




OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/> 25320

To cite this version:

Faup-Boulzim, Hélène . *Les affections cervicales radiographiques du cheval de sport sur 56 cas cliniques*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2017, 202 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

LES AFFECTIONS CERVICALES RADIOGRAPHIQUES DU CHEVAL DE SPORT SUR 56 CAS CLINIQUES

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

FAUP-BOULZIM Hélène
Née, le 16 juin 1992 à TOULOUSE (31)

Directeur de thèse : M. Gabriel CUEVAS-RAMOS

JURY

PRESIDENT :
M. Paul BONNEVIALLE

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Gabriel CUEVAS-RAMOS
M. Claude PETIT

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

Répartition des Enseignants-Chercheurs par Département.

Mise à jour : 03/11/2017

DIRECTRICE : ISABELLE CHMITELIN

ELEVAGE ET PRODUITS/SANTE PUBLIQUE VETERINAIRE	SCIENCES BIOLOGIQUES ET FONCTIONNELLES	SCIENCES CLINIQUES DES ANIMAUX DE COMPAGNIE, DE SPORT ET DE LOISIRS
<p>Responsable : M. SANS</p> <p>ALIMENTATION ANIMALE : M. ENJALBERT Francis, PR Mme PRIYMENKO Nathalie, MC Mme MEYNADIER Annabelle, MC</p> <p>EPIDEMIOLOGIE : Mathilde PAUL, MC</p> <p>PARASITOLOGIE-ZOOLOGIE : M. FRANC Michel, PR M. JACQUIET Philippe, PR M. LIENARD Emmanuel, MC Mme BOUHSIRA Emilie, MC</p> <p>HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS : M. BRUGERE Hubert, PR M. BAILLY Jean-Denis, PR Mme BIBBAL Delphine, MC Mme COSTES Laura, AERC Mme DAVID Laure, MCC</p> <p>PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION : M. BERTHELOT Xavier, PR M. BERGONIER Dominique, MC Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, PR Mme HAGEN-PICARD Nicole, PR M. NOUVEL Laurent-Xavier, MC Mme MILA Hanna, MC</p> <p>PATHOLOGIE DES RUMINANTS : M. SCHELCHER François, PR M. FOUCRAS Gilles, PR M. CORBIERE Fabien, MC M. MAILLARD Renaud, PR M. MEYER Gilles, PR</p> <p>PRODUCTION ET PATHOLOGIE AVIAIRE ET PORCINE : Mme WARET-SZKUTA Agnès, MC M. JOUGLAR Jean-Yves, MC M. GUERIN Jean-Luc, PR M. LE LOC'H Guillaume, MC</p> <p>PRODUCTIONS ANIMALES AMELIORATION GENETIQUE ECONOMIE : M. DUCOS Alain, PR M. SANS Pierre, PR M. RABOISSON Didier, MC</p>	<p>Responsable : Mme GAYRARD</p> <p>ANATOMIE : M. MOGICATO Giovanni, MC M. LIGNEREUX Yves, PR Mme DEVIERS Alexandra, MC</p> <p>ANATOMIE PATHOLOGIQUE - HISTOLOGIE : M. DELVERDIER Maxence, PR Mme LETRON-RAYMOND Isabelle, PR Mme BOURGES-ABELLA Nathalie, PR Mme LACROUX Caroline, PR M. GAIDE Nicolas, AERC</p> <p>BIOLOGIE MOLECULAIRE : Mme BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle, MC</p> <p>MICROBIOLOGIE – IMMUNOLOGIE - MALADIES INFECTIEUSES : M. MILON Alain, PR M. BERTAGNOLI Stéphane, PR M. VOLMER Romain, MC Mme BOULLIER Séverine, MC Mme DANIELS Hélène, MC</p> <p>BIOSTATISTIQUES : M. CONCORDET Didier, PR M. LYAZRHI Faouzi, MC</p> <p>PHARMACIE-TOXICOLOGIE : M. PETIT Claude, PR Mme CLAUW Martine, PR M. GUERRE Philippe, PR M. JAEG Philippe, MC</p> <p>PHYSIOLOGIE –PHARMACOLOGIE THERAPEUTIQUE : M. BOUSQUET-MELOU Alain, PR Mme GAYRARD-TROY Véronique, PR Mme FERRAN Aude, MC M. LEFEBVRE Hervé, PR</p> <p>BIOCHIMIE : Mme BENNIS-BRET Lydie, MC</p> <p>ANGLAIS : M. SEVERAC Benoît, PLPA Mme MICHAUD Françoise, PCEA</p>	<p>Responsable : Mme CADIERGUES</p> <p>ANESTHESIOLOGIE M. VERWAERDE Patrick, MC</p> <p>CHIRURGIE : M. AUTEFAGE André, PR M. ASIMUS Erik, MC M. MATHON Didier, MC Mme MEYNAUD-COLLARD Patricia, MC Mme PALIERNE Sophie, MC</p> <p>MEDECINE INTERNE : Mme DIQUELOU Armelle, MC M. DOSSIN Olivier, MC Mme LAVOUE Rachel, MC Mme GAILLARD-THOMAS Elodie, MCC</p> <p>OPHTALMOLOGIE : M. DOUET Jean-Yves, MC</p> <p>DERMATOLOGIE : Mme CADIERGUES Marie-Christine, PR</p> <p>IMAGERIE MEDICALE M. CONCHOU Fabrice, MC</p> <p>BIOLOGIE MOLECULAIRE : Mme TRUMEL Catherine, PR</p> <p>PATHOLOGIE DES EQUIDES : M. CUEVAS RAMOS Gabriel, MC Mme LALLEMAND Elodie, AERC</p>

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Président du jury, Docteur Paul BONNEVIALLE,
Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse,
Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.
Hommages respectueux.

A Monsieur le Docteur Gabriel CUEVAS RAMOS,
Maitre de conférences à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Qui m'a fait l'honneur d'accepter de diriger ce travail,
Sincères remerciements pour l'enseignement, l'aide et la confiance qu'il m'a
accordés.

A Monsieur le Professeur Claude PETIT,
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Qui m'a fait l'honneur d'accepter d'être l'assesseur de cette thèse.
Sincères remerciements pour son précieux enseignement et sa
bienveillance.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES ILLUSTRATIONS	11
1) TABLES DES FIGURES.....	11
2) TABLE DES TABLEAUX.....	15
ABREVIATIONS	17
INTRODUCTION	19
PARTIE 1 – ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	21
I – ANATOMIE	23
1) OSTEOLOGIE CERVICALE.....	23
a. <i>L’atlas</i>	24
b. <i>L’axis</i>	25
c. <i>Les autres vertèbres</i>	25
2) ARTHROLOGIE CERVICALE.....	28
a. <i>Les articulations intervertébrales C2-T1</i>	28
b. <i>L’articulation atlanto-occipitale</i>	31
c. <i>L’articulation atlanto-axiale</i>	31
3) MYOLOGIE CERVICALE	34
a. <i>Muscles de la région cervicale ventrale (Hyposome)</i>	35
b. <i>Muscles extenseurs de la région cervicale dorsale (Episome)</i>	39
c. <i>Région cervicale moyenne</i>	46
4) NEUROLOGIE	59
II- MISE EN MOUVEMENT	61
1) MOBILITE OSTEOARTICULAIRE DU RACHIS CERVICAL.....	61
2) LE BALANCIER CERVICO-CEPHALIQUE.....	63
a. <i>Actions générales</i>	63
b. <i>Le pas</i>	64
c. <i>Le trot</i>	65
d. <i>Le galop</i>	66
3) ALTERATIONS DU BALANCIER CERVICO-CEPHALIQUE	67
a. <i>Sans lien avec une atteinte cervicale</i>	67
b. <i>En lien avec une atteinte cervicale</i>	67
4) LES EFFETS DE LA CONFORMATION DU CHEVAL SUR LA LOCOMOTION	68
a. <i>Evaluation de la conformation</i>	68
b. <i>Effets de la conformation sur le mouvement</i>	71
III- IMAGES RADIOGRAPHIQUES ASSOCIEES.....	73
1) PRISE DE CLICHES RADIOGRAPHIQUES DU RACHIS CERVICAL CHEZ LE CHEVAL.....	73
a. <i>Equipements</i>	73
b. <i>Différentes incidences</i>	73
c. <i>Constantes radiographiques</i>	76
2) LES OS.....	78
a. <i>L’atlas</i>	78
b. <i>L’axis</i>	79
c. <i>Les vertèbres C3, C4 et C5</i>	81
d. <i>C6 et C7</i>	82
3) LES ARTICULATIONS.....	84
a. <i>L’articulation atlanto-occipital</i>	84
b. <i>L’articulation atlanto-axiale</i>	84
c. <i>Les articulations intervertébrales</i>	85
4) LE CANAL VERTEBRAL.....	91
a. <i>Aspect radiographique</i>	91

b.	<i>Mesures possibles</i>	91
5)	LES VARIATIONS PHYSIOLOGIQUES	95
6)	LES TISSUS MOUS	95
IV- PRINCIPALES AFFECTIONS CERVICALES DETECTEES EN RADIOGRAPHIE ET LEURS ANOMALIES RADIOGRAPHIQUES		97
1)	AFFECTIONS CUTANEEES	97
a.	<i>Plaies</i>	97
b.	<i>Abcès</i>	97
c.	<i>Phlegmon</i>	98
2)	AFFECTIONS OSTEO-ARTICULAIRES.....	99
a.	<i>Juveniles</i>	99
b.	<i>Pathologies induites par l'exercice</i>	105
c.	<i>Affections articulaires</i>	106
d.	<i>Affections osseuses</i>	112
e.	<i>Bursite occipitale</i>	115
3)	AFFECTIONS NEUROLOGIQUES.....	115
a.	<i>Sténose du canal vertébral avec ataxie spinale</i>	115
b.	<i>Compression d'un nerf rachidien à son émergence</i>	116
c.	<i>Intoxication au Zinc</i>	116
d.	<i>Myéloencéphalite protozoaire équine</i>	116
4)	AFFECTIONS MUSCULAIRES.....	117
a.	<i>Myosite</i>	117
b.	<i>Torticolis</i>	118
5)	LES ORGANES CERVICAUX.....	119
a.	<i>Les poches gutturales</i>	119
b.	<i>Le pharynx</i>	119
c.	<i>Le larynx</i>	120
d.	<i>La trachée</i>	120
e.	<i>L'œsophage</i>	120
6)	TUMEURS CERVICALES.....	121
PARTIE 2 - ETUDE CLINIQUE		123
I - MATERIEL ET METHODES		125
1)	GROUPE ETUDIE.....	125
2)	TRI DES RADIOGRAPHIES	125
3)	ANALYSE RADIOGRAPHIQUE	125
a.	<i>Anomalies recherchées</i>	125
b.	<i>Longueurs mesurées</i>	126
c.	<i>Les outils utilisés</i>	128
4)	ANALYSES STATISTIQUES	129
II - LES ANOMALIES RADIOGRAPHIQUES CERVICALES		131
1)	NOMENCLATURE ET IDENTIFICATION	131
a.	<i>Fragment et calcification ligt nugal</i>	131
b.	<i>Erosion</i>	132
c.	<i>Malformation atlanto-axio-occipitale</i>	133
d.	<i>Atteintes d'ostéoarthrite</i>	134
e.	<i>M5 / M4 <50%</i>	137
f.	<i>Fracture</i>	137
g.	<i>Disque écrasé</i>	138
h.	<i>PE C7 absent</i>	138
i.	<i>Anomalies de C7-T1</i>	139
2)	CODE COULEUR	141
3)	NOMBRE DE CHEVAUX ATTEINTS	142
4)	ENSEMBLE DES TYPES D'ANOMALIES DETECTEES	143

5)	ENSEMBLE DES ANOMALIES DETECTEES.....	144
a.	<i>Anomalies présentes entre l'occiput et C2</i>	147
b.	<i>Anomalies autour de l'articulation C2-C3</i>	148
c.	<i>Anomalies autour de l'articulation C3-C4</i>	149
d.	<i>Anomalies autour de l'articulation C4-C5</i>	150
e.	<i>Anomalies autour de l'articulation C5-C6</i>	151
f.	<i>Anomalies autour de l'articulation C6-C7</i>	152
g.	<i>Anomalies autour de l'articulation C7-T1</i>	153
6)	ZONES PREFERENTIELLES DE DETECTION DE CERTAINES ANOMALIES	154
a.	<i>Les ostéophytes</i>	154
b.	<i>Les tailles et remodelages des processus articulaires</i>	155
c.	<i>Les incisures vertébrales et les lignes articulaires</i>	156
d.	<i>Les diminutions du canal vertébral (M5/M4<50%)</i>	158
III - ETUDE DES MESURES DES RADIOGRAPHIES DE PROFIL		161
1)	CREATION DES GROUPES.....	161
2)	INTERET DES MESURES ETUDIEES.....	161
3)	COMPARAISON DES MESURES OBTENUES PAR ARTICULATION	161
a.	<i>C2 - C3</i>	161
b.	<i>C3 - C4</i>	164
c.	<i>C4 - C5</i>	167
d.	<i>C5 - C6</i>	170
e.	<i>C6 - C7</i>	173
4)	CONCLUSION.....	176
IV - ETUDE DES MESURES DES RADIOGRAPHIES OBLIQUES		177
1)	CREATION DES GROUPES.....	177
2)	INTERET DES MESURES ETUDIEES.....	177
3)	COMPARAISON DES MESURES OBTENUES.....	177
a.	<i>C3 - C4</i>	178
b.	<i>C4 - C5</i>	180
c.	<i>C5 - C6</i>	183
d.	<i>C6 - C7</i>	185
4)	CONCLUSION.....	188
V - EVOLUTION DE TAILLES DES PROCESSUS ARTICULAIRES.....		189
1)	CREATION DES SOUS-GROUPES ET ANALYSE.....	189
2)	ANALYSE REALISEE.....	189
3)	RESULTATS DES POURCENTAGES D'AUGMENTATION	189
4)	CONCLUSION	191
5)	PROBABILITES D'AUGMENTATION DES PA.....	192
CONCLUSION		193
BIBLIOGRAPHIE.....		197

TABLE DES ILLUSTRATIONS

1) Tables des Figures

Figure 1 - Schéma général d'une vertèbre. Vue craniocaudale. Dessin personnel.	23
Figure 2 - Courbure nucale et cervicale basse de la colonne cervicale. D'après Boulocher, 2008[5].	24
Figure 3 - Atlas, vue caudo-dorsale. D'après Barone, 1986 [4].	24
Figure 4 - Axis, vue latérale, crânial à gauche. D'après Barone, 1986 [4].	25
Figure 5 - Vertèbres cervicales C3 à C5. Vue latérale, crânial à gauche (Cr) et caudal à droite (Cd). D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].	26
Figure 6 - Vertèbre cervicale C6. Vue latérale, crânial à gauche (Cr) et caudal à droite (Cd). D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].	26
Figure 7 - Vertèbre cervicale C7. Vue latérale, crânial à gauche (Cr) et caudal à droite (Cd). D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].	27
Figure 8 - Schéma des articulations intervertébrales cervicales. Dessin personnel, crânial à gauche.	28
Figure 9 - Vertèbre cervicale C6. Vue crâniale, la gauche (G) et la droite (D) sont indiquées. D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].	29
Figure 10 - Vertèbre cervicale C6. Vue caudale, la gauche (G) et la droite (D) sont indiquées. D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].	29
Figure 11 - Le ligament nuel et ses deux parties : la lame et la corde se poursuivant par le ligament supra-épineux. D'après Melotte, 2011 [48].	30
Figure 12 - Schéma des ligaments atlanto-axiaux. Vue dorsale. Plan superficiel. Dessin personnel.	32
Figure 13 - Schéma des ligaments atlanto-axiaux. Vue dorsale. Plan moyen. Dessin personnel.	33
Figure 14 - Schéma des ligaments atlanto-axiaux. Vue dorsale. Plan profond. Dessin personnel.	33
Figure 15 - Schéma de CT d'encolure, avec deux divisions cervicales possibles, à gauche en fonction des fascias et à droite en fonction de la ligne des processus transverses. Dessin personnel.	34
Figure 16 - Schéma du muscle sterno-mandibulaire. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	35
Figure 17 - Schéma du muscle brachio-céphalique. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	36
Figure 18 - Schéma des muscles scalènes moyen et ventral. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	37
Figure 19 - Schéma des muscles omo-hyoïdien, sterno-thyroïdien et sterno-hyoïdien. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	38
Figure 20 - Schéma du muscle trapèze. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	39
Figure 21 - Schéma du muscle omo-transversaire. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	40
Figure 22 - Schéma du muscle rhomboïde. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	41
Figure 23 - Schéma du muscle dentelé ventral du cou. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	42
Figure 24 - Schéma des muscles splénius du cou et de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	43
Figure 25 - Schéma des muscles complexus et digastrique du cou. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	44
Figure 26 - Schéma du muscle longissimus. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	45
Figure 27 - Schéma du muscle multifide cervical. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	47
Figure 28 - Illustration zoomée du muscle multifidus sur une vue dorsolatérale. A - la couche latérale. B - la couche médiale. C - la couche profonde. D'après Rombach, 2014 [57].	47
Figure 29 - Schéma du muscle épineux du cou. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	48
Figure 30 - Schéma du muscle grand droit dorsal de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	49
Figure 31 - Schéma du muscle petit droit dorsal de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	50
Figure 32 - Schéma du muscle oblique crânial. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	51
Figure 33 - Schéma du muscle oblique caudal. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	52
Figure 34 - Schéma des muscles intertransversaires cervicaux. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	53
Figure 35 - Schéma du muscle long du cou. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	55

Figure 36 - Illustration du muscle long du cou en vue ventrolatérale. A - la couche ventrale. B - la couche médiale. C - la couche profonde. D'après Rombach, 2014 [57].	55
Figure 37 - Schéma du muscle long de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	56
Figure 38 - Schéma du muscle droit ventral de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	57
Figure 39 - Schéma du muscle droit latéral de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].	58
Figure 40 - Plexus brachial et racines des nerfs destinés au membre thoracique, de l'épaule à la main. D'après Boulocher, 2008 [5].	60
Figure 41 - Zones de plus grandes mobilités de la colonne vertébrale équine. Squelette par Melotte, 2011 [48].	62
Figure 42 - Effet de la position du balancier cervico-céphalique sur la colonne vertébrale. D'après Rôles du ligament nuchal, 2013 [75].	63
Figure 43 - Courbe sinusoidale exagérée du mouvement du balancier cervico-céphalique au pas. Courbe rajoutée sur un dessin de Deretz, s.d. [16].	64
Figure 44 - Courbe sinusoidale exagérée du mouvement du balancier cervico-céphalique au trot. Courbe rajoutée sur un dessin de Franchet d'Espèrey, s.d. [22].	65
Figure 45 - Courbe exagérée du mouvement du balancier cervico-céphalique au galop. Courbe rajoutée sur un dessin de Etude du galop, 2013 [69].	66
Figure 46 - Courbe exagérée du mouvement du balancier cervico-céphalique au trot lors d'une boiterie du membre thoracique droit. D'après le dessin de Franchet d'Espèrey, s.d. [22].	67
Figure 47 - Position des points permettant l'analyse de la conformation. D'après Back, 2013 [3]. Photo par Percheron-international [77].	69
Figure 48 - Mesures et angles d'analyse de conformation. D'après Back, 2013 [3]. Photo par Percheron-international [77].	70
Figure 49 - Quatre positions de cassettes permettant de couvrir toute la colonne cervicale. D'après Cervical Spine, 2005 [61].	74
Figure 50 - Positionnement du cheval, de l'appareil radiographique et de la cassette pour une vue oblique cervicale. D'après Withers, 2009 [71].	75
Figure 51 - a - Radiographie cervicale haute d'un cheval sain de profil en légère rotation. b - Schéma explicatif de la radiographie cervicale haute d'un cheval adulte sain. Les contours de C1 sont dessinés. D'après Butler, 2017 [9].	78
Figure 52 - a - Radiographie de profil de C2 chez un cheval adulte sain. b - Schéma explicatif du profil de C2 d'un cheval adulte sain. Les contours de C2 sont dessinés. D'après Nottingham Vet School, s.d. [49].	79
Figure 53 - a - Radiographie de profil de l'occiput, C1 et C2 chez un jeune cheval sain. Les flèches pointent vers les cartilages de croissance et zones non ossifiées dont il faut se méfier chez le jeune. b - Schéma explicatif de la figure 53 a. Les contours de C2 sont dessinés. Les traits blancs représentent les trois cartilages de croissance du corps vertébral de l'axis. D'après Butler, 2017 [9].	80
Figure 54 - a - Radiographie de profil de C2, C3 et C4 chez un cheval sain. b - Schéma explicatif de la figure 52a. Les contours de C3 sont dessinés. D'après Johnson, 2017 [34].	81
Figure 55 - a - Profil radiographique de C6, C7 et la 1ère vertèbre thoracique d'un cheval adulte sain. S est le processus épineux de C7. b - Schéma explicatif 1 de la figure 53a. Les contours de C6 sont dessinés. Ce cheval présente une anomalie : le tubercule ventral de son processus transverse est partiellement absent unilatéralement, sans signes cliniques associés. c - Schéma explicatif 2 de la figure 53a. Les contours de C7 sont dessinés. D'après Johnson, 2017 [34].	83
Figure 56 - Radiographie de profil de l'articulation C1-C2, centré sur C2. Les éléments à regarder sont indiqués en rouge. D'après Nottingham Vet School, s.d. [49].	84
Figure 57 - Radiographie de profil de l'articulation C4 - C5 d'un cheval sain. Les surfaces articulaires sont tracées en vert. D'après Withers, 2009 [71].	85
Figure 58 - a) Vue latérolatérale de l'articulation C4-C5 chez un cheval adulte sain. b) Schéma explicatif de la fig. 56a. c) Photo de l'articulation C5-C6 en coupe sagittale d'os bouillis, centrée de façon à correspondre à la radiographie. D'après Withers, 2009 [71].	86
Figure 59 - Radiographie de profil de C2, C3, C4 et leurs articulations distales. Les triangles radiotransparents cités précédemment sont tracés en rouge. D'après Johnson, 2017 [34].	87
Figure 60 - Radiographie de profil de C2 et C3 d'un cheval adulte sain. Le processus transverse se superpose avec le triangle (flèche blanche). D'après Butler, 2017 [9].	87
Figure 61 - a - Radiographie oblique ventral gauche à dorsal droit avec un angle de 50° par rapport à l'horizontale de C4 à C7. C4 est à gauche. Il s'agit d'os bouillis d'un cheval sain. b - Schéma explicatif de la	

<i>figure 59a. En rouge sont tracés les contours des processus articulaires de C5 et C6. Les processus gauches apparaissent en dorsal. En vert sont tracées les surfaces articulaires des corps vertébraux C6 et C7. D'après Withers, 2009 [71].</i>	88
<i>Figure 62 - Mesures des processus articulaires proposées par Hett, 2006 [31] effectuées sur des radiographies de profil. D'après Lischer, 2010 [40].</i>	89
<i>Figure 63 - Mesures des processus articulaires prises en radiographie oblique. D'après Lischer, 2010 [40].</i>	90
<i>Figure 64 - a - Radiographie latérale de C5 à C7 d'un cheval adulte sain. b - Schéma explicatif de la figure 62a. Le canal vertébral est délimité. D'après Ross, 2011 [60].</i>	91
<i>Figure 65 - Mesures prises pour étudier les ratios sagittaux intervertébrale (A/B) et intravertébrale (C/B). Corrigé d'après Sprayberry, 2014 [66].</i>	92
<i>Figure 66 - Mesures de l'angle de cyphose α entre deux vertèbres et des cMSD (A et C). D'après Pujol, 2003 [54].</i>	93
<i>Figure 67 - Mesures proposées par Tomizawa, 1994 [68]. D'après Pujol, 2003 [54].</i>	94
<i>Figure 68 - a. Radiographie de profil des cervicales hautes et du crâne d'un poulain miniature présentant une malformation occipito-atlanto-axiale. b. Les contours de l'atlas et de l'axis sont tracés. On observe une occipitalisation de l'atlas, des condyles occipitaux inexistantes et une articulation atlanto-occipitale non visible, en plus d'une hypoplasie avec rotation transversale de l'atlas. L'axis semble mal articulé avec l'atlas. D'après Rosenstein et al, 2000 [59].</i>	100
<i>Figure 69 - Exemples de Lordose (à gauche) et de Cyphose (à droite) thoraciques. Cauvin, 1997 [11].</i>	101
<i>Figure 70 - Radiographie et myélographie de C4 - C5 chez un cheval présentant un OCD découvert à l'autopsie associé à une mauvaise congruence des processus articulaires (tête de flèche). Une sténose dynamique est affichée par la flèche blanche (cf. IV- 2) a. iii). D'après Buergelt, 2013 [8].</i>	102
<i>Figure 71 - Radiographie de C3-C4 présentant une subluxation de C4 associée à des signes d'arthrose de l'articulation. Cette hyperlaxité peut entraîner une sténose dynamique. D'après Couroucé-Malblanc, 2010 [13].</i>	105
<i>Figure 72 - Radiographie de profil d'un cheval présentant un remodelage osseux (flèche blanche) à l'enthèse du ligament nuchal. D'après Dyson, 2011 [19].</i>	109
<i>Figure 73 - Fracture déplacée et comminutive du corps et de l'arc vertébral de C3 suite à une chute. La moelle est sectionnée au niveau de la flèche noire suite à la subluxation associée. D'après Buergelt, 2013 [8].</i>	113
<i>Figure 74 - Exemple d'un poulain avec un torticolis sévère. https://veteriankey.com/skeletal-disorders/[76]</i>	118
<i>Figure 75 - Exemple de radiographie étudiée. Cette radiographie est un jpeg, centrée sur C6 donc renommée 1 - C. En rouge sont indiquées les anomalies, en bleu les mesures effectuées (sauf M3 qui est tracée mais non mesurée).</i>	126
<i>Figure 76 - Mesures prises sur une radiographie oblique. M3 est montrée sur la vertèbre crâniale pour des raisons de lisibilité.</i>	127
<i>Figure 77 - Atteinte du ligament nuchal.</i>	131
<i>Figure 78 - Exemple d'une érosion sur la dent de l'axis.</i>	132
<i>Figure 79 - Exemple d'une malformation atlanto-axio-occipitale sur une vue de face.</i>	133
<i>Figure 80 - Exemple d'un ostéophyte sur le processus transverse de C4.</i>	134
<i>Figure 81 - Comparaison de deux exemples pour C6-C7. a - processus articulaires gros, remodelés et avec une ligne articulaire floue et une incisure diminuée sur une vue de profil. b - processus articulaires intermédiaires, sains avec une ligne articulaire visible et une incisure peu diminuée sur une vue de profil.</i>	136
<i>Figure 82 - Exemple d'une fracture d'un processus articulaire en vue oblique.</i>	137
<i>Figure 83 - Exemple d'une diminution locale de la largeur du disque intervertébral entre C6 et C7 sur une vue de profil. Le cas présentait aussi des PA remodelés et une IV diminuée.</i>	138
<i>Figure 84 - Exemple d'un malalignement vertébral C7-T1 sur une vue de profil.</i>	139
<i>Figure 85 - Exemple d'un défaut de congruence articulaire entre processus articulaires de C7 et de T1 sur une vue de profil.</i>	140
<i>Figure 86 - Histogramme des pourcentages de chevaux présentant au moins une anomalie par articulation cervicale.</i>	142
<i>Figure 87 - Histogramme des types d'anomalies détectées en fonction de leur fréquence.</i>	143
<i>Figure 88 - Histogramme ci-contre (p140) de toutes les anomalies détectées en fonction de leur localisation, des premières vertèbres cervicales, à C7-T1, et en fonction de leur fréquence croissante.</i>	144
<i>Figure 89 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur la zone occiput - C2.</i>	147
<i>Figure 90 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C2 - C3.</i>	148

<i>Figure 91 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C3 - C4.</i>	<u>149</u>
<i>Figure 92 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C4 - C5.</i>	<u>150</u>
<i>Figure 93 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C5 - C6.</i>	<u>151</u>
<i>Figure 94 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C6 - C7.</i>	<u>152</u>
<i>Figure 95 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C7 - T1.</i>	<u>153</u>
<i>Figure 96 - Histogramme des fréquences d'apparition des ostéophytes en fonction de leur localisation.</i>	<u>154</u>
<i>Figure 97 - Histogramme des fréquences des chevaux touchés en fonction des élargissements des processus articulaires et de leur localisation.</i>	<u>155</u>
<i>Figure 98 - Histogramme des pourcentages d'apparition des remodelages des processus articulaires en fonction de leur localisation.</i>	<u>155</u>
<i>Figure 99 - Histogramme des fréquences de comblement des incisures vertébrales. 1/2 devant l'articulation indique un comblement inférieur à 50% et donc une incisure vertébrale peu diminuée.</i>	<u>156</u>
<i>Figure 100 - Histogramme de la fréquence des lignes articulaires des processus articulaires flous.</i>	<u>157</u>
<i>Figure 101 - Histogramme des pourcentages de chevaux touchés par une diminution du canal vertébral en fonction de leur localisation.</i>	<u>158</u>

