du nombre d'animaux au nom du progrès scientifique et de l'enseignement [28].

Afin de contourner les inconvénients de la dissection, certains établissements cherchent à simplifier ou plutôt accélérer le travail d'apprentissage à l'aide d'un dérivé de la dissection : la prosection. Il s'agit de la découpe du cadavre par un anatomiste dans le but de présenter aux élèves des pièces dans leur intégrité maximale. Elle présente cet avantage qu'il n'y a pas d'hésitation lors de la découpe, l'étudiant ne perd pas de temps à se demander quelle

structure doit être sectionnée ou non, évitant ainsi de léser les tissus et d'altérer la topographie de l'organisme [13].

Une étude portant sur l'intérêt de la dissection et/ou de la prosection a mis en avant le bénéfice pour les élèves d'assister à ces démonstrations faites par leur professeur, en plus de leurs propres dissections où ils sont autonomes [18, 40]. La prosection limite les erreurs et optimise le temps d'enseignement. En effet la restructuration des programmes réduit le nombre d'heures consacrées à l'anatomie dans certaines écoles américaines par exemple. La dissection nécessite beaucoup de temps de travail et la prosection semble donc être une solution en ce qu'elle est plus rapide et permet malgré tout aux élèves d'observer les structures [33]. Elle a cependant comme inconvénient de rendre les étudiants plus passifs, puisqu'ils ne pratiquent pas, ce qui diminue l'intérêt chez certains d'entre eux. Enfin, une étude a révélé qu'il n'existait pas de différence significative des connaissances entre les étudiants apprenant l'anatomie à travers la prosection ou la dissection [13]. La prosection ne semble donc pas être la solution à ce problème.

#### d) Des pistes pour les méthodes alternatives

Aujourd'hui, les modèles physiques, supports multimédias ou encore programmes de simulation, sont en passe de détrôner la dissection et les cours théoriques, auparavant reconnus comme bases fondamentales de l'enseignement de l'anatomie [28]. Différentes écoles à travers le monde ont donc proposé des solutions ou du moins des alternatives à l'utilisation des animaux au cours des dissections. Elles ont pour vocation de réduire le besoin en enseignants pour ces séances ainsi que ses coûts, mais montrent surtout une volonté de réduire l'euthanasie d'un certain nombre d'animaux à cette fin [45].

Aux Etats-Unis, huit établissements d'enseignement vétérinaire proposent aux propriétaires d'animaux défunts de faire don de leur corps à travers le programme de formation en Anatomie et Chirurgie, comme il est possible pour les humains de faire don de leur corps à la médecine [28, 45]. Le but de cette démarche est de réduire voire d'éliminer leur emploi ; l'utilisation d'animaux originaires de refuges, d'élevages à fins scientifiques ou encore de l'industrie des courses, étant inacceptable sur le plan éthique [45]. La création de groupe d'éthique animale au sein des écoles vétérinaires comme c'est le cas à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT), montre cette prise de conscience des étudiants et leur souhait de connaître les origines des animaux qu'ils utilisent au long de leur cursus.

Une autre alternative à la dissection est l'utilisation de modèles plastiques ou siliconés comme cela a été développé à l'ENVT, avec l'utilisation d'un tractus digestif équin en latex pour remplacer l'euthanasie d'un équidé servant à étudier principalement cet appareil [41] (Figure 45). Ces modèles ont fait leur preuve en termes de réalisme [45] mais également d'apprentissage puisque des expériences ont démontré que les étudiants apprenaient autant avec des prothèses ou modèles qu'avec la dissection [39].



Figure 45 : Modèle de tractus gastro-intestinal équin utilisé à l'ENVT (MedicalExpo [41]).

Souvent oubliés, les musées d'anatomie peuvent aussi être exploités si les échantillons qu'ils renferment sont de bonnes qualités, manipulables et attrayants. En effet l'idée est de permettre à l'étudiant d'acquérir d'une autre façon les images tridimensionnelles de l'organisme et donc de toucher et non simplement observer un squelette articulé. S'ils sont bien aménagés et confortables, ces musées peuvent également être un lieu de travail en groupe et d'échange [9] (Figure 46).



Figure 46 : Musée d'Anatomie Paul Lucien Montané de l'ENVT.

De plus, une partie des scientifiques et enseignants reste réfractaire à l'idée que la dissection soit la seule référence pratique pour l'apprentissage de l'anatomie. Pour eux, elle doit être combinée à d'autres supports pour perfectionner cet enseignement [44] et nuancent donc le fait de vouloir la bannir des programmes. Pour la compléter, certaines études ont proposé de réduire les cours magistraux à la faveur de séances interactives autour de cas cliniques ou avec un support informatique [43]. Ce débat soulève la question de l'utilité de cette méthode qu'est la dissection, de par ses avantages et inconvénients (Tableau 16).

Tableau 16 : Avantages et inconvénients de la dissection.

LA DISSECTION	
Avantages	Inconvénients
Acquisition d'image en 3D	Méthode onéreuse
Travail en autonomie	Nécessite un gros volume horaire
Palpation de tissus biologiques	Non représentativité de l'animal vivant
Expression de la variabilité inter et intra-espèce	Apprentissage non guidé
Développement du travail en groupe	Angoisse face à la mort ou la ressemblance à l'animal de compagnie
Entraînement au geste chirurgical	Utilisation d'animaux à des fins scientifiques
Préparation à la rencontre avec la mort	Question sanitaire et de santé publique

Mais quels seraient alors les bienfaits de ces méthodes alternatives et qu'apportent-elles aux étudiants ? Différentes études ont travaillé sur ces questions autour d'une idée commune « *The more we know about learning, the better we can teach* » Marks [36].

## 2) Les outils informatiques au service de l'anatomie

### a) Pour ou contre ?

A partir des années 90, l'accès public à Internet, réseau de recherche et de communication mondial, a fait exploser le développement de l'informatique et des technologies qui en découlent. Cette avancée a pour finalité qu'en 2018, 93.3% des 16-24 ans vivant en France métropolitaine possédaient un ordinateur selon l'INSEE [21]. Au-delà de sa présence dans nos foyers, c'est tout naturellement que l'informatique s'est imposé au sein des écoles et du système éducatif puisqu'il constitue un support d'apprentissage parfois plus attractif pour les étudiants que les livres. Ainsi, les écoles vétérinaires possèdent également leur plateforme internet pour mettre des cours, des articles ou encore des tests de connaissance à leur disposition. C'est pourquoi les professeurs souhaitent utiliser ces outils informatiques afin d'améliorer leur méthode d'enseignement et pour s'adapter à la nouvelle façon de travailler des étudiants, y compris dans le domaine de l'anatomie [26].

Si l'utilisation de l'informatique dans les classes supérieures a pris autant d'ampleur, c'est qu'elle possède bien des avantages. Tout d'abord, Internet se trouve partout ou presque et comme cité ci-dessus, quasiment tous les élèves possèdent aujourd'hui un ordinateur, la technologie faisant partie intégrante de leur quotidien. Ils ont donc la possibilité d'accéder au savoir en toute indépendance de lieu et d'enseignants ce qui leur permet selon leur besoin, de prendre plus ou moins de temps pour réviser ou approfondir un domaine particulier et ce quand ils le désirent. Aucun étudiant n'est ainsi lésé au contraire d'un cours où le professeur

ne peut pas toujours s'attarder sur un point pour un unique élève ou à l'inverse avancer trop rapidement en fonction d'un autre [26].

Ce paramètre a été mis en avant dans une étude où les étudiants apprenaient l'anatomie soit avec un support informatique, soit avec la dissection. Ceux qui avaient accès au programme en ligne ont eu de meilleurs résultats que les élèves qui ont disséqué les animaux, puisqu'ils ont eu plus de temps pour observer les structures et n'ont pas été gênés par des conditions de travail répulsives (odeur, sang ...) [26]. Cette conclusion se retrouve dans d'autres expériences qui ont prouvé que des programmes multimédias avec prosections étaient tout aussi bénéfiques que les traditionnelles séances de dissection accompagnées de cours théoriques [26].

De façon analogue, de nombreux anatomistes ont reconnu que l'utilisation d'ordinateurs pour enseigner permettait de réduire le temps et les coûts qu'implique la dissection de cadavres [26]. C'est aussi une méthode qui va dans le sens des nouvelles valeurs éthiques puisqu'elle tend à diminuer l'utilisation des animaux à but pédagogique. Le support informatique en lui-même est également intéressant car il offre plus de liberté dans la présentation des informations anatomiques, avec la mise en place de différents angles de vue ou d'images en trois dimensions, par rapport à un livre [26, 27].

Si l'on se penche du côté des étudiants, ils préfèrent apprendre avec des images animées, en couleurs et dynamiques et conçoivent donc l'imagerie interactive sur ordinateur comme une meilleure façon d'apprendre [26, 27]. Pourtant, il a été démontré que l'apprentissage visuel était meilleur avec des dessins en noir et blanc qui simplifient la mémorisation, qu'avec des images réalistes qui noient l'information au milieu de détails [26]. Cependant, les élèves apprécient beaucoup la mise en couleur des images qui permet par exemple de délimiter des zones anatomiques et éviter les confusions, comme cela a été rapporté à plusieurs reprises [26, 27]. En outre, ils affectionnent de pouvoir faire apparaître ou disparaître les légendes des structures à leur gré ou à l'aide de quizz afin de tester leurs connaissances. Cet outil leur permet d'anticiper les séances pratiques et de travailler en amont de façon autodirigée afin d'être plus productifs lorsqu'ils se retrouvent en groupe de dissection pour partager leurs connaissances [27]. Cette liberté de revenir sur le site selon les besoins de la personne est en faveur du principe de formation continue, puisque cette aide peut être à la disponibilité du praticien tout au long de sa carrière et ainsi servir de rappel anatomique. Ces derniers arguments suggèrent que le développement de programmes informatiques permet de compléter les ressources pédagogiques existantes, jusqu'à partiellement remplacer la dissection [26].

Toutefois, bien que l'ordinateur facilite l'instruction de l'anatomie, il a aussi été démontré qu'il ne suffisait pas pour combler les besoins d'apprentissage des étudiants [26, 27]. Ces mêmes études ont souligné que contrairement aux supports papiers, tous les élèves ne sont pas familiers de l'usage d'outils informatiques pour profiter pleinement d'un programme d'imagerie en ligne et un cinquième d'entre eux ont avancé qu'ils craignaient de devoir les utiliser [27]. De ce fait, bien que les étudiants semblent plus aptes à utiliser des modèles informatiques tridimensionnels, ils doivent posséder de bonnes capacités spatiales pour appréhender ce support et dans le cas contraire, une surcharge cognitive est engendrée : le programme devient alors délétère à l'apprentissage [48]. Certains élèves ont aussi rapporté

qu'ils n'avaient pas accès à Internet à leur domicile et étaient alors contraints par les horaires de la bibliothèque universitaire pour travailler quand ils le souhaitaient.

Un autre aspect évoqué à la page 56 au sujet de la dissection, est que les programmes en ligne ne montrent qu'un exemple d'os ou d'organe et font donc une moyenne des variations individuelles qui existent [43]. L'étudiant pourra alors être désarmé face à une variation anatomique d'un appareil, alors même qu'elle est physiologique, car il n'a pas été confronté à cela en étudiant le modèle informatique. De cette même façon, lors des dissections, l'étudiant peut demander des explications à son professeur, ce qui ne peut être fait lorsqu'il est seul face à son ordinateur [26].

De plus, une expérience a été réalisée dans une Université du Midwestern [26] pour comparer l'apprentissage des os du crâne chez le chien, entre un support informatique sur internet, un support papier seul et ce dernier accompagné de vrais crânes pour se rapprocher de la méthode d'apprentissage traditionnelle avec des guides de dissections. Le site internet mettait en avant des photos en couleur alors que les supports papier étaient constitués de dessins en noir et blanc. Au bilan de cette expérience, aucune différence d'apprentissage significative entre les trois groupes n'a été relevée. Des résultats similaires ont ainsi montré que l'apport pédagogique d'un manuel multimédia avec des clips audio, vidéo et animation, était identique à celui d'un livre papier [26].

Les études oscillent donc entre un apport positif, nul ou négatif (Tableau 17) de la technologie au sein des écoles, bien que les étudiants fassent pencher la balance vers un bienfait de l'utilisation de l'informatique dans leur quotidien.

Tableau 17 : Avantages et inconvénients des programmes informatiques.

LES PROGRAMMES INFORMATIQUES	
Avantages	Inconvénients
Indépendance de lieu	Complexité d'utilisation
Autonomie de temps de travail	Besoin d'accès à internet
Support interactif et attrusif	Absence de variations physiologiques individuelles
Ethique et meilleures conditions de travail	Dépense financière pour l'étudiant
Moins coûteux que la dissection	Etudiant seul face à ses questions
Usage familier de l'étudiant	
Résultats similaires aux méthodes traditionnelles	

#### b) Exemples d'outils informatiques

De futurs doctorants, convaincus des avantages non négligeables que les programmes informatiques peuvent apporter, ont développé des sites d'apprentissage interactifs de

l'anatomie en ligne pour les étudiants vétérinaires. Cette partie n'a pas vocation à être une liste exhaustive des nombreux logiciels et sites dont disposent les étudiants vétérinaires aujourd'hui pour apprendre l'anatomie, mais simplement à en montrer quelques exemples.

Un étudiant de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort (ENVA) a utilisé les technologies informatiques, sous forme d'un Cédérom, pour parfaire l'enseignement de l'anatomie du tronc du cheval [17]. Il a souhaité combiner les avantages de ce nouveau support avec les séances de dissection pratiquées dans son école, afin de rendre l'apprentissage de l'anatomie plus rapide et plus visuel pour les étudiants. En effet, le cédérom permet d'obtenir un logiciel préparant à la technique de dissection et décrivant ensuite les organes à l'aide de légendes et de textes. A l'aide des 161 photos qui le compose, il offre ainsi une première vue des étapes de dissection qui devront être effectuées par les étudiants. Pour ces derniers, la séance s'apparentera alors à un exercice de révision et sera d'autant plus bénéfique pour eux.

Une autre étudiante de cette école a profité de l'accessibilité à Internet pour développer un site d'apprentissage et ne pas dépendre d'un système d'exploitation [50]. Il s'agit d'un site d'ostéologie comparée présentant respectivement les squelettes d'un chien, chat, cheval et bovin. Un large panel d'espèces est utilisé et chaque os peut être observé individuellement sous cinq vues différentes. Tous les détails anatomiques (reliefs osseux, forams, incisures...) sont annotés et l'étudiant choisit d'afficher ou non les légendes à l'aide de la souris (Figure 47).

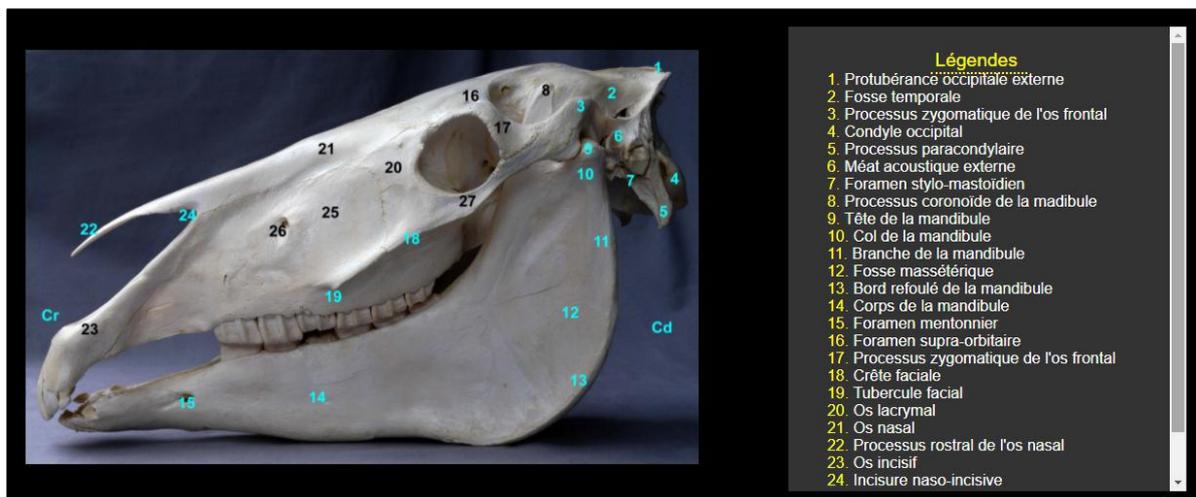


Figure 47 : Image du crâne du cheval, vue latérale (Rafaelli [50]).

Un travail similaire a été réalisé dernièrement par un étudiant de l'ENVT qui souhaitait mettre en avant l'ostéologie canine à travers un logiciel en trois dimensions en version téléchargeable afin d'être indépendant du réseau internet [47]. L'élève se trouve face à un chien digital dans son intégralité, en trois dimensions, qu'il peut faire tourner sur lui-même. Différentes coupes et changements de transparence lui permettent de visualiser à la fois le chien et/ou son squelette pour faire le parallèle entre l'animal et les os qui se cachent sous sa peau (Figure 48). L'étudiant peut également s'intéresser à un os en particulier afin de l'observer plus en détail et de faire apparaître ces reliefs osseux en le mettant en rotation.

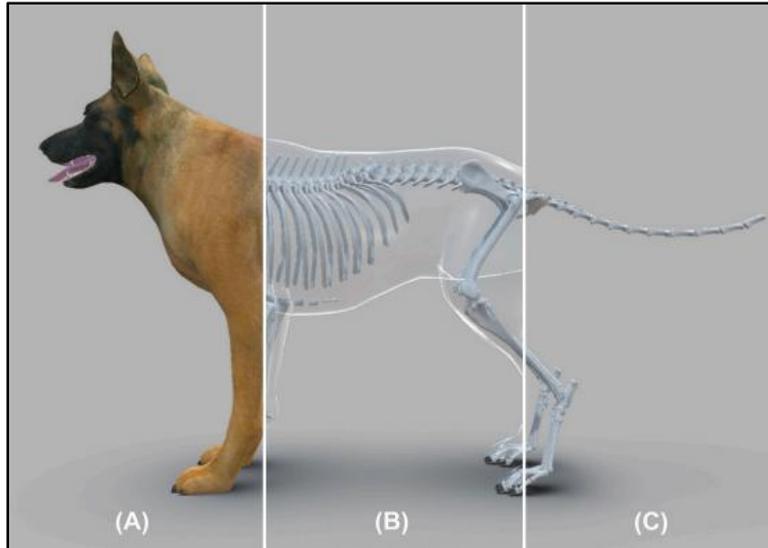


Figure 48 : Image d'un chien en trois dimensions avec les différentes opacités proposées par le logiciel (Pearce [47]).

Ces différents projets mettent en avant les nombreuses possibilités qu'offre l'informatique en tant que support pédagogique, malgré ses quelques inconvénients (Tableau 17). Utilisé seul ou en combinaison avec la dissection, il reste une alternative non négligeable aux méthodes d'enseignements traditionnelles, même si d'autres projets lui font concurrence.

### 3) Les modèles physiques

Silicone, papier mâché, polymères de synthèse ... Autant de matières qui se proposent de réinventer l'enseignement de l'anatomie grâce à des procédés parfois techniques. Elles ont pour vocation d'exploiter les avantages de la dissection tout en étant plus éthiques et donc quelque part plus « responsables », se présentant sous forme de modèles anatomiques au service des étudiants.

#### a) Un ancien modèle : le cheval d'Auzoux

##### 1. La naissance d'un inventeur

Au cœur d'une petite bourgade normande, Le Neubourg (Eure), se trouve le Musée de l'Écorché d'Anatomie, témoin de l'histoire de l'anatomie humaine et vétérinaire. Il renferme les œuvres d'un médecin mondialement connu du XIX<sup>ème</sup> siècle : le Docteur Louis Auzoux (1797 - 1880).

Tout commence au XVIII<sup>ème</sup> siècle, lorsque l'apprentissage de l'anatomie dans les écoles de médecine humaine se trouva freiné par le manque de cadavres humains [31]. En effet, la banalisation de l'anthropotomie au fil des siècles précédents, poussa les étudiants à devoir disséquer plus de corps qu'ils n'en avaient pour s'entraîner à la pratique de la médecine. Pourtant, le Comité d'Instruction Publique (CIP) prônait depuis 1794 l'utilisation de différents outils pédagogiques pour l'enseigner, comme la mise à disposition d'un cabinet d'anatomie dans les écoles [31].

Face à cette pénurie de corps, Louis Auzoux, élève passionné d'anatomie et de dissection, se mit alors en quête d'un nouveau support pour poursuivre son instruction. Il chercha donc un modèle manipulable, alliant résistance et légèreté, afin de s'émanciper du besoin en cadavres. Un projet fleurit dans son esprit et servit sa thèse de Docteur en Médecine en 1822, au cours de laquelle il présenta son premier modèle anatomique humain en papier mâché : un « membre abdominal » constitué d'un bassin avec un membre inférieur [31]. S'inspira-t-il des humbles travaux du professeur d'anatomie de Caen, Jean-François Ameline, qui élaborait un mannequin d'apprentissage, dont les éléments anatomiques cartonnés étaient apposés sur un véritable squelette humain ? Toujours est-il que son travail reçu de nombreux encouragements, l'amenant à produire trois ans plus tard, le premier modèle d'homme complet réalisé à l'échelle humaine. Quelques imperfections et imprécisions pointées du doigt par le corps médical, aboutirent à la création d'un écorché amélioré en 1830 : le jeune érudit fit alors place à l'inventeur [31].

Loin de s'arrêter à ce premier mannequin, Auzoux décida dès 1828 de faire produire des modèles similaires dans sa ville natale par les ouvriers de son village, les mettant ainsi à l'abri du chômage et des différentes crises industrielles qui frapperont la France quelques années plus tard [31]. Auzoux, un brin commerçant, choisit alors d'ouvrir par la suite une boutique à Paris pour vendre ses modèles. Mais sa popularité ne s'arrêta pas à la campagne normande. Ses modèles furent présentés à diverses expositions de l'Industrie Française et universelles, lui procurant renommée et médailles pour la mise en place de la production en série de ses modèles [31] (Figure 49). Ce fut un tremplin pour vendre ses collections dans les universités du monde entier, comme on peut les retrouver aujourd'hui au musée de New Delhi ou encore au Powerhouse Museum de Sydney en Australie [11].

Bien qu'il fût l'inventeur de ce nouveau modèle anatomique, Auzoux ne pouvait toutefois pas être qualifié d'avant-gardiste car il travaillait le papier mâché. Cette matière n'était pas révolutionnaire pour l'époque puisqu'elle était couramment utilisée au XIX<sup>ème</sup> siècle pour parfaire les décors architecturaux de l'époque ou encore fabriquer du mobilier [31]. Le jeune érudit extrapola les propriétés de ce matériau afin de répondre à son cahier des charges. Les fines lamelles de morceaux de papier vinrent ainsi se mêler aux fibres de chanvre, à la colle, la farine, le blanc de Meudon et surtout à la poudre de liège, produit phare d'Auzoux, qui lui conféra l'originalité de son produit [31].

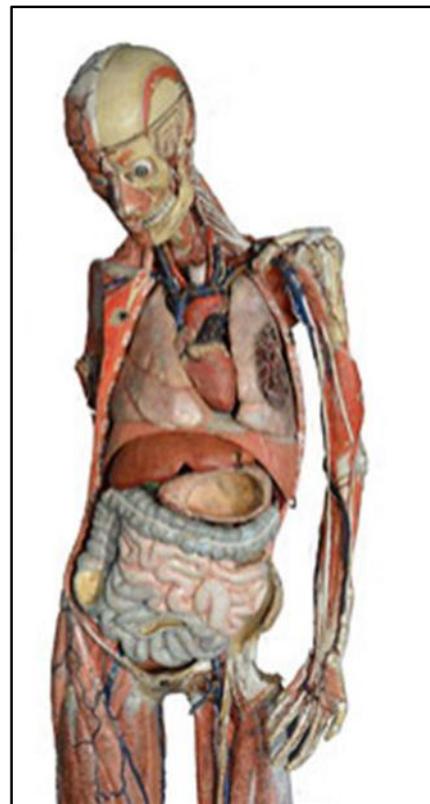


Figure 49 : Modèle anatomique de l'homme utilisé pour l'étude des vaisseaux lymphatiques (Laroque [24])

Cet assemblage forma une pâte relativement malléable pour donner vie aux pièces du modèle une fois sèches et les rendre légères. Cette dernière caractéristique technique fut acquise en partie, grâce à la fameuse poudre de liège qui rendit l'objet manipulable bien qu'un peu fragile. Pour pallier à cette faiblesse, Auzoux créa des moules de bois habillés d'un alliage de

métal dit « Darcet » (25% plomb, 25% étain, 50% bismuth) qui résistèrent alors à l'étape de serrage des presses à cidre et purent être réutilisés contrairement à des moules en plâtre [31].