2) Table des Tableaux

Tableau 1 - Tableau des constantes radiographiques pour des radiographies cervicales et céphaliques réalisées avec une cassette. D'après Butler, 2017 [6].	77
Tableau 2 - Tableau des constantes radiographiques pour des radiographies cervicales et céphaliques réalisées avec un appareil numérique. D'après Butler, 2017 [6].	77
Tableau 3 - Valeurs usuelles des mesures M1, M2 et M3 pour les vertèbres C6 et C7. D'après Hett, 2006 [13].	90
Tableau 4 - Causes avancées du syndrome de Wobbler équin. D'après Farrow, 2005 [9].	111
Tableau 5 - Tableau récapitulatif du code couleur utilisé	141
Tableau 6 - Tableau récapitulatif des chevaux présentant une ou plusieurs lésions de compression médullaire suspectée.	159
Tableau 7 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C2-C3, sur les radiographies de profil.	162
Tableau 8 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C2-C3, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.	162
Tableau 9 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C2 - C3, sur les radiographies de profil.	163
Tableau 10 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C3-C4, sur les radiographies de profil.	164
Tableau 11 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C3-C4, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.	165
Tableau 12 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C3 - C4, sur les radiographies de profil.	166
Tableau 13 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C4-C5, sur les radiographies de profil.	167
Tableau 14 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C4-C5, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.	168
Tableau 15 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C4 - C5, sur les radiographies de profil.	168
Tableau 16 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C5-C6, sur les radiographies de profil.	170
Tableau 17 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C5-C6, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.	171
Tableau 18 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C5 - C6, sur les radiographies de profil.	171
Tableau 19 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C6-C7, sur les radiographies de profil.	173
Tableau 20 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C6-C7, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.	174
Tableau 21 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C6 - C7, sur les radiographies de profil.	175
Tableau 22 - Valeurs seuils obtenus avec le groupe de chevaux étudiés.	176
Tableau 23 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C3-C4 sur les radiographies obliques.	178
Tableau 24 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C3-C4, une fois normalisée par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.	179
Tableau 25 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C3-C4, pour les écartements entre les processus articulaires, valeurs brutes et normalisées par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.	179
Tableau 26 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C4-C5 sur les radiographies obliques.	180
Tableau 27 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C4-C5, une fois normalisée par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.	181
Tableau 28 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C4-C5, pour les écartements entre les processus articulaires, valeurs brutes et normalisées par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.	182
Tableau 29 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C5-C6 sur les radiographies obliques.	183
Tableau 30 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C5-C6, une fois normalisée par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.	184

<i>Tableau 31 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C5-C6, pour les écartements entre les processus articulaires, valeurs brutes et normalisées par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.</i>	185
<i>Tableau 32 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C6-C7 sur les radiographies obliques.</i>	186
<i>Tableau 33 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C6-C7, une fois normalisée par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.</i>	186
<i>Tableau 34 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C6-C7, pour les écartements entre les processus articulaires, valeurs brutes et normalisées par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.</i>	187
<i>Tableau 35 - Tableau récapitulatif des pourcentages d'augmentation de taille des PA entre les PA de C2-C3 et de C3-C4.</i>	190
<i>Tableau 36 - Tableau récapitulatif des pourcentages d'augmentation de taille des PA entre les PA de C3-C4 et de C4-C5.</i>	190
<i>Tableau 37 - Tableau récapitulatif des pourcentages d'augmentation de taille des PA entre les PA de C4-C5 et de C5-C6.</i>	191
<i>Tableau 38 - Tableau récapitulatif des pourcentages d'augmentation de taille des PA entre les PA de C5-C6 et de C6-C7.</i>	191
<i>Tableau 39 - Probabilités d'augmentation des PA en fonction des PA suivants et précédents.</i>	192

ABREVIATIONS

σ : Ecart type

AOAJ : Anomalies Ostéo-Articulaires Juvéniles

C1 : Atlas, 1^{ère} vertèbre cervicale ou 1^{er} nerf cervical (dans la partie neurologie)

C2 : Axis, 2^{ème} vertèbre cervicale ou 2^{ème} nerf cervical (dans la partie neurologie)

C3 : 3^{ème} vertèbre cervicale ou 3^{ème} nerf cervical (dans la partie neurologie)

C4 : 4^{ème} vertèbre cervicale ou 4^{ème} nerf cervical (dans la partie neurologie)

C5 : 5^{ème} vertèbre cervicale ou 5^{ème} nerf cervical (dans la partie neurologie)

C6 : 6^{ème} vertèbre cervicale ou 6^{ème} nerf cervical (dans la partie neurologie)

C7 : 7^{ème} vertèbre cervicale ou 7^{ème} nerf cervical (dans la partie neurologie)

C8 : 8^{ème} nerf cervical

cMSD : Diamètre Sagittal Minimum corrigé

CT : Coupe Transversale

CV : Corps Vertébral

FFD : Focus Film Distance

FOCSA : Fragmentations Ostéochondrales des Surfaces Articulaires

Grid CH : Grid Cross-Hach

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

IV : Incisure Vertébrale

KOSC : Kystes Osseux Sous-Chondraux

kV : Kilovoltage

LA : « Ligne Articulaire » de l'articulation des processus articulaires, correspondant au croissant de lune radiotransparent

LCR : Liquide CéphaloRachidien

ligt : Ligament

m : Moyenne

mAs : Milliampère seconde

NOCAL : Nodules OstéoChondraux d'Avulsion Ligamentaire

NOCPA : Nodules OstéoChondraux Péri-Articulaires

OCD : OstéoChondrite Disséquante

p : p-value

PA : Processus Articulaires

PCR : Polymerase Chain Reaction

PE : Processus Epineux

PT : Processus Transverse

RS : Relative Speed

SID : Source to Image Distance

T1 : 1^{ère} vertèbre thoracique

INTRODUCTION

La colonne vertébrale est essentielle pour l'athlète équin. Les colonnes thoracolumbaire et lombosacrée sont très étudiées à l'heure actuelle dans le cadre des pathologies du dos affectant la performance des chevaux. L'importance de la région cervicale est de plus en plus mise en avant dans la locomotion équine et donc dans les pathologies de cette dernière. Peu d'articles ou d'études s'intéressent cependant aux lésions cervicales, à leurs fréquences ou aux différentes mesures des vertèbres cervicales en radiologie. Kobluk (1996)[36] écrivit "Resolution of problems associated with the musculoskeletal system can result in subtle to dramatic improvement in the performance of the horse" ainsi que "Poor performance often is associated with subtle lameness - grade 1 or less". Il s'avère donc malgré tout que toute lésion musculosquelettique est à prendre en compte.

Les contre-performances chez le cheval de sport sont liées à diverses causes. Selon Martin et al. 2000 [43], une cause a été déterminée dans 73,5% des cas (42,9% respiratoires, 9,5% cardiaques, 15,2% musculaires et 2,2% boiterie). D'autres causes auxquelles l'on peut penser semblent sous-estimées : les maladies chroniques sous-jacentes comme décrites par Fraipont et al. 2011 [21] et les lésions musculosquelettiques moins évidentes de prime abord dont les lésions cervicales qui nous intéressent ici.

L'examen complémentaire de référence cervical est la radiographie. Un bilan radiographique peut être demandé dans le cadre de contre-performance ou d'une visite d'achat, il s'agit alors de faire un inventaire des anomalies détectées sans connaître exactement l'impact clinique de ces lésions. Il est donc intéressant de savoir détecter les lésions radiographiques, aussi petites soient-elles. Elles pourraient en effet expliquer les contre-performances observées comme celles qui pourront se déclencher plus tardivement. Ces lésions cervicales sont cependant peu fréquemment des causes uniques suffisantes pour expliquer une contre-performance ou une boiterie. Il est nécessaire alors d'effectuer un bilan complet et de rechercher d'autres atteintes. Par contre, si ces lésions sont associées à des signes cliniques tels que des douleurs cervicales, des raideurs, des postures anormales ou des zones localisées de transpirations et/ou à une anesthésie locale positive, l'importance accordée aux lésions cervicales augmente [19].

Dans la littérature, l'analyse des radiographies cervicales se fait à l'œil ainsi qu'à l'aide de mesures étudiant les processus articulaires et le canal vertébral en particulier. Le recul sur ces mesures est faible et les seuils pathologiques ne sont pas clairement établis pour les processus articulaires. Nous allons essayer d'analyser de façon complète les mesures radiographiques cervicales obtenues et de comparer l'approche visuelle subjective avec celle plus objective des mesures.

Après avoir décortiqué la colonne cervicale équine, son impact sur la locomotion équine, la radiologie ainsi que les pathologies radiographiquement observables, une étude clinique étudiera la colonne cervicale. Cette dernière est basée sur des cas cliniques uniquement radiographiques. Elle tentera de déterminer les principales anomalies observées, l'intérêt des mesures et les seuils de référence. Elle analysera aussi l'augmentation des processus articulaires au sein d'un même individu.

Partie 1 – Etude bibliographique

**Bases anatomiques, biomécaniques, radiographiques
et pathologiques de la région cervicale**

I – Anatomie

1) Ostéologie cervicale

Comme chez la plupart des mammifères, la colonne vertébrale cervicale du cheval est composée de sept vertèbres cervicales (C1 à C7).

Comme toute vertèbre, une architecture de base commune est visible (figure1) : un corps ventral et un arc dorsal délimite le trou vertébral. La succession de ces trous façonne le canal vertébral protégeant la moelle épinière et ses méninges. Les deux processus transverses, le processus épineux dorsal et les quatre processus articulaires (deux crâniiaux et deux caudaux) appartiennent à l'arc.

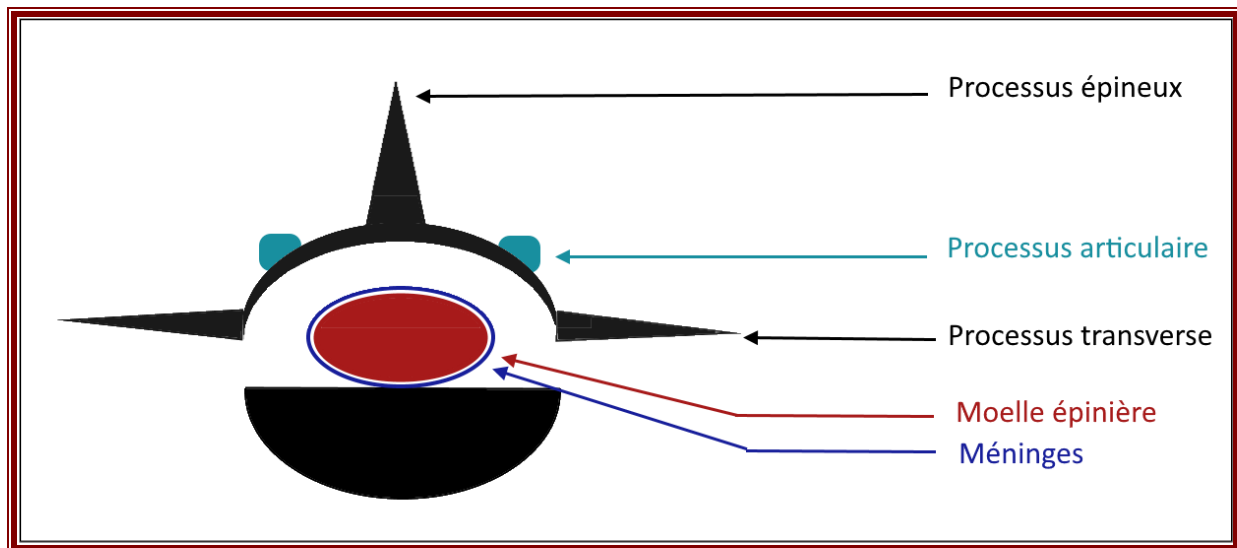


Figure 1- Schéma général d'une vertèbre. Vue craniocaudale. Dessin personnel.

Les vertèbres cervicales sont cubiques, longues, épaisses et fortes. Elles ont pour particularité d'avoir des processus épineux et transverses peu développés permettant d'obtenir la partie du rachis la plus mobile. Elles sont agencées en deux courbures, la première est composée des deux premières vertèbres cervicales (atlas et axis) qui suivent une courbure nucale à concavité ventrale, C3 est le point d'inversion et la seconde de C4 à C7 présente une courbure cervicale à concavité dorsale (figure 2) [4, 5, 7].

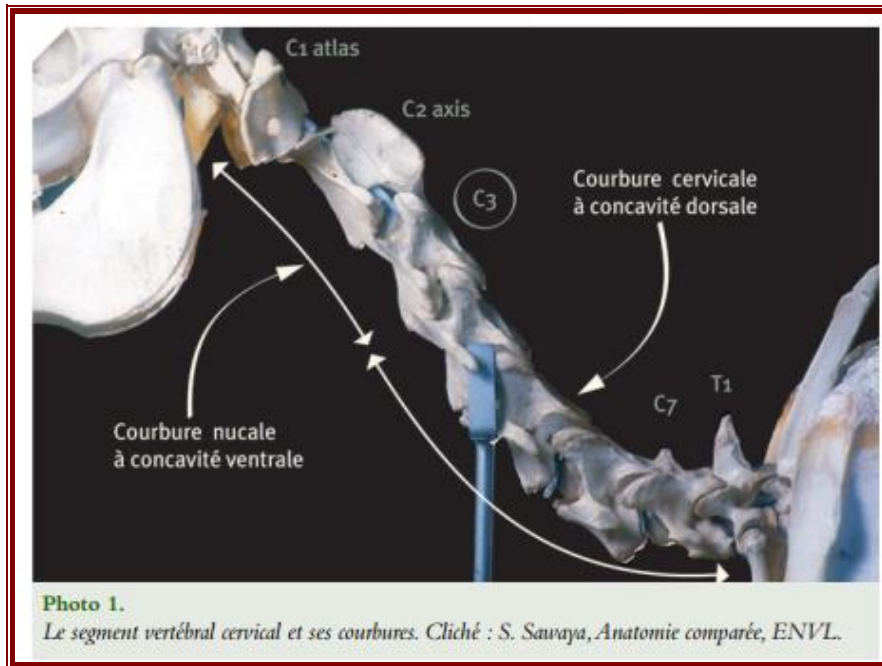


Figure 2 - Courbure nucale et cervicale basse de la colonne cervicale. D'après Boulocher, 2008[5].

a. L'atlas

L'atlas, C1, ne possède pas de corps ni de processus épineux, elle est en revanche composée de deux arcs et ses processus transverses sont développés en forme d'ailes où se distinguent un foramen vertébral latéral laissant passer le 1^{er} nerf cervical et un trou alaire. Son trou vertébral est large et s'élargit caudalement [4, 7].

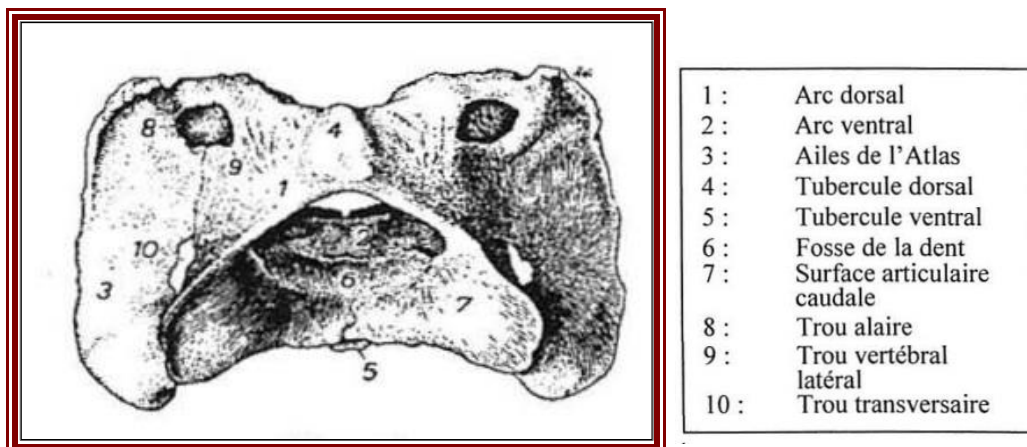


Figure 3 - Atlas, vue caudo-dorsale. D'après Barone, 1986 [4].

b. L'axis

L'axis, C2, est la plus longue et la plus haute des vertèbres cervicales. Son processus épineux est plus développé que chez les autres vertèbres cervicales, il a une forme de crête qui dans sa partie caudale semble se diviser en deux, vestige probable d'un élément pair (figure 4).

C2 possède une dent appelée dent de l'axis qui correspond à la surface articulaire de l'articulation atlanto-axiale crânialement qui se prolonge en une crête médiane ventrale. Les processus articulaires crâniaux aplanis entourent la dent. Elle présente aussi un foramen vertébral latéral laissant passer le 2^{ème} nerf cervical [4, 7].

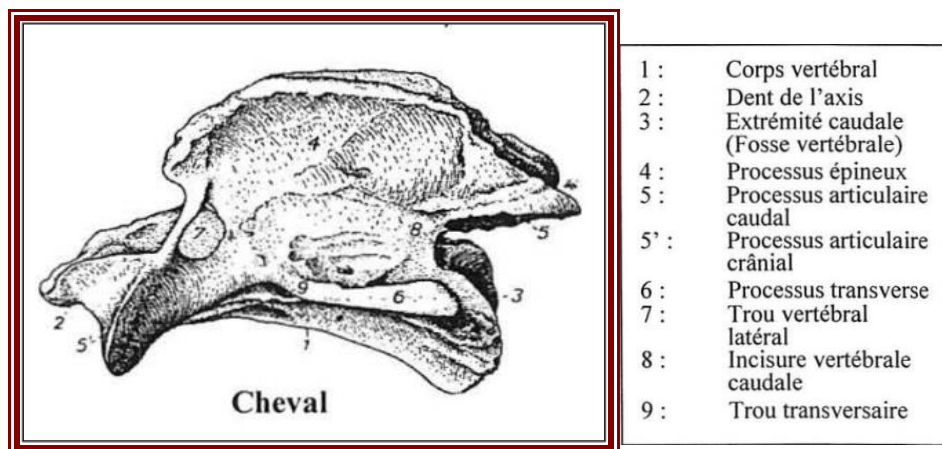


Figure 4 - Axis, vue latérale, crânial à gauche. D'après Barone, 1986 [4].

c. Les autres vertèbres

Crânio-caudalement, les vertèbres cervicales perdent en longueur pour gagner en largeur.

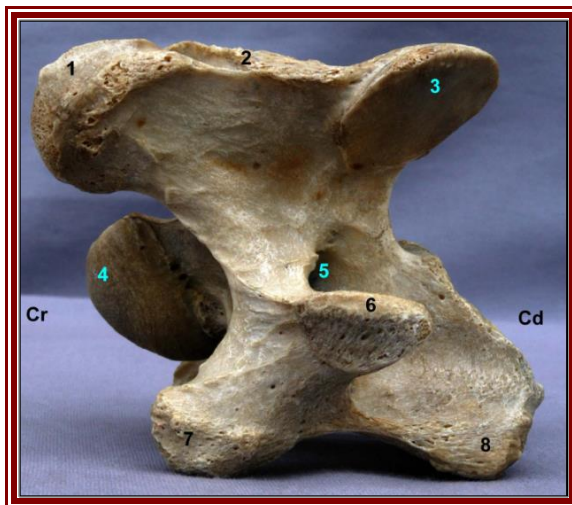
Les vertèbres C3 à C5 ont une forme semblable, avec un processus transverse bicuspidé : elles arborent des tubercules ventraux et dorsaux sur leurs processus transverses qui se réunissent en une crête (figure 5).



- 1 – Processus articulaire crânial
- 2 – Tête de la vertèbre
- 3 – Processus épineux
- 4 – Processus articulaire caudal
- 5 – Tubercule ventral du processus transverse
- 6 – Tubercule dorsal du processus transverse
- 7 – Foramen transversaire

Figure 5 - Vertèbres cervicales C3 à C5. Vue latérale, crânial à gauche (Cr) et caudal à droite (Cd). D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].

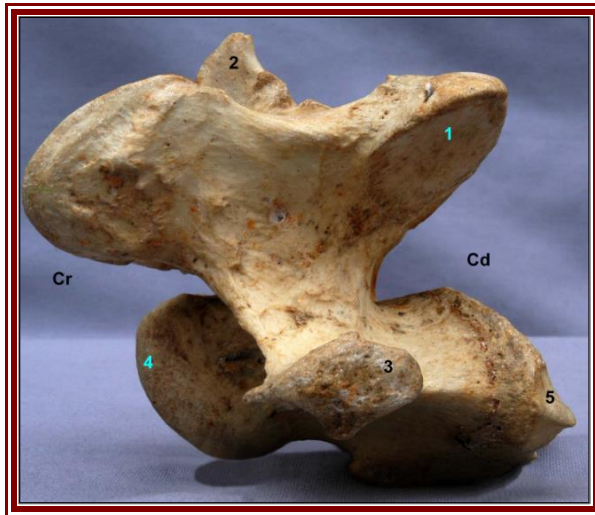
La sixième vertèbre cervicale est appelée la tricuspide, elle est courte. Ses processus transverses possèdent un tubercule dorsal et un tubercule ventral séparé en deux cuspides (crâniale et caudale). Son processus épineux est une pointe dirigée crânialement (figure 6).



- 1 – Processus articulaire crânial
- 2 – Processus épineux
- 3 – Processus articulaire caudal
- 4 – Tête de la vertèbre
- 5 – Foramen transversaire
- 6 – Tubercule dorsal du processus transverse
- 7 – Lame ventrale du processus transverse (cuspide crâniale)
- 8 – Lame ventrale du processus transverse (cuspide caudale)

Figure 6 - Vertèbre cervicale C6. Vue latérale, crânial à gauche (Cr) et caudal à droite (Cd). D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].

La dernière vertèbre cervicale C7 est encore plus courte. Elle présente des processus transverses unicuspidés et son processus épineux est dirigé crânialement et est plus imposant que chez ses consœurs (figure 7) [4, 7].



- 1 - Processus articulaire caudal
- 2 - Processus épineux
- 3 - Processus transverse
- 4 - Tête de la vertèbre
- 5 - *Fovea costalis* (processus articulaire costal)

Figure 7 - Vertèbre cervicale C7. Vue latérale, crânial à gauche (Cr) et caudal à droite (Cd). D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].

2) Arthrologie cervicale

[5]

a. Les articulations intervertébrales C2-T1

Une articulation est définie par les surfaces articulaires concernées et les moyens d'union mis en jeu.

Deux vertèbres N et N+1 sont unies par leur corps et par leur arc (figure 8).

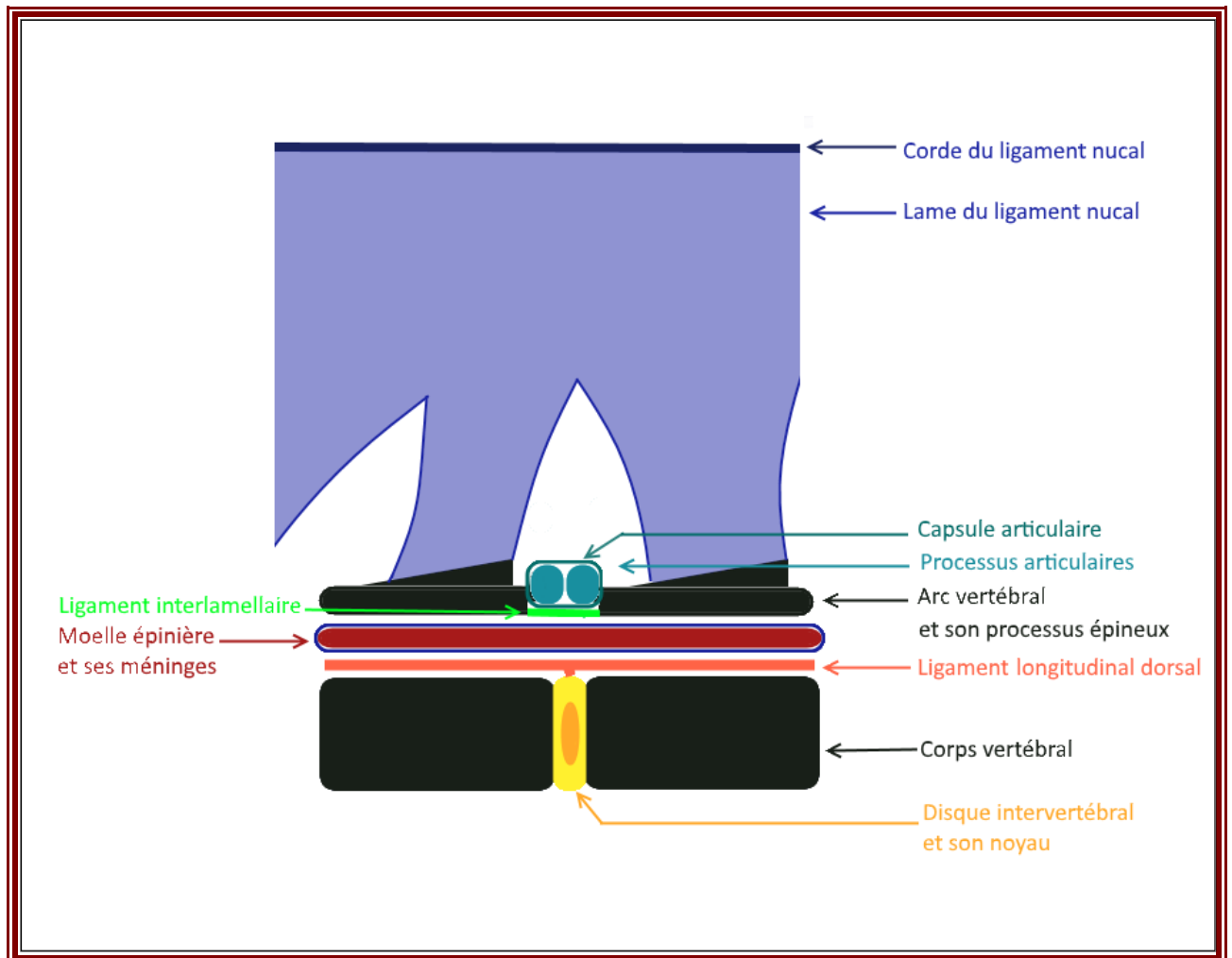


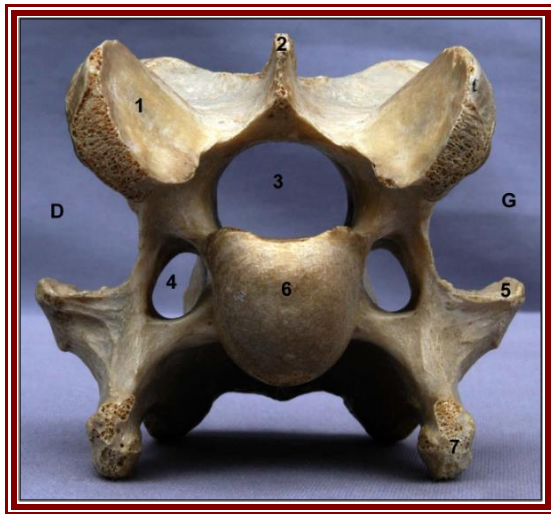
Figure 8 - Schéma des articulations intervertébrales cervicales. Dessin personnel, crânial à gauche.

i. *L'union des corps vertébraux*

Les surfaces articulaires

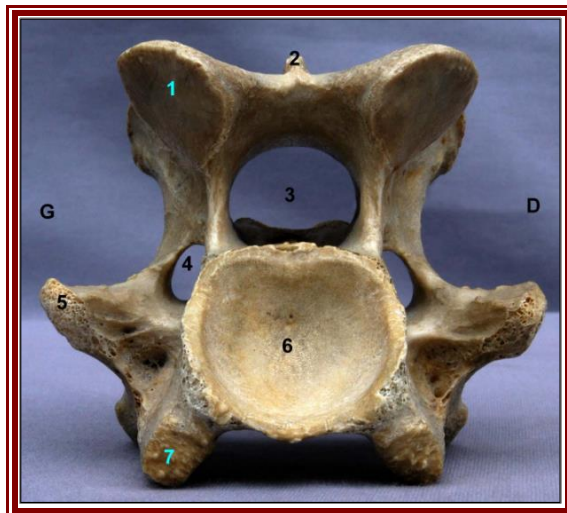
L'articulation des corps vertébraux est constituée de l'extrémité caudale ou fosse du corps vertébral N (figure 10) et de l'extrémité crâniale ou tête du corps vertébral N+1 (figure 9). Ses surfaces articulaires sont unies par le ligament longitudinal dorsal et par

le disque intervertébral. Il s'agit d'une symphyse soit une articulation fibro-cartilagineuse.



- 1 - Processus artulaire crânial
- 2 - Processus épineux
- 3 - Foramen vertébral
- 4 - Foramen transversaire
- 5 - Tubercule dorsal du processus transverse
- 6 - Tête de la vertèbre
- 7 - Lamme ventrale du processus transverse (cuspidé crâniale)

Figure 9 - Vertèbre cervicale C6. Vue crâniale, la gauche (G) et la droite (D) sont indiquées. D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].



- 1 - Processus artulaire caudal
- 2 - Processus épineux
- 3 - Foramen vertébral
- 4 - Foramen transversaire
- 5 - Tubercule dorsal du processus transverse
- 6 - Fosse de la vertèbre
- 7 - Lamme ventrale du processus transverse (cuspidé caudale)

Figure 10 - Vertèbre cervicale C6. Vue caudale, la gauche (G) et la droite (D) sont indiquées. D'après la thèse de Raffaelli, 2011 [55].

Les moyens d'union : le ligament longitudinal dorsal et le disque intervertébral

Le ligament longitudinal dorsal s'insère sur les disques intervertébraux et s'étire de l'axis au sacrum.

Le disque intervertébral est composé d'un anneau fibreux entourant un noyau pulpeux chez la plupart des espèces. Il a un rôle d'amortisseur. Chez les équidés, le noyau ne peut pas être qualifié de pulpeux, il est fibrocartilagineux avec une fibrose progressive

centrifuge du disque, sans délimitation nette du noyau. Les disques intervertébraux cervicaux sont les plus épais avec un maximum atteint à la jonction cervico-thoracique.

ii. *L'union des arcs vertébraux*

Les surfaces articulaires

L'union des arcs vertébraux met en scène les processus articulaires caudaux N et les processus articulaires crâniens N+1. Ces processus sont recouverts d'une capsule articulaire et lubrifiés par la synovie, ce sont des articulations synoviales.

Les moyens d'union : Les ligaments

Des ligaments maintiennent la diarthrose en place : Les ligaments jaunes ou interlamellaires, qui forment le canal vertébral, et le ligament nucal.

Le ligament nucal

Le ligament nucal est un ligament élastique pair composé de deux parties (figure 11). La partie dorsale ou funiculaire est la corde, la ventrale est appelée la lamina ou lame.

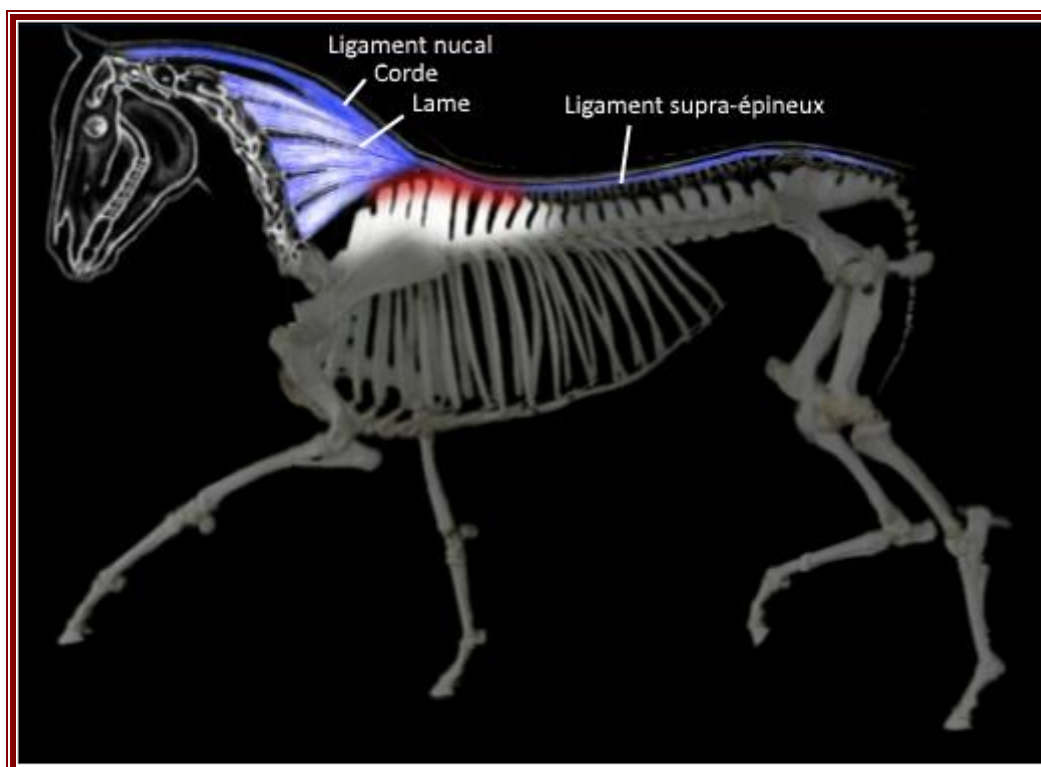


Figure 11 - Le ligament nucal et ses deux parties : la lame et la corde se poursuivent par le ligament supra-épineux. D'après Melotte, 2011 [48].

La corde part de la protubérance occipitale externe et s'étend vers le sommet des processus épineux des 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} vertèbres thoraciques. Elle est alors continuée

par le ligament supra-épineux le long des processus épineux des vertèbres thoraciques, lombaires et sacrales.

Crânialement, elle prend la forme d'une corde ovale qui ne s'attache ni sur C1, ni sur C2 et glisse dans les bourses nucales crânielles et caudales, dorsale à ces vertèbres. Elle s'aplatit par la suite à mi-encolure en position paramédiane puis passe dans la bourse supraspinale dorsale aux processus épineux des premières vertèbres thoraciques. Elle rejoint ensuite le ligament supra-épineux impair et médian.

La lame relie les processus épineux de toutes les vertèbres cervicales (sauf C1 n'en possédant pas) à la corde (figure 11).

Ce ligament fort et élastique est très important, il aide passivement les muscles extenseurs de la tête en équilibrant le poids de la tête et de l'encolure. Il agit aussi dans le mouvement ; quand le cheval étire son encolure et baisse la tête, la corde tire sur les processus épineux thoracique et lombaires ; ce qui provoque un raidissement de la zone dorso-lombaire.

Il est aussi impliqué dans le balancier cervico-céphalique et donc dans l'effort propulsif des membres [7].

b. L'articulation atlanto-occipitale

La jonction atlanto-occipitale est une diarthrose bicondylienne entre les condyles de l'os occipital et les surfaces articulaires crânielles de l'atlas. Les deux cavités synoviales bien développées sont protégées par une capsule articulaire, elle-même renforcée de chaque côté par un ligament atlanto-occipital latéral. Ces ligaments séparent la capsule articulaire en deux compartiments, un dorsal et un ventral.

c. L'articulation atlanto-axiale

C'est une diarthrose synoviale trochoïde, c'est-à-dire qu'elle peut pivoter, entre les deux surfaces articulaires caudales planes, la fosse de la dent de l'axis et la dent de l'axis. La capsule articulaire maintient l'articulation aidée par le système ligamentaire fort présent dans cette articulation.

Ces ligaments peuvent être classés en plan.

Sur le plan superficiel, le ligament longitudinal dorsal se prolonge en une membrane recouvrante, la membrana tectoria (figure 12).

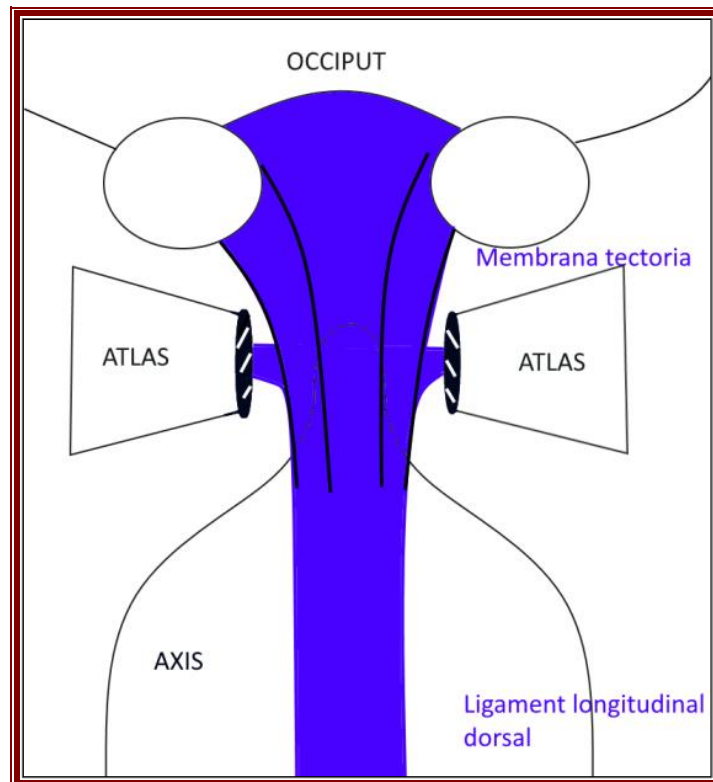


Figure 12 - Schéma des ligaments atlanto-axiaux. Vue dorsale. Plan superficiel. Dessin personnel.

Sur le plan moyen, on retrouve le ligament atlanto-axial qui correspond au ligament longitudinal ventral des vertèbres thoraciques, lombaires et sacrées, ce dernier n'existant pas au niveau des autres vertèbres cervicales. Le ligament transverse de l'atlas retrouvé chez les carnivores appartient aussi à ce plan mais il n'existe pas chez le cheval (figure 13).

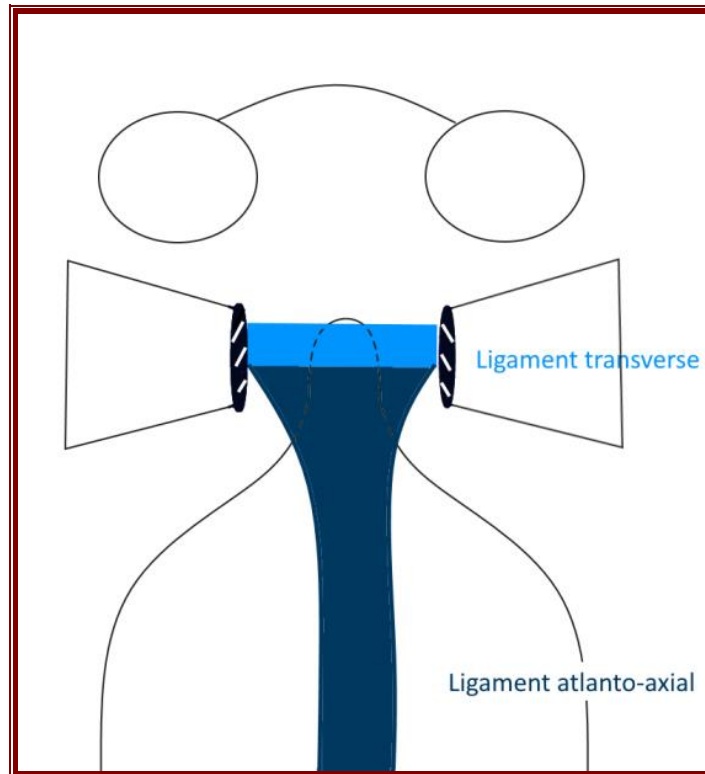


Figure 13 - Schéma des ligaments atlanto-axiaux. Vue dorsale. Plan moyen. Dessin personnel.

Sur le plan profond, le ligament de la pointe de la dent et les ligaments alaires maintiennent la dent dans la fosse pour une mobilité rotatoire optimisée sans risque de saillie dans le canal vertébral et donc de lésion de la moelle épinière (figure 14).

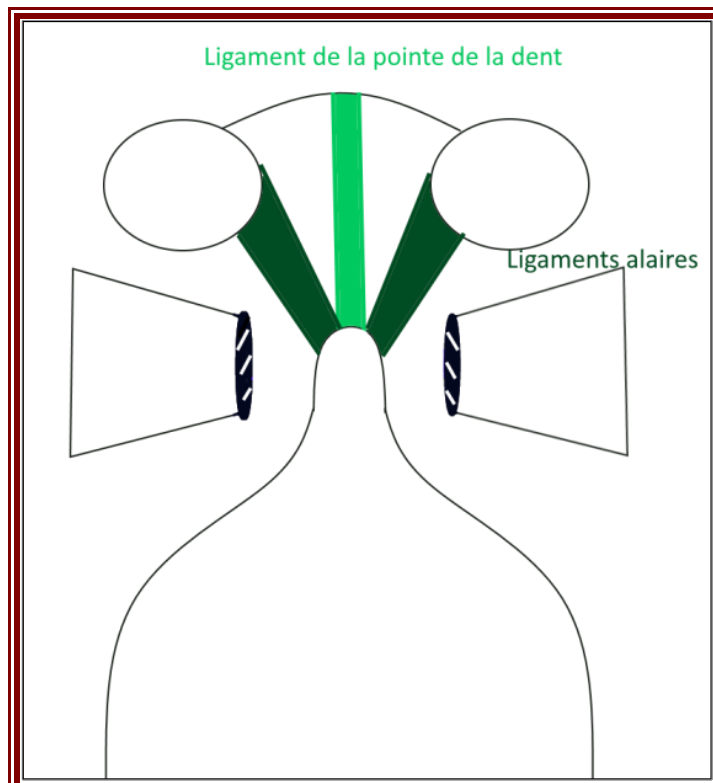


Figure 14 - Schéma des ligaments atlanto-axiaux. Vue dorsale. Plan profond. Dessin personnel.

3) Myologie cervicale

[3, 5, 7, 57, 74]

La région cervicale possède un fascia délimitant trois différentes zones : les régions cervicales dorsale, ventrale et moyenne. Cette dernière est centrée sur les vertèbres cervicales. Les deux autres se partagent le reste du cou en prenant comme limite la ligne horizontale formée par les processus transverses des vertèbres. Une autre possibilité de division se fait selon la ligne des processus transverses qui séparent le cou en l'épisome et l'hyposome (figure 15). Ils sont ensuite répartis en plan en fonction de leur profondeur.

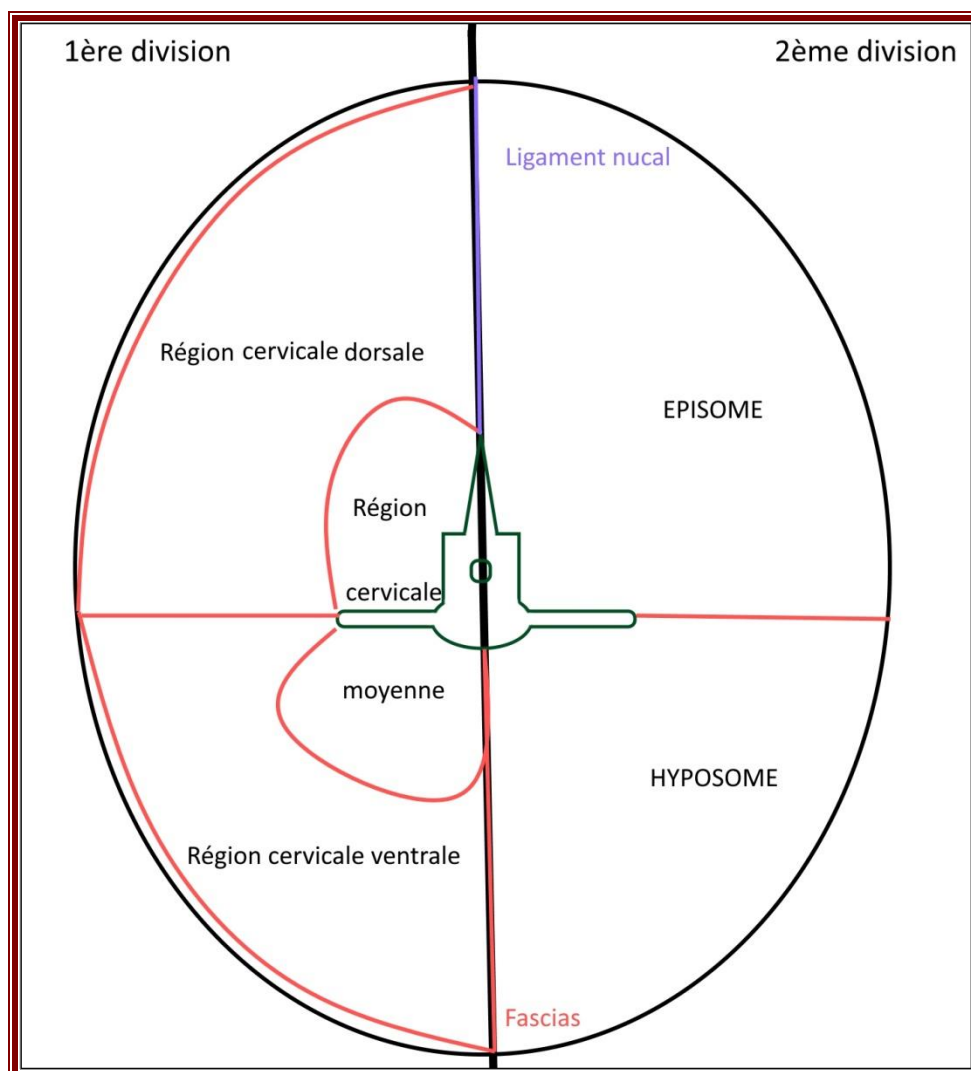


Figure 15 - Schéma de CT d'encolure, avec deux divisions cervicales possibles, à gauche en fonction des fascias et à droite en fonction de la ligne des processus transverses. Dessin personnel.

a. Muscles de la région cervicale ventrale (Hyposome)

i. *Muscles fléchisseurs***Muscle sternocéphalique - *Musculus sternocephalicus****Morphologie*

Le muscle sternocéphalique est un muscle pair, long et fin. Il se trouve dans le plan superficiel, ventro-latéralement à la trachée et aux sillons jugulaires. A l'insertion sur le sternum, les deux muscles sont fusionnés sur une vingtaine de centimètres avant de se diviser. Crânialement, il se finit par un tendon fort sur le bord caudal de la mandibule. Il est lié à l'insertion du muscle brachiocephalique par le fascia sous parotidien.

Chez le cheval, il est appelé sterno-mandibulaire car contrairement aux carnivores, il ne s'attache pas sur l'os temporal mais sur les mandibules.

Insertions

Il s'insère sur le manubrium sternal et sur le bord caudal de la mandibule (figure 16).

Rôles

Lors d'une contraction unilatérale, il provoque une latéroflexion et une rotation, de la tête et de l'encolure. Lorsqu'elle est bilatérale, l'action entraîne une flexion de la nuque et du cou.

Innervations

Il est innervé pour la motricité par le nerf accessoire et pour la sensibilité par le rameau ventral du 2^{ème} nerf cervical.

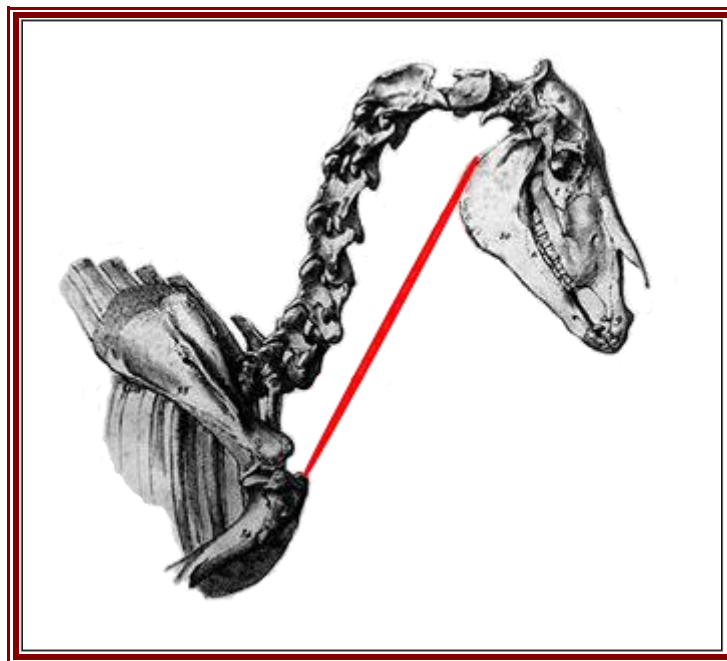


Figure 16 - Schéma du muscle sterno-mandibulaire. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle brachiocéphalique - *Musculus brachiocephalicus**Morphologie*

Le muscle brachiocéphalique est un muscle pair, très long et épais. Il se situe dans le plan superficiel, dorso-latéralement au muscle sternocéphalique. Il est composé d'une bande charnue unique, presque uniforme sur tout son long. Il est en réalité composé des muscles cleido-brachial et cleido-mastoïdien qui n'apparaissent pas séparés à première vue. Dans les profondeurs musculaires, en regard de l'intersection claviculaire subsiste un restant d'une clavicule fibreuse.

Insertions

Il s'insère sur la crête humérale près de la tubérosité deltoïdienne.

Il se termine sur le processus mastoïde et sur la crête mastoïdienne de l'os temporal par une courte mais forte lame aponévrotique se prolongeant jusqu'à la crête nucale (figure 17).

Rôles

Lorsque le membre est à l'appui, c'est un muscle fléchisseur de la tête et de l'encolure. Si la contraction est unilatérale, il permet une latéroflexion de la tête et de l'encolure. Si l'action est bilatérale, il permet une flexion simple de l'encolure avec extension de la nuque.

Quand le membre est au soutien, à l'aide du muscle omo-transversaire, il permet la protraction du membre antérieur.

Innervations

Les nerfs accessoire (XI) et axillaire lui apportent la motricité, tandis que les rameaux ventraux des nerfs cervicaux offrent la sensibilité.



Figure 17 - Schéma du muscle brachiocéphalique. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscles scalènes - *Musculi scaleni**Morphologie*

Il existe deux muscles scalènes, chez le cheval. Ils sont pairs et appartiennent au plan moyen.

Insertions

Le scalène ventral est large et long. Il possède une aponévrose en surface. Il s'insère sur les processus transverses des 4 dernières vertèbres cervicales et sur l'extrémité proximale de la première côte.

Le scalène moyen est court et triangulaire, il s'attache aux processus transverses de la dernière vertèbre cervicale et à l'extrémité proximale de la première côte (figure 18).

Rôles

Les muscles scalènes fléchissent la base de l'encolure, c'est à dire le segment C4 à la 1^{ère} vertèbre thoracique (T1) quand ils se contractent bilatéralement. Ils permettent une latéroflexion et une rotation en cas d'action unilatérale. Lorsque le point fixe est l'encolure, ils tirent sur la première côte crânialement dans le cadre de la respiration.

Innervations

Ils sont innervés par les branches ventrales des derniers nerfs cervicaux.

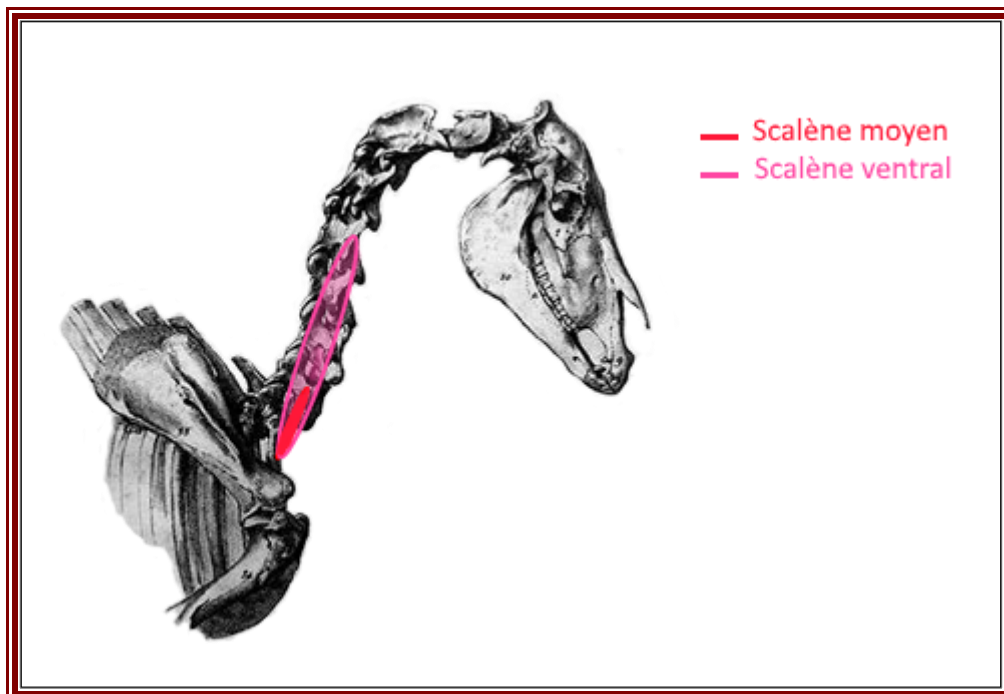


Figure 18 - Schéma des muscles scalènes moyen et ventral. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

ii. Autres muscles

Muscles sterno-hyoïdien, sterno-thyroïdien et omo-hyoïdien - *Musculus sternohyoideus*, *Musculus sternothyroideus* et *Musculus omohyoideus**Rôles et innervations*

Ces trois muscles n'ont aucune action dans la locomotion du cheval et ne nous intéressent donc que peu. Ils agissent sur l'os hyoïde par traction et tire le larynx caudalement. Ils sont innervés par les branches ventrales des premiers nerfs cervicaux.

Le muscle sterno-hyoïdien

Le muscle sterno-hyoïdien est long, fin et plat. Il est ventral à la trachée qu'il longe de tout son long. Il rejoint le muscle sterno-thyroïdien sur ses deux tiers caudaux. Il s'insère sur le manubrium et sur l'os basi-hyoïde. Les muscles sterno-hyoïdiens droit et gauche ont leurs bordures fusionnées dans la moitié caudale du cou.

Le muscle sterno-thyroïdien

Le muscle sterno-thyroïdien est très semblable au précédent mais il se termine sur le bord caudal du cartilage thyroïde du larynx.

Le muscle omo-hyoïdien

Le muscle omo-hyoïdien est un muscle large et fin. Il se termine par une aponévrose sur le fascia axillaire. Crânialement il s'insère sur le basi-hyoïde comme le sterno-hyoïdien.

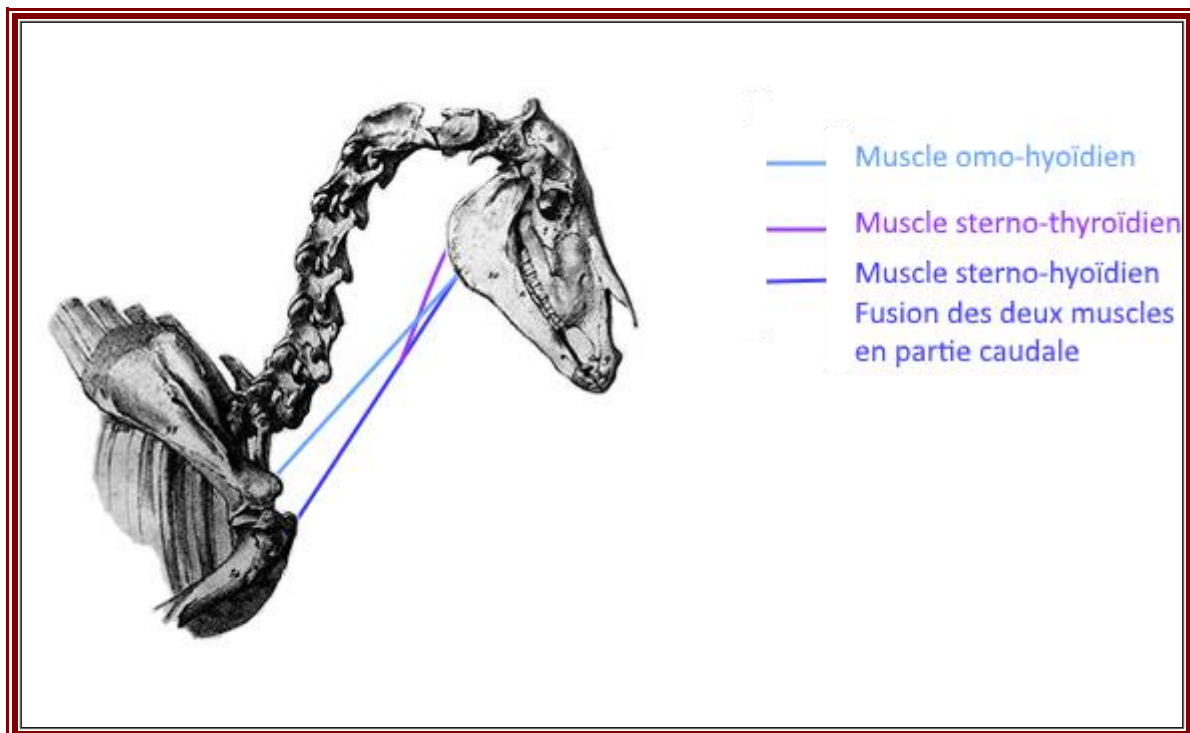


Figure 19 - Schéma des muscles omo-hyoïdien, sterno-thyroïdien et sterno-hyoïdien. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

b. Muscles extenseurs de la région cervicale dorsale (Episome)

Muscle trapèze - *Musculus trapezius**Morphologie*

Le trapèze est un muscle du plan superficiel. Il est plat et pair. Il forme un triangle dont la base dorsale fait le lien entre ses deux parties symétriques. Il est composé de deux parties charnues de part et d'autre de l'épine scapulaire, séparant une partie cervicale et une partie thoracique.

Insertions

Il s'insère sur la corde du ligament nuchal pour la partie cervicale puis sur le ligament supra-épineux pour la partie thoracique. Toutes ses fibres musculaires convergent vers son insertion sur l'épine scapulaire (figure 20).

Rôles

Ce muscle est abducteur de l'épaule. Il participe aussi à l'extension de l'encolure et si l'action est unilatérale, il permet une latéflexion de l'encolure.

Innervations

Il est innervé par le nerf accessoire.