Ces deux innovations donnèrent forme à la pièce anatomique grâce à l'enchaînement de différentes étapes techniques, telles que le cartonnage ou le terrage selon le poids souhaité, et bien d'autres encore [31]. Un peintre professionnel, puis plus tard ses apprentis, donnèrent ensuite vie aux pièces sous leur pinceau, pour colorer les pièces à l'aide de différents pigments de couleurs mêlés à un liant assimilable à de la colle [31]. Désireux d'obtenir des modèles proches de la réalité, Auzoux eu recours à l'emploi de laine pour simuler des poils, de semoule lorsqu'un aspect granuleux était désiré ou encore de péritoine de bœuf pour faire office de membranes [31]. Les artisans de la fabrique firent ainsi naître sous leurs doigts d'artiste, l'équivalent de ce qui fut estimé à plus de trois cent pièces et collections [11].

## 2. Un modèle unique : le Cheval d'Auzoux

Fort de son succès, Auzoux se lança dans la conquête du monde animal et végétal. Il décida de façonner un représentant de chaque branche de la classification animale, donnant ainsi naissance à un dindon pour les volatiles ou encore un colimaçon pour les mollusques. Ce n'est que plus tardivement, à partir de 1869, qu'il développa des modèles botaniques pour les universités de sciences naturelles. Il fut d'abord occupé par un autre projet, lorsque M. de Sainte-Ange, un maître d'équitation œuvrant dans la célèbre Ecole de Cavalerie de Saumur, le sollicita pour réaliser un modèle de cheval, qui lui servirait à des fins pédagogiques auprès de ses élèves à l'instar de l'écorché humain dans les écoles de médecine [11].

Jusqu'ici, Auzoux n'avait pas donné suite aux requêtes similaires du gouvernement, des écoles vétérinaires ou encore des régiments de l'armée, reçues quelques années auparavant. En effet le médecin s'était senti jusque-là limité par les connaissances hippiatriques dont il disposait, mais la demande de M. de Sainte-Ange lui fit percevoir la possibilité d'une collaboration qui lui permettrait de mener à bien son projet. Il partit alors en quête d'ouvrages pour mieux comprendre l'animal qu'il devait modéliser. Le célèbre *Cours d'hippiatrique, ou traité complet de la médecine des chevaux* [30] évoqué à la page 54 de Lafosse, bien que rédigé en 1772, était à ce moment-là le seul guide dont disposait Auzoux en plus des quelques notes des professeurs de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon (ENVL) qu'il se procura. Après de longs mois de labeur, le premier cheval d'Auzoux fut achevé en 1844 [11] (Figure 50).

Du haut de ses un mètre et dix centimètres, l'écorché équin offrit des possibilités d'apprentissage similaires à celles de son homologue humain. Ainsi la partie droite de la maquette exposa les parties superficielles de l'anatomie tandis qu'à gauche, les différentes couches une fois démontées, révélèrent les plans profonds du cheval avec les nerfs, vaisseaux et autres viscères qui le composent [11]. Ces pièces anatomiques artificielles et démontables, donnèrent naissance au terme « clastique », extrapolé du mot grec « *Klao* » signifiant « rompre, séparer, mettre en pièce » [11, 31].



Figure 50 : Exemple de modèle complet du Cheval d'Auzoux exposé au musée d'anatomie Paul Lucien Montané de l'ENVT (ENVT [16]).

Pour tirer profit du modèle, Auzoux laissa l'enseignant qui sommeillait en lui s'exprimer : il voulait que le démantèlement de son mannequin mime pour l'étudiant une séance de dissection. Il fournit donc un livre d'instruction pour guider les utilisateurs dans l'ouverture du modèle, afin de préserver les pièces de façon durable et pouvoir par la suite reconstruire le cheval, le but étant de pouvoir le découvrir et rhabiller autant de fois que l'élève en ressentait le besoin. En effet si les pièces étaient ôtées de façon anarchique, elles pouvaient s'abîmer et devenir inutilisables [11].

Auzoux parfit son travail en conséquence, il étiqueta chaque pièce pour indiquer leur ordre de montage et les agrémenta parfois d'un manicule pour indiquer le sens de la manipulation [31] (Figure 51). L'ingénu découvrait alors sur chaque morceau de papier-mâché, son nom anatomique ou un numéro le renvoyant à sa légende, dans le *Tableau synoptique* fourni avec le modèle, explicitant chacune des quelques 127 pièces et 3635 détails anatomiques qui composaient le cheval [11]. Ce travail d'apprentissage exhaustif est facilité par le guide de manipulation, rendant rapide la désarticulation du support anatomique. Cela permettait selon le docteur, d'apporter plus de connaissances anatomiques qu'un vétérinaire ne pourrait en avoir [11] ou encore pour son écorché humain d'en maîtriser l'anatomie en trois mois d'apprentissage intense [31]. Il réalisait d'ailleurs des démonstrations à son cabinet parisien devant un auditoire pour leur transmettre ces savoirs [31]. Cet enseignement accéléré de l'anatomie équine fut la clé du succès d'Auzoux dans de nombreux domaines et ce n'est pas de façon anodine qu'il développa avec tant



Figure 51 : Etiquette avec manicule et numéro sur une pièce d'un modèle humain (Laroque [31])

d'ardeur son modèle équin. En novateur de l'époque, Auzoux su cerner la place centrale que possédait le cheval dans la société du XIX<sup>ème</sup> siècle, en ce qu'il constituait un outil précieux pour le travail, les déplacements sur le territoire ou encore l'ascension sociale comme propriété de luxe. Que ce soit pour les écoles, l'armée ou encore l'agriculture, le modèle du cheval d'Auzoux constituait une mine d'informations précieuses pour instruire les hommes qui employaient au quotidien ces destriers, afin de les comprendre mais surtout pour rendre leur exploitation plus productive.

L'entreprise normande reçut par conséquent de nombreuses commandes de la part de différentes institutions pour obtenir un mannequin équin ou d'autres écorchés, qui furent produits de façon presque industrielle [11, 31]. Auzoux avait conscience qu'un cavalier de l'armée n'avait ni le temps, ni l'utilité de maîtriser toutes les subtilités que son modèle offrait et décida donc de créer un écorché « simplifié » qui fut qualifié d' « incomplet ». Il vendit celui-ci pour les écoles de cavalerie, les régiments d'artillerie ou encore les haras et réserva son modèle « complet » aux écoles vétérinaires. Sur ces nouveaux chevaux, les muscles n'étaient pas détachables et seules 19 pièces habillèrent le mannequin avec 1985 légendes anatomiques rapportées dans le manuel *Tableau synoptique* [11].

Une nouvelle requête fut alors adressée à l'audacieux entrepreneur de la part du Général Oudinot en 1845. Il achetait des chevaux pour ses missions militaires mais ne pouvait évaluer la qualité, en l'absence de vétérinaire et de par ses lacunes hippiatriques. Il souhaitait donc posséder des modèles avec les tares existantes sur les équidés dans l'objectif de pouvoir les détecter lui-même et pouvoir porter un regard critique sur la marchandise présentée, afin d'éviter de nombreux déboires lors d'affrontements militaires à cause de chevaux déficients [11]. Enthousiasmé par ce nouveau challenge, Auzoux s'arma alors à réaliser plus d'une cinquantaine de modèles anatomiques pourvus de tares existantes sur les chevaux comme l'attestent ses trente mâchoires affrêtées des supercheries utilisées par les maquignons pour tromper les acheteurs [11] (Figure 52). « Pas de pied, pas de cheval », Auzoux avait déjà compris le concept. Il créa des sections de membres recouvertes de peau naturelle, dans lesquelles il inséra des tares dures - pour les tares osseuses - ou molles - pour les tares synoviales, tendineuses et articulaires - afin d'être au plus près des sensations tactiles que pouvait ressentir l'acheteur lorsqu'il palpait le cheval [11] (Figure 53).



Figure 52 : La série des trente mâchoires du Dr Auzoux (Degueurce [11]).



Figure 53 : Exemple de tare osseuse sur un tarse (Degueurce [11]).

Il leur apprit également à travers ses pièces d'écorchés à comprendre l'importance de la gestion du pied et de la ferrure de leur monture, rendant ses travaux d'utilité publique. Associé au développement de l'économie qu'il assurait par sa production industrielle, Auzoux fut considéré comme un homme servant la nation et il fut promu en 1862 au grade d'officier de la Légion d'honneur en tant qu' « inventeur des appareils clastiques d'anatomie en usage dans l'armée et les écoles militaires » [11].

Cependant, Auzoux et ses modèles se heurtèrent à quelques barrières, à commencer par leur coût d'achat. Heureusement pour le docteur, le Ministre de l'Instruction Publique et quelques conseillers régionaux avaient une haute estime du bénéfice qu'offrait ses travaux et participèrent donc au financement de ses maquettes anatomiques, jugeant le montant de quatre mille francs français (environ six cent euros aujourd'hui) comme étant abordable pour l'époque [11]. Certains scientifiques pointilleux soulignèrent également le manque de pièces détachables pour assimiler l'écorché à un modèle réel du cheval ou encore ses lignes disharmonieuses comme sa poitrine trop large, ses membres épais ou son arrière main trop massive [11]. De plus, même si Auzoux prêcha des convaincus au sein de l'armée, des écoles de médecine ou encore de la cavalerie, il eut plus de difficultés à promouvoir ses œuvres au sein des élevages de chevaux et de l'agriculture.

### 3. Les modèles d'Auzou au XXI<sup>ème</sup> siècle

Fragiles ? Anciens ? Rares ? Autant d'arguments et de questions pour expliquer pourquoi les modèles de cet homme, qui fut autrefois de renommée internationale, sont aujourd'hui oubliés. Certains écorchés furent abandonnés dans des collections militaires et éducatives ou encore dégradés par des démontages partiels ou de mauvaises conditions de conservation. [11]. Le développement de la dissection de cadavres, la hausse du nombre d'étudiants dans les promotions et l'arrivée de l'informatique ont peut-être rendu ces modèles moins pratiques ou attractifs pour enseigner aux nouvelles générations. Toutefois, le devoir de mémoire anime de nombreux professeurs qui souhaitent faire revivre ces modèles historiques et mettent en œuvre des travaux de restauration.

Le Musée Fragonard de l'ENVA mis par exemple son cheval entre les mains de restaurateurs afin d'analyser les causes de son évidente détérioration et de mettre en œuvre les travaux nécessaires pour lui redonner sa valeur esthétique d'antan [14]. Le modèle, dit incomplet, de soixante-cinq kilos révéla ainsi de nombreux dommages tels des fissures ou des altérations de couleurs, à cause de son exposition à certaines températures et à l'humidité. La colle de poisson qui recouvre les mannequins en est un exemple car elle absorbe la poussière ce qui provoque un noircissement des surfaces. De la même façon, la gélatine utilisée ramollie avec les hausses de température et les couches de papier se décollent en cas d'hygrométrie élevée, le tout entraînant une déformation de la pièce si elle est laissée un certain temps démontée en dehors de son support sur lequel elle ne peut plus se rattacher [11]. Un travail minutieux débuta alors pour réhabiliter le cheval en conservant au maximum son authenticité [14].

De façon analogue, le Professeur d'Anatomie de l'ENVT, Giovanni Mogenicato, eu également à cœur de redonner vie à son modèle complet de cheval, oublié au sein du Musée d'Anatomie Paul Lucien Montané et de lui rendre son usage pédagogique pour lequel il fut inventé. Il démarra pour cela une campagne de financement participatif en partenariat avec l'Université

Toulouse III – Paul Sabatier afin de rafraîchir leurs différentes pièces (cheval, dindon...), travail qui fut permis et réalisé à la hauteur de leurs espérances grâce à la générosité de nombreux mécènes [16]. Ce sont ces projets qui permettent la préservation du patrimoine national, tant historique que culturel, pour servir par leurs propriétés pédagogiques aux générations à venir.

## b) La plastination

### 1. Elaboration et étude des modèles plastinés

Un modèle au plus proche du vivant ? C'est à cette question qu'un anatomiste allemand, Gunther von Hagens, a souhaité répondre en proposant une innovation, différente de ce qui avait jusque-là été proposé pour améliorer l'instruction des élèves et qui sera décrite comme la « technique anatomique du siècle » Latorre [33]. C'est donc en 1978 qu'il créa une technique de conservation des tissus biologiques consistant à remplacer l'eau et les lipides qu'ils contiennent par divers polymères comme le silicone, les polyesters ou encore l'époxy. Cette méthode permet de « figer le vivant » pour obtenir un modèle anatomique : la plastination (ou imprégnation forcée de polymère) était née [37] (Figure 54).

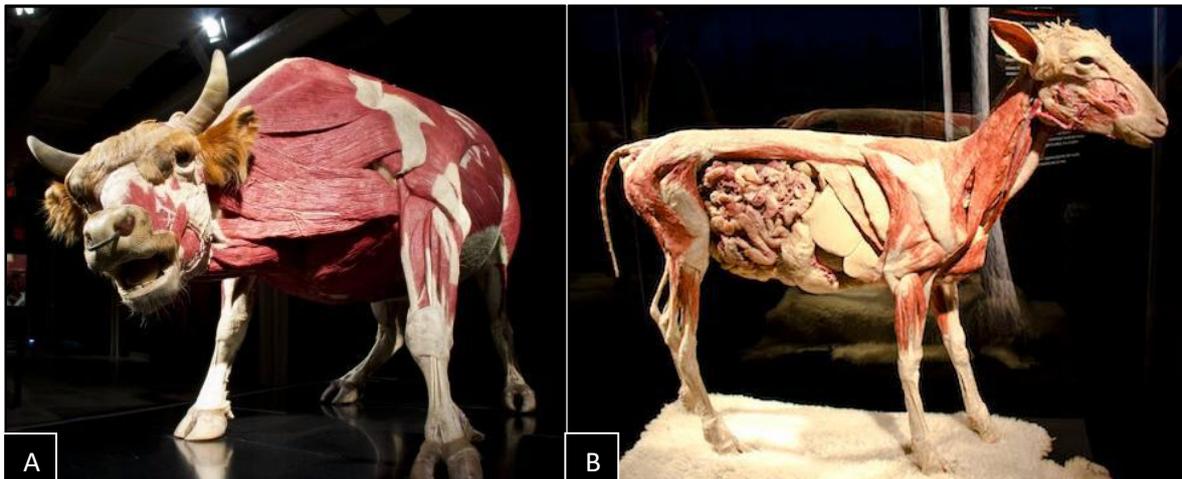


Figure 54 : Exposition "Animaux à corps ouvert" au Centre des Sciences de Montréal (A) Modèle de vache plastinée (B) Modèle de mouton plastiné (La bible urbaine [29]).

Elle se réalise en quatre étapes [37] :

- La fixation : l'organe ou le corps est généralement plongé dans du formaldéhyde pendant plusieurs jours, afin de fixer chaque cellule du tissu et éviter son autolyse ou encore sa putréfaction.
- La déshydratation et l'extraction des lipides : le but de cette étape est d'éliminer l'eau des tissus, pour la remplacer par un solvant volatil (acétone, éthanol...) qui fera par la suite place au matériau solidifiant. Les graisses sont souvent dissoutes lors de cette manipulation.
- L'imprégnation forcée : c'est l'étape clé du processus de plastination, le solvant est remplacé sous vide par le polymère choisi qui va ensuite durcir dans les tissus. Le choix du polymère définit l'opacité ou la transparence de la pièce et son degré de souplesse : la silicone S10 est utilisée dans la procédure standard pour l'obtention de pièces opaques et dures.

- Le durcissement : c'est l'étape de polymérisation de la silicone qui permet de la rendre dure et d'assurer la pérennité du spécimen plastiné.

Cette méthode apparaît alors, au XX<sup>ème</sup> siècle, comme une révolution pour l'enseignement de l'anatomie macroscopique humaine et vétérinaire [33]. En effet, différentes études ont mis en avant l'efficacité de l'apprentissage multimodal et les modèles virtuels ou physiques complètent parfaitement l'enseignement traditionnel pour y parvenir [33].

Les bienfaits pédagogiques de la plastination demeurent toutefois peu documentés, même si quelques expériences ont rapporté la perception de cette méthode d'enseignement par les élèves [10]. L'une d'elle a été réalisée à l'Ecole Vétérinaire de Cambridge sur l'année 2014-2015 auprès des étudiants de première et deuxième années [33]. Plus d'une centaine de spécimens plastinés (organes seuls et prosections de régions de type tête, cou ou corps) ont été mis à leur disposition pendant les séances de dissection réalisées avec des cadavres humides et en dehors dans le musée d'anatomie de l'école. Au bilan, ce ne sont pas moins de 97% des élèves qui ont utilisés les modèles plastinés pendant les dissections, montrant de la curiosité et de la réceptivité envers ce support. Le fait d'y avoir accès avant la séance pour la préparer était important pour une majorité d'entre eux. Les étudiants estiment que cela les a aidés dans leur apprentissage (95,8% pour les premières années et 100% pour les deuxièmes années) et recommandent son utilisation à l'unanimité pour les années à venir.

Ils soulignent en effet la facilité d'identification des structures que permet le modèle ainsi que l'observation de leur organisation spatiale et des connexions entre elles [33]. Leur présence a été fortement appréciée, surtout pour la tête et le cou. Ces régions possèdent des architectures relativement complexes et les jeunes anatomistes pouvaient observer en détails les nerfs et vaisseaux sur le spécimen plastiné, ce que leurs propres dissections ne leur permettaient souvent pas. En effet, la plastination soumet aux élèves une dissection quasi-parfaite de l'organe contrairement à la leur où les vaisseaux et nerfs sont souvent détruits [33]. La plastination d'organes creux dilatés, comme l'estomac des ruminants, les cavités thoraciques et abdominales des canidés ou encore les utérus gravides de vaches et juments, a été considérée comme une aide précieuse pour les étudiants [33].

Pour tirer encore plus de profit de l'utilisation de ces modèles, ils ont proposé aux enseignants d'étiqueter les détails anatomiques pour les aider à se repérer et identifier les structures [33]. Néanmoins, une limite non négligeable de cette étude reste qu'elle se base sur des impressions et des ressentis des élèves mais qu'elle ne permet pas de démontrer une amélioration ou non des résultats de l'apprentissage de l'anatomie par cette méthode à un examen [10].

## 2. Des avis divergents

La plastination apparaît alors comme une potentielle solution de remplacement à la dissection ou du moins à sa réduction si on la combine avec l'utilisation de modèles physiques. C'est pourquoi, leur application en tant que méthode d'apprentissage anatomique pour les étudiants a été largement étudiée au travers de modèles d'anatomie abdominale bovine, pour l'injection dans la veine jugulaire du cheval, de palpation des ovaires et utérus de jument... [33].

En ce qui concerne les modèles plastinés, leur caractère pédagogique est évident car ils sont faciles à manipuler et anatomiquement très précis, comparé à des modèles en plastique, puisqu'ils représentent le vivant figé à un instant « t ». Ce sont de véritables échantillons biologiques mais qui assurent des conditions de sécurité sanitaire totales pour le manipulateur qui n'est pas exposé aux produits de conservation comme le formol ou encore de possibles pathogènes transmis par la dissection de cadavres. Ils ont l'avantage d'être imputrescibles, secs, inodores et surtout résistants, ce qui assure une conservation sur du long terme, sans conditions de stockage ni de soins particuliers [37]. En effet, le processus de plastination empêche la détérioration des tissus. Ils peuvent ainsi être manipulés et utilisés par les étudiants pour réviser afin d'optimiser leur travail pendant les séances de dissection en ayant identifié auparavant les structures à respecter [33]. De cette façon, les modèles améliorent la confiance, les connaissances et les capacités intellectuelles des étudiants [10, 33].

Ils permettent ainsi à l'élève de développer sa vision en trois dimensions grâce à la palpation du modèle. Cet outil pédagogique a connu un grand engouement également auprès des professeurs car il facilite leur enseignement pendant les séances de travail. Certains d'entre eux ont émis le souhait de posséder plus de spécimens ou de créer une collection au sein de leur musée, avis partagé par les étudiants [33].

Néanmoins, cette méthode présente quelques inconvénients. Tout d'abord une limite générale, propre à n'importe quel modèle physique, de présenter une seule morphologie idéalisée, bien que cet inconvénient puisse être nuancé avec le fait que la plastination représente un individu et donc ses variations anatomiques naturelles [33]. Un autre paramètre est que le spécimen est parfois rendu très rigide par les différentes étapes de plastination, rendant nécessaires les dissections de cadavres humides en parallèle pour une meilleure représentativité tactile du vivant. Cependant, certains modèles plus flexibles existent aujourd'hui, surtout pour les organes creux [33]. Une étude souligne ce besoin de disséquer des cadavres humides, ressenti par les étudiants eux-mêmes, qui craignent de ne pas en réaliser, alors qu'ils jugent cette pratique nécessaire pour leur enseignement. Les modèles plastinés sont pour eux une association et non un remplacement à la dissection [33].

Un autre caractère discutable de l'usage de la plastination est que la création des modèles n'est pas exempte de dangers. Au cours des différentes étapes, des produits dangereux, tel le formaldéhyde par exemple, sont utilisés et font appel à des mesures rigoureuses de sécurité lors de la manipulation. Ce processus doit donc être réalisé dans un laboratoire respectant les normes de sécurité et équipé d'infrastructures adaptées. A titre informatif, l'ENVT a investi environ 12 000€ pour posséder les installations adéquates [37]. Cette technique, en plus d'être coûteuse, est longue à réaliser puisqu'une pièce plastinée peut mettre jusqu'à trois mois pour être réalisée [37]. Une dernière controverse reste que pour produire des spécimens plastinés, des animaux doivent encore être utilisés ce qui rend discutable l'association des termes « plastination » et « éthique ». L'idéal pour se départir de tout besoin en animaux serait alors de créer de toute pièce des organes et des corps, ce qui constitue un nouveau challenge... à la hauteur du XXI<sup>ème</sup> siècle ?

## c) L'impression en trois dimensions (3D)

### 1. La révolution du XXI<sup>ème</sup> siècle

Des jambes humaines robotiques, une main sur-mesure, une prothèse de bec de perroquet... le boum de l'impression tridimensionnelle a révolutionné le champ des possibles dans le domaine médical. Cette innovation technologique permet de fabriquer des copies d'objets avec une précision au dixième voir centième de millimètres, le tout en quelques heures. Pour cela, un schéma modélisé est acquis par différentes techniques d'imagerie : l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou l'imagerie tomodensitométrie (TDM) aussi nommée scanner qui sera à plus ou moins haute résolution [52]. L'animal, ou la région de son anatomie souhaitée, est ainsi scanné par la machine afin d'obtenir sa reconstruction numérique tridimensionnelle sur ordinateur (Figure 55). Une fois l'échelle de reproduction choisie, l'impression à haute résolution peut être lancée avec le matériau souhaité comme des dérivés du plâtre ou du plastique. L'imprimante façonne et superpose alors de nombreuses et fines couches du polymère qui se solidifie, créant une représentation extrêmement précise du modèle original [35].

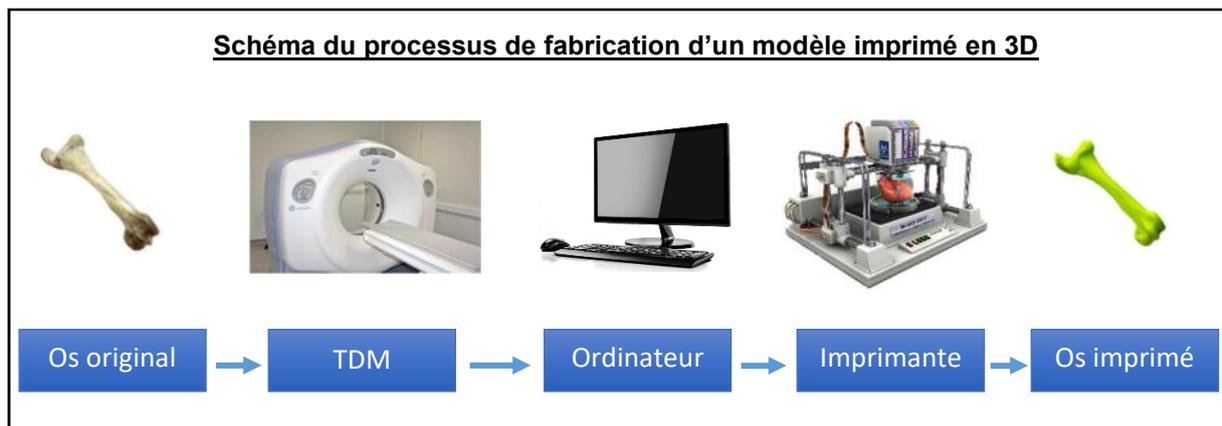


Figure 55 : Schéma du processus de fabrication d'un modèle imprimé en 3D.

A une époque où la dissection est de plus en plus remise en question, les étudiants s'instruisent principalement avec des manuels d'anatomie et des cours en amphithéâtres. Le problème de ces méthodes d'enseignement, au-delà de fournir un support en deux dimensions, sont qu'elles induisent une augmentation de la charge cognitive chez les élèves par le nombre d'informations détaillées qu'elles renferment. Cela peut aboutir chez certains d'entre eux à une diminution d'efficacité dans l'acquisition et la rétention des informations et ainsi pénaliser leur apprentissage [48]. C'est pourquoi d'autres méthodes, comme celle présentée ici, ont été développées afin de contrer cette impasse pédagogique. En effet, si des modèles peuvent être créés pour le domaine médical, ne pourraient-ils pas l'être également à des fins pédagogiques ? Il existe peu d'études sur le potentiel didactique des modèles imprimés en trois dimensions [23], ce qui a amené différentes écoles et universités vétérinaires à explorer les possibilités qu'offre ce processus prometteur.

En 2018, l'Université agricole de Qingdao en République Populaire de Chine a démarré un projet de reconstruction en trois dimensions de squelettes de bovins adultes à partir des os entreposés dont elle disposait [35]. Les professeurs ont ainsi numérisé un fémur, la cinquième

côte et la sixième vertèbre cervicale avec une précision de cinq centièmes de millimètres et ont imprimé chaque modèle. L'élaboration du fémur par exemple s'est basée sur trente-deux scans recueillis en vingt-et-une minutes de balayage. Ils ont permis de reproduire l'os en presque vingt-quatre heures d'impression, le tout avec cent quarante grammes d'acide polylactique, un polymère biodégradable. Une analyse de la fidélité des pièces obtenues par rapport aux modèles numériques n'a montré aucune différence significative dans les dimensions des repères osseux pour les vertèbres.

Ces résultats attestent de la précision anatomique dont font preuve les modèles imprimés, malgré l'absence de quelques foramen nutritifs sur la corticale osseuse. Du point de vue des étudiants, l'enquête a révélé que les os modélisés sont plus compréhensifs, attrayants, inodores, durables et présentent selon eux des caractéristiques anatomiques similaires aux réels spécimens osseux [35]. Ces remarques sont corrélées avec de précédentes études qui ont démontré que l'impression tridimensionnelle est un complément utile dans l'enseignement vétérinaire [35]. Toutefois, ces résultats se basent sur des impressions et perceptions des élèves et non sur des résultats en termes d'acquisition des connaissances en anatomie.

Afin de remédier à ce manquement, une étude réalisée en 2020 s'est penchée sur le potentiel d'apprentissage des modèles tridimensionnels, au travers d'un carpe équin utilisant un code couleur pour les os, pendant des cours d'anatomie radiographique [23] (Figure 56). L'université du Tennessee a donc soumis ses modèles, créés à partir de données tomodensitométriques obtenues depuis un cheval sain, à une partie de ses étudiants de première année. Ils ont ensuite passé des examens comptant dans leur cursus afin d'approcher au plus près des conditions réelles d'enseignement.



Figure 56 : Carpe équin droit modélisé en 3D, avec coloration de l'os carpal ulnaire (bleu), intermédiaire (vert), radial (rose), II (gris), III (violet), IV (rouge), accessoire (doré) (Johnson [23]).

Au bilan, aucune différence significative n'a été rapportée dans les performances académiques des deux groupes d'étudiants [23]. Ils ont eu le ressenti qu'ils s'instruisaient mieux et avec plus de plaisir à l'aide du modèle imprimé, ce qui est intéressant puisque des expériences rapportent que les élèves ont un apprentissage plus efficace lorsqu'ils abordent positivement et avec envie leur environnement de travail [23]. Bien que des preuves supplémentaires soient nécessaires pour attester avec certitude de l'efficacité d'apprentissage en anatomie de ces modèles, il n'en reste pas moins qu'ils ne semblent pas diminuer les résultats et surtout qu'ils améliorent le plaisir que prennent les élèves pendant leurs séances de travail [23].

## 2. Un réel intérêt ?

Les avantages des modèles 3D sont nombreux à commencer par leurs faibles coûts de production, inférieurs à ceux des modèles plastinés par exemple [35]. L'acquisition du matériel de numérisation et d'impression représente un investissement financier mais qui est ensuite amorti par tous les modèles créés : celui du fémur de bovin coûte ainsi dix fois moins cher que l'achat d'un réel os de fémur [35]. L'exactitude des pièces conçues valide également cette technique. C'est une méthode relativement rapide puisqu'un os est en moyenne formé en vingt-quatre heures et peut être utilisé pendant des années [35]. L'impression en trois dimensions présente aussi une relative facilité de réalisation contrairement à l'élaboration des pièces plastinées ou la création d'un logiciel informatique [52]. En effet le modèle plastiné doit être parfaitement prélevé pour être représentatif de l'anatomie ce qui peut se révéler très complexe pour certains organes comme le cerveau par exemple où la dissection des bulbes olfactifs est rarement réussie [52].

Ces pièces imprimées permettent de substituer aux larges et véritables squelettes fragiles des musées d'anatomie, des modèles solides, à une échelle réduite plus adaptée pour les manipulations grâce au réglage numérique réalisé en amont sur l'ordinateur. Elles peuvent aussi être dupliquées pour les rendre accessibles à un plus grand nombre d'étudiants [23]. A l'inverse, l'échelle peut également être augmentée pour mettre en valeur des zones anatomiquement inabordables comme l'oreille interne en médecine humaine par exemple ou encore le pied du cheval en médecine vétérinaire qui est une région riche en structures anatomiques complexes à observer en dissection ou en prosection. Différentes méthodes d'apprentissage du pied équin ont pour cela été comparées par le biais d'une étude et les pourcentages de réussite aux examens s'étendent de 86,4% pour le modèle physique en 3D à environ 60% pour les manuels et modèles informatiques [48]. Ces chiffres sont en faveur d'une amélioration notable des capacités visuo-spatiales anatomiques des étudiants par l'utilisation de modèles en trois dimensions.

Il n'en ressort pas moins que selon les étudiants, la pratique d'enseignement la plus utile pour l'anatomie reste la dissection à 54,7%, suivi par les modèles imprimés en 3D à presque 36% puis les manuels et conférences à 5% chacun [48]. En effet il a été démontré que l'avantage de la dissection est qu'elle favorise la compréhension spatiale et relationnelle de l'anatomie par la mise en jeu de différents sens, essentiellement le toucher. Un modèle informatique ne remplit pas cette attente contrairement aux modèles physiques qui semblent prometteurs [48, 52]. L'utilisation des modèles physiques augmente aussi la confiance en eux des étudiants puisqu'ils ont été confrontés à une structure anatomiquement proche de la réalité et se

sentent donc plus sereins qu'après un apprentissage purement littéraire ou informatique [48]. C'est également une des raisons pour laquelle les élèves apprécient pour la majorité, la réalisation des dissections bien que, au vu des enquêtes menées auprès d'eux, les modèles tridimensionnels permettraient d'allier un support agréable et ludique avec une bonne efficacité d'apprentissage [10, 23].

Un autre point fort de l'impression en 3D est qu'elle s'inscrit dans la volonté de ces dernières décennies de diminuer l'utilisation des animaux à des fins d'enseignement. Avec cette technologie aucun animal n'est sacrifié ce qui en fait une alternative à la dissection et aux modèles plastinés [23]. De plus, les matériaux utilisés peuvent être non caustiques et biodégradables, comme l'acide polylactique réalisé à base d'amidon de maïs, ce qui poursuit une démarche écologique et responsable, chère aux élèves de ce siècle. L'impression en trois dimensions s'impose donc parfaitement comme une nouvelle méthode d'enseignement du 21<sup>ème</sup> siècle [35].

Quelques faiblesses sont cependant à relever. Tout d'abord, le plus complexe dans la réalisation de modèles en trois dimensions est qu'il faut obtenir les os qui servent d'originaux pour les imprimer. A défaut de posséder des pièces biologiques, un animal peut être soumis à l'IRM ou au scanner mais il faut donc l'exposer à des rayonnements et lui faire subir une anesthésie générale, ce qui représente un risque, bien que minime, pour sa santé. Sinon, il est nécessaire de trouver les fonds pour acheter les spécimens osseux biologiques, puis pour le matériel de numérisation ce qui peut coûter relativement cher [35]. En effet bien que la production d'un grand nombre de pièces en 3D amortisse le prix du matériel, les imprimantes tridimensionnelles basiques coûtent environ mille euros, quand les plus onéreuses mais donc également les plus précises, voient leurs prix se multiplier jusque trois fois [23]. La précision anatomique du modèle dépend de la précision du scanner ce qui laisse penser qu'en cas de ressources limitées, les pièces proposées pourraient présenter de légers défauts pouvant fausser l'apprentissage des étudiants.

En outre, les élèves ne sont pas tous dotés des mêmes capacités pour la compréhension des relations spatiales en trois dimensions. Si l'on prend l'exemple du carpe équin [23], l'élève seul face à la pièce anatomique peut se sentir démuni pour l'orienter convenablement dans l'espace et comprendre sa latéralisation. Un autre inconvénient réside dans les propriétés des matériaux utilisés pour l'impression des modèles. Ce sont pour la majorité des matériaux non biologiques qui manquent alors de souplesse et par conséquent de réalisme par analogie aux vrais tissus biologiques.

Bien que l'impression en 3D reste une méthode d'enseignement débattue, elle semble supplanter en termes de praticité et d'avantages pédagogiques les modèles plastinés ou encore les programmes informatiques.

#### d) Bilan des modèles physiques

Au cours des dernières décennies, de nombreuses études ont apporté des arguments en faveur des modèles physiques, mais également informatiques, dans l'enseignement de l'anatomie. Selon le choix du modèle, l'enseignant devra se départir de ses quelques désavantages pour en tirer le meilleur profit (Tableau 18).

Tableau 18 : Avantages et inconvénients des modèles physiques.

LES MODELES PHYSIQUES			
Arguments	Modèles		
	Cheval d'Auzoux	Plastination	Impression 3D
Manipulation	<i>Fragile</i>	Aisée	Aisée
Résistance	<i>Moyenne</i>	Bonne	Bonne
Stockage, conservation	<i>Complexe Conditions exigeantes</i>	Facile	Facile
Représentation fidèle du modèle biologique	Bonne à moyenne	<i>Excellente</i>	<i>Très bonne</i>
Vision en 3D Relations topographiques	Excellente <i>Bonne visualisation</i>	Excellente Variable	Excellente Variable
Temps de réalisation	Lente (année)	Moyenne (mois)	<i>Rapide (heures)</i>
Variations anatomiques interindividuelles	Absentes	<i>Possibles</i>	Absentes
Modèle démontable (profondeur)	<i>Présente</i>	Absente	Absente
Utilisation d'animaux ou leurs produits	<i>Aucune</i>	Présente	Variable (exposition aux rayonnements et à une anesthésie générale)
Coûts	Elevés (+)	<i>Elevés pour la création d'infrastructures (++)</i>	Elevés pour l'achat du matériel (+)
Avantages spécifiques	<i>Choix de la complexité et des détails</i>	<i>Tissus biologiques réels</i>	<i>Esthétique Adaptation de l'échelle de représentation Matériel biodégradable</i>
Inconvénients spécifiques	<i>Peu attractif aujourd'hui</i>	<i>Prélèvement parfait Dangerosité des produits utilisés pour la conception</i>	<i>Obtention de modèles originaux complexes Différent des textures des tissus biologiques</i>

Ces nouvelles méthodes sont des solutions éthiques et économiques qui se doivent d'être utilisées dès lors qu'elles permettent d'apprendre au moins aussi bien si ce n'est mieux, que les méthodes traditionnelles comme la dissection [52]. Cette dernière reste cependant demandée par les étudiants qui ne souhaitent pas la voir disparaître puisqu'elle se rapproche au plus près de l'animal qu'ils auront à soigner. Ne serait-il pas alors intéressant d'apprendre sur un animal... vivant ? Il ne s'agit pas ici de vivisection, mais plutôt d'apprendre avec l'animal, sans lui occasionner de souffrance. Une nouvelle méthode d'apprentissage de l'anatomie se profile alors...

#### 4) Le body painting ou la peinture corporelle

##### a) L'art, l'animal et la science

Comme cela a été montré jusqu'ici, de nombreuses méthodes ont été mises en avant au cours des dernières décennies, pour améliorer l'instruction de l'anatomie humaine et vétérinaire. [8, 53, 54]. Elles ont pour objectif d'être plus attrayantes et pédagogiques pour les étudiants afin d'optimiser leurs capacités d'apprentissage. Elles leur offrent cependant peu de possibilités en termes d'application pratique sur des corps vivants et en mouvements. Op den Akke et al., ont alors poussé l'innovation jusqu'à l'utilisation de peinture corporelle pour enseigner l'anatomie humaine, en dessinant les structures sur les corps des étudiants [51] (Figure 57).

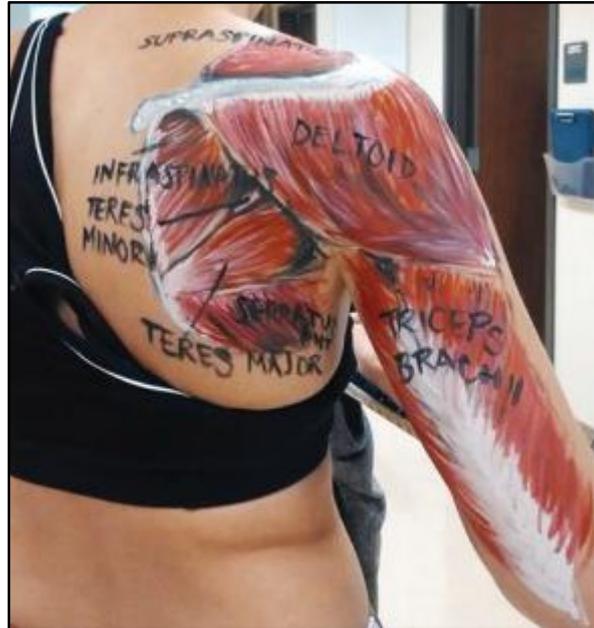


Figure 57 : Body painting des muscles de l'épaule sur une étudiante (Bennett [6]).

L'idée est alors parvenue jusqu'à la médecine vétérinaire, en particulier dans le domaine équin, où elle connaît une popularité croissante pour mettre en relation les connaissances théoriques des élèves et la pratique. Cependant, la peinture sur animaux vivants est une nouvelle stratégie rarement utilisée dans l'enseignement vétérinaire, comme le reflètent les quelques études rapportées [51, 54]. Plusieurs professeurs curieux d'étudier l'efficacité de cette nouvelle méthode auprès de leurs élèves, ont ainsi mis en place dans leurs universités des expériences basées sur l'apprentissage de l'anatomie en médecine vétérinaire par le biais du body painting.

Au Brésil, une université a testé cette technique pour l'appareil locomoteur équin, à l'aide de quatre chevaux peints, qu'une vingtaine d'étudiants ont pu observer et palper aux côtés de leur professeur [53]. Cette séance de travaux pratiques a fait suite aux deux cent heures de cours magistraux et dissections sur l'appareil locomoteur des animaux domestiques, qui sont les méthodes classiques d'enseignement. Les élèves ont ensuite passé un examen nécessitant de nommer des zones anatomiques précises sur des chevaux non peints. Les enseignants ont relevé un très grand enthousiasme chez les étudiants au cours de la séance et une envie forte de participer à l'activité, tout en étant respectueux du cheval, avec des gestes doux et calmes à son égard et un comportement proactif pour procéder à leurs douches en fin de séance.

L'autre partie de la promotion n'ayant pas participé à la séance de body painting a sollicité leurs enseignants pour que d'autres séances soient créées. Les résultats observés ont été cohérents avec ceux rapportés pour l'utilisation de la peinture corporelle dans les écoles de médecine humaine [53]. Enfin l'efficacité de cette méthode dans l'apprentissage de l'identification des structures s'est révélée excellente puisqu'elle est passée de 28,5% de réussite avant la séance à 100% après sa réalisation. Toutefois cet examen n'engage que la

mémoire à court-terme, il serait intéressant d'étudier la rétention des connaissances des étudiants suite à cet entraînement sur une période plus longue.

C'est ce paramètre que l'école vétérinaire colombienne de l'Université d'Antioquia a souhaité explorer en soumettant à ses élèves des travaux de body painting sur des chevaux et des vaches, basés sur les systèmes locomoteur et nerveux ainsi que la splanchnologie c'est-à-dire les viscères [54]. Les étudiants ont été soumis à trois examens : un pré-test et un post-test par rapport à la séance de body painting pour la splanchnologie et un autre sept semaines après pour évaluer cette fois leurs connaissances sur les systèmes locomoteurs et nerveux. Les élèves ont donc préparé la séance à l'avance, peint le cheval par petits groupes accompagnés d'un enseignant pour les guider et présenté ensuite leur travail à leurs camarades. La principale erreur des étudiants était de sous-estimer la taille d'organes comme les poumons, le rumen ou le cæcum du cheval [54].

Ils ont rapporté que la session de body painting était intéressante, agréable, pertinente pour leur pratique future et ont considéré que c'était un outil efficace pour intégrer et retenir ce qu'ils apprenaient lors des cours théoriques [54]. Ils ont par la suite suggéré d'augmenter le nombre de séances et de l'étendre si possible aux petits animaux [54]. En termes de résultats scolaires, une augmentation significative des scores a été relevée entre les tests de splanchnologie antérieurs et postérieurs à la séance de peinture, de même que pour le test effectué sur le long terme par la suite. Le body painting semble donc participer à la mémorisation des connaissances sur une longue période pour les élèves. Toutefois, un plus grand nombre d'essais serait nécessaire pour attester de la véracité de cette constatation.

#### b) Enseigner avec des pinces ?

L'avantage principal qui ressort de l'utilisation du « animal » painting est son attractivité et sa capacité à rendre agréable, intéressant et stimulant l'enseignement de l'anatomie [54]. Les élèves apprécient d'autant plus cette activité car elle se déroule en extérieur. Pour eux, il y a un contraste avec les cours magistraux et/ou la dissection par exemple, qui présentent un intérêt décroissant par leur monotonie, la passivité des élèves pendant l'enseignement et le manque d'applications cliniques ou pratiques [53].

De plus, les premières années du cursus restent très théoriques ce qui démotive parfois les étudiants, avides de découvrir leur future profession. Le body painting offre donc un contact direct avec l'animal qui stimule leurs perceptions futures des cliniques. En travaillant avec l'animal vivant, la peinture corporelle offre pour la première fois une approche à la fois statique et dynamique de l'anatomie [51].

Le body painting présente une application plus concrète à l'animal grâce à la mise en mouvement des couleurs lorsqu'il se déplace, ce qui favorise par exemple la compréhension des fonctions de chaque muscle et la synergie qui s'établit entre eux lors de la locomotion [53] (Figure 58). Les élèves peuvent également associer les repères osseux en surface avec les structures anatomiques sous-jacentes, comme la surface d'auscultation des poumons. Ce marquage visuel sera important pour faire un examen général efficace dans les années à venir, les études rapportant de grosses lacunes concernant les connaissances anatomiques topographiques chez les étudiants cliniciens [54]. Ce manquement peut s'expliquer par

l'utilisation de prosections ou de modèles physiques utilisés de façon non guidée et qui peuvent semer la confusion chez les élèves puisqu'ils sont présentés sans lien avec d'autres organes ou systèmes, à l'inverse du body painting [51].



Figure 58 : Peinture corporelle du squelette du cheval lors d'un saut d'obstacle (Horses Inside Out [20]).

Cette méthode ludique est également productive en termes d'apprentissage pour les élèves, d'autant plus s'ils participent à l'élaboration de la peinture [54]. Dans ce cas, l'acte de peindre fait appel à leur mémoire kinesthésique ce qui semble augmenter la rétention des informations à long terme. Cela améliore également la mémorisation des images visuelles et la localisation des structures, le tout étant renforcé par l'association de couleurs que permet la peinture [8, 54]. Le body painting met donc en jeu plusieurs sens comme la vision et le toucher ce qui en fait un outil multimodal idéal pour l'apprentissage à long terme, comme l'on constaté Ward et Walker [51]. Ces scientifiques ont indiqué que la mémoire sur une longue période est conditionnée par la façon dont l'étudiant acquiert cette connaissance : plus il utilise des approches complémentaires et mieux il mémorise [54].

Sur le plan intellectuel, cette technique réduit également la surcharge cognitive en simplifiant des régions anatomiques complexes à l'inverse du matériel didactique couramment utilisé qui les augmente [54]. La représentation de la réalité peut alors être moins fidèle mais elle cible les informations pertinentes que l'étudiant doit mémoriser pour atteindre l'objectif pédagogique fixé [8].

Un autre apport du body painting est qu'il performe l'examen physique et par conséquent clinique que les étudiants réalisent. Ils observent en effet en temps réel sur le cheval la projection des organes qu'ils auscultent lors de la consultation et qui ne sont pas directement palpables chez cette espèce (Figure 59). Les étudiants acquièrent donc par la peinture corporelle une meilleure appréciation de leur position, leur taille et leur forme ; ce qui leur évite d'aborder les cliniques avec des connaissances souvent faibles dans ce domaine comme cela a pu être rapporté [8, 53]. Cet exercice améliore donc leur confiance en leurs connaissances en anatomie puisqu'ils travaillent directement avec l'animal vivant [53].



*Figure 59 : Tractus digestif du cheval par la technique de horse painting à l'ENVT.*

Le body painting sur les grands animaux est également un moyen de familiariser les étudiants à travailler avec une espèce comme le cheval par exemple, qui est parfois impressionnant pour les novices du monde équin, le tout dans un environnement exempté de pression et encadré [54]. L'idéal est de former un groupe avec un étudiant habitué à interagir avec le cheval pour rassurer les autres. Cette première rencontre rend ainsi les élèves plus confiants et sereins pour aborder les futures rotations cliniques avec ces animaux.

Néanmoins, le « animal » painting reste une méthode alternative minoritaire parmi celles évoquées jusqu'ici. Selon les professeurs, elle ne peut être une substitution aux enseignements classiques apportés, de par ses contraintes temporelles et pratiques [53]. C'est en revanche une méthode alternative à ajouter dans le programme d'anatomie afin d'apporter un apprentissage multimodal aux étudiants [54]. De plus c'est une méthode qui ne donne pas de sensation de relief, en dehors du corps du cheval et ne participe donc pas à l'acquisition d'images en trois dimensions pour l'étudiant alors qu'elle est nécessaire pour une bonne compréhension anatomique de l'animal [53].