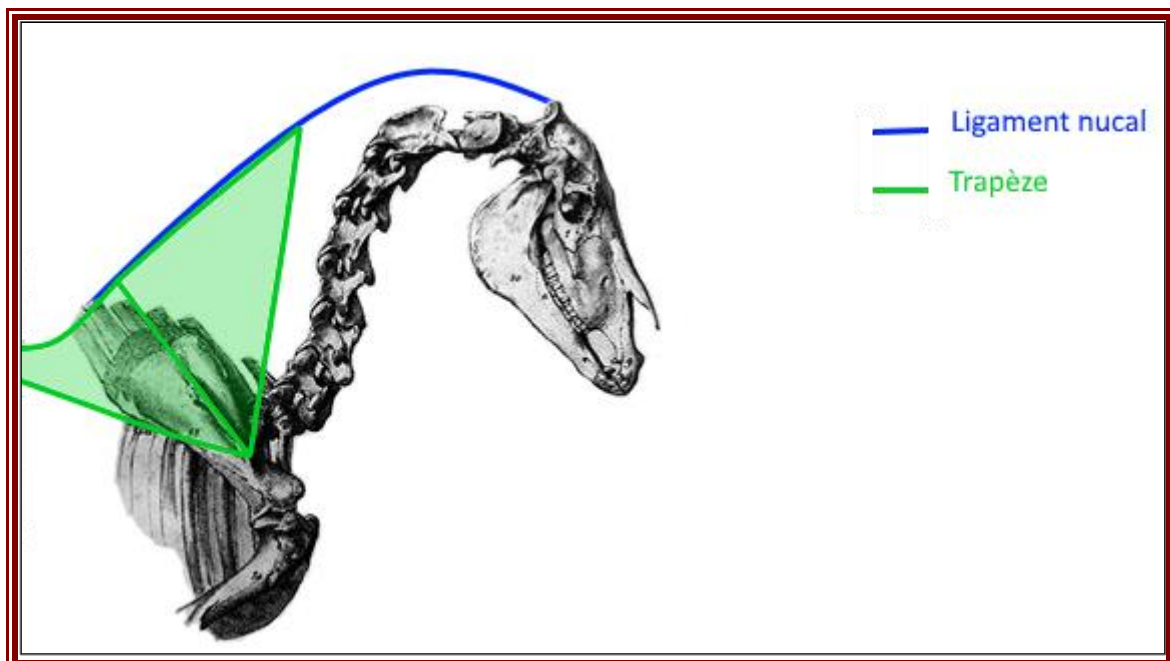


Figure 20 - Schéma du muscle trapèze. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle omo-transversaire - *Musculus omotransversarius**Morphologie*

Le muscle omo-transversaire est un muscle pair du plan superficiel. Il est très allongé, divisé en quatre bandes charnues crânialement. Il s'achève par une aponévrose caudalement. Sa bordure ventrale est fusionnée avec la bordure dorsale du muscle brachiocéphalique caudalement.

Insertions

Chaque bande possède une insertion crâniale, respectivement les ailes de l'atlas et les processus transverses des vertèbres cervicales C2, C3 et C4. Elles se terminent sur l'épine scapulaire et la crête humérale (figure 21).

Rôles

Si le membre est à l'appui, ce muscle permet l'extension de l'encolure et de la nuque si la contraction est bilatérale; si elle n'est qu'unilatérale, il entraînera une latéflexion avec rotation de l'encolure.

Lorsque le membre est au soutien, une protraction associée à une extension du membre est possible grâce au muscle brachiocéphalique.

Innervations

Il est innervé par le nerf accessoire.

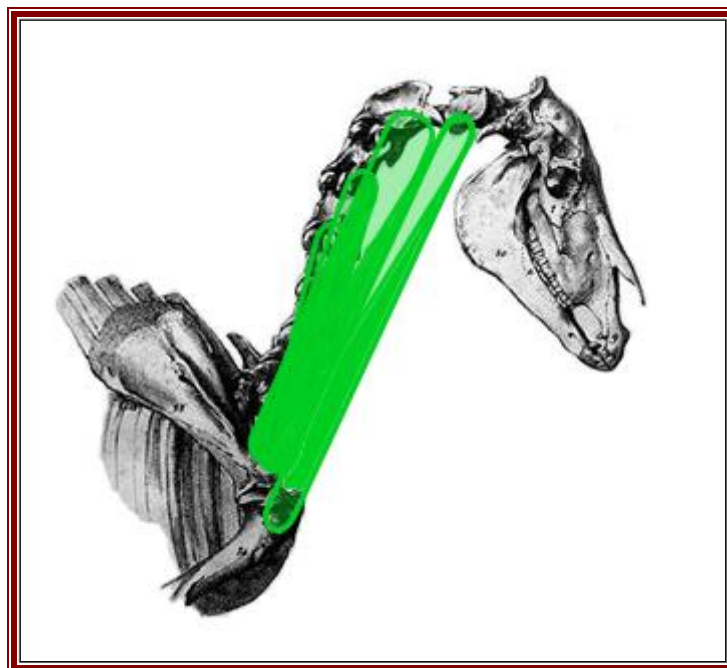


Figure 21 - Schéma du muscle omo-transversaire. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle rhomboïde - *Musculus rhomboideus**Morphologie*

Le muscle rhomboïde est un muscle du plan moyen. Il est pair. Il peut être considéré comme le symétrique du trapèze par rapport à la scapula. De forme globalement trapézoïdale, il est séparé, comme le muscle trapèze, en une partie cervicale et une partie thoracique.

Insertions

Il s'insère sur les deux tiers postérieurs du ligament nuchal pour la partie cervicale, sur les processus épineux de la 2^{ème} à la 7^{ème} vertèbre thoracique pour la partie thoracique. Il se finit sur la face médiale du cartilage scapulaire (figure 22).

Rôles

Au repos, il maintient la scapula sur le tronc. En action, lorsque le point fixe est basé sur l'encolure, il tire l'épaule crânio-dorsalement. Si le point fixe est l'épaule, il provoque une extension basse ou une latéroflexion de l'encolure.

Innervations

Il est innervé par le rameau dorsal du 6^{ème} nerf cervical.

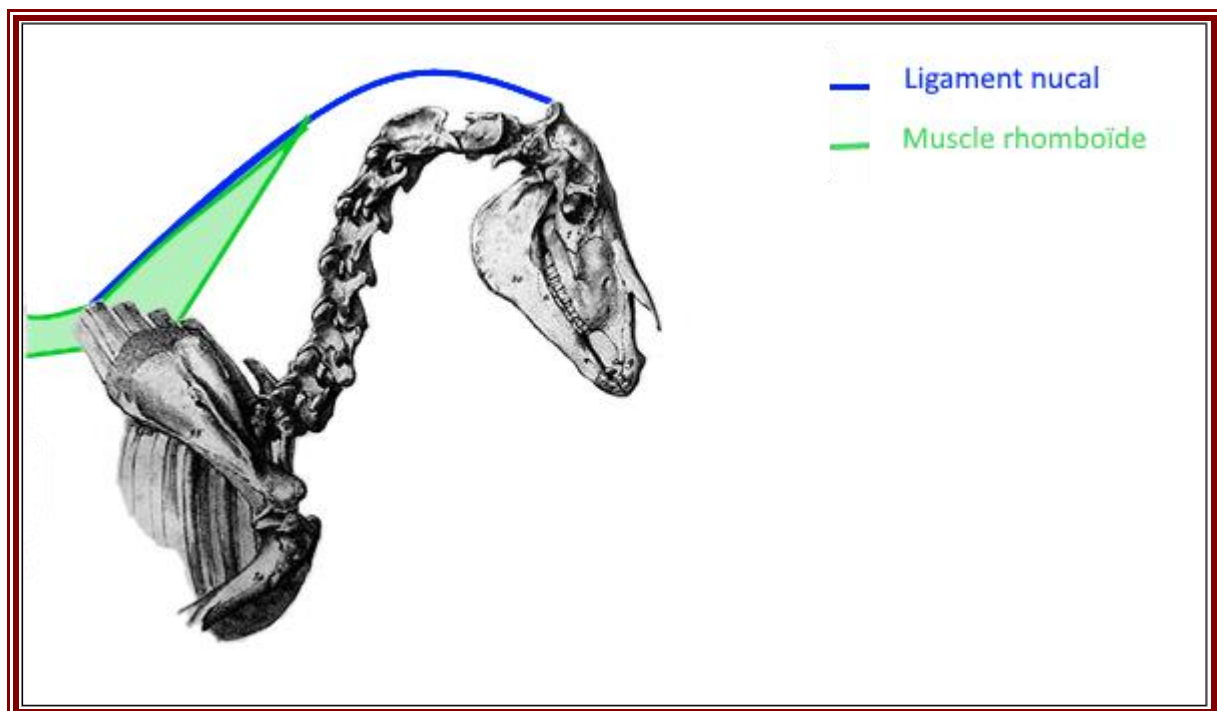


Figure 22 - Schéma du muscle rhomboïde. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle dentelé ventral du cou - *Musculus serratus ventralis cervicis**Morphologie*

Le muscle dentelé ventral du cou est une prolongation du muscle dentelé ventral du thorax. Il est plat, triangulaire pair et appartient au plan moyen. Il est divisé en cinq bandes charnues.

Insertions

Les bandes charnues s'insèrent respectivement sur les processus transverses des cinq dernières vertèbres cervicales et se terminent sur la face médiale de la scapula et sur la surface dentelée crâniale du thorax (figure 23).

Rôles

Au repos, à l'aide du grand dentelé du thorax, il soutient l'encolure et le thorax entre les membres antérieurs.

En activité, lorsque l'encolure est fixe, il tire sur la scapula sur sa partie dorsale et la fait donc basculer vers l'avant. Lorsque la scapula est fixe, il provoque une extension cervicale en cas d'action bilatérale ou une latéroflexion en cas d'unilatéralité de celle-ci.

Innervations

Il est innervé par les rameaux dorsaux des nerfs cervicaux.

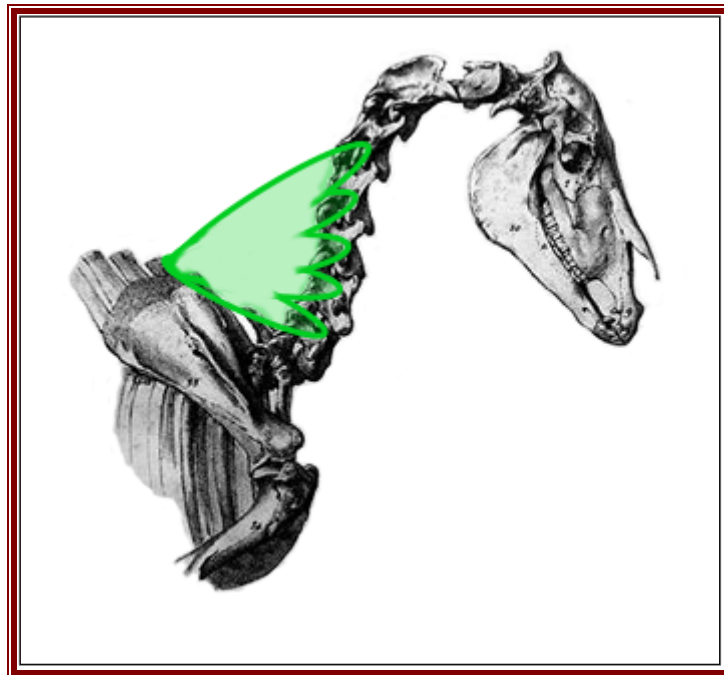


Figure 23 - Schéma du muscle dentelé ventral du cou. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle splénius de la tête et du cou - *Musculus splenius*

Morphologie

Le muscle splénius est un muscle plat, pair, appartenant au plan moyen. Il est de forme triangulaire, séparé en deux faisceaux : le muscle splénius de la tête et le muscle splénius du cou.

Insertions

Le premier s'insère sur l'atlas à l'aide d'un petit tendon et sur la crête mastoïdienne et l'apophyse du mastoïde au travers de l'aponévrose du brachiocéphalique.

Le second s'attache aux processus épineux et transverses des vertèbres C2, C3, C4 et C5.

Les deux s'achèvent sur les processus épineux des premières vertèbres thoraciques grâce à l'aponévrose d'origine du muscle splénius, aponévrose qui rejoint le fascia thoraco-lombaire (figure 24).

Rôles

Le muscle splénius est tenseur du fascia thoraco-lombaire lorsque l'encolure et la tête sont fixes. Dans le cas contraire où le thorax est fixe, il permet une extension de l'encolure et de la nuque lors d'une action bilatérale et une rotation et latéroflexion lorsqu'elle est unilatérale.

Innervations

Il est innervé par les rameaux dorsaux des nerfs cervicaux.

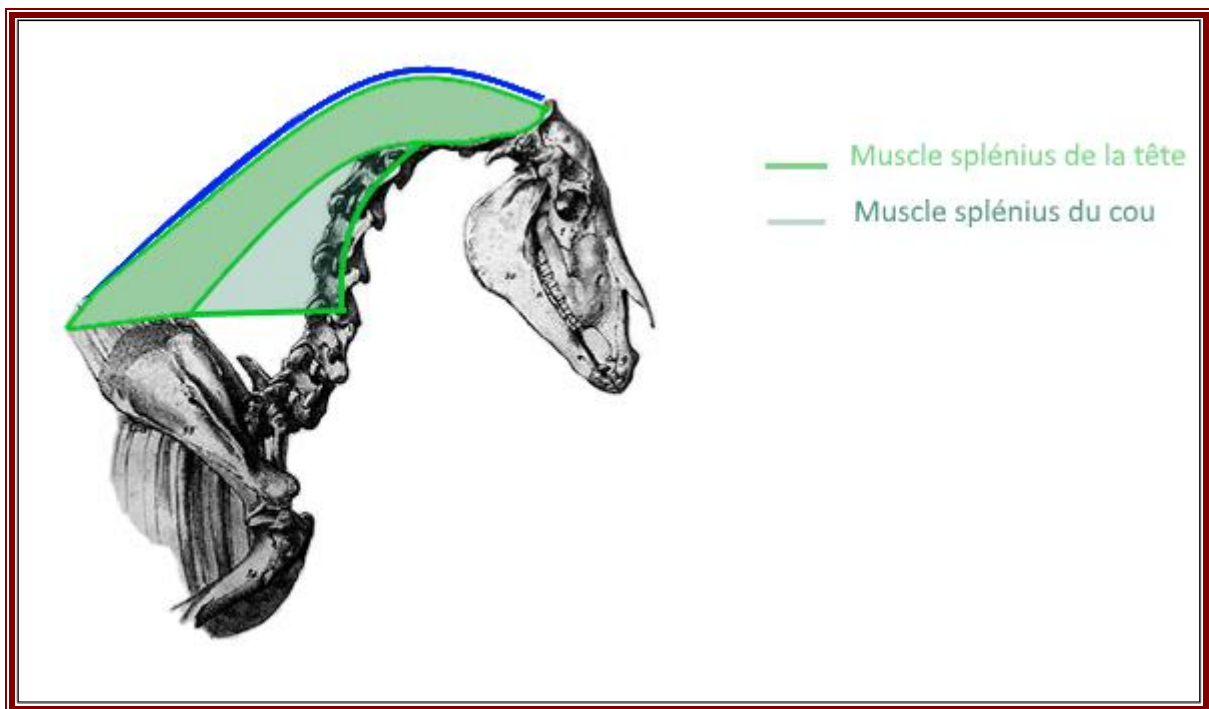


Figure 24 - Schéma des muscles splénius du cou et de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle semi-épineux de la tête - *Musculus semispinalis capitis**Morphologie*

Il est autrement appelé le grand complexe. C'est un muscle du plan profond, pair, volumineux, large et triangulaire. Il est composé de deux parties, une dorsale appelée muscle digastrique du cou et une ventrale dit muscle complexe.

Insertions

Il se termine crânialement, par un très fort tendon réunissant les deux moitiés, sur la protubérance occipitale externe.

Le muscle digastrique du cou prend origine sur les processus épineux et transverses de la 3^{ème} à la 7^{ème} vertèbre thoracique où il rejoint l'aponévrose du muscle splénius. Il est donc lié au fascia thoraco-lombaire. Le complexe, quant à lui, a une insertion caudale au niveau des processus transverses des deux premières vertèbres thoraciques ainsi que sur les processus articulaires des vertèbres cervicales mis à part l'atlas (figure 25).

Rôles

Avec une encolure fixe, le muscle semi-épineux de la tête tend le fascia thoraco-lombaire et est extenseur de la base de l'encolure.

Avec un thorax fixe, en contraction unilatérale, il permet une latéroflexion et une rotation de la tête. Avec une action bilatérale, il est extenseur de l'encolure et de la nuque.

Innervations

Il est innervé par les rameaux dorsaux des nerfs cervicaux.

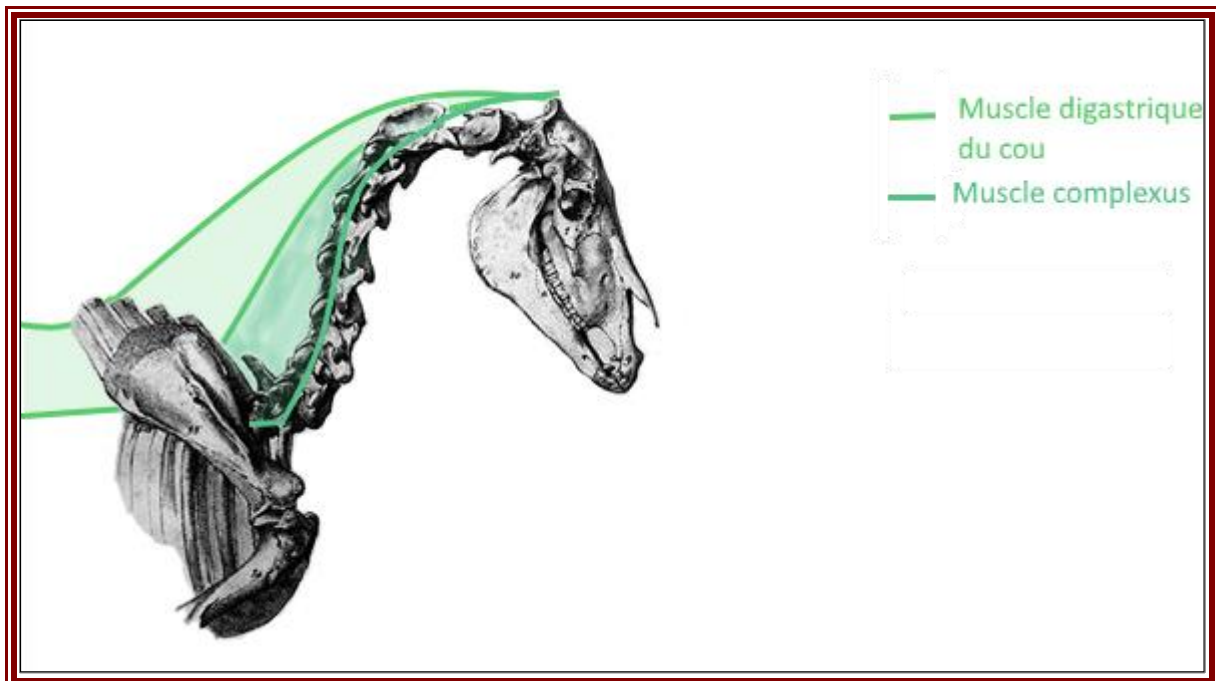


Figure 25 - Schéma des muscles complexe et digastrique du cou. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscles longissimus de la tête et de l'atlas – *Musculus longissimus**Morphologie*

Le muscle longissimus de la tête et de l'atlas appartient au plan profond. Il est autrement appelé le petit complexe. Il est fusiforme, pair, allongé et aplati.

Il est divisé en deux bandes charnues : le longissimus de la tête et le longissimus de l'atlas.

Insertions

Le longissimus de la tête s'attache sur l'apophyse mastoïde, tandis que le longissimus de l'atlas s'insère sur l'aile de l'atlas.

Les deux bandes se terminent sur les processus transverses des deux premières vertèbres thoraciques et sur les processus articulaires des vertèbres cervicales exceptées l'atlas (figure 26).

Rôles

Ce muscle permet une extension de la nuque et du cou lors d'une contraction bilatérale. Lorsque l'action est unilatérale, il exécute une extension et une rotation de la nuque.

Innervations

Il est innervé par les rameaux dorsaux des nerfs cervicaux.

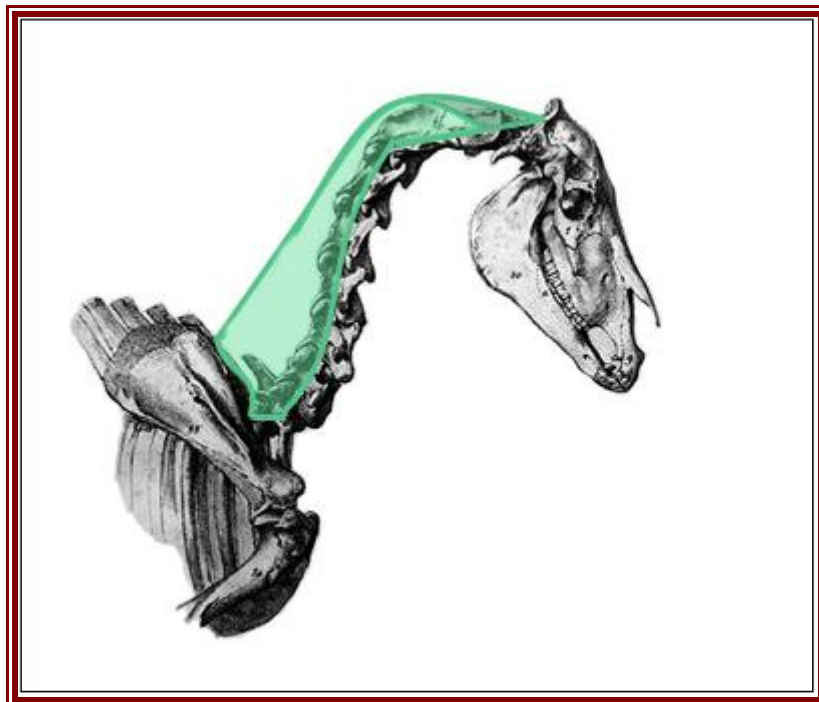


Figure 26 - Schéma du muscle longissimus. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

c. Région cervicale moyenne

i. Muscles juxtavertébraux de l'épissime cervical

Muscle multifide cervical - *Musculus multifidus cervicis*

Morphologie

C'est un muscle pair, prolongeant crânialement le muscle multifide thoraco-lombaire. Il couvre l'aspect dorsolatéral des vertèbres C2 à C6 où il se fond dans le multifide thoracique. Chaque étage vertébral comporte 5 faisceaux.

Ces faisceaux sont arrangés en trois couches une latérale, une médiale et une profonde. La couche latérale comporte deux faisceaux un profond et un superficiel. La médiale comporte deux faisceaux un court et un long et la couche profonde un unique chef.

Insertions

Chaque faisceau s'attache crânialement au processus épineux de la vertèbre et caudalement à un des corps vertébraux suivants ainsi que sur la capsule articulaire des articulations des processus articulaires associée. L'exception est la première terminaison sur C2 où les faisceaux latéraux et médiaux se fondent dans le tendon du muscle oblique caudal de la tête (figure 27 et 28).

Dans la couche latérale, le muscle superficiel passe trois articulations intervertébrales avant de s'accrocher caudalement sur l'aspect dorsolatéral du processus épineux et sur l'aspect dorsocrânial de l'articulation des processus articulaires par des tendons courts. Le muscle profond dépasse quatre articulations intervertébrales, c'est le plus long des faisceaux du multifide. Son attache crâniale se fait sur le processus épineux par un tendon fort.

Les faisceaux courts et longs de la couche médiale s'étendent sur deux ou trois étages vertébraux. Ils ont une attache tendineuse et musculaire crâniale commune sur le processus épineux et sur les processus articulaires.

La couche profonde est constituée d'un unique faisceau ne dépassant qu'une seule articulation, situé du processus articulaire à l'arc vertébral dorsolatéral.

Rôles

Il est légèrement extenseur de l'encolure et permet la latéroflexion et la rotation cervicale.

Innervations

Il est innervé par les rameaux dorsaux des nerfs cervicaux.



Figure 27 - Schéma du muscle multifide cervical. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

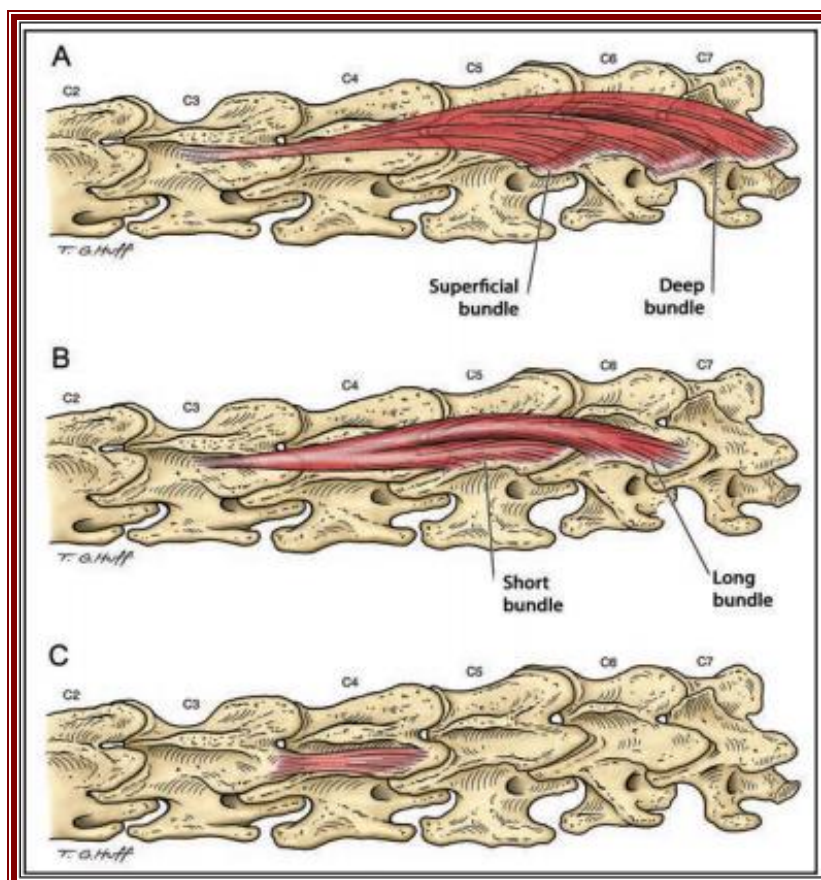


Figure 28 - Illustration zoomée du muscle multifidus sur une vue dorsolatérale. A - la couche latérale. B - la couche médiale. C - la couche profonde. D'après Rombach, 2014 [57].

Muscle épineux du cou - *Musculus spinalis cervicis*

Morphologie

Le muscle épineux du cou est la prolongation du muscle épineux du thorax. Il est composé de 4 bandes aplaties qui se suivent.

Insertions

Il s'insère sur les processus articulaires de C2 à C7 ainsi que sur les processus épineux des trois premières vertèbres thoraciques. Il se termine sur les processus épineux des vertèbres C4 à C7 (figure 29).

Rôles

Il permet l'extension de la région cervico-thoracique et de l'encolure.

Innervations

Il est innervé par les rameaux dorsaux des nerfs cervicaux.

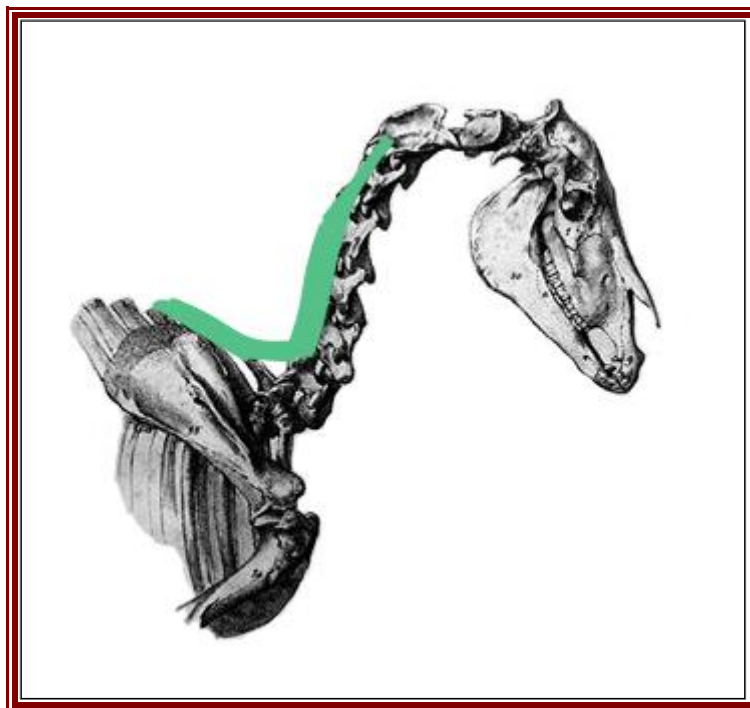


Figure 29 - Schéma du muscle épineux du cou. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle grand droit dorsal de la tête - *Musculus rectus capitis dorsalis major*

Morphologie

C'est un muscle court, divisé en deux faisceaux parallèles.

Insertions

Le faisceau profond s'étend du bord crânial du processus épineux de l'axis à la protubérance occipitale externe. Le faisceau superficiel part du sommet du processus épineux de l'axis et de sa partie caudale pour s'achever en commun avec le précédent faisceau (figure 30).

Rôles

Il entraîne extension et rotation de la nuque.

Innervations

Il est innervé par le rameau dorsal du premier nerf cervical.



Figure 30 - Schéma du muscle grand droit dorsal de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle petit droit dorsal de la tête - *Musculus rectus capitis dorsalis minor*

Morphologie

Le muscle petit droit dorsal de la tête, comme son nom l'indique, est un petit muscle court et plat.

Insertions

Il s'insère sur le tubercule dorsal de l'atlas et sur l'os occipital, face nucale (figure 31).

Rôles

Il provoque une extension et une rotation de la nuque.