Un autre facteur à prendre en compte dans la pratique du body painting est l'aspect de la sécurité [54]. Cette manipulation se réalise souvent avec un cheval, animal grégaire, qu'il faut savoir aborder avec une bonne connaissance de ses signaux de communication afin de travailler en sécurité. La prudence est de rigueur, il est nécessaire d'être attentif aux réactions de l'animal qui peut être sensible et réagir fortement à la palpation de certaines zones ou encore être inquiet face à l'agitation autour de lui. Certaines régions anatomiques comme l'arrière main ou la tête peuvent ou doivent ainsi être évitées afin de limiter les risques pour les élèves. Une contention physique adéquate peut être nécessaire sans exercer de contraintes néfastes au cheval. Le fait de travailler avec un animal vivant doit donc être pris en compte et le nombre d'étudiants autour du cheval doit être adapté pour ne pas le stresser et rendre le travail dangereux. Cela demande notamment un grand nombre d'animaux pour

proposer cette activité à des promotions de centaines d'étudiants, ce qui est un frein à sa réalisation pratique [8, 54].

La question du bien-être animal est donc soulevée par cet enseignement de l'anatomie [51]. En effet selon la peinture utilisée, qui n'a pas toujours été hypoallergénique par exemple, il y a un risque d'induire chez le cheval des affections dermatologiques ou encore d'irriter ses voies respiratoires avec les effluves de peinture [51]. Il est fondamental de prendre le temps de doucher et soigneusement rincer l'animal à la fin de la séance, afin d'éviter en conséquence toute réaction potentielle à la peinture. Un autre problème lié à l'utilisation de ce matériau est que la peinture reste fragile surtout si les élèves procèdent ensuite à des palpations, auquel cas elle sera endommagée [51]. Cette méthode n'est donc pas pérenne dans le temps et nécessite d'être réalisée à chaque séance.

Un autre inconvénient, artistique cette fois, dépend de la qualité du pelage qui ne doit pas être épais ou à poil longs car cela gêne l'application de la peinture [54]. Il peut également y avoir un souci de fidélité quant à la représentation de l'anatomie sur le cheval lorsque les étudiants sont temporellement limités et doivent se dépêcher ou s'ils ne disposent pas de bonnes capacités artistiques [51, 54]. Le body painting constitue en cela une méthode sujette à la réflexion car elle propose de nombreux avantages mais aussi des inconvénients (Tableau 19).

Tableau 19: Avantages et inconvénients de la peinture corporelle.

LE BODY PAINTING	
Avantages	Inconvénients
Attractif, agréable, stimulant	Fidélité de la représentation variable
Implication de l'étudiant	Vision en deux dimensions
Contact avec l'animal	Aspect sécuritaire de l'activité
Approche dynamique et statique	Beaucoup d'animaux pour la réaliser
Relations topographiques	Question du bien-être animal
Apprentissage productif pour la pratique clinique	Peinture fragile, difficilement manipulable
	Nécessité de bonnes qualités artistiques
	Préparation longue

### c) Les dérivés du body painting

Afin de répondre aux contraintes soulevées par le body painting sur le cheval, une étude a proposé un nouveau prototype inspiré de cette technique [51]. L'idée est de construire un vêtement en élasthane sur-mesure recouvrant parfaitement le corps du cheval

et sur lequel les étudiants pourront peindre sans la contrainte du pelage ou d'endommager la peinture (Figure 60). L'utilisation d'un tissu extensible, confortable, résistant aux tensions exercées par le cheval et pouvant être soumis à un usage répété a orienté ce choix [51].

La peinture acrylique utilisée est pérenne et adhésive afin que le vêtement puisse être lavé sans s'abîmer. Dans le cadre de cette expérience, les systèmes osseux et musculaire ont été peints pour un projet final peu onéreux (environ deux cent cinquante euros).

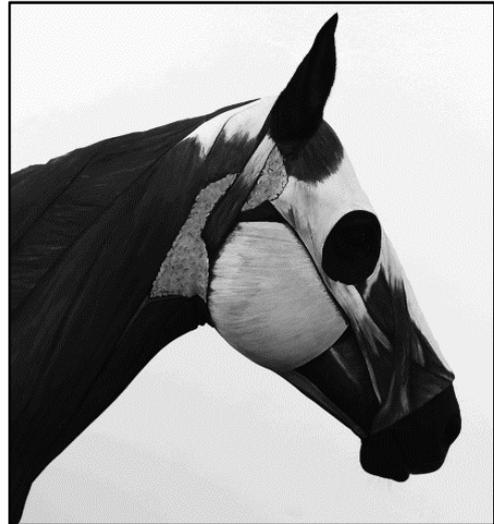


Figure 60 : Peinture des muscles de la face sur un vêtement (Sattin [51]).

Le vêtement apporte les mêmes avantages que la peinture corporelle puisque les élèves peuvent voir et toucher l'animal ce qui en fait une excellente alternative d'enseignement [51]. Elle supplante le body painting par la possibilité de réutiliser le vêtement à plusieurs reprises et de représenter dessus différents systèmes sans perdre du temps à peindre l'animal à chaque fois. L'autre bénéfice pour le bien-être animal est que les chevaux sont habitués à porter des couvertures et donc cette méthode, avec un tissu doux et léger, n'engendre pas de stress chez eux et diminue l'exposition à de longues séances de peinture répétées. Les vêtements peuvent aussi se superposer pour révéler à l'étudiant au fur-et-à-mesure de la démonstration, la perspective de couches de plus en plus profondes.

Quelques limites persistent toutefois comme la nécessité de manipuler avec délicatesse le vêtement et de le conserver au sec, au risque de voir le tissu s'humidifier et créer une dermatite de contact chez le cheval par la suite [51]. Cette méthode requiert à nouveau des étudiants avec de bonnes qualités artistiques pour reproduire fidèlement le modèle en prenant en considération les propriétés du tissu pour que les structures représentées coïncident avec leur position anatomique naturelle. Pour cela, le cheval doit porter le vêtement au moment de la peinture ce qui peut malgré tout occasionner du stress chez l'animal. Cette méthode constitue malgré tout une alternative prometteuse au body painting et tend à être explorée.

L'autre technique qui montre des similitudes avec le body painting est le tapis d'anatomie équine nommé « Anato-Rug », présentant les structures anatomiques nécessaires à l'auscultation cardiaque, pulmonaire et gastro-intestinale [8]. Il a été l'un des premiers modèles physiques conçus pour être appliqué sur le cheval vivant. Un tapis extensible est utilisé sur lequel des morceaux de tissus représentant différentes structures ont été ajoutés et étiquetés à l'aide de velcro. Lors de la mise en pratique avec des étudiants, ceux ayant travaillé avec le tapis ont eu des résultats significativement plus élevés à court terme que les étudiants qui n'ont travaillé qu'avec un manuel ; ce qui avait jusque-là été controversé par d'autres études. Aucune différence à long terme n'a été rapportée. Le tapis d'apprentissage a rapporté les mêmes avantages que le body painting : attractivité, plaisir, compréhension, vue d'ensemble... (Figure 61). Cette méthode a eu un prix inférieur au vêtement présenté ci-dessus. Toutefois, la limite de ce procédé réside dans le fait que le tapis n'a pas été testé sur

un vrai cheval mais sur un mannequin grandeur nature. Il serait intéressant d'expérimenter l'Anato-Rug sur un cheval vivant pour tirer les bénéfices du contact avec l'être vivant. Le but ici était de créer un lien entre l'enseignement préclinique théorique et l'acquisition de connaissances nécessaires et adaptées à la pratique [8].

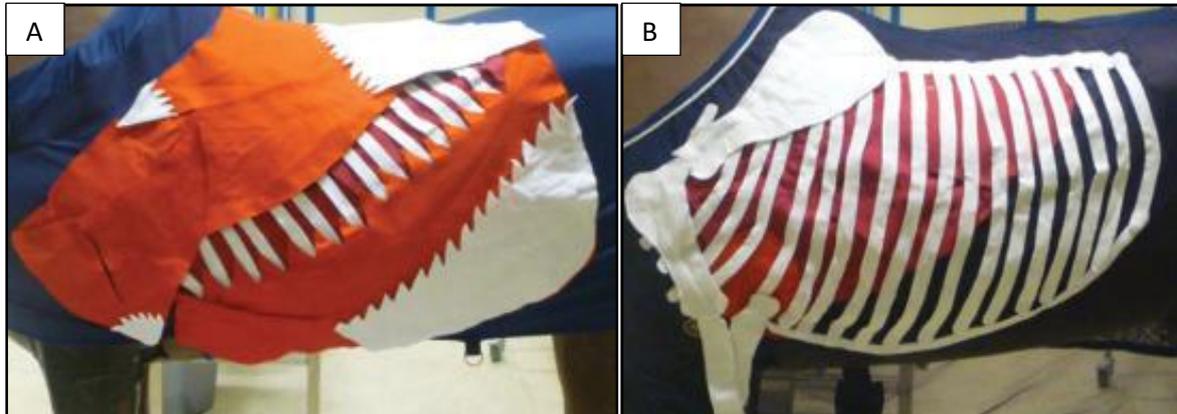


Figure 61 : Présentation de deux couches du tapis Anato-Rug (A) les muscles superficiels (B) le squelette, le cœur et les poumons (Braid [8]).

L'avantage de ces deux projets est que le modèle peut être physiquement et rapidement placé sur le cheval et ainsi utilisé n'importe quand, pendant un cours d'anatomie tout comme lors d'une consultation, pour expliciter l'anatomie aussi bien à l'étudiant qu'au propriétaire [8]. Le body painting est donc une méthode à approfondir pour ne plus apprendre de l'animal, mais avec lui, afin de peut-être révolutionner l'enseignement de demain.

### III. PARTIE EXPÉRIMENTALE : RÉALISATION DE HORSE PAINTING POUR LES SYSTÈMES SQUELETTIQUE, MUSCULAIRE ET NERVEUX À L'ENVT.

#### 1) Objectifs

Le but de ce projet est de réaliser des peintures représentant des systèmes anatomiques sur un cheval, afin d'explorer le potentiel du body painting comme méthode d'apprentissage alternative de l'anatomie en médecine vétérinaire.

Les études présentées au cours de cette thèse convergent toutes vers la même conclusion qu'il faut renouveler l'enseignement de l'anatomie pour performer à la fois son apprentissage mais également la rétention des connaissances sur le long terme. Une partie du corps enseignant souhaite s'émanciper de la dissection et part donc en quête de nouvelles techniques qui sauront captiver les étudiants, afin de rendre l'instruction de cette matière plus attractive, mais également plus pertinente dans la façon d'enseigner, en voyant au-delà de la salle classe, jusqu'à la future carrière des étudiants.

Le module Anatomie de l'ENVT dispose d'ores et déjà d'un enseignement multimodal au travers des cours magistraux, des dissections, des modèles physiques ou encore de la salle de simulation récemment mise en place. Le choix d'approfondir la technique du body painting est lié tout d'abord à son attrait qu'offre le travail avec un animal vivant ainsi que l'opportunité d'apprendre cette discipline de façon dynamique.

L'objectif de cette expérimentation est de chercher une présentation plus appliquée du rôle des structures anatomiques dans la physiologie du cheval en observant leur position directement sur l'animal et lors de ses déplacements. L'autre finalité est d'étudier la praticité de cette technique et la possibilité de sa réalisation dans le programme d'enseignement.

Cette partie vise à présenter l'ébauche d'une méthode d'apprentissage qui allie savoir et plaisir, aux côtés de ce qui est au cœur de notre profession : l'animal.

#### 2) Matériel et méthodes

##### a) Les chevaux

Pour la réalisation du body painting, le cheval a été choisi comme animal modèle. C'est une espèce de grande taille qui offre des dimensions correctes pour travailler et qui est habituée aux manipulations.

L'élaboration de ce travail a été permis grâce au Centre Équestre et à la Clinique Équine de l'ENVT qui ont mis à disposition leurs chevaux et infrastructures pour les séances de peinture corporelle. Trois équidés ont participé à ce travail (Figure 62) :

### Portraits des chevaux qui ont participé au projet de horse painting de l'ENVT

Doris



Jument, 8 ans  
Trotteuse

Usky de Larouquette



Hongre, 13 ans  
Pur-sang anglais

Keprash



Hongre, 14 ans  
Demi-sang arabe

Figure 62 : Portrait des chevaux ayant participé au projet de horse painting de l'ENVT (Clinique équine [55]).

Doris est une jument de travaux pratiques de la Clinique Équine tandis qu'Usky et Keprash sont des chevaux du Centre Équestre. Ce sont des animaux calmes, doux et habitués aux manipulations par les étudiants. L'idéal est de les peindre dans un environnement qu'ils connaissent et sans agitation autour d'eux afin d'éviter de les rendre nerveux. Il faut également s'assurer de leur bon état de santé, particulièrement sur le plan dermatologique. Ces chevaux doivent être sélectionnés avec les responsables des structures ayant eu connaissance du projet pour choisir les animaux adéquats.

#### b) Matériel

Au préalable, du matériel de pansage, un licol et une longe sont essentiels pour préparer le cheval et assurer une contention adéquate pendant la séance. La peinture utilisée est de la gouache tempera de LEFRANC & BOURGEOIS ND, en format d'un litre. L'ensemble des peintures réalisées au cours de projet, toutes couleurs confondues, aura nécessité environ cinq litres de produit. Ce modèle a été sélectionné pour sa facilité de lavage à l'eau savonneuse, primordiale pour la douche des chevaux. Les couleurs que possède le service d'Anatomie de l'ENVT sont le blanc, noir, rouge, jaune, vert, bleu et marron. La peinture a été appliquée à l'aide de pinceaux de différentes tailles :

- Un panel d'une dizaine de pinceaux plats fins de différentes tailles
- Trois pinceaux à brosse plate de grandes tailles
- Un pinceau d'angle de taille moyenne

La peinture est répartie et mélangée si besoin dans des gobelets. Un seau d'eau, des éponges et de l'essuie-tout sont conseillés pour corriger les erreurs peintes sur le cheval et nettoyer le

matériel lors des changements de couleurs. Il est recommandé de porter des vêtements pouvant être tâchés pendant la séance et d'utiliser un tissu pour poser le matériel de peinture dessus afin de préserver la propreté des locaux.

A la fin de la séance, des photos et/ou vidéos sont prises afin de garder une trace du dessin anatomique pour l'utiliser comme support d'enseignement ultérieurement. Elles ont été réalisées avec un appareil photo NIKON D3500 ND. Une fois finies, le cheval est douché et savonné à l'aide de SAVON DE MARSEILLE ND, pH neutre sans odeur, sous forme dure ou liquide au choix des étudiants.

La productivité de ce travail repose en grande partie sur l'entente entre le peintre et le cheval, il est donc vivement recommandé d'apporter des friandises à lui offrir pendant la séance. Le but est de faire du renforcement positif avec l'animal en associant la peinture à un moment agréable pour lui.

### c) Méthode

Ce projet n'a pas été soumis à un comité d'éthique mais des dispositions en regard du bien-être animal ont été décidées. Les séances de horse painting se sont déroulées entre Avril et Septembre lorsque les conditions météorologiques le permettaient, c'est-à-dire en l'absence de pluie ou forts vents et si les températures étaient correctes pour doucher entièrement un cheval qui serait par la suite remis au pré. Un même animal n'était pas peint plus de deux fois par semaine et jamais deux jours de suite pour éviter une aversion envers l'activité. L'étape de la peinture corporelle ne durait pas plus de trois heures. Tout signe d'impatience, de stress ou d'énervement venant du cheval était pris en compte dans le choix de la poursuite du travail. Idéalement, la peinture est testée au préalable sur une zone de la peau de l'équidé afin de s'assurer de l'absence de réactions cutanées.

Le cheval était installé dans un endroit calme, dans une stalle en extérieur ou un espace assez vaste. Le choix du lieu est important pour que l'animal ne soit pas stressé et pour limiter les risques de frottement contre des murs ou barres qui abîmeraient la fresque réalisée. Les étudiants procédaient ensuite à un pansage complet et nattaient si besoin les crins selon les régions du corps peintes. Du foin était mis à disposition du cheval et réapprovisionné durant toute la séance afin de limiter son ennui. Le matériel de peinture était ensuite installé sur un tissu à l'écart de l'animal.

Le dessin anatomique à peindre était préalablement imprimé plusieurs fois en format A3 afin que chaque étudiant dispose d'un exemplaire. En effet, la plupart des peintures représentées ici ont nécessité l'intervention de deux à trois élèves afin de mener à bien le projet dans un laps de temps assez court, pour le bien-être du cheval. Les modèles utilisés pour peindre ont été inspirés de plusieurs ouvrages, afin de combiner les différentes schématisations et représentations anatomiques qu'ils proposaient.

Le livre *Anatomie du cheval et performances – un guide pratique pour connaître son cheval* crée par Gillian Higgins et Stéphanie Martin [19] dépeint l'utilisation du body painting sur des chevaux, à travers la représentation anatomique de l'ensemble des systèmes qui le constituent. Le but pour l'auteure est de faciliter la compréhension de l'anatomie des équidés,

de façon ludique, pour une meilleure harmonie du couple cheval-cavalier lors du travail. Ce dernier peut aborder la dynamique de son animal sous un angle nouveau grâce aux bases de physiologie et d'anatomie acquises par le livre, afin de répondre aux besoins de son animal pour améliorer ses performances. C'est un recueil riche en tableaux de peinture corporelle, réalisés avec une grande minutie et qui offre un large aperçu du potentiel de cette technique d'apprentissage.

L'atlas *Spurgeon's color atlas of large animal anatomy – The Essentials* écrit par Thomas O. McCracken and al. [38] présente sur des images entières de l'animal, les différents systèmes anatomiques qui le compose. Les animaux mis en avant dans ce livre sont les chevaux, les ruminants, les volailles et les porcs. Tour à tour, les planches dévoilent le squelette, les muscles ou encore le système nerveux à travers des images colorées et de grande taille pour une bonne appréciation des structures anatomiques. Le fait de proposer une topographie complète de l'animal facilite la compréhension des relations entre les différents appareils, ce qui en fait un bon support d'apprentissage visuel.

Ces mêmes auteurs à l'exception de Thomas L. Spurgeon, ont rédigé le *Horse Anatomy – A coloring Atlas* [25] qui présente l'anatomie du cheval avec des dessins simples en noirs et blancs à colorier. Au-fur-et-à-mesure de l'avancée dans le livre, chaque région est décrite dans son ensemble puis chacun de ses constituants est détaillé. Des textes expliquent les structures présentées qui sont légendées. Les systèmes sont abordés tour à tour, du système reproducteur au système nerveux. L'étudiant peut ainsi colorer les structures qui lui paraissent pertinentes à sa guise afin de créer un ouvrage anatomique adapté à ses besoins.

Le livre *Textbook of Veterinary Anatomy, Fourth edition* écrit par Dyce, Sack et Wensing [15] expose les différents appareils anatomiques à travers plus de huit cent pages. Il aborde les bases de la discipline, ainsi que des notions de physiologie en présentant les fonctions des différents organes qui composent les appareils urinaires, digestifs et bien d'autres encore. Les explications se trouvent au fil des textes agrémentés de schémas légendés qui composent le recueil. Puis, l'anatomie propre à chaque espèce est détaillée, région par région, avec leurs spécificités anatomiques propres. Ainsi, le chat, le chien, le cheval, les ruminants, les oiseaux et le porc sont regroupés au sein de ce livre riche en connaissances.

Une fois l'élaboration du dessin terminée, le cheval peut être peint. Les représentations du squelette débutent par la peinture des os en blanc, puis une fois sèche, les contours peuvent être réalisés avec la gouache noire. Pour les muscles, un éventail de teintes rouges est utilisé. Enfin les structures particulières sont mises en valeur par les autres couleurs comme le vert, le bleu.... Pour ce projet, des chevaux de robes différentes ont volontairement été sélectionnés pour mettre en valeur les structures peintes : le squelette blanc ressort mieux sur des chevaux à robe sombre et inversement les muscles rouges sont plus appréciables sur un pelage clair.

La séance de horse painting peut ainsi avoir lieu, tout en veillant au bien-être du cheval. Il faut être attentif à ses signes d'agacement ou d'impatience et respecter ses zones sensibles, comme la tête, le passage de sangle ou encore le ventre. Une fois le travail terminé, les photos sont prises de façon statique ou dynamique selon l'intérêt pédagogique du dessin. Si le cheval est en mouvement, la réalisation d'une vidéo peut être intéressante pour appuyer la fonction

des structures anatomiques dans les déplacements de l'animal. Ensuite, le cheval est lavé à l'aide d'un jet d'eau, d'éponges et de savon pour ôter la peinture. Des brosses de pansage peuvent également être utiles pour frotter plus efficacement le poil du cheval. Cette étape ne doit pas être négligée pour éviter toute potentielle affection dermatologique après le horse painting. Si l'ensemble de l'animal est peint, la douche dure environ une demi-heure. A la fin de celle-ci, un couteau de chaleur permet d'éliminer le surplus d'eau présent sur le cheval.

Avant de le remettre au pré, l'animal est marché en main pour le faire brouter tranquillement afin de le laisser sécher. Cela permet également de lui offrir un moment de détente pour le récompenser de sa patience au cours de la séance et associer ce moment à un évènement positif pour lui.

### 3) Résultats

#### a) Le squelette du cheval

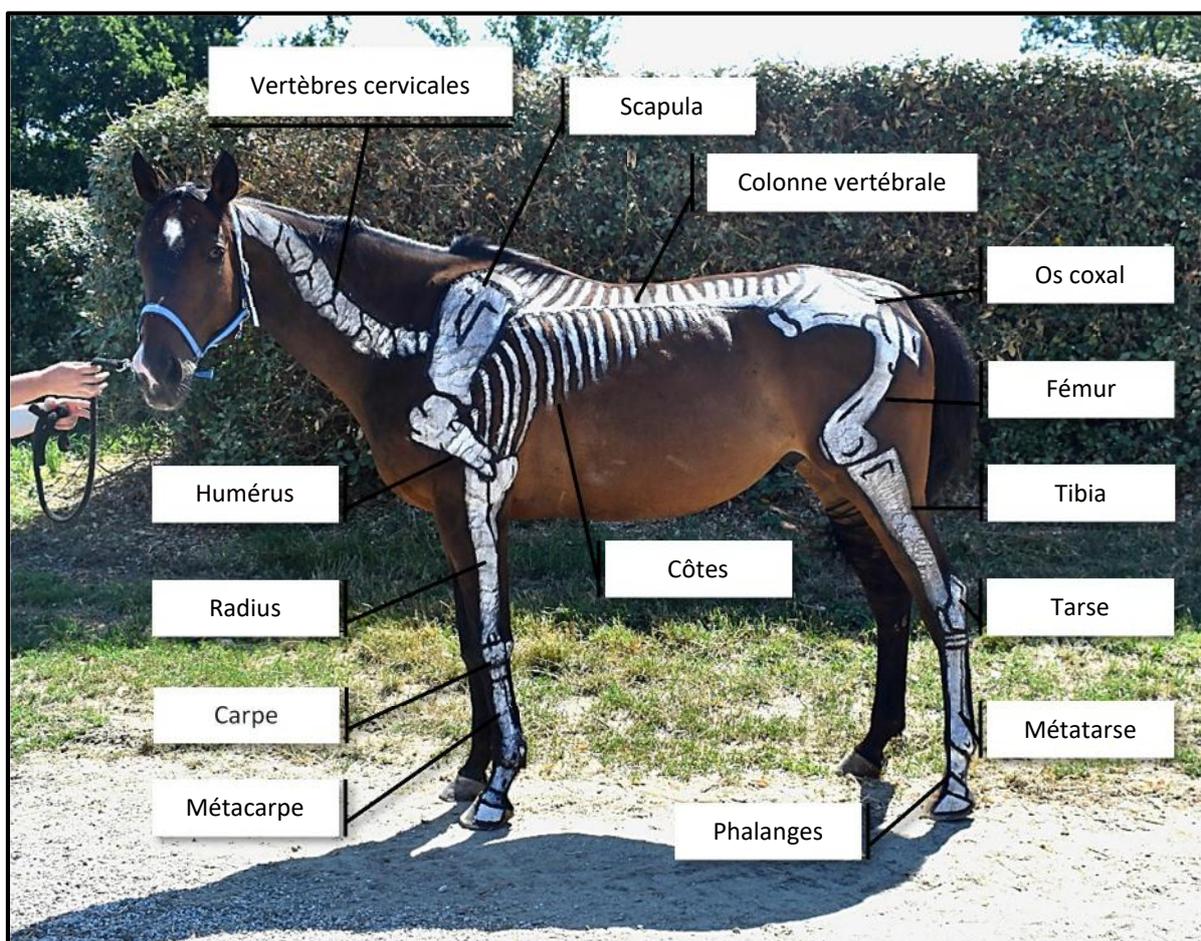


Figure 63 : Le squelette du cheval par la technique de horse painting.

La peinture représentée ci-dessus met en avant les principaux constituants osseux du squelette du cheval (Figure 63). Des photos en position statique ont été réalisées mais l'intérêt de cette peinture réside également dans la mise en mouvement du cheval pour observer sa locomotion. L'étudiant peut observer la biomécanique osseuse qui permet à l'animal de se déplacer et ainsi avoir une meilleure appréciation des différentes allures.

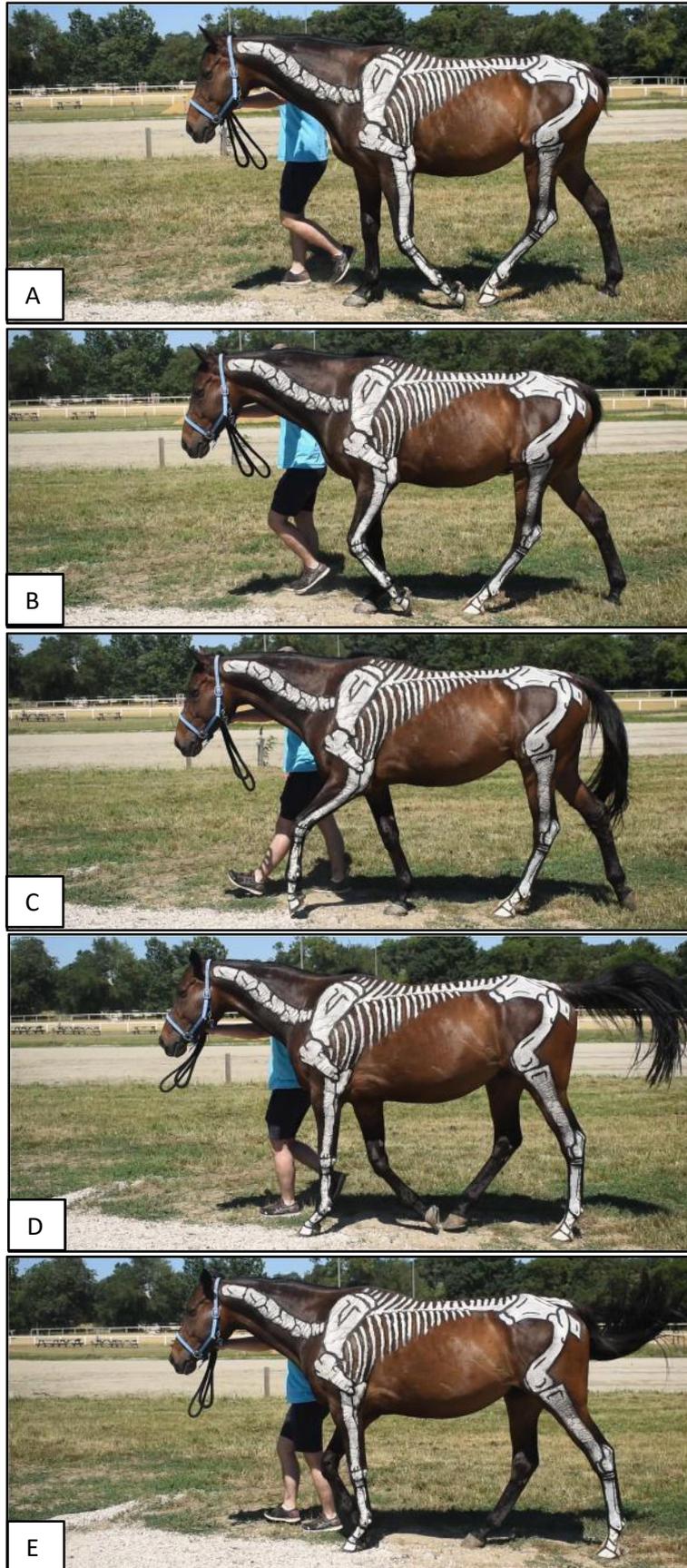


Figure 64 : Étapes de la biomécanique du pas du cheval : (A) postérieur gauche en abord de la foulée, (B) (C) phase antérieure de la foulée du poser à la verticale, (D) phase d'appui, (E) phase postérieure de la foulée de la verticale au breakover.

Le pentaptyque ci-dessus (Figure 64) représente le pas qui est une allure naturelle symétrique à quatre temps. Elle est accompagnée d'un mouvement de balancier de l'encolure qui a un rôle dans l'équilibre du cheval. Ce dernier a toujours au moins deux membres au sol en même temps et l'amplitude des mouvements est régulière. L'organisation du pas se fait ainsi : antérieur droit, postérieur gauche, antérieur gauche, postérieur droit...

## b) Le système musculaire

Tout d'abord, une séance de horse painting a été consacrée à l'illustration des muscles superficiels et profonds du cheval (Figure 65).

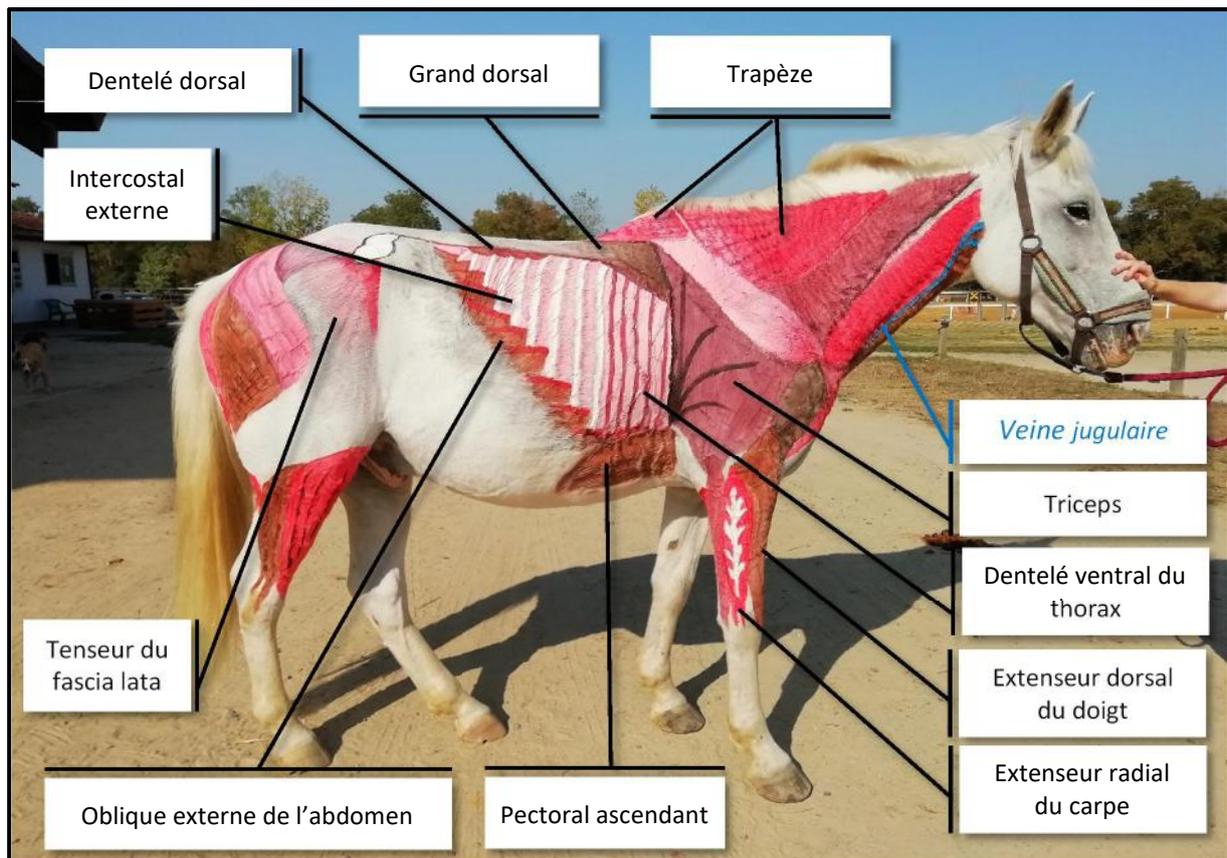


Figure 65 : Les muscles superficiels du cheval par la technique de horse painting.

Afin de mieux étudier certaines régions complexes, des photos plus ciblées ont pu être réalisées puis légendées (Figures 66 et 67). Une fresque des muscles profonds du cheval a été peinte lors d'une autre séance (Figure 68).

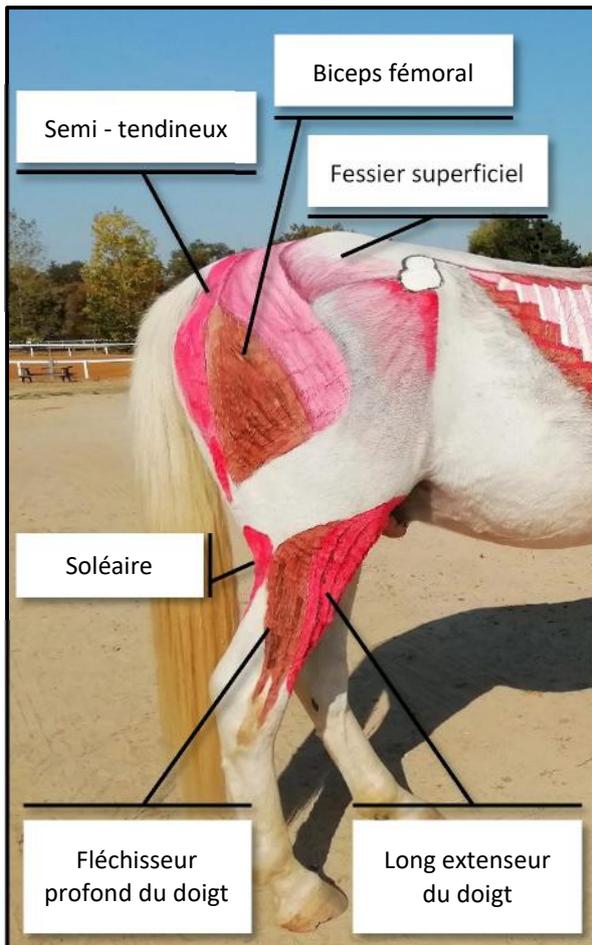


Figure 66 : Quelques muscles de l'arrière-main du cheval par la technique de horse painting.

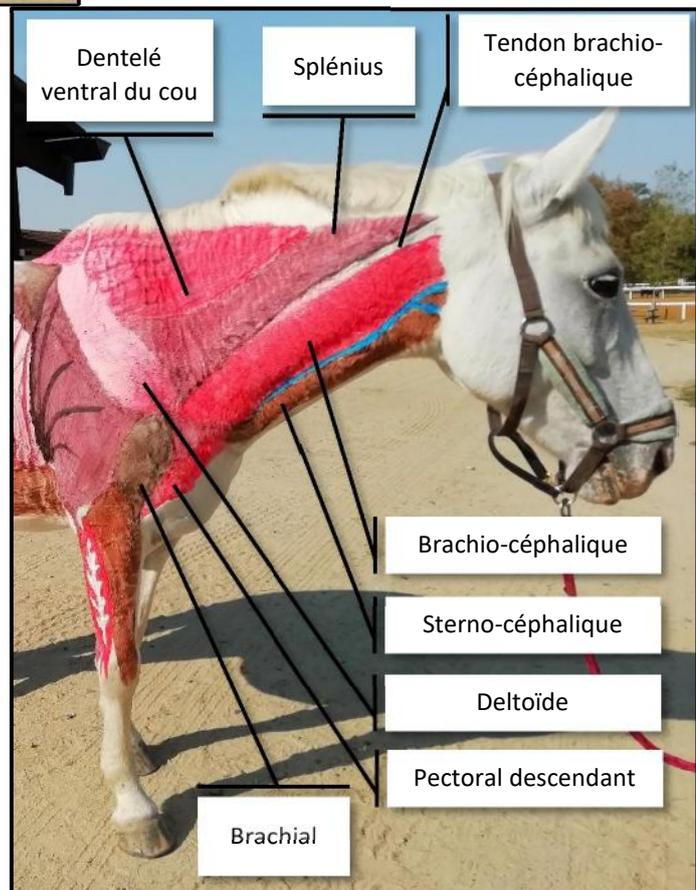


Figure 67 : Quelques muscles de l'avant-main du cheval par la technique de horse painting.

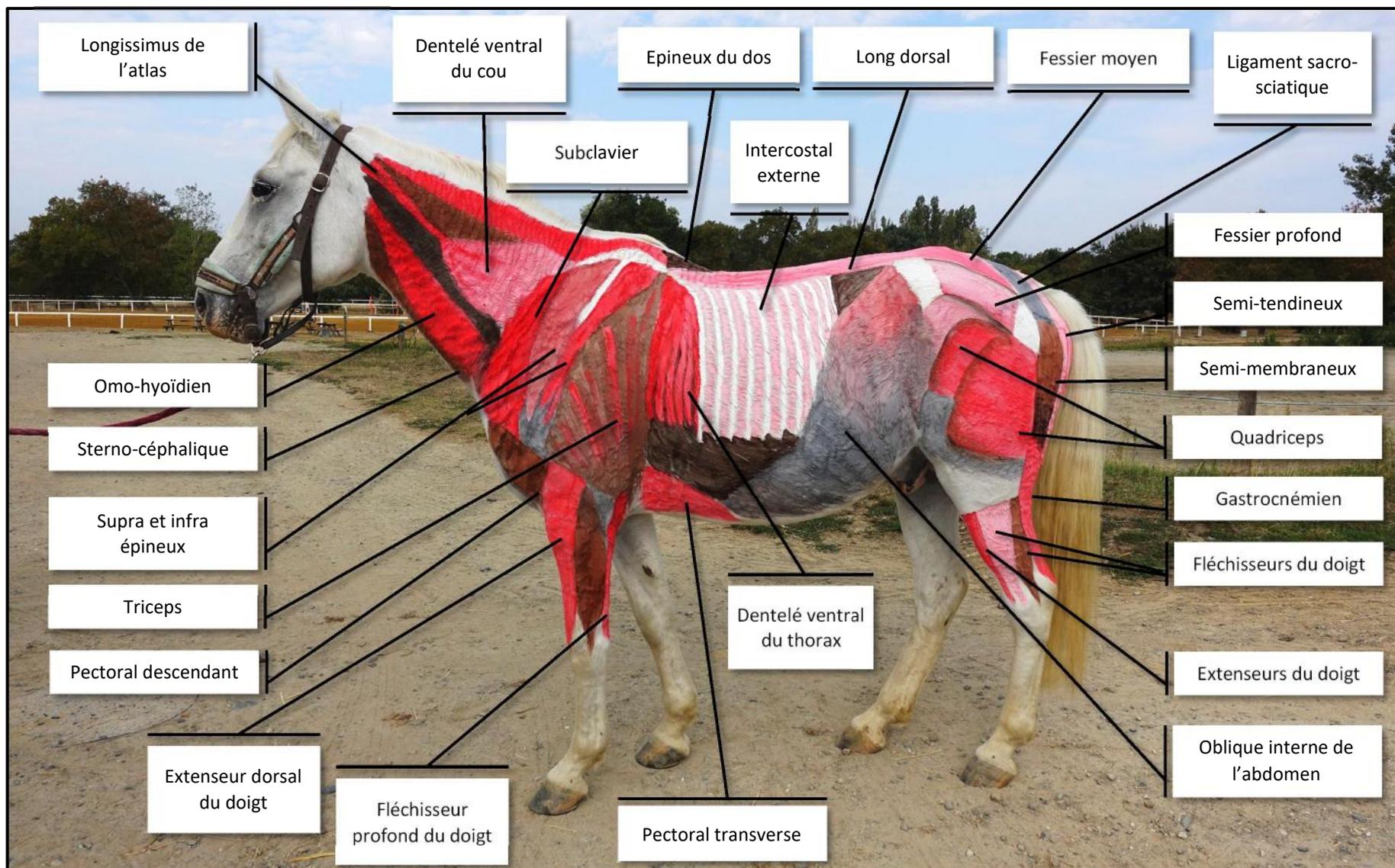


Figure 68 : Les muscles profonds du cheval par la technique de horse painting.

Pour mettre en mouvement l'animal, les muscles vont travailler ensemble ou en opposition selon leurs différentes fonctions, sous forme de chaînes musculaires (Figure 69). Celle de la ligne du dos et de l'arrière main favorisera l'extension et la propulsion du corps du cheval tandis que les muscles en région ventrale, comme les abdominaux, participeront plutôt à la flexion et la stabilité de la colonne.

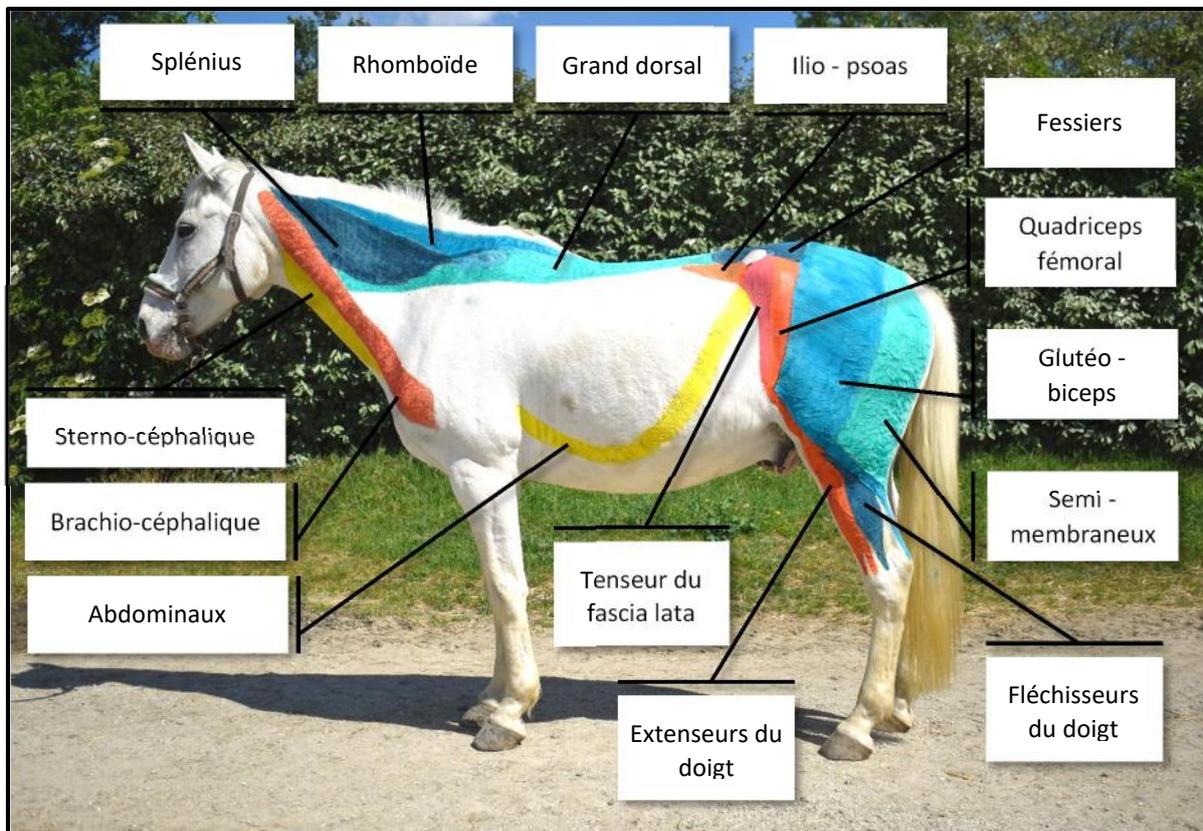


Figure 69 : Les chaînes musculaires du cheval par la technique de horse painting.

Les membres postérieurs du cheval possèdent une particularité mécanique qui relie passivement et de façon simultanée, les articulations du grasset et du jarret. A l'aide du tibia, du muscle 3<sup>ème</sup> péronier et du tendon fléchisseur superficiel du doigt (tFSD), elles vont se mettre en mouvement selon un principe de synergie : c'est ce que l'on appelle « l'appareil réciproque » (Figure 70).

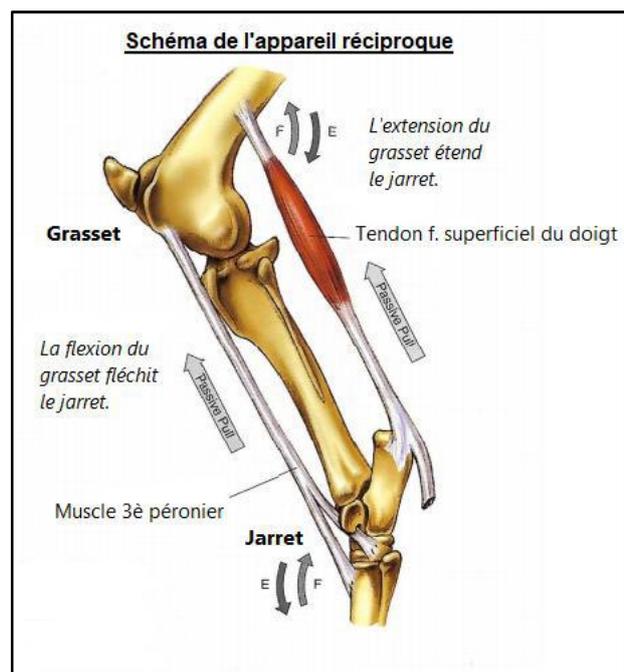


Figure 70 : Schéma de l'appareil réciproque du cheval (McCracken [38]).

Le 3<sup>ème</sup> péronier et le tFSD vont solidariser le grasset et le jarret en faisant office de « cordes » reliées aux deux articulations. De cette façon, lorsqu'une corde est actionnée pour un mouvement, elle impose à l'autre articulation de se mouvoir en même temps. Si une articulation se met en flexion, l'autre fait de même et inversement pour l'extension (Figure 71). C'est également de cette façon que le cheval se tient en position statique en minimisant ses efforts. En bloquant son grasset avec sa patelle, il bloque également le jarret par action réciproque.