Innervations

Il est innervé par le rameau dorsal du premier nerf cervical.



Figure 31 - Schéma du muscle petit droit dorsal de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle oblique crânial de la tête - *Musculus obliquus capitis cranialis*

Morphologie

C'est un muscle court et plat. Du tissu fibreux s'entremêle avec les fibres musculaires.

Insertions

Il prend origine sur le bord de l'aile de l'atlas et se termine sur la base du processus jugulaire, sur la crête mastoïdienne de l'os temporal et sur la face nucale de l'os occipital (figure 32).

Rôles

Il permet extension et rotation de la nuque.

Innervations

Il est innervé par le rameau dorsal du premier nerf cervical.



Figure 32 - Schéma du muscle oblique crânial. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle oblique caudal de la tête - *Musculus obliquus capitis caudalis*

Morphologie

Le muscle oblique caudal de la tête est un muscle court, rectangulaire et pair, situé sous le muscle splénius.

Insertions

Il s'étend du processus épineux de l'axis à la face dorsale de l'aile de l'atlas (figure 33).

Rôles

C'est un puissant muscle permettant la rotation de l'atlas. Il est aussi extenseur et latéro-fléchisseur de la nuque.

Innervations

Il est innervé par la branche dorsale du deuxième nerf cervical.



Figure 33 - Schéma du muscle oblique caudal. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscles intertransversaires cervicaux - *Musculi intertransversarii cervicis*

Morphologie

Ce sont des petits muscles pairs, courts possédant une partie ventrale et une partie dorsale.

Il existe au total six muscles intertransversaires cervicaux entre la vertèbre cervicale C2 et la première thoracique.

Insertions

La partie ventrale de chaque muscle s'étend d'un processus transverse au suivant.

Le chef dorsal part d'un processus transverse au processus articulaire suivant (figure 34).

Rôles

Ils entraînent une latéflexion et une rotation de l'encolure.

Innervations

Ils sont innervés par les nerfs cervicaux.



Figure 34 - Schéma des muscles intertransversaires cervicaux. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

ii. *Muscles juxtavertébraux de l'hyposome cervical :*

Muscle long du cou - *Musculus longus colli*

Morphologie

Le muscle long du cou est un muscle imposant, pair, divisé en deux parties, une cervicale et une thoracique.

Insertions

La partie cervicale s'insère crânialement sur le tubercule ventral de l'atlas à l'aide d'un tendon commun aux deux côtés.

Elle est composée de cinq faisceaux musculaires partant chacun d'un étage vertébral de C1 à C5. Ils s'attachent crânialement sur la surface ventrale des corps vertébraux et caudalement aux processus transverses d'une des vertèbres suivantes (figure 35 et 36).

Ces cinq faisceaux sont séparés en trois couches, deux sont ventraux, deux sont médiaux et un est profond.

Dans la couche ventrale, le faisceau superficiel traverse trois articulations intervertébrales et le faisceau médial est le plus long du muscle long du cou en s'étendant sur quatre étages vertébraux.

La couche médiale comporte un faisceau court et un long, s'étirant respectivement sur deux et trois articulations intervertébrales.

La couche profonde ne s'étend qu'autour d'une articulation intervertébrale.

La partie thoracique s'étend du processus transverse de la sixième vertèbre cervicale aux corps des cinq ou six premières vertèbres thoraciques.

Rôles

Le muscle long du cou est fléchisseur de l'encolure et de la nuque.

Innervations

Il est innervé par les branches ventrales des nerfs cervicaux et de nerfs intercostaux.

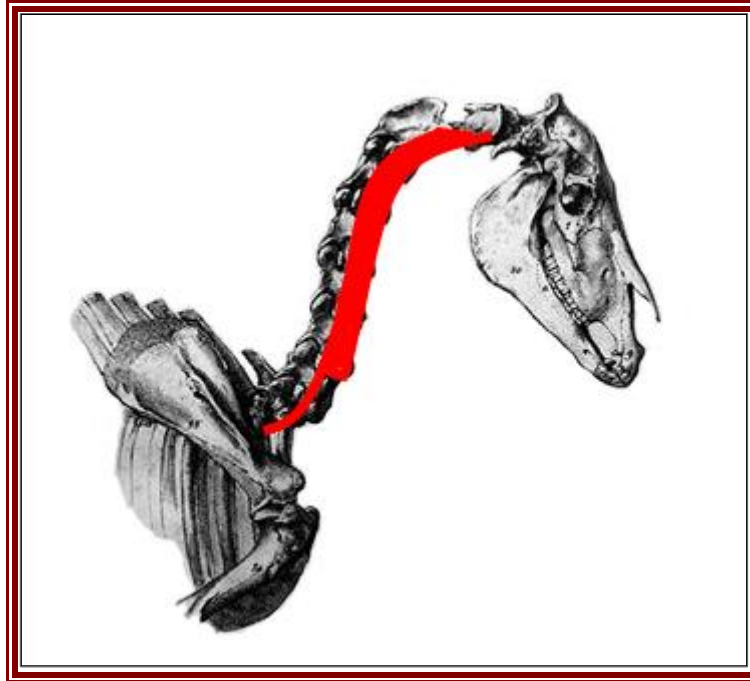


Figure 35 - Schéma du muscle long du cou. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

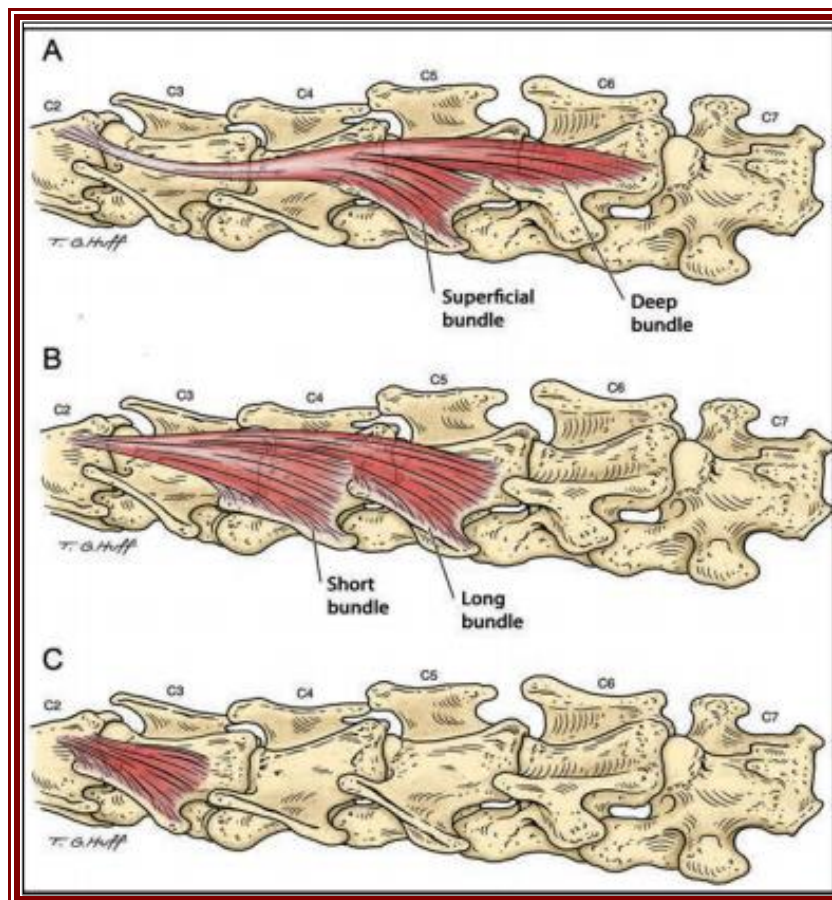


Figure 36 - Illustration du muscle long du cou en vue ventrolatérale. A - la couche ventrale. B - la couche médiale. C - la couche profonde. D'après Rombach, 2014 [57].

M. long de la tête - *Musculus longus capitis*

Morphologie

C'est un muscle long et plat. Il prolonge le muscle long du cou. Il se déploie en gros faisceaux distincts sur sa partie caudale.

Insertions

Il s'insère sur les faces ventrales des processus transverses des vertèbres cervicales C3 à C5. Il se termine sur le tubercule musculaire de l'os occipital (figure 37).

Rôles

Il permet une flexion de la nuque en cas d'action bilatérale. Si la contraction est unilatérale, il permet une latéroflexion avec rotation de la nuque.

Innervations

Il est innervé par les rameaux ventraux des premiers nerfs cervicaux.

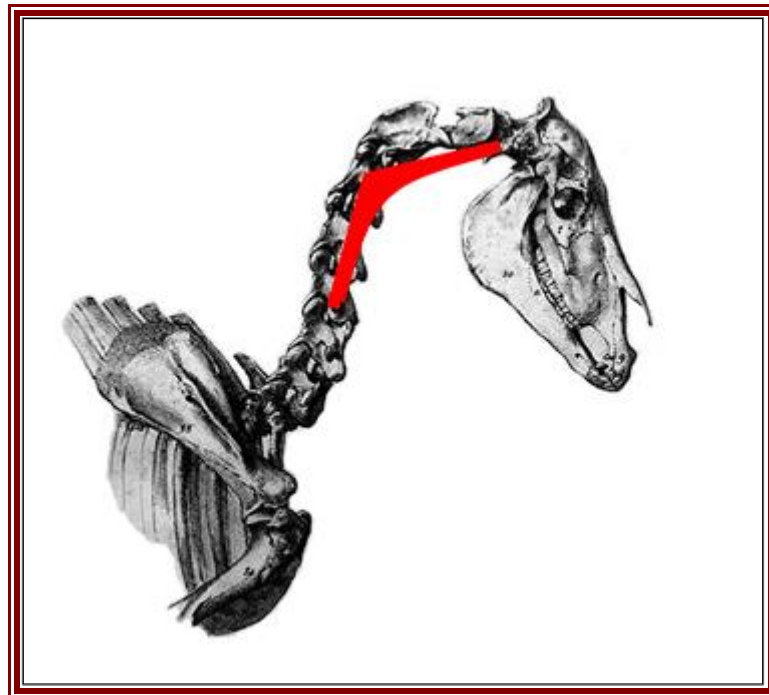


Figure 37 - Schéma du muscle long de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle droit ventral de la tête - *Musculus rectus capitis ventralis*

Morphologie

C'est un petit muscle fusiforme, charnu, situé à la face ventrale de l'atlas.

Insertions

Il s'étend de l'arc ventral de l'atlas à la partie basilaire de l'os occipital (figure 38).

Rôles

Il entraîne une flexion de la nuque.

Innervations

Il est innervé par le rameau ventral du premier nerf cervical.



Figure 38 - Schéma du muscle droit ventral de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

Muscle droit latéral de la tête - *Musculus rectus capitis lateralis*

Morphologie

Le muscle droit latéral de la tête est un petit muscle fusiforme, court, situé ventralement à l'atlas et latéralement à la capsule articulaire atlanto-occipitale.

Insertions

Il s'insère sur la partie caudo-médiale de la face ventrale de l'aile de l'atlas et se termine sur le processus jugulaire de l'os occipital (figure 39).

Rôles

Il permet une flexion de la nuque.

Innervations

Il est innervé par le rameau ventral du premier nerf cervical.

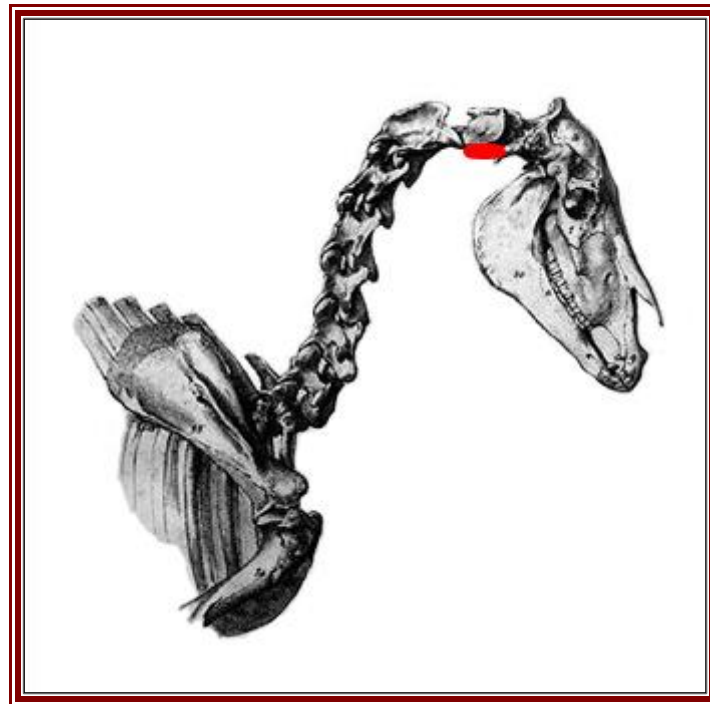


Figure 39 - Schéma du muscle droit latéral de la tête. Dessin personnel. Squelette par J-N Brunot, 1824 [6].

4) Neurologie

Les foramens intervertébraux laissent passer les nerfs, les artères et les veines innervant et drainant la plupart de l'encolure.

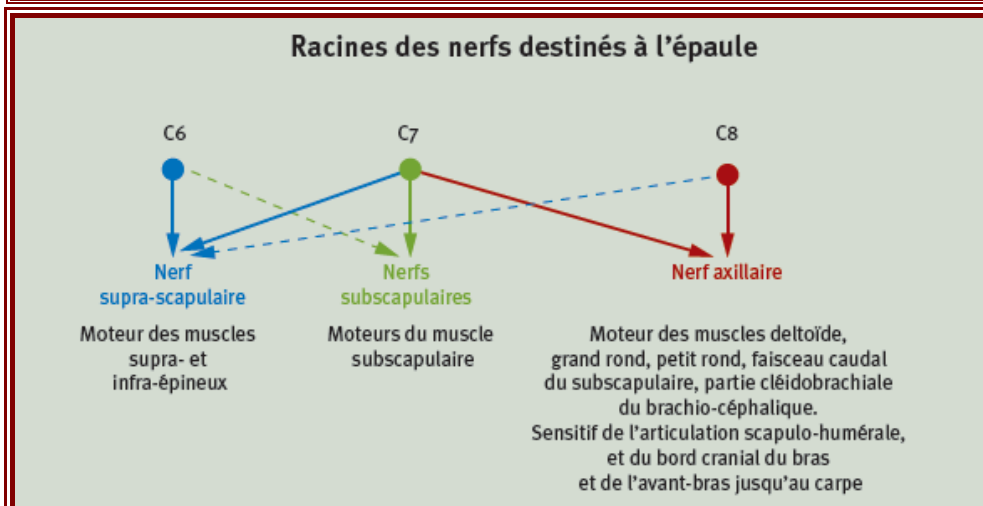
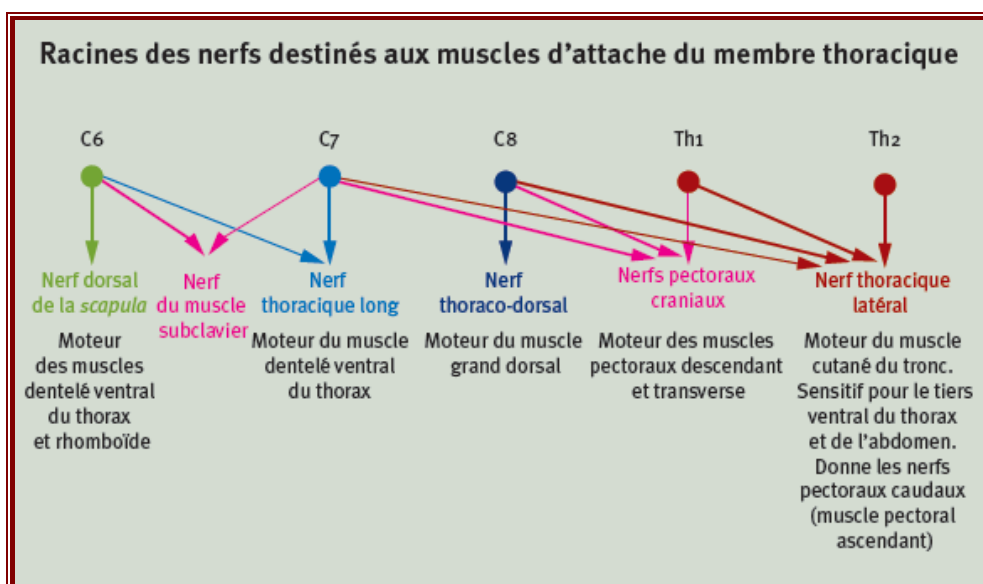
Le premier nerf cervical est moteur pour les muscles de la tête.

Le deuxième est sensitif pour la nuque, la gorge et l'auge. Ces deux nerfs sont en relation avec le ganglion cervical crânial du système nerveux autonome.

Les branches dorsales des nerfs cervicaux 3 à 8 sont sensibles pour la région cutanée cervicale dorsale et motrices pour les muscles cervicaux dorsaux.

Les branches ventrales des nerfs cervicaux 3 à 6 sont sensibles des régions cervicales moyenne et ventrale et motrices pour les muscles cervicaux ventraux.

Les branches ventrales des nerfs cervicaux 6 à 8 constituent le plexus brachial avec les premiers nerfs thoraciques. Le plexus brachial innerve le membre thoracique dans sa totalité, soit les muscles d'attache, l'épaule et les muscles des bras, avant-bras et main (figure 40) [5].



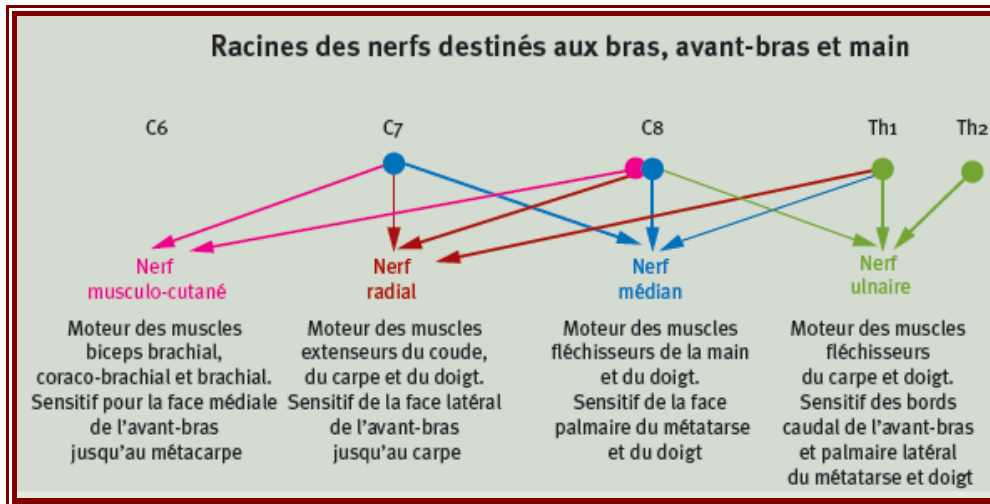


Figure 40 - Plexus brachial et racines des nerfs destinés au membre thoracique, de l'épaule à la main. D'après Boulocher, 2008 [5].

Ainsi une moelle épinière comprimée ou des racines nerveuses comprimées au niveau des vertèbres cervicales peuvent entraîner des boiteries du membre thoracique. On verra dans les pathologies que la moelle épinière cervicale comprimée peut entraîner de l'ataxie et donc des symptômes pouvant se rapprocher dans les stades peu sévères d'une boiterie des membres pelviens.

II- Mise en mouvement

1) Mobilité ostéoarticulaire du rachis cervical

Les articulations intervertébrales du rachis permettent cinq types de mouvements. Les trois principaux sont la flexion/extension autour d'un axe transversal dans le plan médian, la latéroflexion autour d'un axe dorsoventral et la rotation autour de l'axe longitudinal rachidien.

On observe aussi des mouvements de translations, d'amplitude inférieure aux mouvements précédents. Le mouvement vertical ou dorsoventral est souvent associé à la flexion et l'extension du rachis. Le mouvement transversal est plutôt lié à la rotation et la latéroflexion des segments vertébraux. Un dernier mouvement existe, il s'agit de tractions et compressions longitudinales.

Ces possibilités sont plus ou moins importantes ou restreintes selon les segments vertébraux considérés. En effet selon la morphologie des vertèbres, selon l'orientation des surfaces articulaires, la présence, la position et l'orientation des processus épineux et transverses, ces mouvements peuvent se retrouver limités ou facilités.

Ainsi sur le segment cervical C2 à C7, les processus articulaires sont faits et orientés de telle sorte que la latéroflexion est associée à une rotation.

Ces mouvements sont de faibles amplitudes, cependant ils s'ajoutent sur toute la colonne vertébrale. Celle-ci possède donc une grande souplesse et flexibilité.

La colonne vertébrale cervicale est un segment des plus mobiles du rachis équin. La première articulation atlanto-occipitale est très maniable dans la verticalité, elle est propice aux mouvements de flexion-extension.

La nuque, soit les deux premières articulations intervertébrales entre l'os occipital, l'atlas et l'axis, autorisent la rotation axiale de l'encolure jusqu'à 135°. Par contre l'articulation atlanto-axiale ne permet pas de mouvements de latéroflexion développés.

Les autres articulations cervicales offrent peu de rotation mais une bonne latéroflexion.

Parmi toute la colonne vertébrale, il existe des zones de plus grande mobilité. Deux se trouvent dans le segment cervical.

Il s'agit de la nuque et de la jonction cervico-thoracique (figure 41) [3, 5, 72].

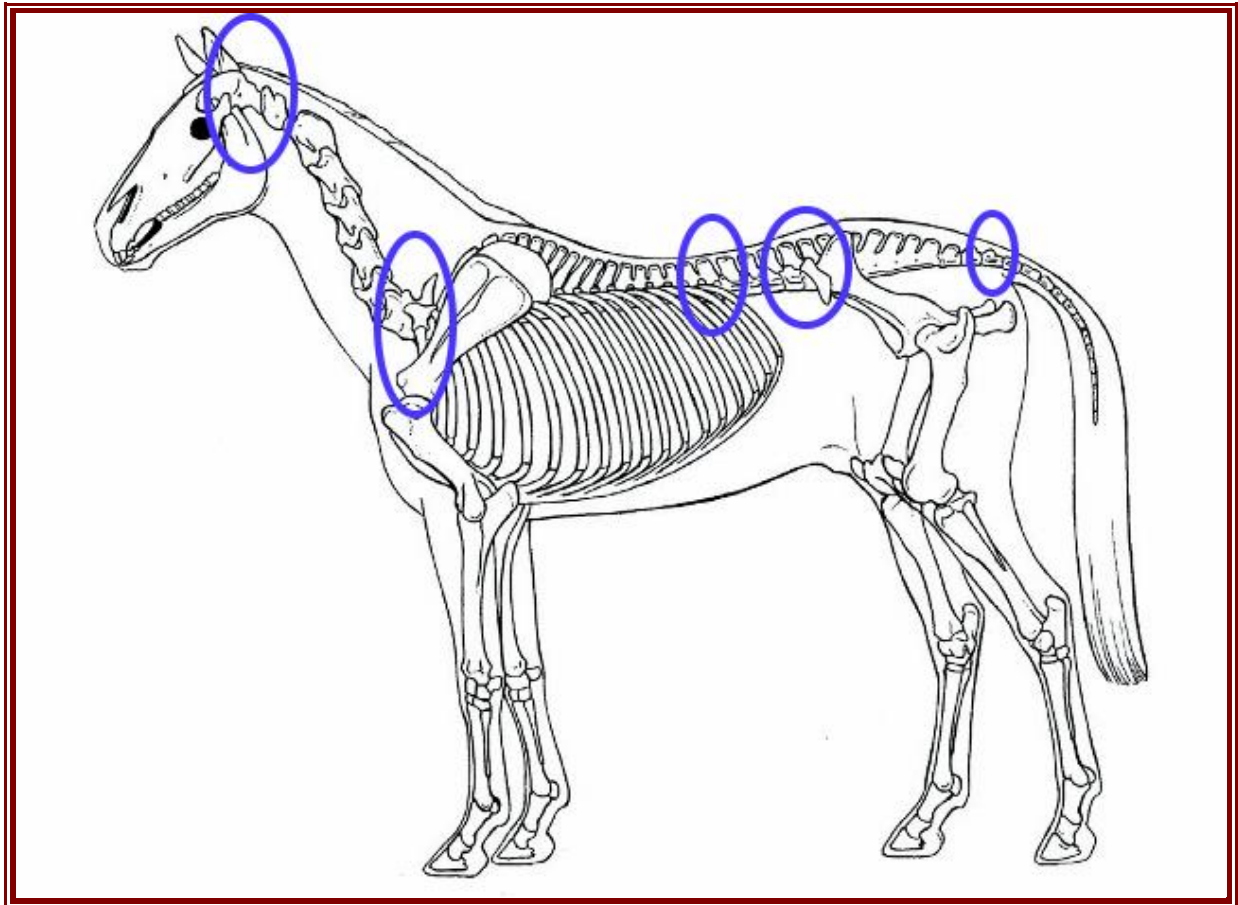


Figure 41 - Zones de plus grandes mobilités de la colonne vertébrale équine. Squelette par Melotte, 2011 [48].

2) Le balancier cervico-céphalique

Le balancier cervico-céphalique correspond au mouvement de la tête et de l'encolure lors de la locomotion du cheval. Il permet de le rééquilibrer en déplaçant son centre de gravité par des mouvements verticaux. Il permet aussi d'apporter de l'impulsion dans l'allure. En effet la tête baissée, il rigidifie la ligne du dos en tirant sur les processus épineux thoraciques et lombaires au travers du ligament nuchal. Le ligament supra épineux offre une résistance à cette traction, ce qui donne un dos rigide apte à recevoir l'impulsion des postérieurs.

a. Actions générales

Lorsque le cheval baisse sa tête et son encolure, il étire son ligament nuchal et son ligament supra-épineux. Ceci provoque un écartement des processus épineux de toute la colonne cervicale et thoraco-lombaire associé à une flexion cervicale et thoracique crâniale. Son centre de gravité s'avance, le poids se reporte sur l'avant main.

A l'inverse quand la tête s'élève, les processus épineux vertébraux se rapprochent. L'encolure et le thorax crânial sont en extension tandis que le segment caudal du thorax et les lombes sont en flexion (figure 42). Le centre de gravité recule, le poids se reporte sur les membres pelviens.

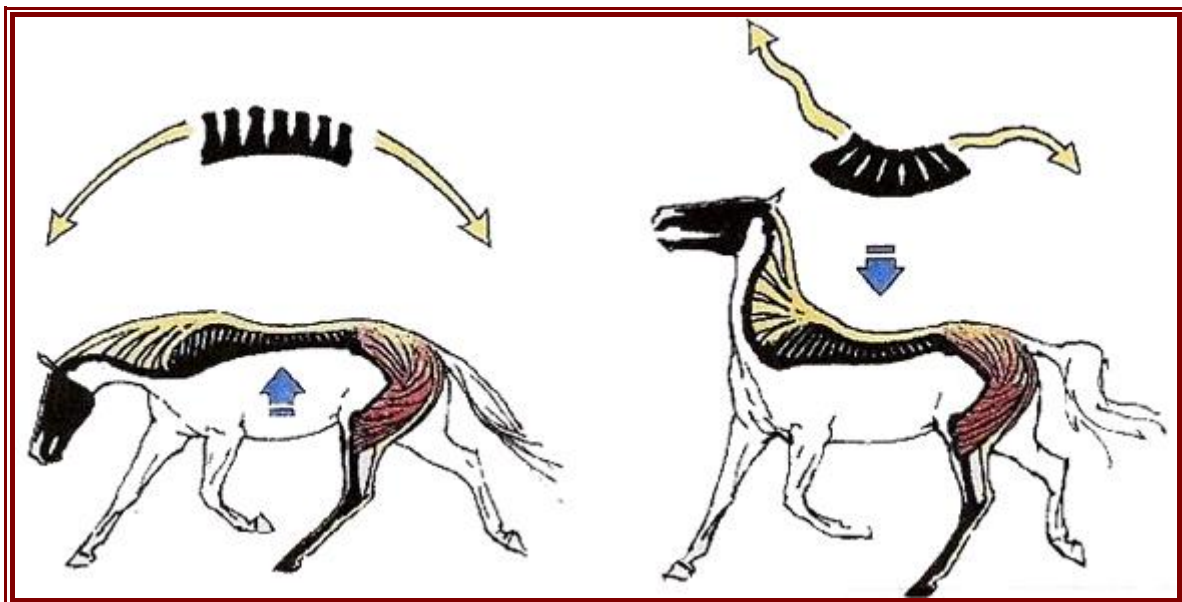


Figure 42 - Effet de la position du balancier cervico-céphalique sur la colonne vertébrale. D'après Rôles du ligament nuchal, 2013 [75].

b. Le pas

Au pas, le mouvement du balancier cervico-céphalique suit une courbe sinusoïdale avec une hauteur maximale avant le poser du pied du membre antérieur et une minimale juste avant l'appui vertical, et cela pour les deux membres thoraciques (figure 43).