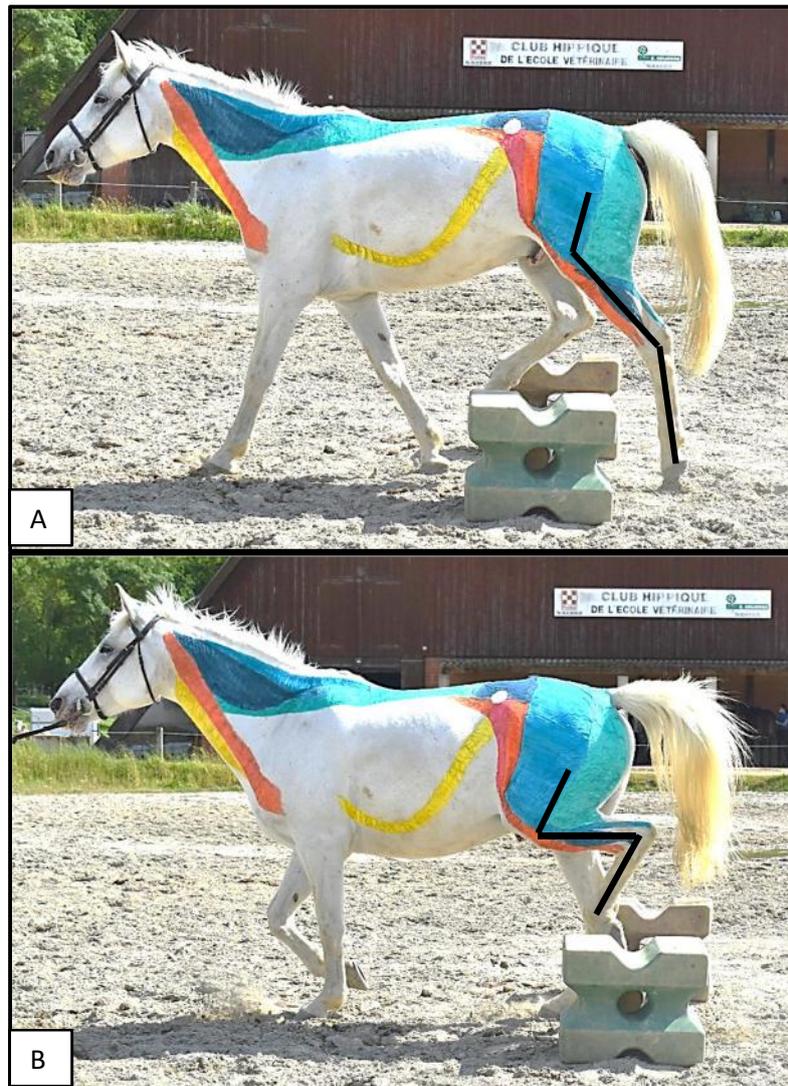


Figure 71 : Mise en évidence de l'appareil réciproque lors d'un saut : (A) extension du grasset et du jarret (B) flexion du grasset et du jarret.

Cette originalité biomécanique cherche à optimiser le travail musculaire du cheval en le rendant automatique et économe en énergie, suite à l'adaptation de l'espèce à la course et à la nécessité d'une certaine endurance. De plus, l'harmonie musculaire ainsi assurée, vise à amortir les chocs subis par les articulations et les tendons.

### c) Les fascias, tendons et ligaments

La première peinture de cette partie concerne les fascias (Figure 72). Ce sont des structures souvent abstraites pour les étudiants car elles sont rapidement évoquées dans les

cours d'anatomie sans plus de précision sur leurs fonctions et surtout sur leur localisation. L'intérêt de ce dessin est de faciliter la visualisation des fascias pour les élèves.

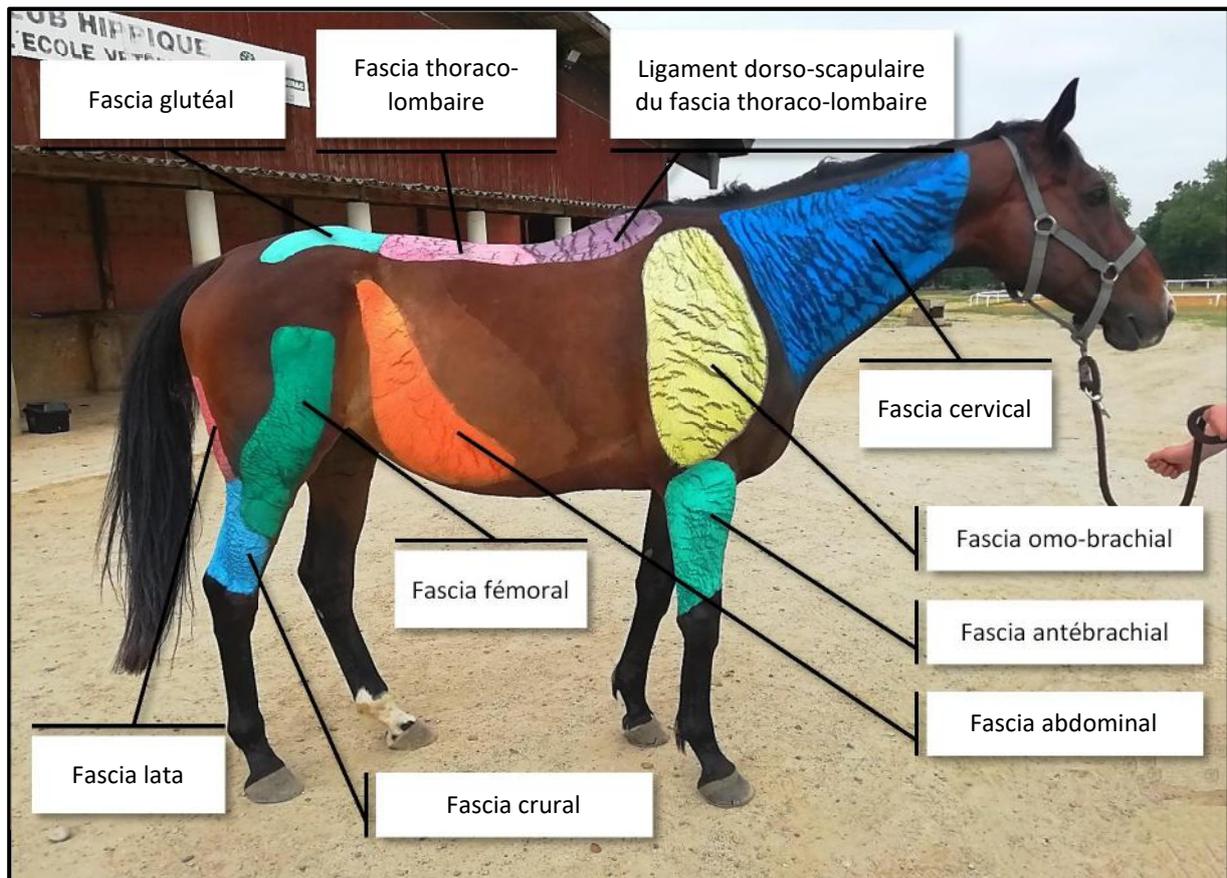


Figure 72 : Les fascias du cheval par la technique de horse painting.

Les tendons ont été peints car ils constituent l'essentiel des structures anatomiques des membres des chevaux sous le carpe et le tarse (Figure 73).

Ils sont fondamentaux à connaître pour comprendre la locomotion du cheval et les pathologies qui en découlent. Sur le schéma suivant, chaque muscle est représenté par une couleur pour faciliter sa localisation. Ils sont présents sur l'avant-bras et la jambe et évoluent en tendon à partir de l'articulation du carpe et du tarse, pour se finir sur les structures distales du membre. Le ligament suspenseur du boulet ou muscle interosseux III est également dessiné car il participe au soutien de l'articulation du boulet.

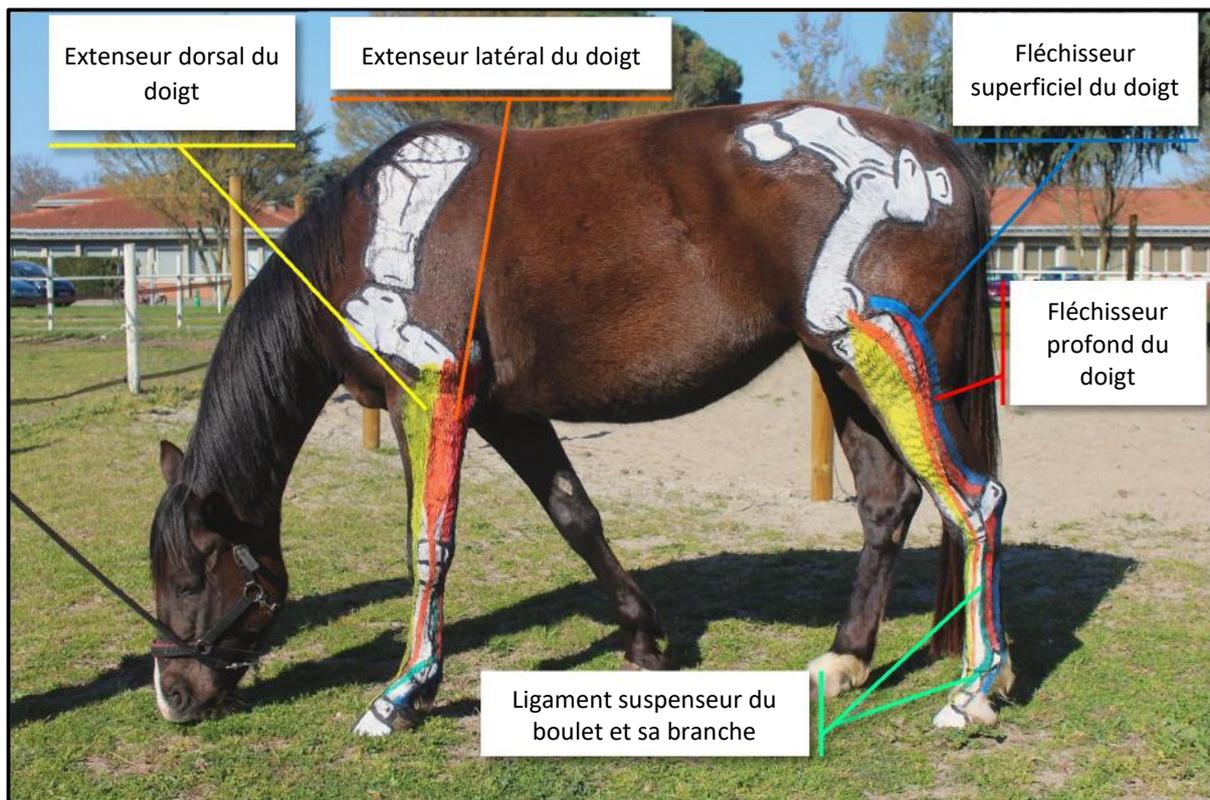


Figure 73 : Les muscles à l'origine des tendons des membres du cheval par la technique de horse painting.

Le but ici est d'aider à comprendre la mécanique des tendons dans la locomotion, qui se décompose en deux phases. Une est dite de suspension, lorsque le membre est levé et que les tendons sont dans un état de relâchement. L'autre est une phase d'appui avec les tendons en tension, composée de trois temps :

- L'amortissement : le **tendon fléchisseur superficiel du doigt** (tFSD) est sollicité.
- Le soutien : le **ligament suspenseur du boulet** accompagne le tFSD et le **tendon fléchisseur profond du doigt** (tFPD), lui, est relâché. A ce stade, il y a une hyperflexion de l'articulation inter-phalangienne distale, entre la deuxième et la troisième phalange et une hyperextension du boulet.
- La propulsion : l'articulation inter-phalangienne distale va cette fois-ci subir une hyperextension avec la participation du tFPD et de la bride carpienne.

Cette hyperlaxité articulaire permise par les tendons et ligaments est d'autant plus importante lorsque la vitesse de déplacement du cheval augmente. Elle permet d'amortir les forces ressenties lors de la foulée. Ainsi l'hyperflexion induite dans l'articulation inter-phalangienne distale absorbe les forces horizontales reçues, à l'inverse de l'extension du boulet qui reçoit les forces verticales du déplacement (Figure 74).

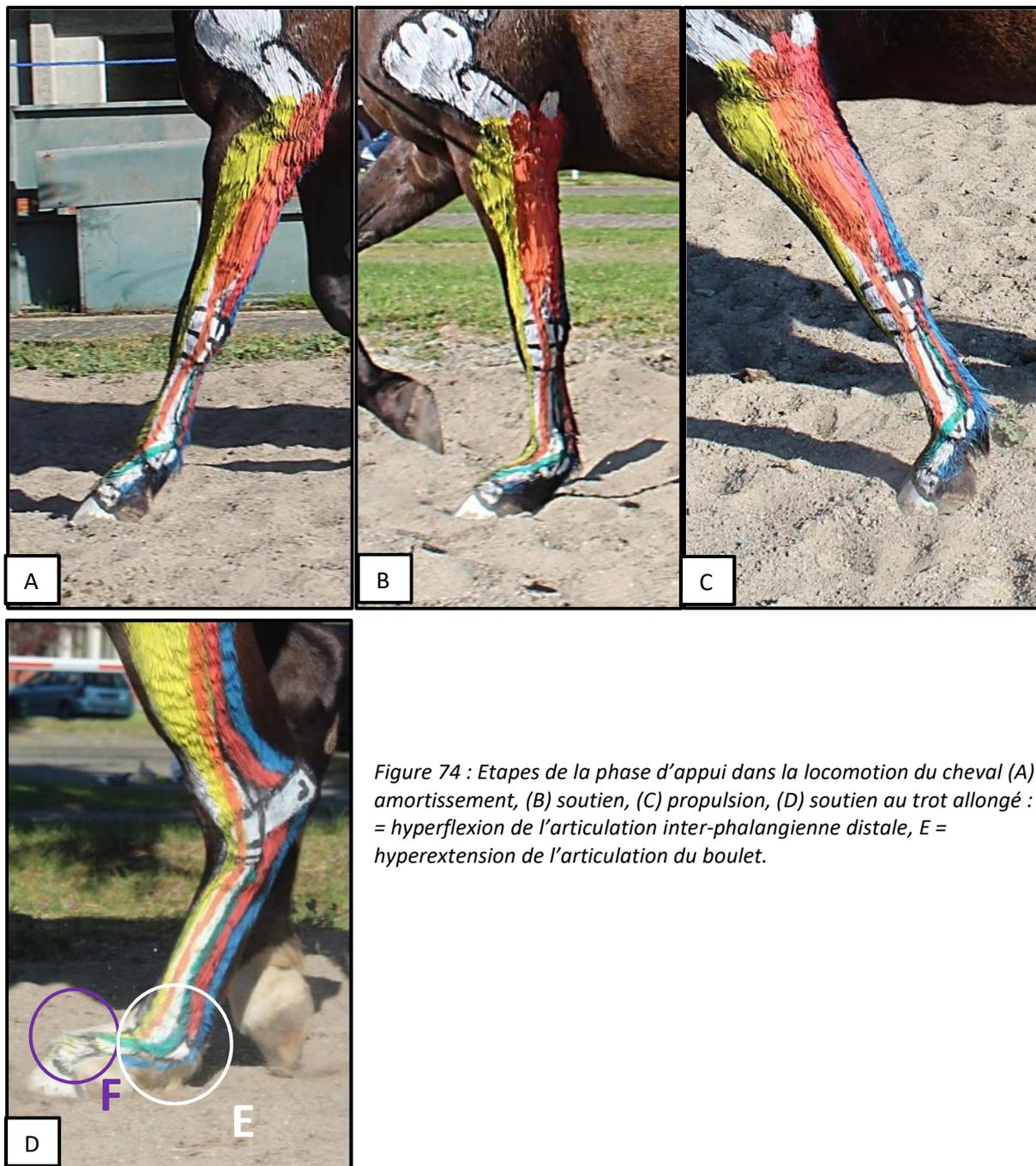


Figure 74 : Etapes de la phase d'appui dans la locomotion du cheval (A) amortissement, (B) soutien, (C) propulsion, (D) soutien au trot allongé : F = hyperflexion de l'articulation inter-phalangienne distale, E = hyperextension de l'articulation du boulet.

Si l'une de ces structures subit un traumatisme, une élongation ou tout autre évènement portant atteinte à son intégrité, différents signes cliniques peuvent être observés, comme une boiterie. Lorsqu'un cheval est présenté en consultation avec ce motif, plusieurs tests sont menés afin d'orienter le vétérinaire vers la région anatomique touchée. Parmi eux, se trouve celui de la planche (Figure 75).



Fléchisseur  
profond du  
doigt



C'est un test qui mobilise la région naviculaire du cheval et par conséquent l'os du même nom (ou os sésamoïdien distal), la bourse podo-trochléaire, les ligaments sésamoïdiens courts et le tendon fléchisseur profond du doigt. La bourse permet le glissement du tendon au contact de l'os et facilite son mouvement. Ce test indique donc une douleur ou sensibilité dans la région du pied.

Il doit être réalisé sur un sol dur, plat et horizontal avec une planche d'environ 1,20 mètre recouverte d'un matériau antidérapant sur un de ses bords. Seuls les membres antérieurs sont évalués. Le pied du cheval est posé à l'extrémité de la planche, au centre, sur ce revêtement. Une personne soulève le pied controlatéral pour ne pas fausser le test en donnant au cheval la possibilité de reporter son poids. Il faut ensuite élever la planche en la prenant à l'autre extrémité, progressivement et lentement par petits paliers, jusqu'à un angle de 40° environ. Une extension de l'articulation inter-phalangienne distale est ainsi créée en amenant le membre en arrière de sa verticale. La pression exercée est forte avec la mise en tension du tendon fléchisseur profond du doigt qui appuie sur l'os naviculaire. La douleur peut alors être mise en évidence.

En cas d'inconfort, le cheval peut avoir des tremblements du membre, reporter son poids en arrière, lever la tête ou encore sauter de la planche s'il ne supporte pas la douleur occasionnée.

Figure 75 : Réalisation du test de la planche à différents angles.

Une autre pathologie touchant principalement les chevaux de course et de sport, est l'inflammation des tendons c'est-à-dire la tendinite. La boiterie est un de ses symptômes tout comme la distension de la gaine digitale par exemple. Après un examen locomoteur complet du cheval, des examens d'imagerie sont couramment réalisés et particulièrement l'échographie. Elle permet de diagnostiquer le type de lésion et la structure touchée. La mise en couleur des structures anatomiques des images échographiques permet à l'étudiant de faire le lien avec les muscles et tendons peints sur le cheval (Figure 76). Le but est de faciliter la visualisation de l'organisation des tendons dans cette région anatomique du cheval qui est très complexe à apprendre. Quatre éléments sont particulièrement observés : le tFSD, le tFPD et sa bride carpienne puis le ligament suspenseur du boulet. Pour cela, différentes coupes échographiques sont réalisées le long du doigt (Figure 77).

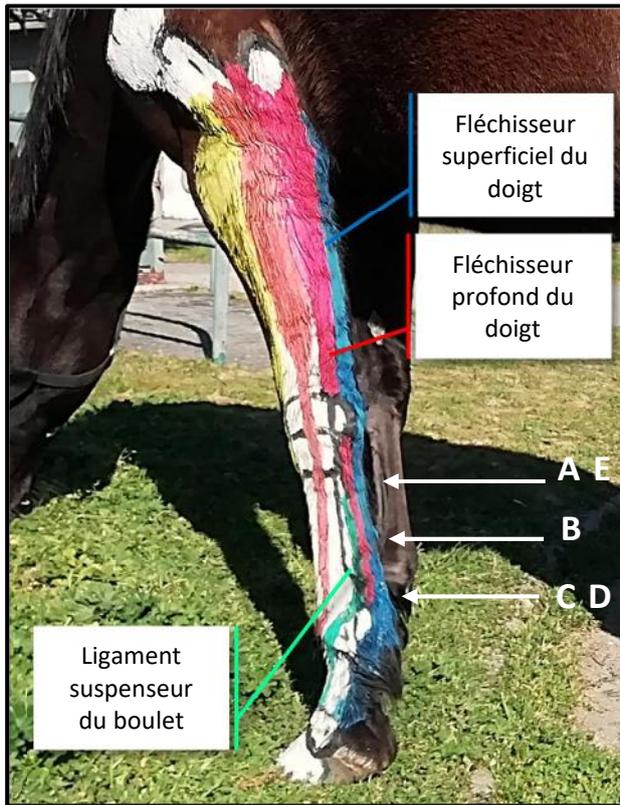


Figure 76 : Représentation des différentes coupes anatomiques réalisées à l'échographie dans le diagnostic des tendinites de la région distale du membre : coupe transversale de la région métacarpienne (A) proximale, (B) moyenne, (C) distale, (D) distale passant par la manica flexoria; (E) coupe longitudinale de la région métacarpienne proximale.

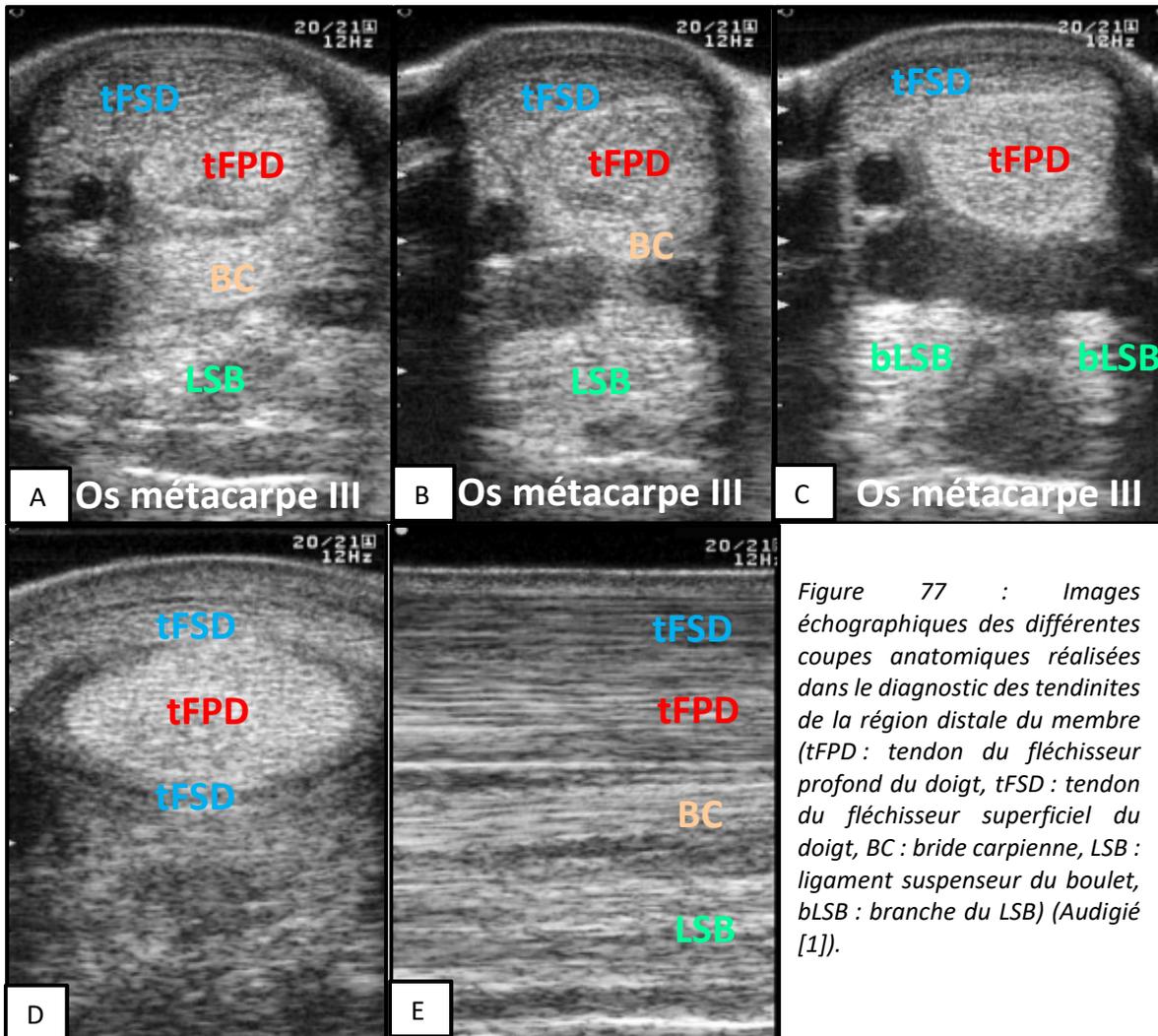


Figure 77 : Images échographiques des différentes coupes anatomiques réalisées dans le diagnostic des tendinites de la région distale du membre (tFPD : tendon du fléchisseur profond du doigt, tFSD : tendon du fléchisseur superficiel du doigt, BC : bride carpienne, LSB : ligament suspenseur du boulet, bLSB : branche du LSB) (Audigié [1]).

Une partie des ligaments a aussi été représentée afin de mettre en avant leur rôle de liaison entre les os pour que la mécanique du mouvement soit fluide et aisée (Figures 78 et 79).