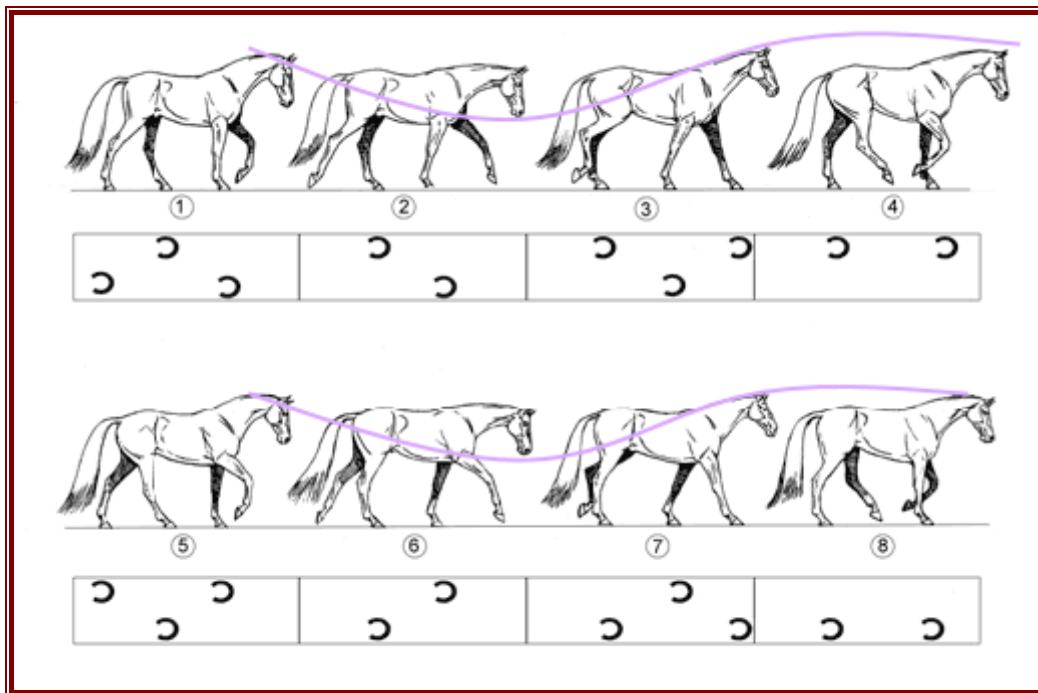


Figure 43 - Courbe sinusoïdale exagérée du mouvement du balancier cervico-céphalique au pas. Courbe rajoutée sur un dessin de Deretz, s.d. [16].

Ce mouvement s'explique par les muscles splénus qui élèvent la tête avant le poser du membre et ainsi facilite la protraction du membre thoracique par le brachio-céphalique. Par la suite, le muscle sternocéphalique agit avant et pendant la première moitié de la phase d'appui, il a une action réciproque au splénus et tire la tête vers le bas.

c. Le trot

Les mouvements cervico-céphaliques au trot sont les mêmes qu'au pas. Ils suivent une courbe sinusoïdale à deux oscillations symétriques par foulée avec un maximum pendant la première moitié de la phase d'appui et un minimum à la fin de la phase d'appui (figure 44).

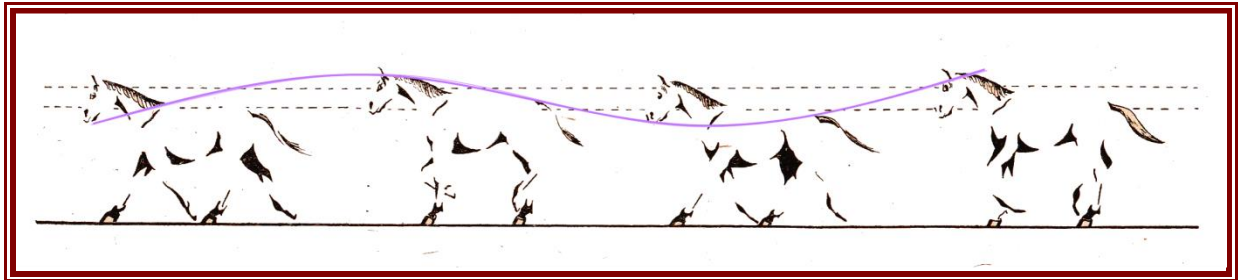


Figure 44 - Courbe sinusoïdale exagérée du mouvement du balancier cervico-céphalique au trot. Courbe rajoutée sur un dessin de Franchet d'Espèrey, s.d. [22].

Les muscles splénius agissent avant et pendant la première moitié de la phase d'appui de chaque membre thoracique pour limiter l'abaissement de la tête. Le muscle Sternocéphalique effectue l'action inverse en limitant l'élévation de la tête lors de la phase de soutien en permettant au muscle brachio-céphalique de tirer le membre en avant.

d. Le galop

Au galop, les principaux mouvements de flexion-extension du balancier sont tous associés à une légère rotation en fonction du membre thoracique leader. L'encolure et la tête s'abaissent pendant la phase d'appui du membre thoracique controlatéral au membre leader puis s'élèvent pendant la phase d'appui du membre thoracique leader et pendant la phase de suspension (figure 45).

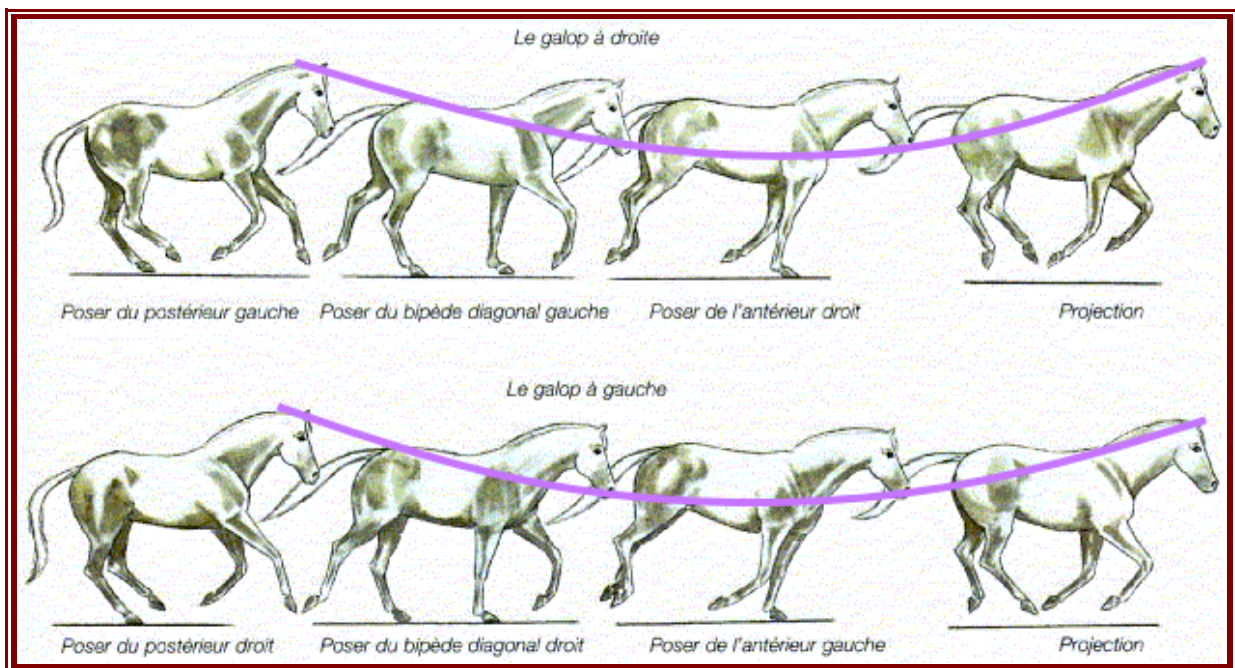


Figure 45 - Courbe exagérée du mouvement du balancier cervico-céphalique au galop. Courbe rajoutée sur un dessin de Etude du galop, 2013 [69].

Les muscles splénius agissent pendant la phase d'appui du bipède diagonal en limitant l'abaissement de la tête. Ils permettent aussi l'extension de l'encolure pendant la phase d'appui du membre thoracique leader et la phase de suspension.

Le muscle sternocéphalique est actif à la fin de la phase d'appui du membre leader tandis que le brachiocéphalique du côté leader agit pendant la phase de suspension et le controlatéral pendant la phase d'appui du membre leader. Ils permettent l'asymétrie de cette allure en amenant en avant les membres thoraciques l'un après l'autre [3, 5, 35, 52, 73].

3) Altérations du balancier cervico-céphalique

a. Sans lien avec une atteinte cervicale

En cas de boiterie d'un membre thoracique, le mouvement habituellement symétrique et sinusoïdal au pas et au trot de l'encolure devient asymétrique.

Pour soulager le membre atteint, le cheval appuie moins sur celui-ci et va donc reporter son poids sur le membre controlatéral. Il va donc maintenir sa tête plus haute pendant la deuxième partie de la phase d'appui du membre atteint, c'est-à-dire pendant la phase d'abaissement maximal de la tête et plus basse après cette phase d'appui, soit pendant l'élévation de la tête. C'est-à-dire que l'amplitude du mouvement de l'encolure est réduite sur le membre boiteux. L'amplitude paraît alors augmentée sur le membre sain : le cheval semble tomber sur son membre sain.

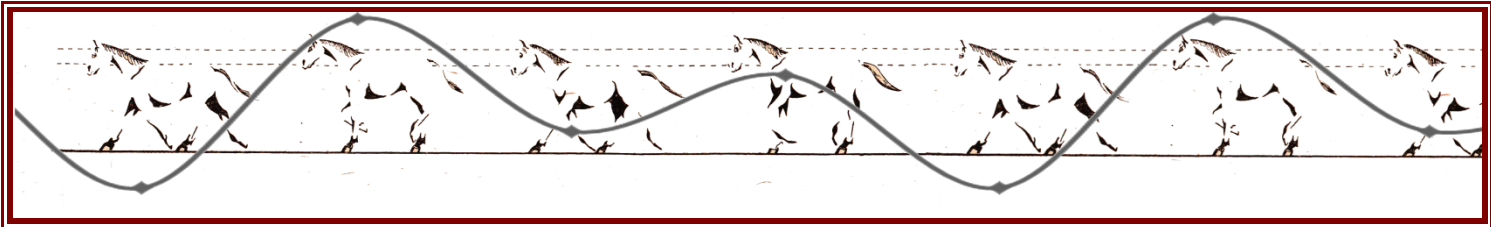


Figure 46 - Courbe exagérée du mouvement du balancier cervico-céphalique au trot lors d'une boiterie du membre thoracique droit. D'après le dessin de Franchet d'Espèrey, s.d. [22].

Dans le cas d'une boiterie postérieure, les mouvements du balancier ne sont pas altérés de façon significative [3, 5].

b. En lien avec une atteinte cervicale

Une variété importante de signes cliniques nous permet de soupçonner une atteinte cervicale. Le cheval peut ainsi présenter des anomalies de posture cervicale ou céphalique, des raideurs, des douleurs, des gonflements, des difficultés à lever et baisser la tête, des pertes de performance, des réticences à travailler, à céder au mors et à accepter le contact. Un cheval qui se défend dans certaines circonstances et qui lève violemment la tête ou qui présente une légère boiterie antérieure ou de l'ataxie peut souffrir d'une atteinte cervicale [19].

4) Les effets de la conformation du cheval sur la locomotion

a. Evaluation de la conformation

L'évaluation subjective dépend des races, des pays, des utilisations des chevaux. Chacun a ses exigences, ses caractéristiques fétiches et son expérience, pouvant même aller contre la santé du cheval. Il est donc très difficile d'utiliser une évaluation subjective pour évaluer la conformation du cheval [10].

Des analyses objectives existent. Elles se basent sur des mesures entre les différents points suivants (figure 47):

- le bord crânial des ailes de l'atlas (1)
- le bout proximal de l'épine scapulaire (2)
- la partie caudale du tubercule majeur de l'humérus (3)
- la zone de transition entre le premier et deuxième tiers du ligament collatéral latéral du coude (4)
- la tubérosité latérale de l'épiphyse distale du radius (5)
- l'espace entre l'os carpal IV et les métarpes III et IV (6)
- l'attache proximale du ligament collatéral latéral du boulet sur l'épiphyse distale du métacarpe III (7)
- l'attache proximale du ligament collatéral latéral de l'articulation interphalangienne proximale à l'épiphyse distale de la première phalange (8)
- l'épine iliaque ventrocrâniale (9)
- le centre de la partie crâniale du grand trochanter du fémur (10)
- l'attache proximale du ligament collatéral latéral du grasset au fémur (11)
- l'attache du ligament long latéral du jarret au bord plantaire de l'os calcaneus (12)
- l'espace entre l'os tarsal IV et les métatarses III et IV (13)
- l'attache proximale du ligament collatéral latéral du boulet sur l'épiphyse distale du métatarse III (14)
- l'attache proximale du ligament collatéral latéral de l'articulation interphalangienne proximale à l'épiphyse distale de la première phalange (15)



Figure 47 - Position des points permettant l'analyse de la conformation. D'après Back, 2013 [3]. Photo par Percheron-international [77].

Ainsi sont mesurés des longueurs et des angles pour une analyse de la conformation du cheval, cette technique a été créée pour des chevaux de courses aux USA.

Plusieurs mesures et angles ont été pris (figure 48):

- la longueur de l'encolure (entre 1 et 2)
- la longueur de la scapula (entre 2 et 3)
- la longueur de l'humérus (entre 3 et 4)
- la longueur du radius (entre 4 et 5)
- la longueur du canon antérieur (entre 6 et 7)
- la longueur du paturon antérieur (entre 7 et 8)
- la longueur du fémur (entre 10 et 11)
- la longueur du tibia (entre 11 et 12)
- la longueur du canon postérieur (entre 13 et 14)
- la longueur du paturon postérieur (entre 14 et 15)
- l'angle d'inclinaison de l'épaule (α)
- l'angle articulaire de l'épaule (β)
- l'angle articulaire du coude (γ)
- l'angle du boulet antérieur (δ)
- l'inclinaison pelvienne (ϵ)

- l'inclinaison fémorale (ζ)
- l'angle du grasset (η)
- l'angle du jarret (θ)
- l'angle du boulet postérieur (ι)

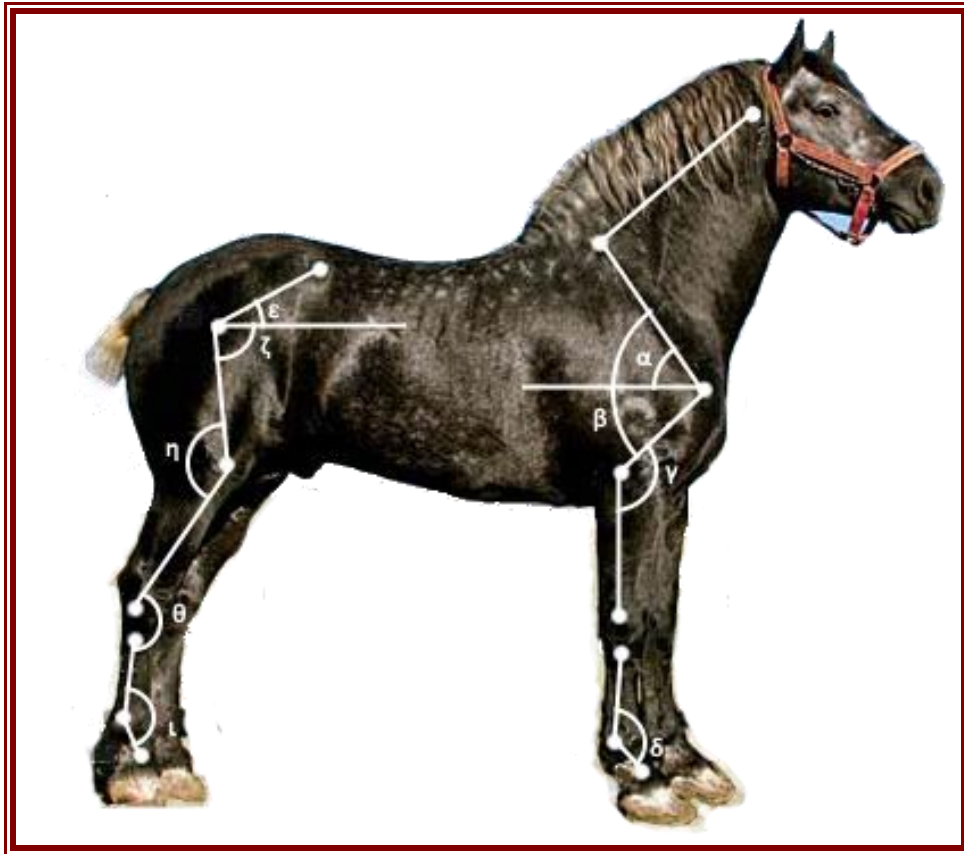


Figure 48 - Mesures et angles d'analyse de conformation. D'après Back, 2013 [3]. Photo par Percheron-international [77].

Des études ont ainsi produit des mesures par discipline saut, dressage, jeunes chevaux et chevaux blessés. Des corrélations ont pu être mises en évidence entre conformation et performance et donc locomotion. La conformation est un indicateur négatif de performance. Elle permet de montrer une chance moins importante de performance ainsi qu'une plus haute probabilité de blessures. C'est très intéressant pour départager les jeunes chevaux surtout de course [3].

b. Effets de la conformation sur le mouvement

Le port de tête et la forme et mobilisation de l'encolure dépendent de la conformation du cheval et du travail qu'il effectue. Avec un travail asymétrique, un port de tête haut, une encolure longue et qui sort haut des épaules, les muscles se développent asymétriquement et entraînent des différences d'amplitude de mouvements ou des difficultés à tourner d'un côté ou de l'autre.

Chaque discipline équestre nécessite une locomotion et donc des conformations différentes. Par exemple, les sauteurs ont des encolures plus longues et les chevaux de dressage plus courtes que dans les autres disciplines. En effet le balancier cervico-céphalique est très utile pendant le saut. De même, il est considéré (sans base scientifique) qu'un cheval portant une base d'encolure basse est plus compliqué à travailler et que les chevaux ayant des mandibules larges ont des difficultés mécaniques à se mettre sur la main mais sont recherchés pour leur facilité à respirer en course.

Il faut faire attention de différencier les effets de la conformation des incapacités physiques, douleurs cervicales ou dorsales, douleurs buccales, boiteries ou chevaux réfractaires au travail [1, 3].

III- Images radiographiques associées

1) Prise de clichés radiographiques du rachis cervical chez le cheval

a. Equipements

Des images de bonne qualité des vertèbres cervicales peuvent être obtenues avec un appareil radiographique portatif chez les plus petits des chevaux. Cependant sur les chevaux plus grands, la dernière vertèbre est difficile à obtenir sans un équipement plus puissant.

Il est recommandé d'utiliser des appareils numériques ou des écrans rapides en terres rares. Il est impératif d'utiliser une grille antidiffusante pour les vertèbres cervicales caudales lors d'utilisation des techniques radiologiques conventionnelles.

Les cassettes radiographiques utilisées sont de grandes tailles. Il est intéressant en effet d'avoir trois vertèbres sur le même cliché pour étudier l'alignement vertébral. Les cassettes sont placées sur des supports mobiles.

Pour bien orienter les rayons X, du scotch peut être utilisé comme marqueur de la zone de concentration des faisceaux et ainsi bien placer la cassette [9, 42].

b. Différentes incidences

D'après Dyson, 2011 [19], les images radiographiques latérolatérales cervicales sont obtenues facilement sur cheval debout. Il est intéressant de prendre des profils droit et gauche pour latéraliser la lésion. Des radiographies obliques peuvent apporter des informations quant à la symétrie des articulations intervertébrales et l'extension des lésions dans le plan sagittal.

i. Profil sur cheval debout

D'après Butler, 2017 [9] et Mair, 2013 [42], des images radiographiques de profil légèrement obliques sont difficiles à interpréter. On recherche donc une position d'encolure naturelle, avec un cheval droit de la tête à la queue. Une immobilité totale du cheval est aussi demandée ; pour cela une sédation, des bouchons d'oreilles ou des œillères peuvent être utilisés.

Si l'on désire prendre la dernière vertèbre cervicale, la tête doit être relevée pour éviter toute superposition de C7 et de la première vertèbre thoracique avec l'épaule et la scapula.

Chez certains chevaux à la musculature cervicale asymétrique, il est impossible de réussir l'acquisition d'un profil parfait. Ce signe est souvent associé à de la douleur et/ou à une asymétrie articulaire provoquant une rotation permanente de la vertèbre

cervicale concernée. Dans ce cas, une prise latérodorsale ou latéroventrale peut être tentée.

Pour prendre une radiographie parfaite d'un profil cervical, le cheval doit se tenir au carré et la tête et l'encolure dans le plan sagittal. Le faisceau de rayons X est horizontal, perpendiculaire à l'encolure. La cassette doit être placée le plus proche possible du cheval pour limiter le grossissement du cliché. C'est pourquoi il est plus facile de finir par la tête, le cheval s'habituant au matériel avant qu'il ne s'approche de sa tête.

Pour une étude complète des cervicales, quatre radiographies sont nécessaires. La première prend l'os occipital et C1, la seconde C1-C3, la troisième C3-C5 et la dernière C5 jusqu'à la première vertèbre thoracique. Une cinquième vue peut être nécessaire pour C7 et son articulation avec la première vertèbre thoracique. Il existe aussi une autre division de la colonne cervicale : le premier cliché prend l'os occipital jusqu'à C3 puis le second C3-C5, le troisième C5 à la première vertèbre thoracique, le dernier cliché zoom sur l'articulation entre C7 et la T1 (figure 49).

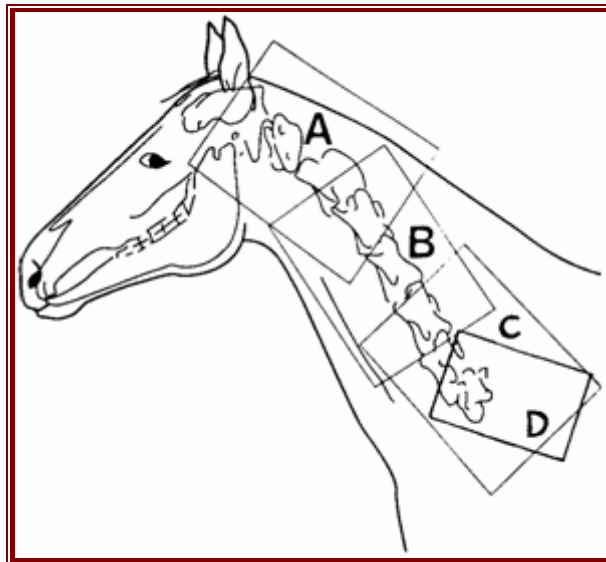


Figure 49 - Quatre positions de cassettes permettant de couvrir toute la colonne cervicale. D'après Cervical Spine, 2005 [61].

Les profils droit et gauche peuvent être intéressants pour latéraliser. En effet la lésion sera plus petite et nette lorsqu'elle se trouve plus proche de la cassette.

ii. Profil sur cheval couché

Même sur un cheval anesthésié, la colonne vertébrale doit être droite et horizontale. Des coussins radiotransparents sont donc placés sous l'encolure et la tête. Les cervicales sont en position neutre ou en légère flexion s'il y a une suspicion de subluxation. La flexion est à éviter chez les chevaux intubés sous gazeuse, chez les suspicions de fracture et chez les suspicions de compression médullaire [9, 42].

iii. Obliques

Les obliques sont intéressantes pour observer les articulations intervertébrales latérales. De ce fait, les obliques sont prises de droite à gauche et de gauche à droite avec un angle de 50 à 55° pour les vertèbres C4 – C5 et de 45 à 55° pour les vertèbres C5 - C6 et C6 - C7. L'angle est mesuré entre l'horizontal et le faisceau. Les processus articulaires sont ainsi projetés dorsalement sur la radiographie. Le cheval est placé au carré, son encolure en position neutre, la tête posée sur un support environ à la hauteur de son épaule [9, 42, 71].



Figure 50 - Positionnement du cheval, de l'appareil radiographique et de la cassette pour une vue oblique cervicale. D'après Withers, 2009 [71].

iv. Vue ventrodorsale

L'incidence ventrodorsale des vertèbres cervicales est difficile à obtenir. Pour des questions de sécurité, elle n'est prise que sur cheval couché. L'appareil radiographique utilisé est puissant et ne permet l'acquisition de bonne radiographie que jusqu'à C5. Trop de muscles et tissus mous encadrent les dernières vertèbres cervicales.

c. Constantes radiographiques

Ces constantes sont données pour un cheval de selle standard de 500kg. Chaque technique radiographique possède des constantes différentes. Il faut prendre en compte la distance entre la source et l'image (focale) et le matériel. Les technologies plus avancées permettent de réduire le temps d'exposition (tableau 1, tableau 2).

Différentes données sont intéressantes.

RS est la vitesse nominale de la cassette. C'est la vitesse du film radiographique à afficher l'image. Une vitesse plus importante permet un temps d'exposition plus faible.

FFD en cm est la distance entre le film radiographique et le point focal, c'est-à-dire le point de réception du faisceau d'électrons sur l'anode de l'appareil radiographique.

SID en cm est la distance entre la source et le récepteur.

Grid CH est la grille antidiffusante de type « cross-hatch ». Il s'agit d'une grille possédant des lignes parallèles superposée à une seconde grille ayant des lignes parallèles entre elles mais perpendiculaires à la première grille. Les grilles antidiffusantes permettent, sur les zones possédant beaucoup de tissus mous, de limiter le rayonnement diffusé. Elles agissent sur le contraste.

kV est le kilovoltage ; il permet de contrôler l'intensité des rayons X envoyés. Il influence le contraste et l'opacité de la radiographie.

mAs correspond à la fois à la quantité de rayons X envoyée en milliampère et au temps d'exposition en seconde. Cette constante agit sur l'opacité radiographique et sur la netteté de l'image. En effet un temps plus long laisse au cheval la possibilité de bouger [9, 60].

Film/screen exposure guide					
Area/view	RS	FFD (cm)	Grid	kV	mAs
<i>Head</i>					
Cranium, lateral	600	150	CH	65	40
Cranium (under GA)	600	150	CH	75/80	64
Sinus, lateral	600	150	—	55	12
Pharynx	600	150	CH	65	35
Rostral, lateral	600	150	CH	60	18
<i>Cervical spine</i>					
Cranial	600	150	CH	68	45
Mid	600	150	CH	70	50
Caudal	600	150	CH	75	64
Caudal/T1	600	150	CH	90	90

Tableau 1 - Tableau des constantes radiographiques pour des radiographies cervicales et céphaliques réalisées avec une cassette. D'après Butler, 2017 [6].

Digital exposure guide				
Area/view	SID (cm)	Grid	kV	mAs
<i>Head</i>				
Cranium, lateral	100	No	75	10
Cranium, DV	100	No	85	10
Sinus, lateral	100	No	70	5
Teeth, oblique	100	No	75	8
Pharynx/larynx/ETD's/Rostral, lateral	100	No	75	5
<i>Cervical spine</i>				
Cranial, lateral	150	Yes	85	20
Mid, lateral	150	Yes	90	25
Caudal, lateral	150	Yes	95	40
C7/T1, lateral	150	Yes	110	80
Oblique	150	No	75	30

Tableau 2 - Tableau des constantes radiographiques pour des radiographies cervicales et céphaliques réalisées avec un appareil numérique. D'après Butler, 2017 [6].

2) Les os

a. L'atlas

En radiographie, l'atlas est reconnaissable par son absence de processus épineux, ses deux fosses articulaires englobant les condyles occipitaux et ses processus transverses développés en ailes (figure 51).

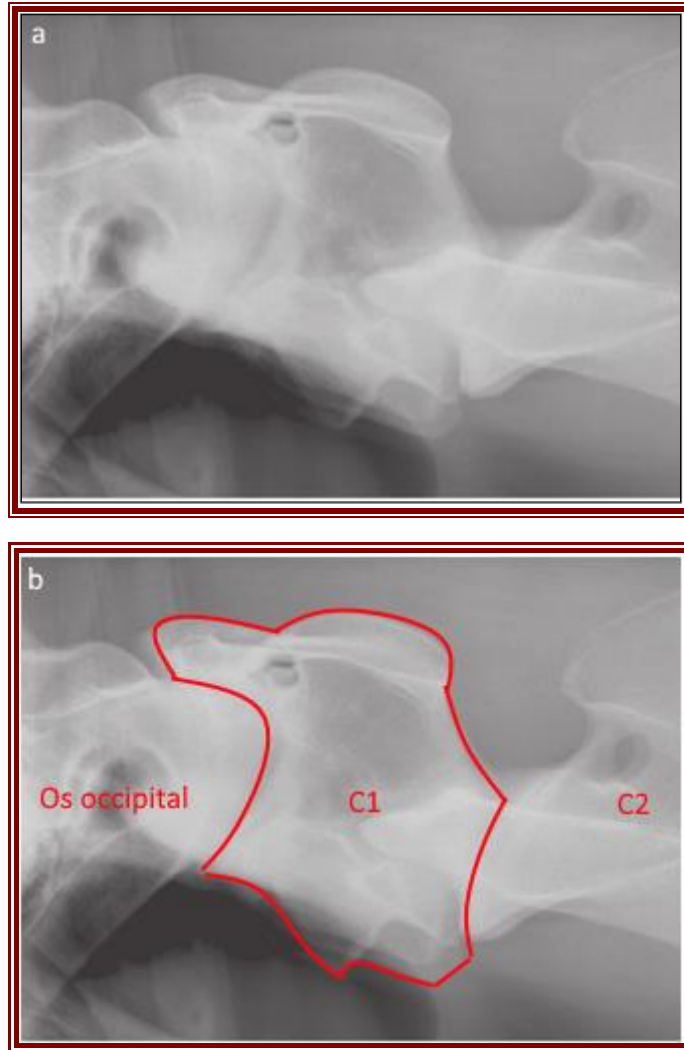


Figure 51 - a - Radiographie cervicale haute d'un cheval sain de profil en légère rotation. b - Schéma explicatif de la radiographie cervicale haute d'un cheval adulte sain. Les contours de C1 sont dessinés. D'après Butler, 2017 [9].