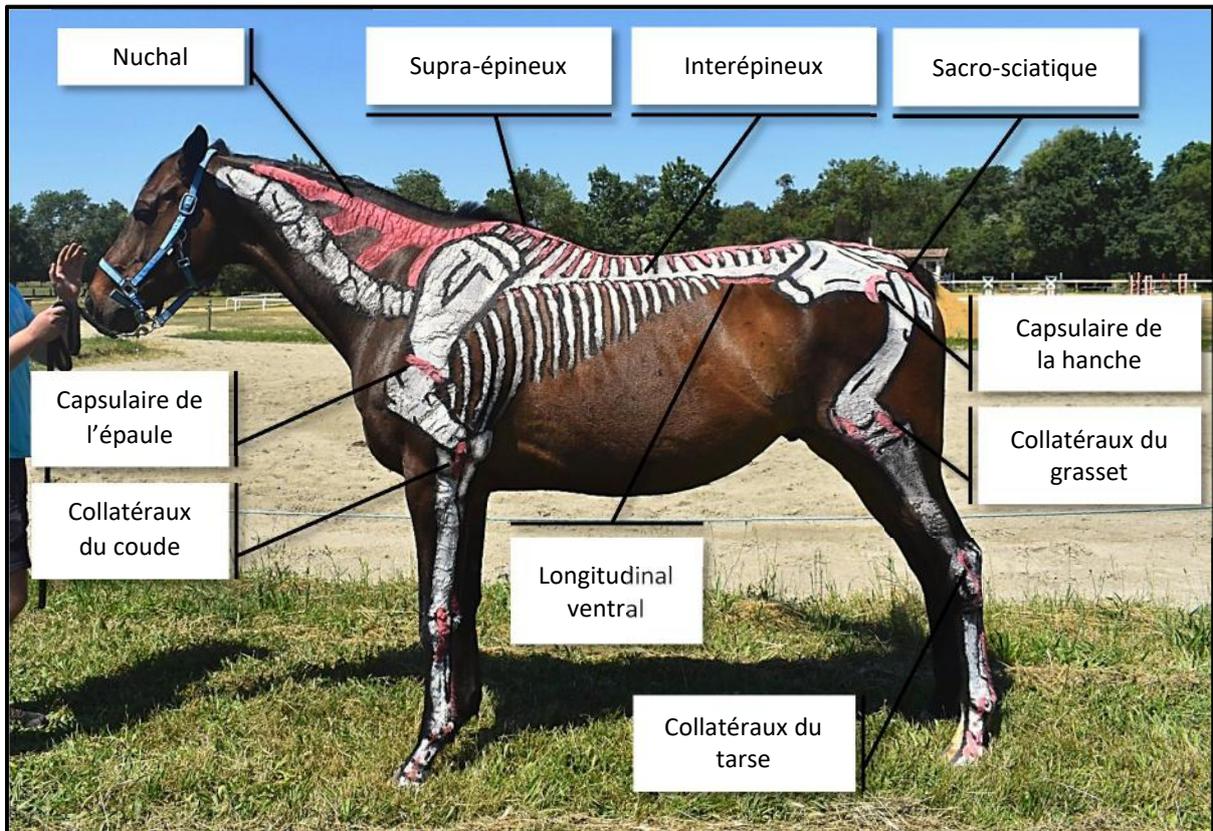


Figure 78 : Les ligaments du cheval par la technique de horse painting.

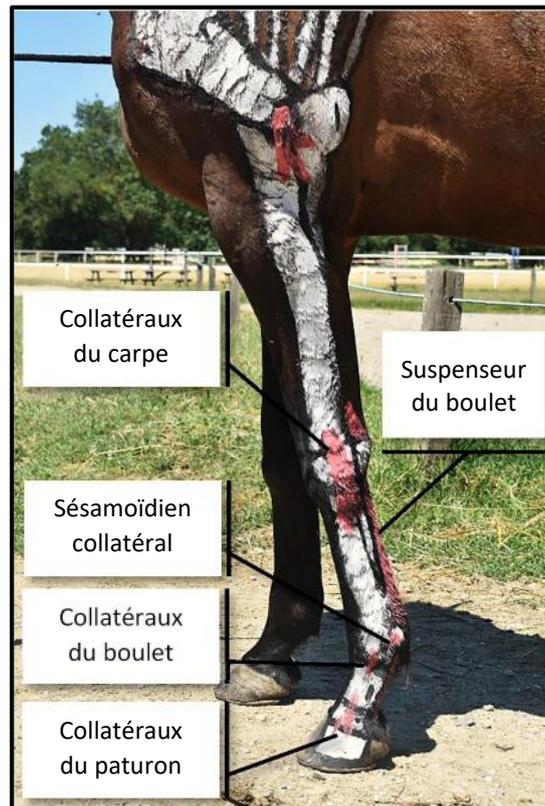


Figure 79 : Les ligaments du membre thoracique du cheval par la technique de horse painting.

Deux points importants sont à exploiter avec cette peinture, comme par exemple la fonction du ligament suspenseur du boulet dans la biomécanique de l'articulation du boulet. Cela peut être abordé avec le dessin des tendons comme vu précédemment à la Figure 73. Il est aussi intéressant d'étudier le rôle du ligament nuchal dans la locomotion, par la mise en mouvement de l'animal à la fin de la séance de body painting (Figure 80). Sa fonction de soutien à la chaîne des muscles extenseurs (Figure 69) est aussi observée notamment lors des mouvements d'hyperflexion ou hyperextension.

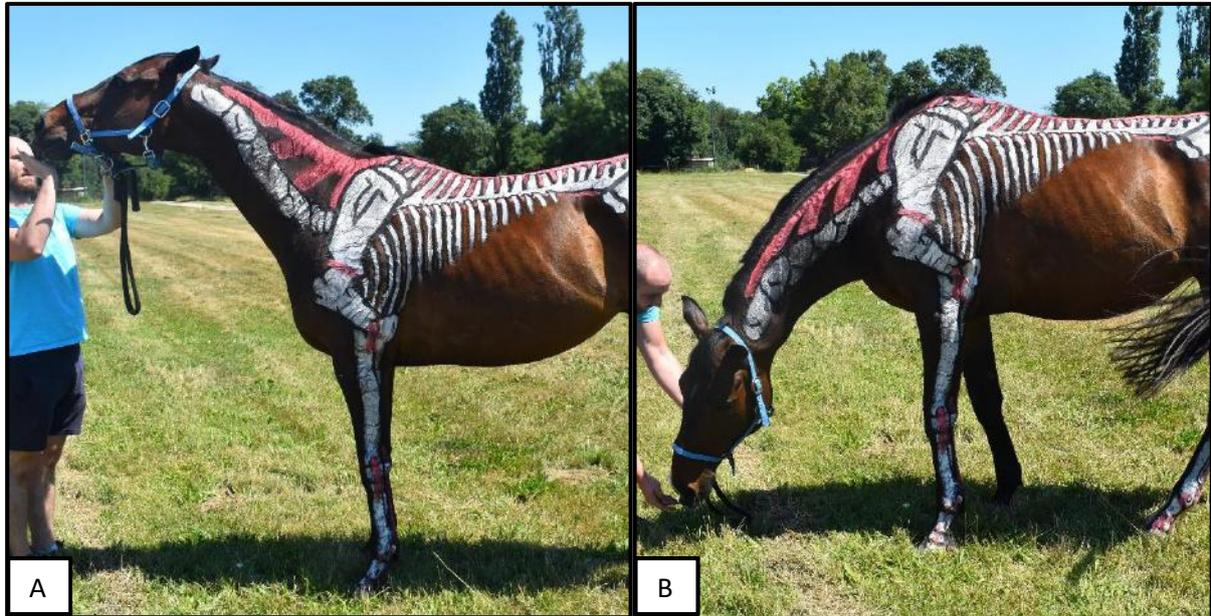


Figure 80 : Le ligament nuchal du cheval par la technique de horse painting, en position d'extension (A) et de flexion (B).

#### d) Le système nerveux

Comme explicité dans la première partie de cette thèse, le système nerveux se compose du système nerveux périphérique et du système nerveux central. Ce dernier est composé du cerveau, des nerfs crâniens et de la moelle spinale, représentée sur la Figure 81.



Figure 81 : La moelle spinale du cheval par la technique de horse painting.

Le SNC est très complexe à représenter car il nécessite de peindre au niveau de la tête du cheval ce qui est inconfortable pour lui et implique de limiter les moyens de contention comme le licol, c'est pourquoi seule la moelle spinale a pu être représentée.

Le SNP, lui, est constitué du SNA qui a été représenté à plus grande échelle sur le cheval (Figure 82) et du SNS, composé des nerfs spinaux (Figure 83).

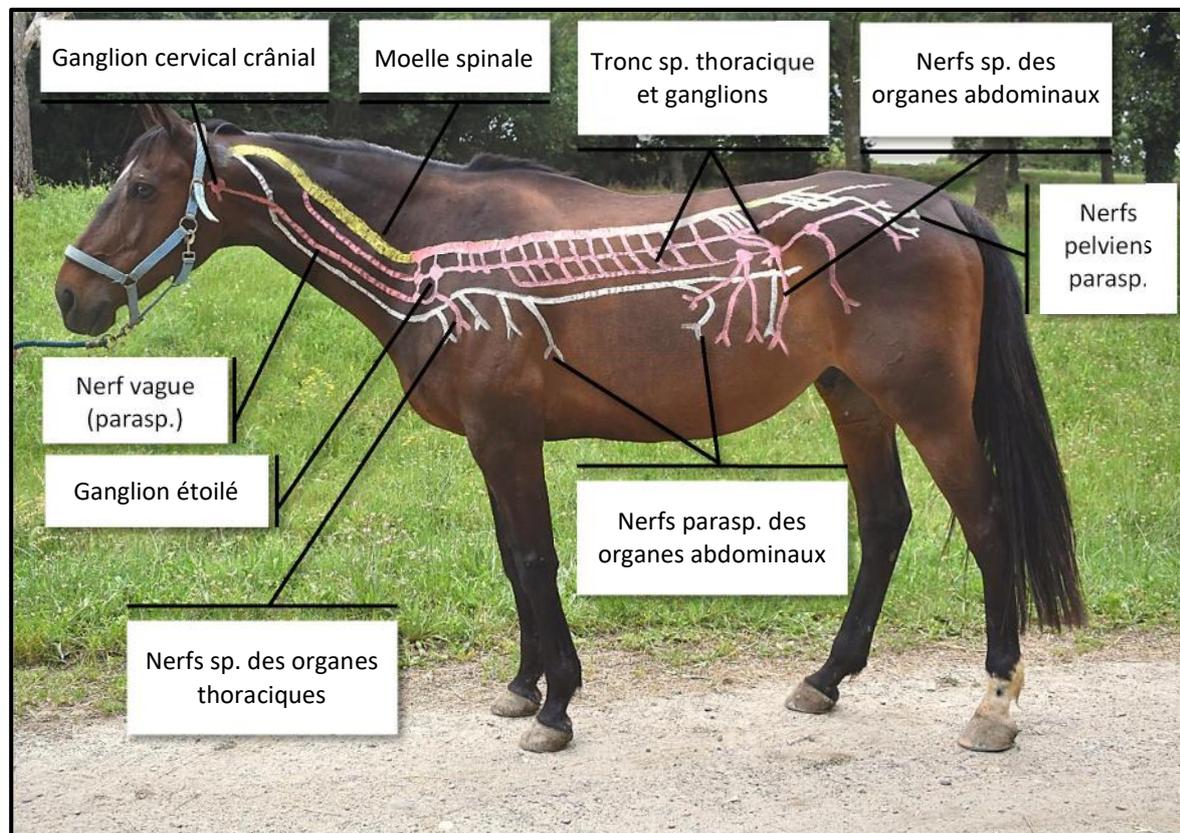


Figure 82 : Le système nerveux autonome du cheval par la technique de horse painting (sp. : sympathique, parasp. : parasympathique).

Le ganglion étoilé, également nommé cervico-thoracique, correspond à la réunion du ganglion cervical moyen et du ganglion cervical caudal, lui-même lié aux deux premiers ganglions thoraciques. Crânialement au ganglion étoilé, le tronc sympathique va se lier avec le nerf vague afin de former le tronc vago-sympathique. Puis caudalement au ganglion, la composante vagale ne sera plus présente et il restera simplement le tronc sympathique.

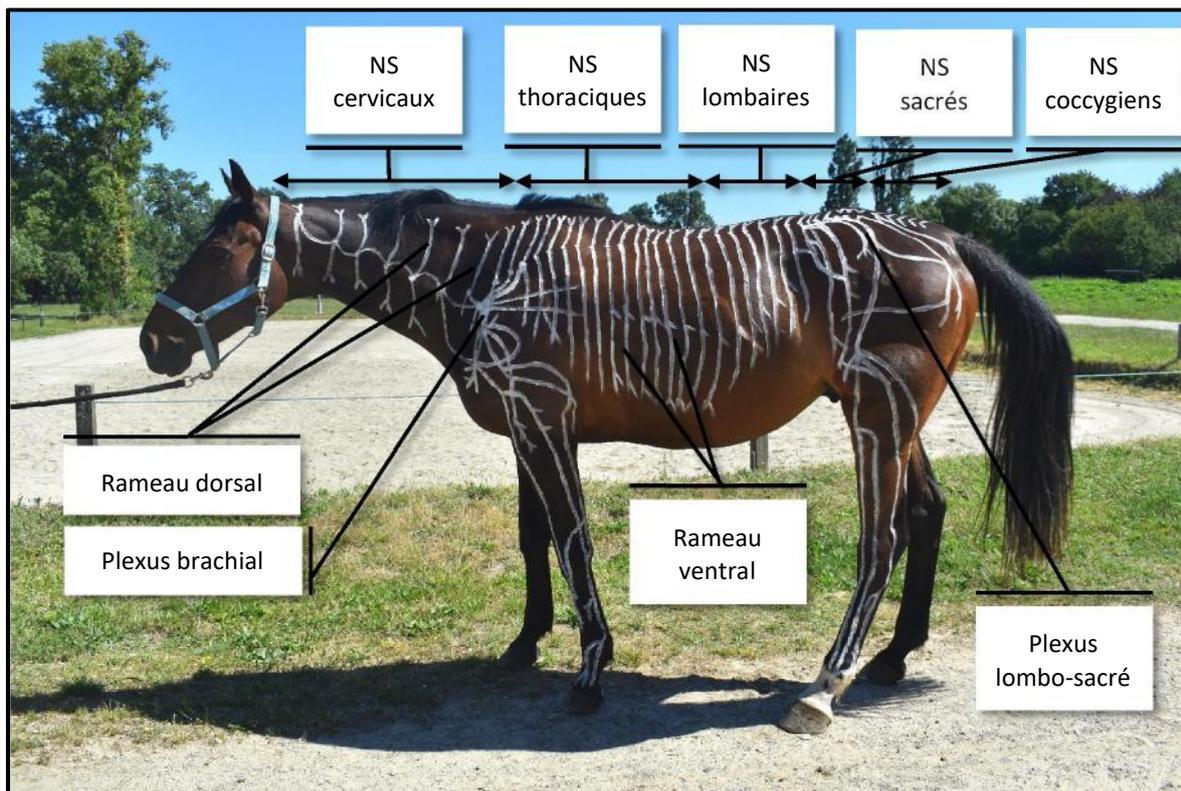


Figure 83 : Les nerfs spinaux du système nerveux somatique du cheval par la technique de horse painting (NS = nerfs spinaux).

Sur cette peinture (Figure 84), ce sont les nerfs cutanés du SNP qui émanent des branches des nerfs spinaux qui sont représentés. Ils peuvent venir de leur branche ventrale ou dorsale.

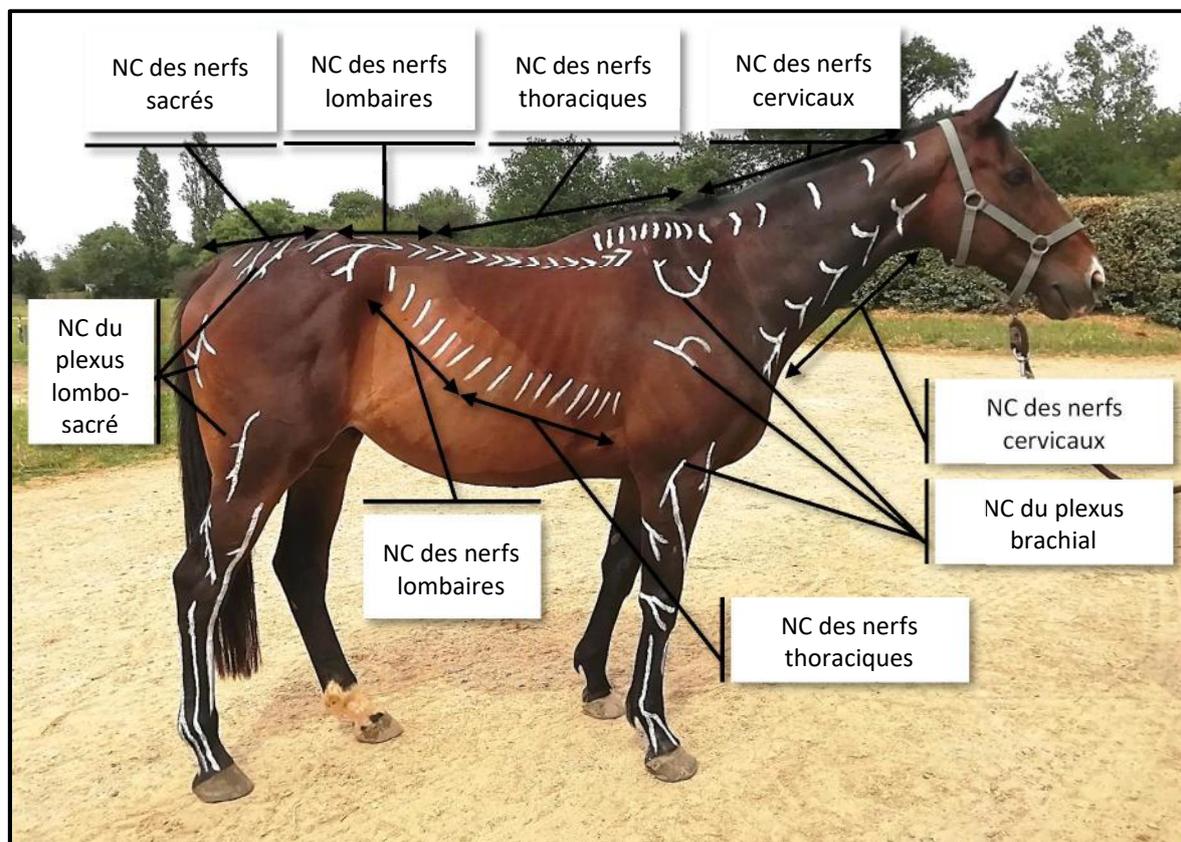


Figure 84 : Les nerfs cutanés du système nerveux somatique du cheval par la technique de horse painting (NC : nerfs cutanés).

Les nerfs cutanés sont ainsi responsables de l'innervation sensitive d'une portion de la peau nommée territoire cutané sensitif ou dermatome (Figure 85). Leur taille varie d'un cheval à l'autre donc une représentation fidèle de ses territoires est utopique, d'autant plus que certaines zones se chevauchent. Une ébauche de leur localisation anatomique a été réalisée. Elle aide à mémoriser la localisation des nerfs et la région du corps du cheval qui en dépend.

**Légende :**

- 1 : N. C3-C6 rameaux dorsaux
- 2 et 3 : N. C3-C6 rameaux ventraux cutanés
- 4 : N. C6 → nerf supraclaviculaire
- 5 : N. intercosto-brachial
- 6 : N. radial → nerf cutané brachial latéral
- 7 : N. axillaire → nerf cutané antébrachial crânial
- 8 : N. axillaire → nerf cutané antébrachial
- 9. N. médian → nerf palmaire latéral
- 10. N. médian → nerf palmaire médial
- 11 : N. thoracique latéral
- 12 : N. T1-T18 rameaux dorsaux
- 13 : Nerf ilio-hypogastrique rameau latéral
- 14 : Nerf ilio-inguinal rameau latéral
- 15 : Nerfs lombaires → nerfs cluniaux crâniiaux
- 16 : N. obturateur → nerfs cluniaux moyens
- 17 : Nerfs caudaux rameaux dorsaux
- 18 : N. cutané fémoral caudal → nerfs cluniaux caudaux
- 19 : Nerf génito-fémoral rameaux inguinaux
- 20 : N. fibulaire commun → nerf jambier latéral
- 21 : N. tibial → nerf jambier
- 22 : N. fémoral → nerf saphène
- 23 : N. tibial rameau tarsien médial

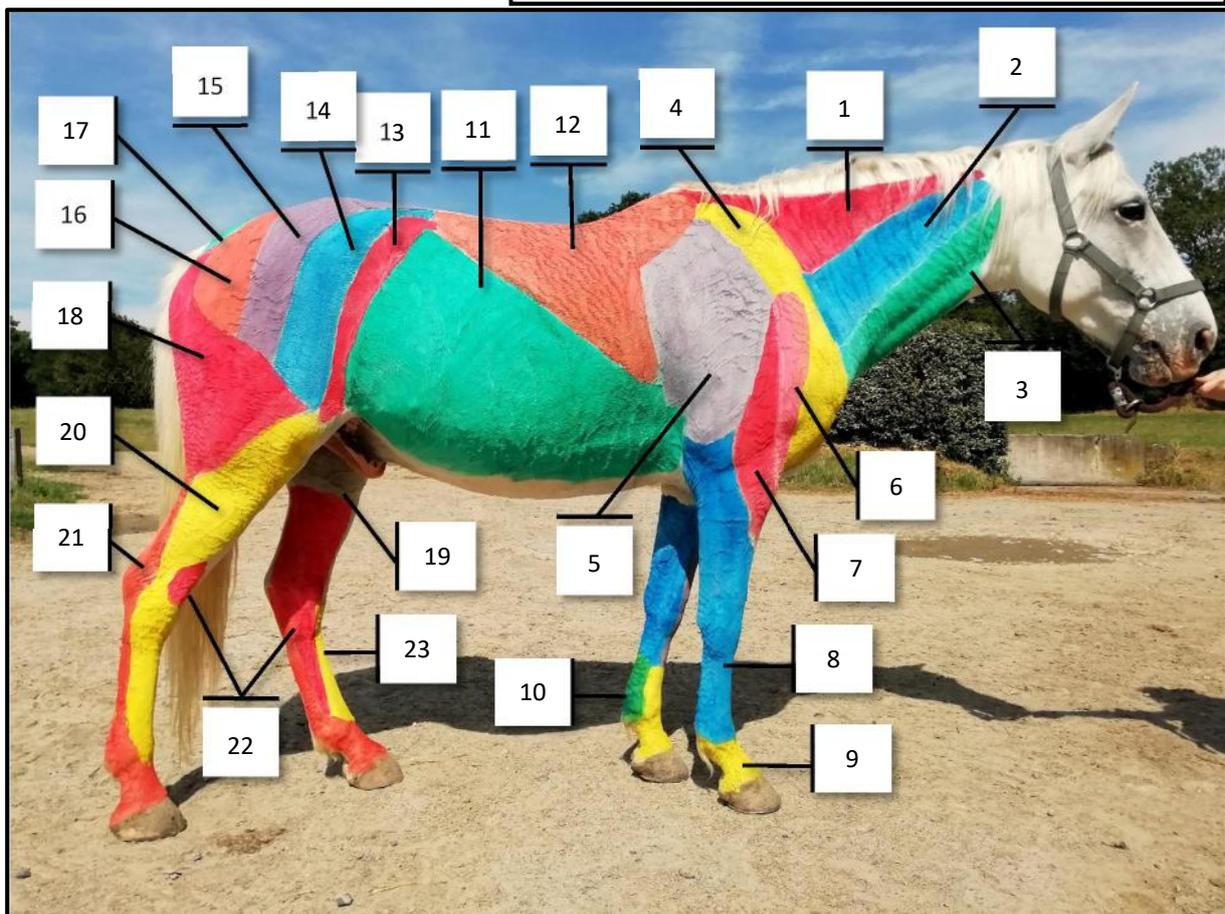


Figure 85 : Les dermatomes du cheval par la technique de horse painting et sa légende (N. : nerf).