Chez les poulains de moins de 6 mois, une ligne sépare les deux centres d'ossification de l'arc dorsal de la vertèbre en vue ventrodorsale. Il ne faut pas la confondre avec une fracture [2, 9].

b. L'axis

L'axis possède un processus épineux développé et une surface articulaire crâniale particulière, appelée la dent de l'axis (figure 52).

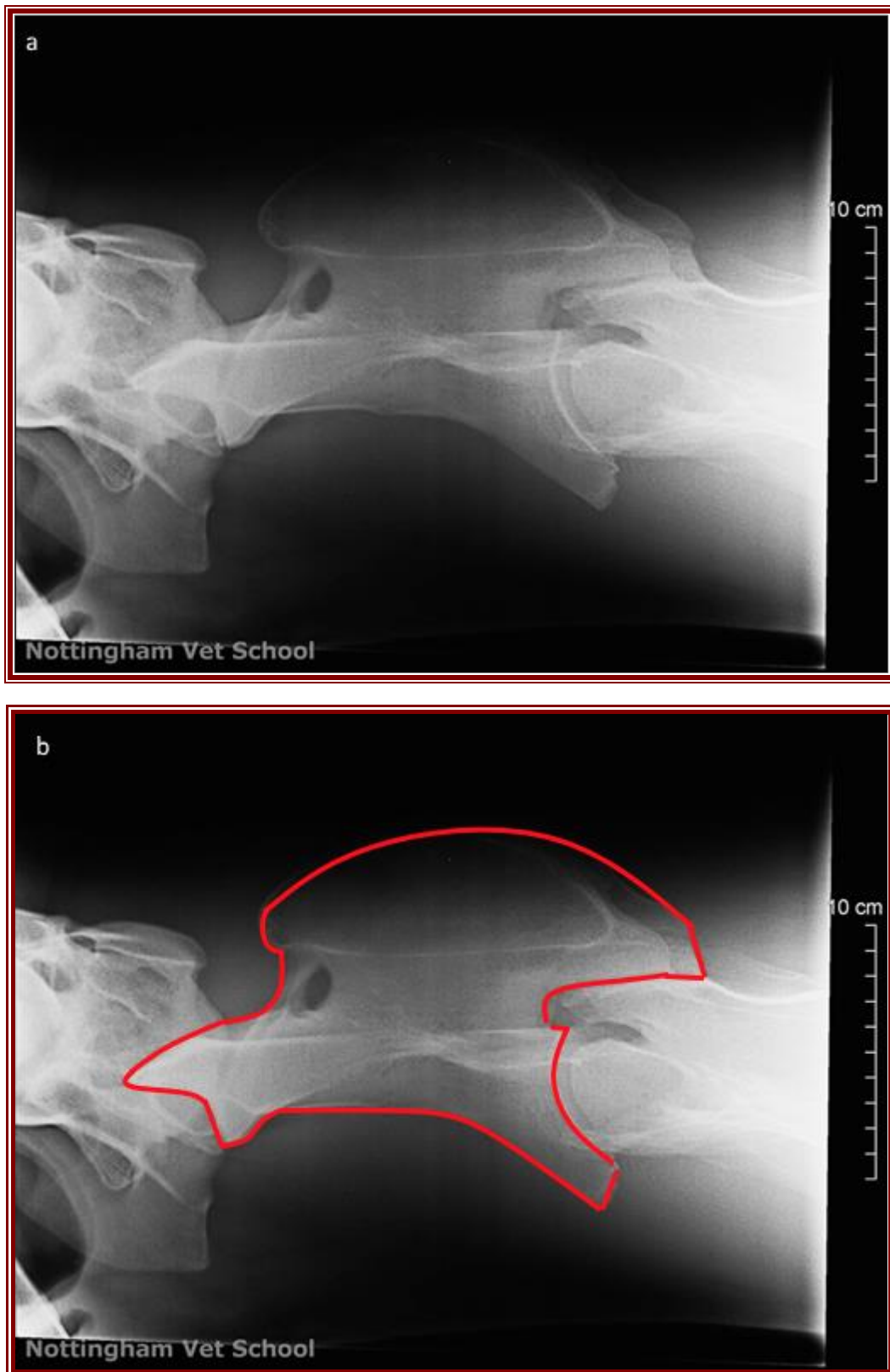


Figure 52 - a - Radiographie de profil de C2 chez un cheval adulte sain. b - Schéma explicatif du profil de C2 d'un cheval adulte sain. Les contours de C2 sont dessinés. D'après Nottingham Vet School, s.d. [49].

Chez les jeunes chevaux, le corps de la vertèbre possède deux centres d'ossification, ce qui fait apparaître une ligne au niveau de la dent de l'axis. Les trous vertébraux latéraux ne sont pas fermés. Les cartilages de croissance se ferment vers 7 mois sauf pour l'épiphyse distale du corps vertébral qui disparaît vers l'âge de 4-5 ans (figure 53).

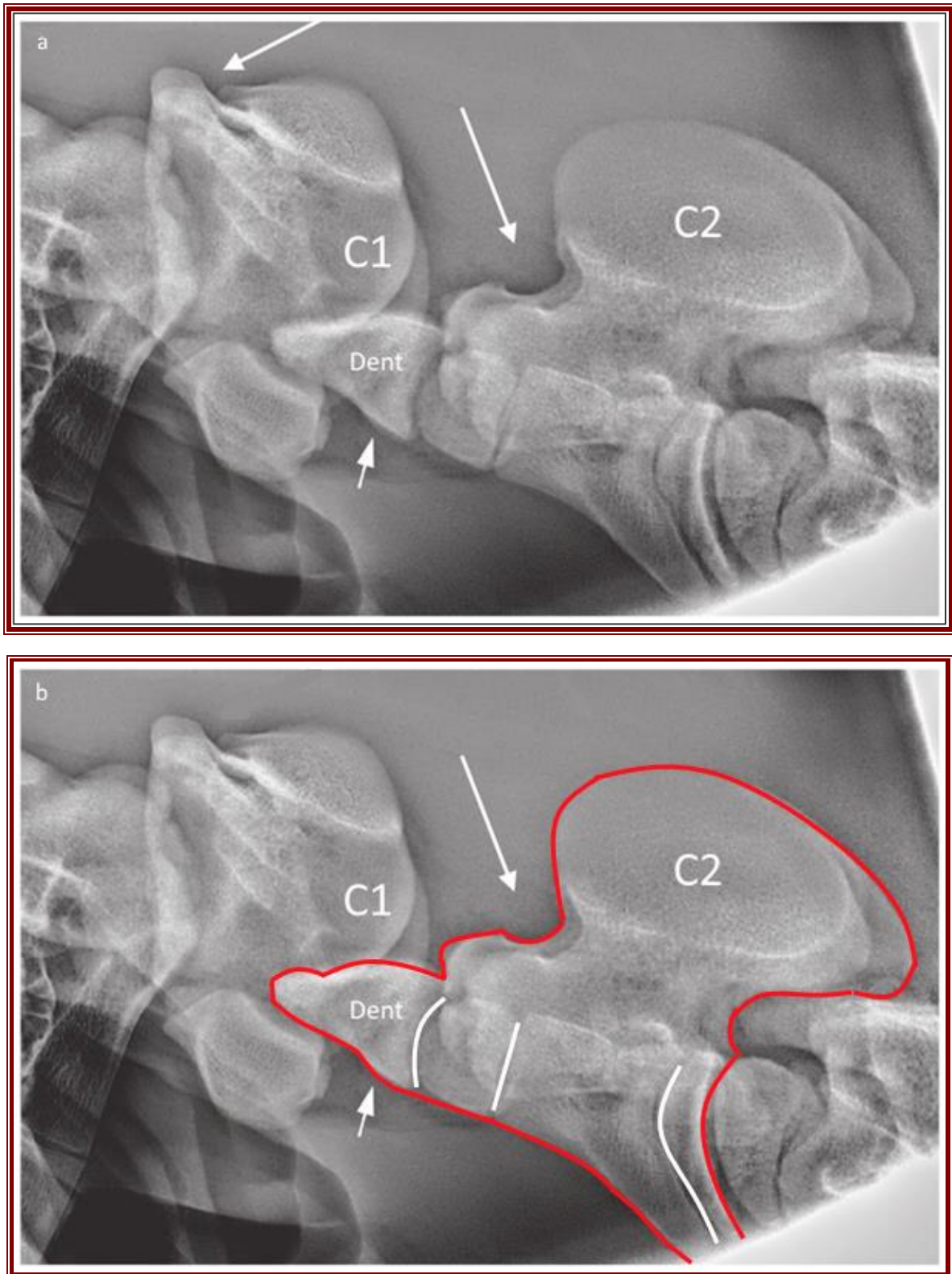


Figure 53 - a - Radiographie de profil de l'occiput, C1 et C2 chez un jeune cheval sain. Les flèches pointent vers les cartilages de croissance et zones non ossifiées dont il faut se méfier chez le jeune. b - Schéma explicatif de

la figure 53 a. Les contours de C2 sont dessinés. Les traits blancs représentent les trois cartilages de croissance du corps vertébral de l'axis. D'après Butler, 2017 [9].

c. Les vertèbres C3, C4 et C5

Ces trois vertèbres ont la même morphologie. Les cartilages de croissance des vertèbres C3 à C7 achèvent leur ossification à 2 ans pour l'épiphyse crâniale et 4-5 ans pour l'épiphyse distale.

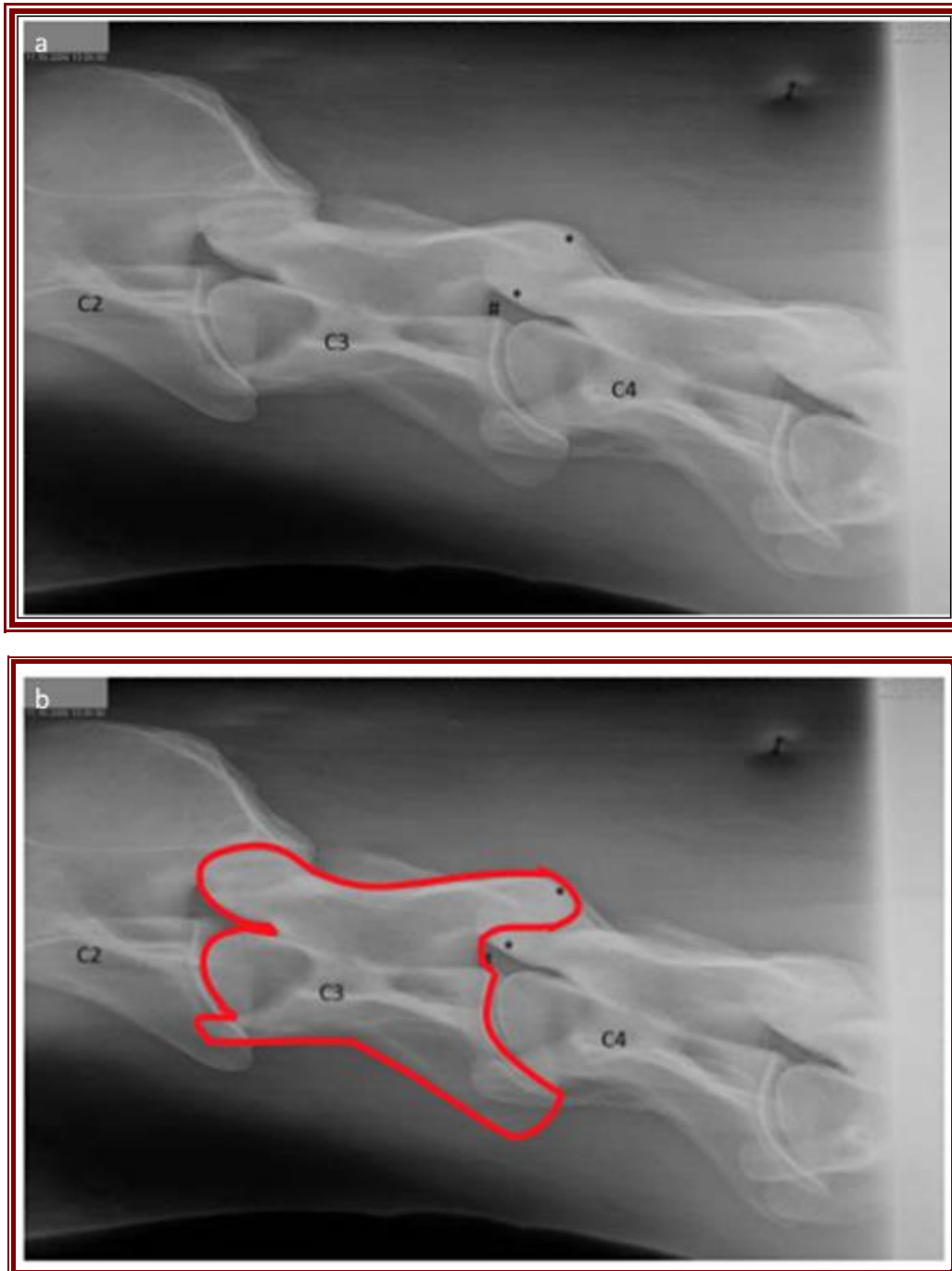


Figure 54 – a - Radiographie de profil de C2, C3 et C4 chez un cheval sain. b - Schéma explicatif de la figure 52a. Les contours de C3 sont dessinés. D'après Johnson, 2017 [34].

C4 et C5 ont les mêmes contours que C3 (figure 54).

En flexion, il est physiologique de voir des images de subluxation au niveau de C2-C3 et C3-C4. Le diamètre du canal vertébral est un peu plus petit au niveau de ses vertèbres par rapport aux cervicales crâniales et caudales.

d. C6 et C7

Les processus transverses de C6 sont tricuspides, parmi lesquels le caudal possède un centre d'ossification séparé et est vu ventralement au corps vertébral sur un cliché de profil (figure 55b).

Les processus transverses de C6 et possiblement d'autres vertèbres cervicales peuvent présenter des petits centres d'ossification séparés. Le tubercule ventral de son processus transverse peut se projeter ventralement à C7 uni ou bilatéralement.

C7 est beaucoup plus petite que les précédentes. Elle peut posséder aussi un processus épineux plus proéminent (figure 55c). Ce-dernier peut se superposer aux processus articulaires caudaux de C6 et crâniaux de C7. Il ne faut pas le confondre avec de la formation osseuse [60].



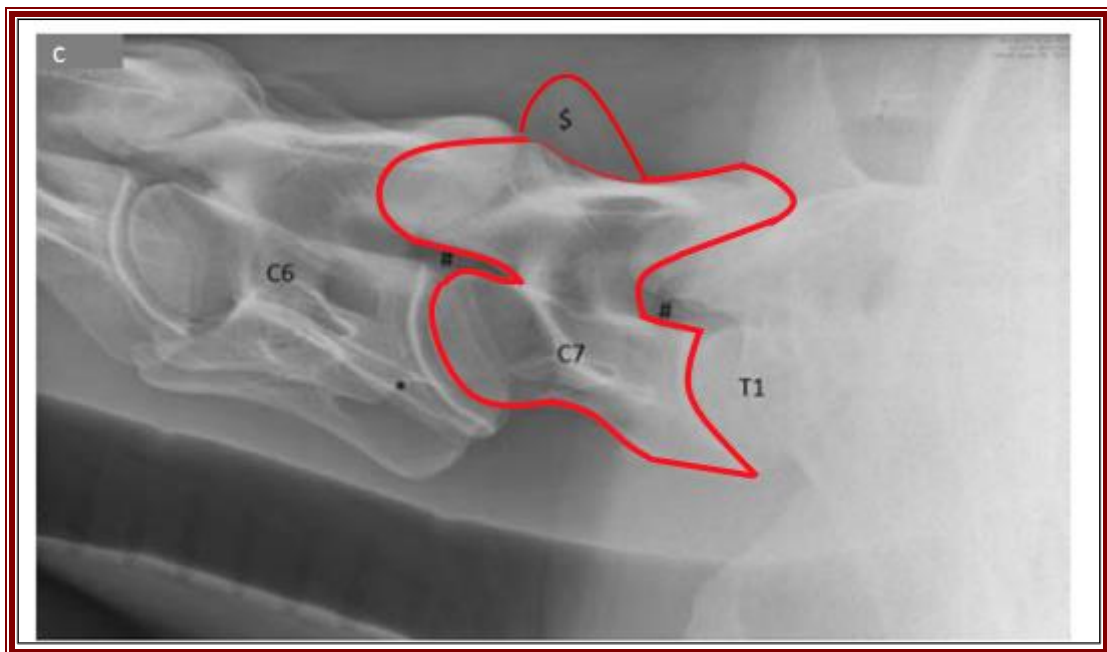
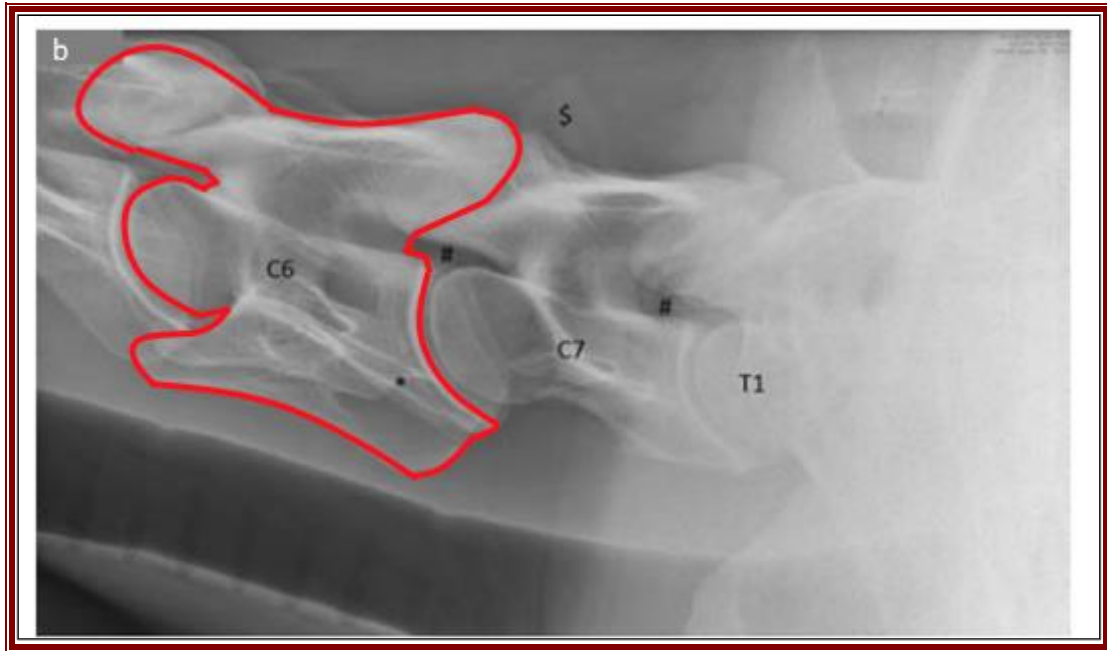


Figure 55 - a - Profil radiographique de C6, C7 et la 1ère vertèbre thoracique d'un cheval adulte sain. S est le processus épineux de C7. b - Schéma explicatif 1 de la figure 53a. Les contours de C6 sont dessinés. Ce cheval présente une anomalie : le tubercule ventral de son processus transverse est partiellement absent unilatéralement, sans signes cliniques associés. c - Schéma explicatif 2 de la figure 53a. Les contours de C7 sont dessinés. D'après Johnson, 2017 [34].

3) Les articulations

a. L'articulation atlanto-occipital

L'articulation atlanto-occipitale est évaluable chez les jeunes chevaux et les poneys en vue ventrodorsale.

Sur cette vue, les dislocations des facettes articulaires de l'atlas des condyles occipitaux et les luxations transversales sont visibles.

Sur une vue de profil, des signes osseux peuvent alerter sur une atteinte de l'articulation. En effet l'os occipital peut présenter une zone aplatie et plus courte entre la protubérance occipitale et les condyles occipitaux [26, 33].

b. L'articulation atlanto-axiale

En ce qui concerne l'articulation atlanto-axiale, on vérifie l'alignement de C1 et C2 et la position et forme de la dent de l'axis.

En fonction de la position de la tête et de l'encolure, l'espace entre la dent et l'arc dorsal de C1 peut aussi être important. En effet une position étendue peut diminuer cet espace.

La position de la dent joue aussi sur cet espace, une mauvaise position le réduit [60].

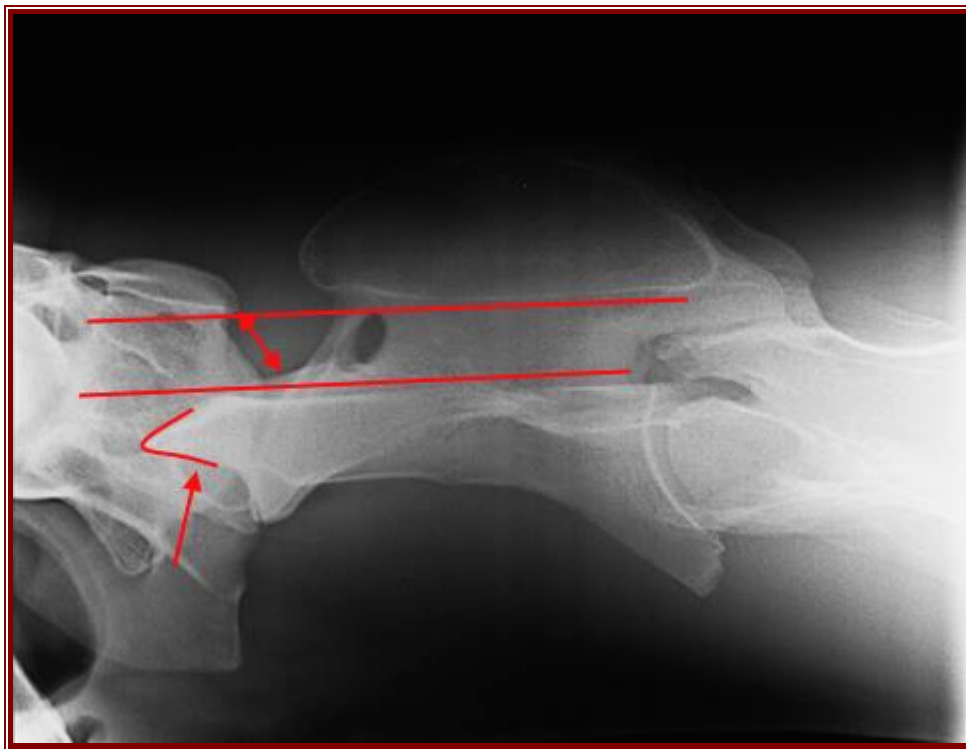


Figure 56 - Radiographie de profil de l'articulation C1-C2, centré sur C2. Les éléments à regarder sont indiqués en rouge. D'après Nottingham Vet School, s.d. [49].

c. Les articulations intervertébrales

i. Aspect radiographique

En radiographie latérolatérale, l'articulation entre les corps vertébraux est bien visible. L'espace artriculaire doit être constant, ses marges doivent être nettes quand l'articulation est au centre de la radiographie (figure 57). Il s'agit de l'espace du disque intervertébral en blanc sur la figure 58c.

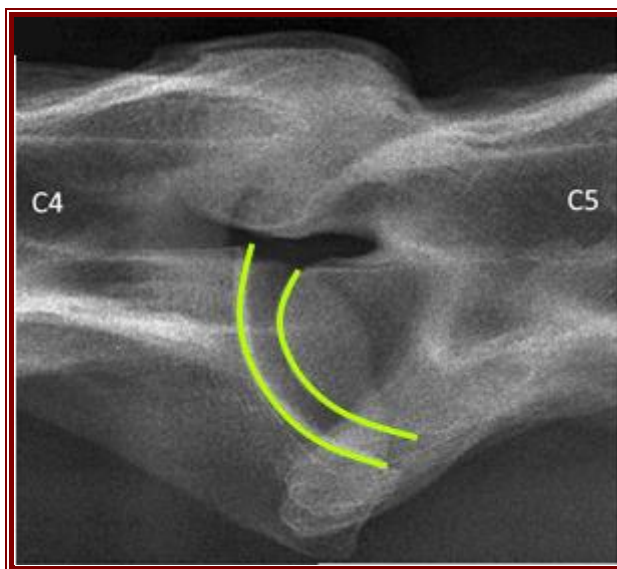


Figure 57 - Radiographie de profil de l'articulation C4 - C5 d'un cheval sain. Les surfaces articulaires sont tracées en vert. D'après Withers, 2009 [71].

L'articulation entre les arcs vertébraux est plus abstraite. On ne voit effectivement pas la ligne articulaire mais seulement les processus articulaires se chevauchant comme ce que l'on peut voir sur la figure 58. La zone en croissant de lune radiotransparente visible n'est que le processus articulaire lui-même, comme ce que la comparaison avec la photo (figure 58c) montre.

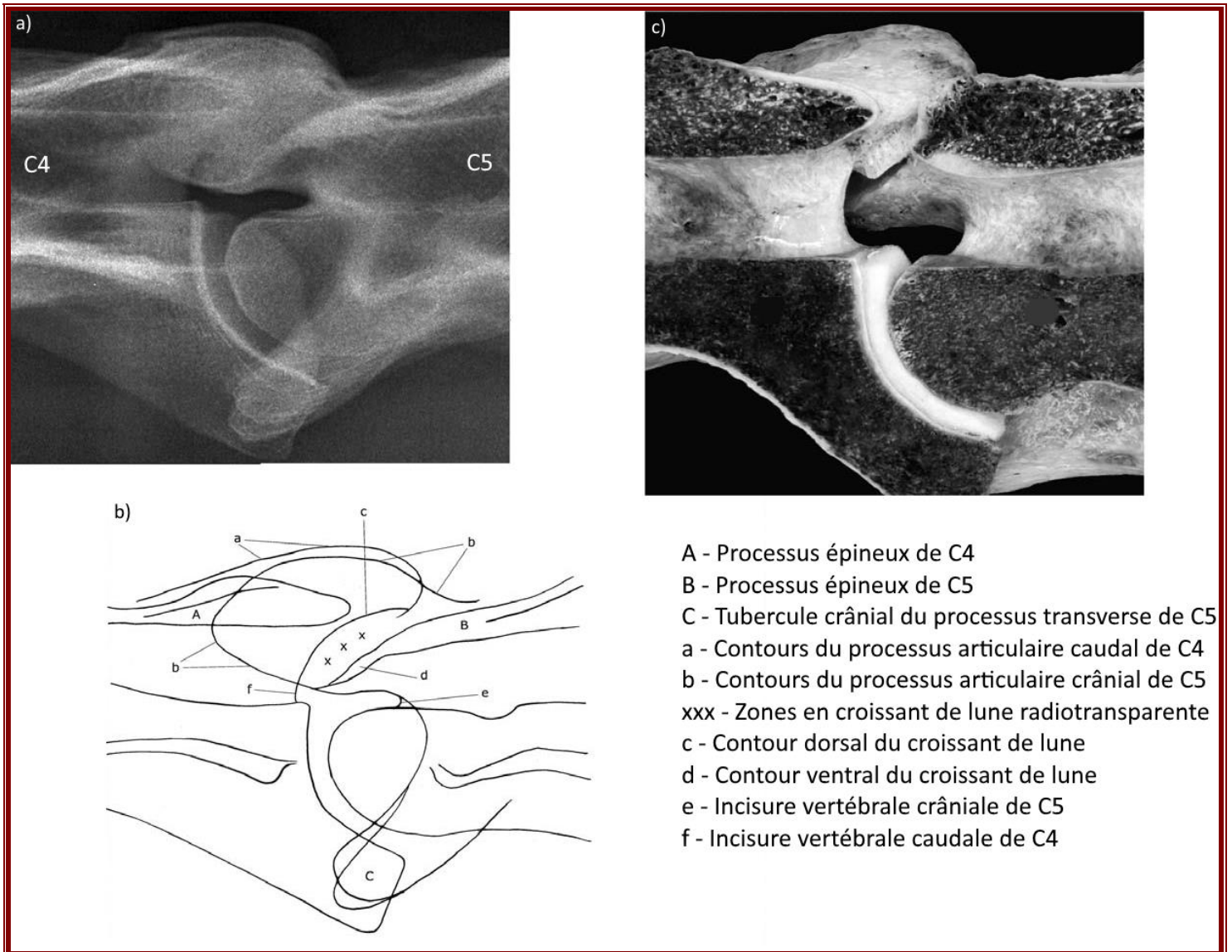


Figure 58 - a) Vue latérolatérale de l'articulation C4-C5 chez un cheval adulte sain. b) Schéma explicatif de la fig. 56a. c) Photo de l'articulation C5-C6 en coupe sagittale d'os bouillis, centrée de façon à correspondre à la radiographie. D'après Withers, 2009 [71].

Quelques points importants sont à étudier.

Les processus articulaires doivent présenter des contours dorsaux et ventraux radiographiques lisses.

L'incisure vertébrale crâniale de la vertèbre distale et l'incisure vertébrale caudale de la vertèbre proximale laissent apparaître un triangle radiotransparent, le foramen

intervertébral, entre les vertèbres. Ce triangle doit avoir des limites nettes et lisses et être bien radiotransparent (figure 59) [9, 34, 71].