## IV. DISCUSSION

### 1) Intérêts pédagogiques du horse painting

L'objectif fixé au début de ce projet était d'évaluer les possibilités qu'offre la peinture corporelle sur le cheval pour apprendre l'anatomie.

Les chevaux qui ont participé à ce travail ont été choisis selon leur caractère, puis leur taille et robe pour des raisons de praticité. La surface à peindre est grande ce qui permet d'exposer clairement les structures à représenter et de faire travailler plusieurs étudiants à la fois, comme ce fut le cas pour ces séances. Cela permet d'être plus rapide pour peindre et d'échanger sur les positions et dimensions des organes à placer sur le cheval. En prenant des photos, l'ensemble du système peut être visualisé sur une même page et légendé. La compréhension de la topographie des organes est ainsi facilitée et évidente en un coup d'œil. De plus, le cheval est un animal avec qui il est plus aisé de démontrer le côté dynamique de l'anatomie puisqu'il peut être monté et guidé. Une personne peut ainsi varier ses allures ou encore le faire sauter pour mettre en avant le rôle de telle ou telle structure devant un public.

De plus, le horse painting offre une présentation simplifiée de l'anatomie. Tous les organes, os ou muscles ne peuvent être peints donc seules les structures jugées pertinentes ou essentielles à la compréhension de l'anatomie sont choisies. Ce procédé rejoint l'idée d'une méthode simple qui diminue la charge intellectuelle pour l'apprentissage des élèves, tout en utilisant des couleurs pour les aider à identifier les structures. Le modèle peut ensuite être réutilisé pour réviser sur un support en deux dimensions qui sera d'autant plus simple à appréhender que l'élève aura vu l'animal évoluer avec le système anatomique dans un espace en trois dimensions.

Le but fixé était aussi de proposer une méthode attractive à laquelle les étudiants s'intéresseraient. Le horse painting semble remplir cet objectif de par le nombre de volontaires qui se sont proposés pour peindre le cheval et au travers des différentes réactions recueillies au cours des séances. Elles se sont déroulées sur des périodes où peu de personnes étaient présentes dans les infrastructures mais plusieurs étudiants ou membres du personnel ont pu observer le cheval et n'ont pas manqué de faire part de leur enthousiasme. Certains élèves en première ou deuxième année (années où le module d'anatomie est au programme) se sont spontanément prêtés au jeu de reconnaître les structures peintes le temps d'un instant. L'originalité de la représentation et son côté attractif par la peinture sur l'animal attirent le regard et semblent donc susciter un réel intérêt. Le fait que les étudiants aient d'eux-mêmes chercher à appliquer leur connaissance à travers cet exercice est encourageant dans l'idée d'une technique d'apprentissage alternative.

### 2) Limites et critiques du horse painting

Toutefois, ce projet a rencontré quelques difficultés au cours de sa réalisation, au-delà de celles explicitées page 82.

La météo a été une des contraintes principales. Les chevaux vivants en extérieur, il était exclu de les doucher lorsque les températures étaient trop basses ou la météo mauvaise pour des

raisons de santé. L'intervalle de temps pour réaliser ces séances s'est donc écoulé d'Avril à Septembre mais il est arrivé que certaines d'entre elles soient annulées au dernier moment pour cause d'intempéries, ce qui en fait une activité complexe à planifier dans un emploi du temps. A l'inverse pendant les journées trop chaudes, les insectes volants comme les mouches étaient un véritable problème. Elles piquaient à la fois le cheval et les étudiants, ce qui énervait fortement l'animal. Cela rendait extrêmement difficile la réalisation de la peinture à cause de ses envies de se gratter ou encore ses fouaillements de queue pour faire fuir les insectes, ce qui abîmait le dessin. Pour remédier à ce problème, des sprays anti-insectes vétérinaires peuvent être utilisés mais ils doivent être vaporisés plusieurs fois au cours de la séance.

Le choix de la peinture utilisé peut être critiqué puisqu'elle n'est pas hypoallergénique, ce qui aurait été idéal. Le lendemain de la première séance sur chaque cheval, les étudiants allaient s'assurer de l'absence de signes cliniques dermatologiques sur les chevaux.

Un autre inconvénient de cette technique est qu'il est impossible de peindre toutes les structures malgré la grande taille du cheval. Pour être visibles, elles ne peuvent être dessinées à l'échelle comme dans le cas du système nerveux par exemple ou encore toutes dessinées comme pour les muscles où quelques dizaines sont peintes et non la centaine de muscles qui compose réellement l'animal. Le body painting présente donc une représentation fidèle limitée de l'anatomie du vivant. L'idée d'étendre cette technique à d'autres espèces a été évoquée. Cependant, réaliser le même travail sur des petits animaux comme les chiens ou les chats peut alors sembler plus difficile car cela demande des animaux patients et les peintures seraient de tailles réduites ce qui pourrait rendre complexe la lecture du dessin. Cette méthode semble donc plus adaptée sur des animaux de grande taille comme le cheval ou encore les ruminants.

Une dernière limite soulevée par cette méthode est celle du temps. Du pansage du cheval à sa remise au pré, les séances de body painting ont duré de deux à plus de quatre heures parfois. Sur un emploi du temps où les journées sont banalisées, comme ce fut le cas ici, cela n'amène aucune contrainte. En revanche, dans le cas où cette méthode est intégrée à un programme, elle nécessite un certain volume horaire qui est parfois difficile à mobiliser dans l'affectation des heures pour la matière. De plus, elle demande une organisation du personnel enseignant et des étudiants assez importante pour mener à bien la réalisation de la peinture.

Il aurait été intéressant lors de ce projet d'étudier les avis voir les connaissances des étudiants à travers des questionnaires. Cela aurait permis d'avoir une meilleure idée de leurs attentes et si le body painting était une solution pour y répondre.

### 3) Perspectives comme outil pédagogique à l'ENVT

Ses différentes observations mènent à conclure que l'utilisation du horse painting comme méthode alternative pour l'apprentissage de l'anatomie rencontre quelques obstacles. Deux approches semblent envisageables pour tirer profit de ce procédé.

Les séances de horse painting pourraient être réalisées par un petit groupe d'étudiants de façon minutieuse et appliquée, afin de créer de belles planches dans l'idée de former un atlas d'anatomie par la technique du body painting. Un support informatique serait téléchargeable

par les étudiants afin de disposer des séquences de mise en mouvement de l'animal, pour profiter également de l'approche dynamique permise par cette méthode.

Une autre possibilité serait de mettre à profit cette technique en temps réel. Un petit groupe d'étudiants accompagné du professeur pourrait peindre le système à enseigner sur le cheval. Puis l'enseignant réaliserait de petites séances sur la journée où les étudiants viendraient par groupe observer le cheval, le photographier, s'entraîner à reconnaître les structures puis le voir évoluer. Sur des promotions d'une centaine d'élèves, il serait possible de mobiliser seulement quelques après-midi pour leur faire profiter de cette méthode. Toutefois, l'apprentissage kinesthésique mis en avant lorsque l'étudiant réalise lui-même la peinture est alors perdu. Une autre proposition serait de créer un travail similaire à Tamayo-Arango and al. [54], où les élèves peindraient par groupe pendant une heure ou deux et présenteraient ensuite leur travail. Cela demande cependant qu'ils soient appliqués avec de bonnes qualités artistiques, un grand nombre de chevaux et un certain nombre d'élèves d'années supérieures assistants le professeur, pour guider les plus jeunes dans la réalisation de la peinture.

Ces différentes propositions sont suggérées suite au ressenti et au vécu des étudiants ayant peints pendant ce projet de horse painting, mais ne constituent pas la méthode « de choix » à suivre lors de l'usage de la peinture corporelle dans l'enseignement. Cette technique laisse libre court à la créativité des professeurs et leur offre une certaine liberté d'application du programme d'anatomie.

## CONCLUSION

De nombreuses méthodes d'apprentissage ont été étudiées dans cette thèse et chacune possède des avantages et inconvénients. Bien que la dissection soit parfois pointée du doigt pour son aspect archaïque, elle n'en reste pas moins un outil important dans l'enseignement de l'anatomie, jugée parfois irremplaçable par les étudiants. Toutefois, les maquettes imprimées et autres substituts semblent remplir des critères pédagogiques importants, par exemple dans l'appréhension des structures dans l'espace par les étudiants.

Le horse painting se défend également comme pratique éducative, de par sa simplicité matérielle de réalisation et son attrait par le travail avec le cheval. Les peintures présentées dans cette étude ont mis en avant l'application directe sur l'animal et la simplicité de compréhension, non uniquement de l'anatomie, mais également de la fonction de chacune de ses structures comme c'est le cas pour le système musculaire.

Elle n'en reste pas moins une méthode qui nécessite une logistique complexe, tant par le travail avec un être vivant que par sa durée de réalisation. Cette technique, bien que prometteuse, nécessite des ajustements pour optimiser sa pédagogie, ainsi que son application au sein de l'enseignement de l'anatomie en lui-même pour étudier son efficacité.

La réussite du horse painting est au cœur d'une coopération fondamentale entre l'homme et le cheval, car selon Charles Darwin « dans la longue histoire de l'humanité et du genre animal, ceux qui ont appris à collaborer et à improviser le plus efficacement ont prévalu » [34].

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussigné, Giovanni MOGICATO, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de CHEVALIER Camille intitulée « DESSINS ANATOMIQUES SUR CHEVAL : APPORTS PEDAGOGIQUES ET INTERETS PRATIQUES EN FORMATION INITIALE DANS LES ETUDES VETERINAIRES – APPAREIL LOCOMOTEUR ET SYSTEME NERVEUX » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 11/05/2021  
Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
Professeur Giovanni MOGICATO



Vu : le 23/06/2021  
La Présidente du jury  
Professeure Isabelle BERRY

Faculté de Médecine Rangueil  
Biophysique Médicale - DM Rangueil  
1, Avenue Jean Roubé - TSJ 5000  
31059 TOULOUSE Cedex



Vu :  
Le Directeur de l'Ecole Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
M. Pierre SANS



Vu et autorisation de l'impression :  
Le Président de l'Université Paul  
Sabatier  
Monsieur Jean-Marc BROTO  
Par délégation, le Doyen de la faculté de  
Médecine de Toulouse-Rangueil  
Monsieur Elie SERRANO



Mme CHEVALIER Camille  
a été admis(e) sur concours en : 2016  
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le: 06/07/2020  
a validé son année d'approfondissement le: 01/07/2021  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

## BIBLIOGRAPHIE

1. AUDIGIÉ F., DENOIX J.-M. *Imagerie de l'appareil locomoteur du cheval – Images de référence*. CIRALE-IPC et École Nationale Vétérinaire d'Alfort, 2012. 45 p.
2. BARONE R., SIMOENS P. *Anatomie Comparée des mammifères domestiques – Tome 1 : Ostéologie*. Paris : VIGOT FRERES, 2010. 788p. ISBN 978-2-7114-0410-0.
3. BARONE R., SIMOENS P. *Anatomie Comparée des mammifères domestiques – Tome 2 : Arthrologie et myologie*. Paris : VIGOT FRERES, 1980. 1022p. ISBN 978-2-7114-8186-6.
4. BARONE R., BORTOLAMI R. *Anatomie Comparée des mammifères domestiques – Tome 6 : Neurologie I. Système nerveux central*. Paris : VIGOT FRERES, 2004. 655p. ISBN 978-2-7114-8194-1.
5. BARONE R., SIMOENS P. *Anatomie Comparée des mammifères domestiques – Tome 7 : Neurologie II. Système nerveux périphérique 4, Glandes endocrines, Esthésiologie*. Paris : VIGOT FRERES, 2010. 838p. ISBN 978-2-7114-0409-4.
6. BENNETT C. Anatomic body painting : where visual art meets science. *The Journal of Physician Assistant Education*, 2014, vol. 25, no. 4, p. 52-54.
7. BOUCHET A. Les leçons d'anatomie sur les Animaux. In *Histoire des sciences médicales*, 2006, Tome 40, no. 4, p. 331-338.
8. BRAID F., WILLIAMS S.B., WELLER R. Design and validation of a novel learning tool, the "Anato-Rug", for teaching equine topographical anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 2012, vol. 5, p. 256-263.
9. CAKE M.A. Deep dissection: motivating students beyond rote learning in veterinary anatomy. *Journal of Veterinary Medical Education*, 2006, vol. 33, no. 2, p. 266-271.
10. CHYTAS D., PIAGKOU M., JOHNSON E.O. and al. Outcomes of the use of plastination in anatomy education : current evidence. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 2019, vol. 41, p. 1181-1186.
11. DEGUEURCE C. Les collections de modèles anatomiques équinés de Louis Auzoux, une collection à constituer. In *Situ* [en ligne], 2015, no. 27. <https://journals.openedition.org/insitu/11950>. (consulté le 15/02/2021).
12. Dico en ligne Le Robert. *Vétérinaire – Définitions, synonymes, conjugaison, exemples* [en ligne]. Disponible sur <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/veterinaire>. (page consultée le 28/02/2021).
13. DINSMORE C.E., DAUGHERTY S., ZEITZ H.J. Teaching and learning gross anatomy : dissection, prosection or « both of the above » ? *Clinical Anatomy*, 1999, vol. 12, p. 110-114.
14. DUMONT B., DUPONT A.L., PAPILLON M.-C. and al. Technical study and conservation treatment of a horse model by Dr Auzoux. *Studies in conservation*, 2011, vol. 56, p. 58-74.
15. DYCE K.M., SACK W.O., WENSING C.J.G. *Textbook of veterinary anatomy*. 4<sup>ème</sup> édition. SANDERS, 2010. 864 p. ISBN 978-1-4160-6607-1.
16. École Nationale Vétérinaire de Toulouse. *Musée d'anatomie de l'ENVT* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.envt.fr/menu-og-29/mus%C3%A9e-danatomie-de-lenvt>. (page consultée le 16/02/2021).
17. GLAVIER M. *Contribution à la réalisation d'un cédérom pédagogique sur l'anatomie du tronc du cheval*. Thèse d'exercice vétérinaire, médecine vétérinaire, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, 2001.
18. GUMEERY E., COBB K.A., MOSSOP L.H. Student perceptions of veterinary anatomy practical classes : a longitudinal study. *Journal of Veterinary Medical Education*, 2018, vol. 45, no. 2, p. 163-176.
19. HIGGINS G., MARTINS. *Anatomie du cheval et performance*. BELIN, 2014, 156p. ISBN 978-2-7011-7728-1.
20. Horses Inside Out. *Horses Inside Out – Anatomy & Biomechanics Education – United Kingdom* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.horsesinsideout.com/>. (page consultée le 02/03/2021).
21. Insee. *Équipement des ménages – Tableaux de l'économie française* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3303447?sommaire=3353488>. (page consultée le 17/02/2021).

22. Inserm – La science pour la santé. *Qu'est-ce que la règle des 3 R ?* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.inserm.fr/recherche-inserm/ethique/utilisation-animaux-fins-recherche/qu-est-regle-3-r> . (page consultée le 06/03/2021).
23. JOHNSON K.L., HESPEL A.-M., JOSHUA M.P. *and al.* Use of color-coded, three-dimensional-printed equine carpus models is preferred by students but does not result in statistically different academic performance. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 2021, vol. 62, no 1, p. 76-83.
24. JONES D.G. Reassessing the importance of dissection : a critique and elaboration. *Clinical Anatomy*, 1997, vol. 10, p. 123-127.
25. KAINER R.A., McCRACKEN O.M. *Horse anatomy – A coloring atlas*. 2<sup>ème</sup> édition. États-Unis d'Amérique : ALPINE PUBLICATIONS, 1998. 178 p. ISBN 978-1-5777-9017-4.
26. KHALIL M.K., JOHNSON T.E., LAMAR C.H. Comparison of computer-based and paper-based imagery strategies in learning anatomy. *Clinical Anatomy*, 2005, vol. 18, p. 457-464.
27. KHALIL M.K., LAMAR C.H., JOHNSON T.E. Using computer-based interactive imagery strategies for designing instructional anatomy programs. *Clinical Anatomy*, 2005, vol. 18, p. 68-76.
28. KÜCÜKASLAN Ö., ERDOĞAN S., BULUT I. Turkish undergraduate veterinary students' attitudes to use of animals and other teaching alternatives for learning anatomy. *Journal of Veterinary Medical Education*, 2019, vol. 46, no. 1, p. 116-127.
29. La bible urbaine. *L'exposition « Animaux à corps ouvert » au Centre des sciences de Montréal* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.labibleurbaine.com/sorties/lexposition-animaux-a-corps-ouvert-au-centre-des-sciences-de-montreal/>. (page consultée le 28/02/2021).
30. LAFOSSE M. *Cours d'hippiatrique, ou traité complet de la médecine des chevaux*. Paris : EDME Libraire, 1772.
31. LAROQUE C., LEE V. Papier en volume, traditions asiatiques et occidentales. *Actes journée d'étude / papiers en volume, traditions asiatiques et occidentale* [en ligne], 2018. Disponible sur : <https://hicsa.univ-paris1.fr/page.php?r=133&id=931&lang=fr> (page consultée le 15/02/2021).
32. LAROUSSE, Éditions. *Définitions : système – Dictionnaire de français Larousse* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/syst%c3%a8me/76262>. (page consultée le 07/03/2021).
33. LATORRE R., BAINBRIDGE D., TAVERNOR A. *and all.* Plastination in anatomy learning : an experience at Cambridge University, *Journal of Veterinary Medical Education*, 2016, vol. 43, no. 3, p. 226-234.
34. Le Parisien. *Citations célèbres – Citations de Charles Darwin* [en ligne]. Disponible sur : <https://citation-celebre.leparisien.fr/citations/147380>. (page consultée le 08/03/2021).
35. LI F., LIU C., SONG X. *and al.* Production of accurate skeletal models of domestic animals using three-dimensional scanning and printing technology. *Anatomical Sciences Education*, 2018, vol. 11, no. 1, p. 73-80.
36. MARKS JR. S.C. The role of three-dimensional information in health care and medical education : the implications for anatomy and dissection. *Clinical Anatomy*, 2000, vol.13, p. 448-452.
37. MARTEL M. *Création d'une collection durable de pièces anatomiques pour l'apprentissage de l'inspection sanitaire en école vétérinaire*. Thèse d'exercice vétérinaire, médecine vétérinaire, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, 2016.
38. McCRACKEN T.O., KAINER R.A., SPURGEON T.L. *Spurgeon's Color atlas of large animal anatomy - The Essentials*. WILEY-BLACKWELL, 1999, 184 p. ISBN 978-0-6833-0673-1.
39. McLACHLAN J.C., BLIGH J., SEARLE J. Teaching anatomy without cadavers. *Medical Education*, 2004, vol.38, p. 418-424.
40. McNULTY M.A., STEVENS-SPARKS C., TABOADA J. *and al.* An anatomy precourse enhances student learning in veterinary anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 2016, vol. 9, no. 4, p. 344–56.
41. MedicalExpo. *Equine GI Tract – Modèle natomique appareil digestif by Veterinary Simulator Industries* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.medicaexpo.fr/prod/veterinary-simulator-industries/product-112487-746027.html>. (page consultée le 18/02/2021)

42. Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports. *Enseignement au collège et au lycée* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.education.gouv.fr/bo/16/Hebdo29/MENE1618745C.htm> (page consultée le 16/02/2021).
43. MOORE N.A. To dissect or not to dissect ? *The Federation of American Societies for Experimental Biology Journal*, 2020, vol. 34, issue S1, p. 1-1.
44. PARKER L.M. Anatomical dissection: why are we cutting it out ? Dissection in undergraduate teaching. *ANZ Journal of Surgery*, 2002, vol. 72, p. 910-912.
45. PATRONEK G.J., RAUCHE A. Systematic review of comparative studies examining alternatives to the harmful use of animals in biomedical education. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 2007, vol. 230, no. 1, p. 37-43.
46. PAVAUX Cl. *Neurologie des mammifères domestiques – Fascicule II : Système nerveux périphérique*. École Nationale Vétérinaire de Toulouse, 1979.
47. PEARCE S. *Développement d'une application interactive en 3D pour l'apprentissage de l'ostéologie canine*. Thèse d'exercice vétérinaire, médecine vétérinaire, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, 2018.
48. PREECE D., WILLIAMS S.B., LAM R. *and al.* "Let's Get Physical" : advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 2013, vol. 6, no. 4, p. 216-224.
49. PROVO J., LAMAR C., NEWBY T. Using a cross section to train veterinary students to visualize anatomical structures in three dimensions. *Journal of Research in Science Teaching*, 2002, vol. 39, no. 1, p. 10-34.
50. RAFAELLI M. *Réalisation d'un site internet à visée pédagogique consacré à l'ostéologie comparée des carnivores domestiques, des équidés et des bovins*. Thèse d'exercice vétérinaire, médecine vétérinaire, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, 2011.
51. SATTIN M.M., SILVA V.K.A., LEANDRO R.M. *and al.* Use of a garment as an alternative to body painting in equine musculoskeletal anatomy teaching. *Journal of Veterinary Medical Education*, 2018, vol. 45, no. 1, p. 119-125.
52. SCHOENFELD-TACHER R.M., HORN T.J., SCHEVIK T.A. *and al.* Evaluation of 3D additively manufactured canine brain models for teaching veterinary neuroanatomy. *Journal of Veterinary Medical Education*, 2017, vol. 44, no. 4, p. 612-619.
53. SENOS R., RIBEIRO M.S., MARTINS K.S. *and al.* Acceptance of the bodypainting as supportive method to learn the surface locomotor apparatus anatomy of the horse. *Folia Morphologica*, 2015, vol. 74, no. 4, p. 503-507.
54. TAMAYO-ARANGO L.J., DURANGO-MEJIA M.A. Body Painting of the Horse and Cow to Learn Surface Anatomy, *Journal of Veterinary Medical Education*, 2020, vol. 47, no. 4, p. 395-401.
55. Trombinoscope des juments de TP de la Clinique Equine de l'ENVT.
56. WILLAN P.L.T., HUMPHERSON J.R. Concepts of variation and normality in morphology : important issues at risk of neglect in modern undergraduate medical courses. *Clinical Anatomy*, 1999, vol. 12, p. 186-190.



**Dessins anatomiques sur cheval : apports pédagogiques et intérêts pratiques en formation initiale dans les études vétérinaires – Appareil locomoteur et système nerveux**

RÉSUMÉ :

L'anatomie est une matière fondamentale de l'enseignement vétérinaire qui demande un travail d'apprentissage long et rigoureux de la part des étudiants. En effet la multitude de structures musculaires ou encore la complexité du système nerveux sollicitent de nombreuses heures de labeur pour être connus. Différentes méthodes ont alors été développées pour faciliter ce travail de mémorisation chez les élèves, à l'aide d'outils informatiques, de la dissection ou encore de modèles anatomiques. Une autre technique récemment étudiée dans différentes universités, le horse painting, présente également des intérêts. Ce travail a pour objectif d'étudier la faisabilité pratique de cette dernière innovation, en représentant les systèmes squelettiques, musculaires et nerveux sur un modèle animal, le cheval. Auparavant, des rappels anatomiques de cette espèce seront présentés ainsi que les avantages et inconvénients de certaines méthodes d'enseignement utilisées actuellement en anatomie vétérinaire.

MOTS CLÉS : Anatomie, Cheval, Dessin, Pédagogie

---

**Anatomical drawings on horse : educational contributions and practical interests in initial training in veterinary studies – Musculoskeletal and nervous system**

ABSTRACT :

Anatomy is a fundamental subject of veterinary education which requires long and rigorous learning from the students. Indeed the huge number of muscular structures or the complexity of the nervous system require many hours of work to be known. Different methods were then developed to make this memorization work easier for the students, using computer tools, dissection or even anatomical models. Another technique recently studied in different universities, horse painting, is also of interest. This work aims to study the practical feasibility of this latest innovation, by representing the skeletal, muscular and nervous systems on an animal model, the horse. Previously, anatomical reviews of this species will be presented as well as the advantages and disadvantages of some teaching methods currently used in veterinary anatomy.

KEYWORDS : Anatomy, Horse, Drawing, Teaching