Figure 59 - Radiographie de profil de C2, C3, C4 et leurs articulations distales. Les triangles radiotransparents cités précédemment sont tracés en rouge. D'après Johnson, 2017 [34].

Il y a une exception à cette règle, il s'agit de l'articulation C2-C3, où l'on peut voir le processus transverse de l'axis se superposer au foramen intervertébral (figure 60).



Figure 60 - Radiographie de profil de C2 et C3 d'un cheval adulte sain. Le processus transverse se superpose avec le triangle (flèche blanche). D'après Butler, 2017 [9].

Sur une radiographie oblique en vue latéroventrale à latérodorsale, les processus articulaires du côté le plus proche de l'appareil radiographique sont projetés dorsalement. Les processus articulaires controlatéraux apparaissent au centre de la radio, superposés aux corps vertébraux (figure 61).

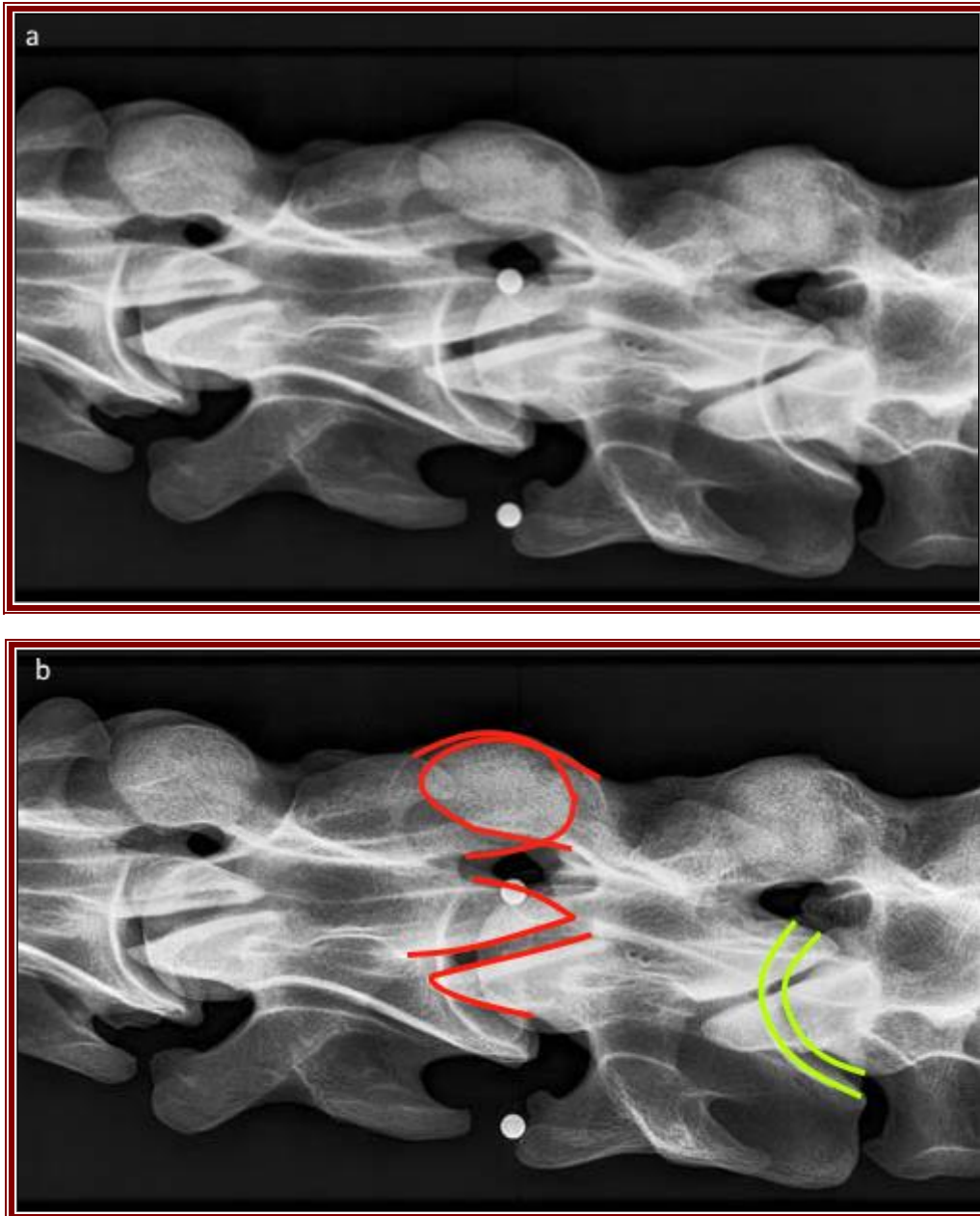


Figure 61 - a - Radiographie oblique ventral gauche à dorsal droit avec un angle de 50° par rapport à l'horizontale de C4 à C7. C4 est à gauche. Il s'agit d'os bouillis d'un cheval sain. b - Schéma explicatif de la figure 59a. En rouge sont tracés les contours des processus articulaires de C5 et C6. Les processus gauches apparaissent en dorsal. En vert sont tracées les surfaces articulaires des corps vertébraux C6 et C7. D'après Withers, 2009 [71].

ii. Mesures possibles

Plusieurs types de mesures existent, surtout pour vérifier l'absence de lésions arthrosiques des processus articulaires ou de compression médullaire.

Cependant, ces mesures ne sont pas très spécifiques. Il faut donc les prendre avec précaution. En effet les différences obtenues entre des processus articulaires sains et atteints sont plus faibles que les différences obtenues pour le même processus articulaire mesuré par des opérateurs différents ou à travers différentes vues radiographiques. Il est donc impossible de baser un diagnostic seulement sur la radiographie et ses mesures [31, 40].

Hett, 2006 propose des mesures sur des radiographies de profil. M1 est tracé du point le plus caudal du foramen intervertébral au point le plus haut du « cou » du processus articulaire crânial. M2 rejoint M1 au point le plus haut du « cou » du processus articulaire crânial et se termine sur le point le plus crânial du processus articulaire crânial. M3 correspond à la longueur du corps vertébral mesurée sur sa partie dorsale, de l'extrémité crâniale à la caudale. M4 est la hauteur maximale du corps vertébral, mesurée sur la partie crâniale du corps vertébral. M5 est la hauteur minimale du canal vertébral de M3 à la limite ventrale du processus épineux (figure 60) [31].



Figure 62 - Mesures des processus articulaires proposées par Hett, 2006 [31] effectuées sur des radiographies de profil. D'après Lischer, 2010 [40].

Voici les valeurs usuelles pour les vertèbres C6 et C7 et les valeurs M1, M2 et M3.

Tableau 3 - Valeurs usuelles des mesures M1, M2 et M3 pour les vertèbres C6 et C7. D'après Hett, 2006 [13].

	Jeune < 3ans		Adulte > 3ans	
	Sain	Arthrose	Sain	Arthrose
M1				
C6	32.6 mm	40.2 mm	32.1 mm	39.1 mm
C7	35.3 mm	49.3 mm	39.2 mm	50.3 mm
M2				
C6	55.4 mm	58.1 mm	57 mm	64.4 mm
C7	58.7 mm	66.6 mm	57.4 mm	70.5 mm
M3				
C6	94.0 mm	90.5 mm	96.2 mm	99 mm
C7	84.5 mm	77.3 mm	80.6 mm	81.8 mm

En radiographie oblique, le gold standard consiste à mesurer la largeur du processus articulaire crânial (a), la longueur du processus articulaire crânial (b), la largeur du processus articulaire caudal (c), la longueur du processus articulaire caudal (d), la longueur du processus articulaire caudal controlatéral superposé à l'articulation des corps vertébraux (x) et la longueur du processus articulaire crânial controlatéral (y), comme ce que l'on peut voir sur la fig. 68. Sur cette dernière, (r) et (l) sont des marqueurs d'orientation droit et gauche pour cette radiographie oblique en vue ventrale droite à dorsale gauche avec 50° d'angle par rapport à l'horizontale. Les processus articulaires droits sont donc dorsaux et les gauches superposés aux corps vertébraux ventralement. Les espaces entre les deux processus articulaires sont aussi mesurés sur les bords crâniens et caudaux des processus articulaires, soit entre les bouts des flèches (x) et (y) (figure 63) [39, 40].

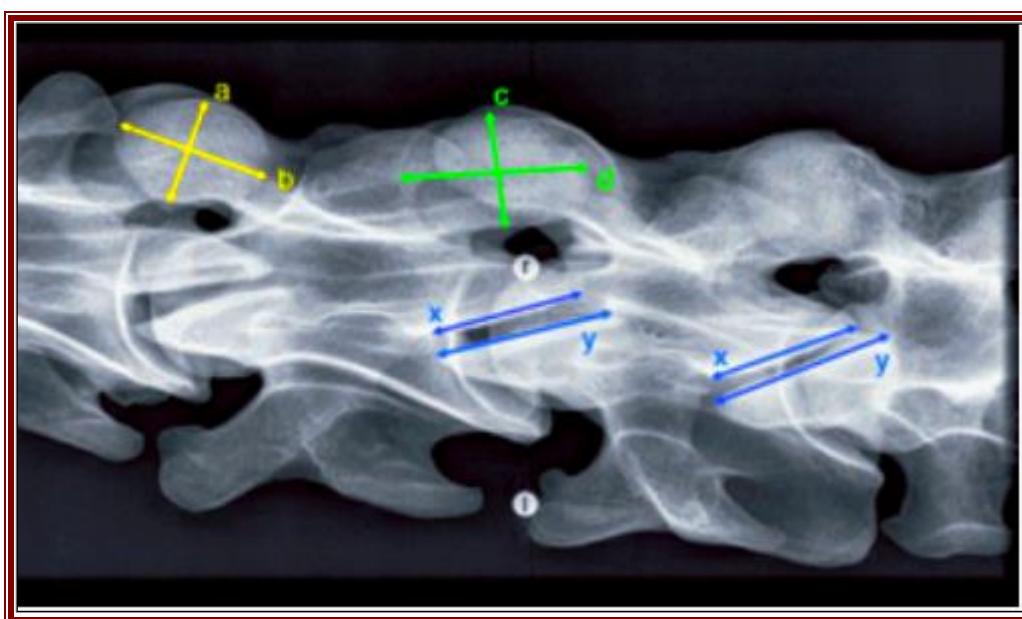


Figure 63 - Mesures des processus articulaires prises en radiographie oblique. D'après Lischer, 2010 [40].

4) Le canal vertébral

a. Aspect radiographique

La moelle épinière passe avec ses méninges dans le canal vertébral. L'intégrité de ce dernier est donc très importante au risque d'avoir des compressions médullaires et donc des atteintes neurologiques telles que le Wobbler Syndrome. Le canal doit être de largeur relativement constante et ses bords lisses et sans protrusion de matière sur son lieu de projection radiographique, au niveau des foramens intervertébraux (figure 64).

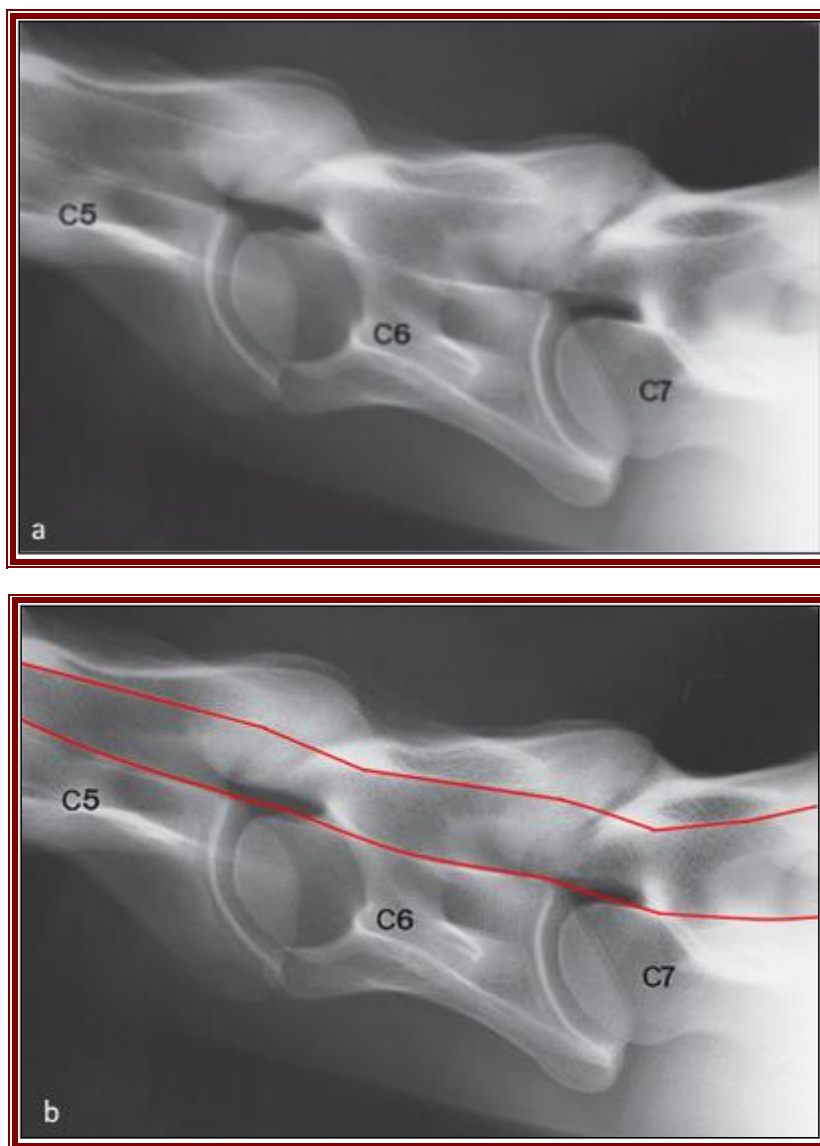


Figure 64 - a - Radiographie latérale de C5 à C7 d'un cheval adulte sain. b - Schéma explicatif de la figure 62a. Le canal vertébral est délimité. D'après Ross, 2011 [60].

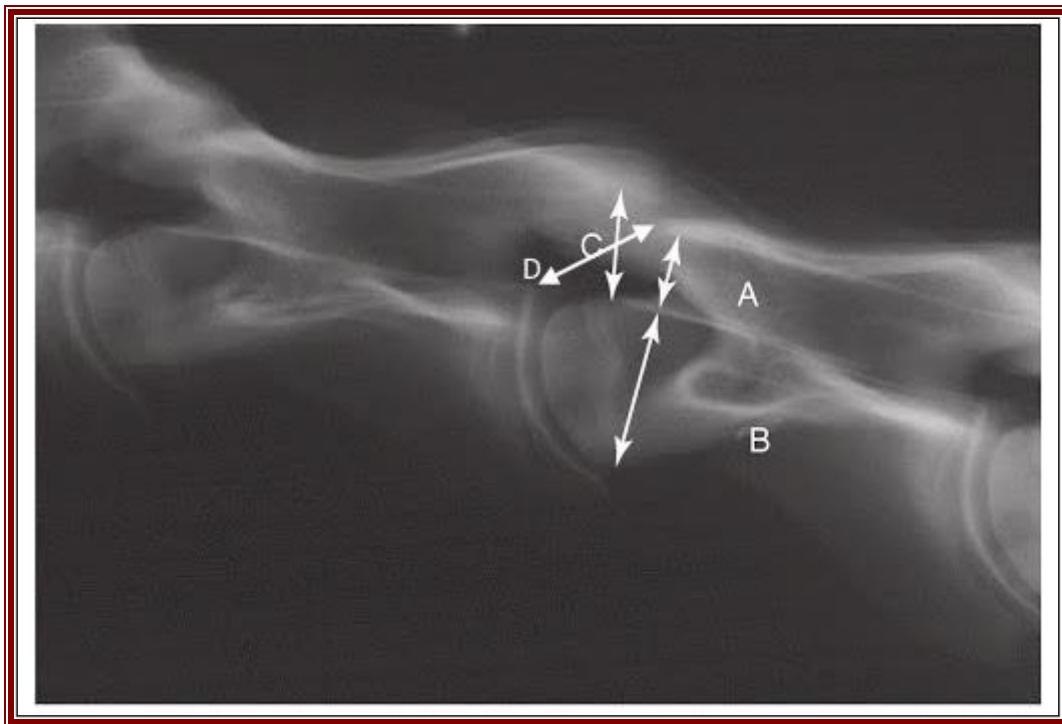
b. Mesures possibles

Plus objectivement, des mesures peuvent être prises pour s'assurer de l'absence de compression médullaire sur des radiographies de profil.

Le ratio du diamètre intravertébral sagittal minimal est la division de la plus faible hauteur du canal vertébral (A) par la hauteur maximale de la partie crâniale du corps vertébral correspondant (B) (figure 65).

Le ratio du diamètre intervertébral sagittal minimal est la division de la plus petite mesure dorsoventrale entre l'arc vertébral de la vertèbre proximale et l'aspect crâniodorsal du corps vertébral distal (C), ou entre l'aspect caudodorsal de l'épiphyse du corps vertébral proximal et l'aspect crâniodorsal de l'arc vertébral de la vertèbre distal (D), par la hauteur maximale du corps vertébral distal dans sa partie crâniale (B) (figure 65).

Il est considéré qu'un ratio inférieur à 50% est indicatif d'une possible compression à l'endroit mesuré [29, 32, 39, 44, 54, 66].



**Figure 65 - Mesures prises pour étudier les ratios sagittaux intervertébrale (A/B) et intravertébrale (C/B).
Corrigé d'après Sprayberry, 2014 [66].**

Une seconde méthode permet de prédire l'apparition du Wobbler syndrome chez des poulains à risque, grâce à des mesures d'angles et des études de diamètre corrigé.

En effet Mayhew, 1993 [45] nous propose de prendre en compte le degré de cyphose entre deux vertèbres, noté α , et le diamètre sagittal minimum corrigé. Ce dernier est défini par le diamètre sagittal minimal du canal vertébral divisé par la longueur du corps vertébral, il est noté cMSD. Les valeurs de références sont préétablies. Il existe deux cMSD, le premier basé sur le diamètre sagittal intravertébral (A, figure 65, figure 66) le deuxième avec le diamètre sagittal intervertébral (C, figure 65, figure 66).

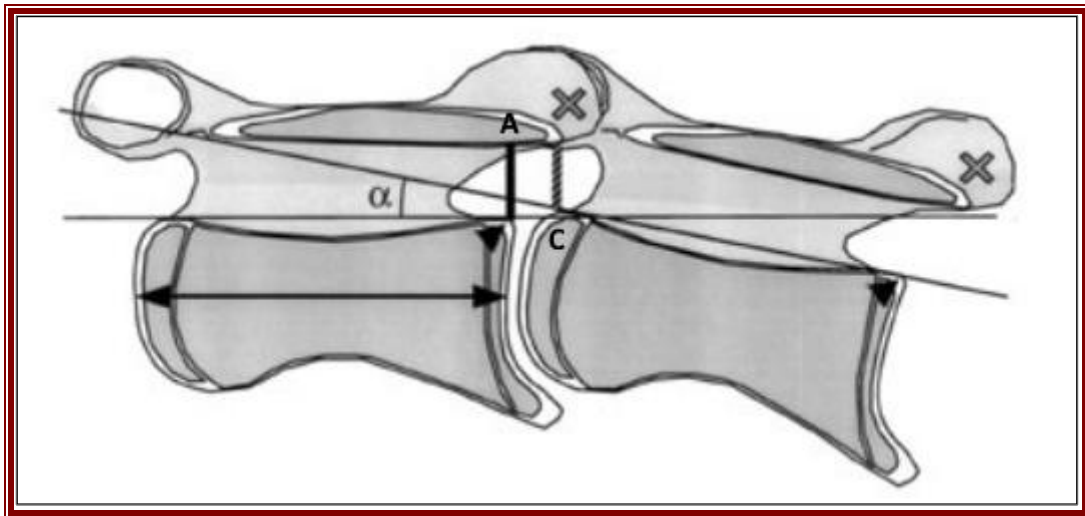


Figure 66 - Mesures de l'angle de cyphose α entre deux vertèbres et des cMSD (A et C). D'après Pujol, 2003 [54].

Une dernière méthode existe. Il s'agit de celle mise au point par Tomizawa, 1994 [68]. Elle se base aussi sur des mesures sur radiographie de profil mais en flexion et donne comme résultat un rapport de sténose noté Ss.

Ce dernier est calculé par la formule donnée : $Ss = (1 - 2d / (c + c')) \times 100$.

c est le diamètre sagittal du canal vertébral mesuré au milieu de la vertèbre proximale.

c' est défini de la même façon mais pour la vertèbre distale.

Pour obtenir d , il faut tracer deux lignes (x et y) prolongeant les plafonds du canal vertébral respectivement de la vertèbre proximale et de la distale. On trace deux perpendiculaires à ces droites passant par la tête de la vertèbre distale, de façon à obtenir la plus petite distance droite - tête vertébrale. d est la valeur minimale entre ces deux distances. Il correspond au diamètre du canal sagittal (figure 67) [54, 68].

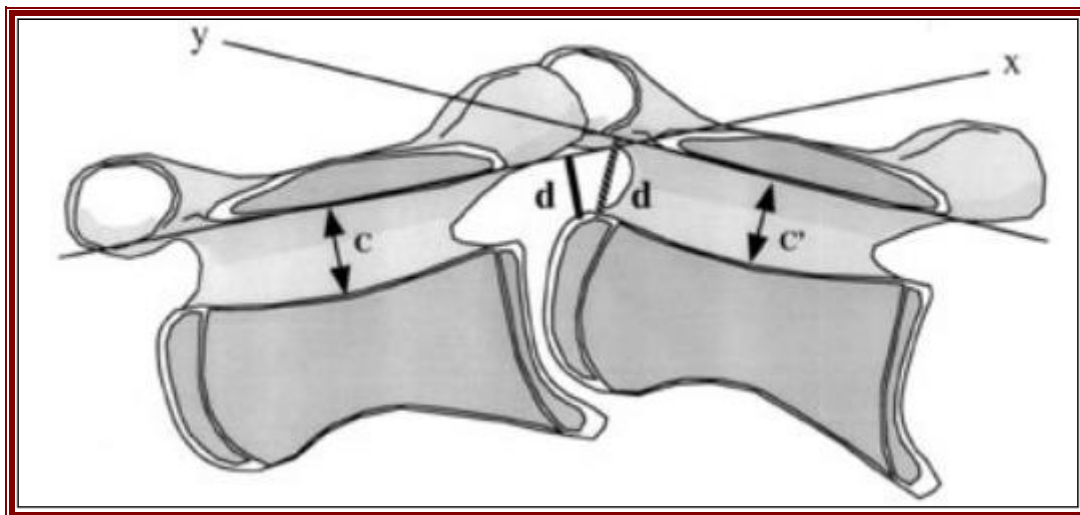


Figure 67 - Mesures proposées par Tomizawa, 1994 [68]. D'après Pujol, 2003 [54].

iii. Myélographie

Les méthodes précédentes ne peuvent remplacer la myélographie pour une localisation précise de la compression médullaire en vue d'une chirurgie le plus souvent.

D'après Prange, 2011 [53], l'endoscopie du canal vertébral cervical pourrait être une autre méthode pour localiser des lésions médullaires. D'après Kristoffersen, 2014 [37], la tomodynamométrie est aussi une méthode d'avenir. La myélographie est cependant la méthode de choix actuelle.

La myélographie consiste à injecter dans l'espace sous-arachnoïdien d'un produit de contraste radio-opaque. Il s'agit d'Iopamidol ou d'Iohexol, pour un cheval de 500kg, environ 40mL sont utilisés.

L'injection se fait sous anesthésie générale, le cheval positionné en décubitus latéral. Un carré de 20x20cm, derrière les oreilles, est préparé chirurgicalement. La tête est placée perpendiculairement à la colonne cervicale. Le point d'entrée se situe à l'intersection entre la ligne joignant les bords crâniens des ailes de l'atlas et la ligne dorsale médiane. L'aiguille est dirigée vers la mâchoire inférieure du cheval, perpendiculairement aux cervicales. Après vérification de la position dans l'espace sous-arachnoïdien en voyant une goutte de liquide céphalorachidien (LCR) perler du cathéter, on retire une quantité de LCR correspondant à la quantité de produit à injecter. L'injection est lente, 10mL/min.

Pendant 5 minutes, la tête et l'encolure sont levées. Puis les radiographies de profil sont prises, 3 avec l'encolure en position neutre et 2 en flexion maximale pour les vertèbres cervicales caudales, des clichés en hyperextension peuvent aussi être prises car en début d'évolution cette position augmente la sténose du canal [54].

5) Les variations physiologiques

Chez les vieux chevaux, les corps vertébraux peuvent présenter des ostéophytes arthrosiques sur leur aspect ventral, de même les processus articulaires des articulations C5-C6 et C6-C7 présentent fréquemment du remaniement osseux chez les chevaux d'âges moyen et avancé. Associés à ces signes, le fibrocartilage s'étend sur le bord crânial de l'arc de C7, les processus articulaires s'élargissent, le processus épineux de C7 s'aplatit ou se fragmente au contact de C6 en extension.

En radiologie, les processus articulaires apparaissent irréguliers, des ostéophytes se développent sur leur aspect ventral surtout entre C5 et C6 et entre C6 et C7.

Ces néoformations osseuses une fois conséquentes gênent le corps ou l'arc vertébral proximal et forment une simili articulation. Elles se projettent au niveau du foramen intervertébral souvent sans conséquence clinique, surtout entre C6 et C7.

Entre 13,3 et 24% des chevaux présentent une vertèbre C6 différente selon DeRouen, 2016[17]. C6 peut ne pas présenter de tubercule ventral sur son processus transverse. Cette anomalie peut être symétrique ou asymétrique (figure 55b).

La dernière vertèbre cervicale C7 possède un processus épineux dans 76,1% selon Santinelli, 2016. La forme du processus épineux peut être triangulaire pointu, rond ou en forme d'éperon [17, 60, 62].

6) Les tissus mous

En radiographie de profil, plusieurs autres organes peuvent être étudiés dans la zone cervicale du cheval.

En effet les poches gutturales sont aériques, leur zone de projection doit donc être radiotransparente, leur taille est aussi importante.

Le pharynx, le larynx, la trachée et l'œsophage apparaissent sur les radiographies cervicales de profil. Un transit baryté est effectué pour faire ressortir l'œsophage.

Le ligament nuchal n'est pas visible directement mais l'on peut voir son insertion sur l'os occipital.

IV- Principales affections cervicales détectées en radiographie et leurs anomalies radiographiques

1) Affections cutanées

a. Plaies

Clinique et examens complémentaires

Les plaies sont des solutions de continuité de la peau. Elles sont dues à des traumatismes ou aux harnachements.

Après tonte et désinfection, la plaie doit être palpée. Une radiographie peut être intéressante pour évaluer la profondeur et les tissus touchés, avec ou sans produit de contraste.

Pronostic et traitements

Le pronostic est favorable et le traitement est une gestion de plaies selon les dégâts découverts. Des complications peuvent survenir, les points peuvent lâcher, la plaie peut s'infecter et le bourgeonnement peut être excessif [38].

b. Abscesses

Clinique et examens complémentaires

Ces collections sous-cutanées de pus encapsulées sont souvent d'origine traumatique, que ce dernier soit un corps étranger, le harnachement ou les injections médicamenteuses.

Une déformation plus ou moins fluctuante est observée et une radiographie peut être réalisée, l'examen complémentaire de choix est cependant l'échographie. Cette dernière permet de différencier les hématomes organisés, les sérômes, les bursites. Elle met en évidence la présence de corps étrangers et facilite les ponctions pour cytologie et bactériologie.

Pronostic et traitements

Le pronostic est réservé, le traitement est chirurgical. L'abcès est débridé. Une antibiothérapie est mise en place en fonction de l'antibiogramme [38].

c. Phlegmon

Clinique et examens complémentaires

Le phlegmon est une infection sous-cutanée non encapsulée. Il s'agit d'un abcès non encapsulé donc se propageant et pouvant alors se généraliser.

Les causes, signes et examens complémentaires sont globalement identiques à son homologue encapsulé. La déformation est plus diffuse, la douleur plus importante à la palpation voire même à l'effleurement de la peau.

Un suintement transcutané est possible, auquel cas un prélèvement pour bactériologie est intéressant.

Pronostic et traitements

Le pronostic est réservé à très réservé. Le traitement est antibiotique, dans la mesure du possible après un antibiogramme.

L'infection n'étant pas encapsulée, elle peut se généraliser.

La convalescence dure au minimum un mois [38].

2) Affections ostéo-articulaires

a. Juvéniles

i. *Malformations congénitales*

Malformations occipito-atlanto-axiales

Les malformations occipito-atlanto-axiales caractérisées par une fusion symétrique ou asymétrique atlanto-occipitale ou d'autres malformations comprenant l'atlas et l'axis sont les anomalies congénitales cervicales les plus courantes.

Les malformations peuvent être vues à la naissance ou rester asymptomatiques pendant longtemps jusqu'à ce que la moelle épinière soit comprimée. Les signes cliniques observés alors sont des ports de tête et d'encolure anormaux, parfois une déformation visible à l'œil nu, des raideurs d'encolure, une ataxie d'évolution progressive, voire une tétraplégie et la mort.

Les chevaux de race arabe sont prédisposés héréditairement à la dysplasie occipito-atlanto-axiale. Il s'agit d'une occipitalisation de l'atlas et d'une atlantisation de l'axis, c'est-à-dire une fusion atlanto-occipitale ou atlanto-axiale (figure 68).

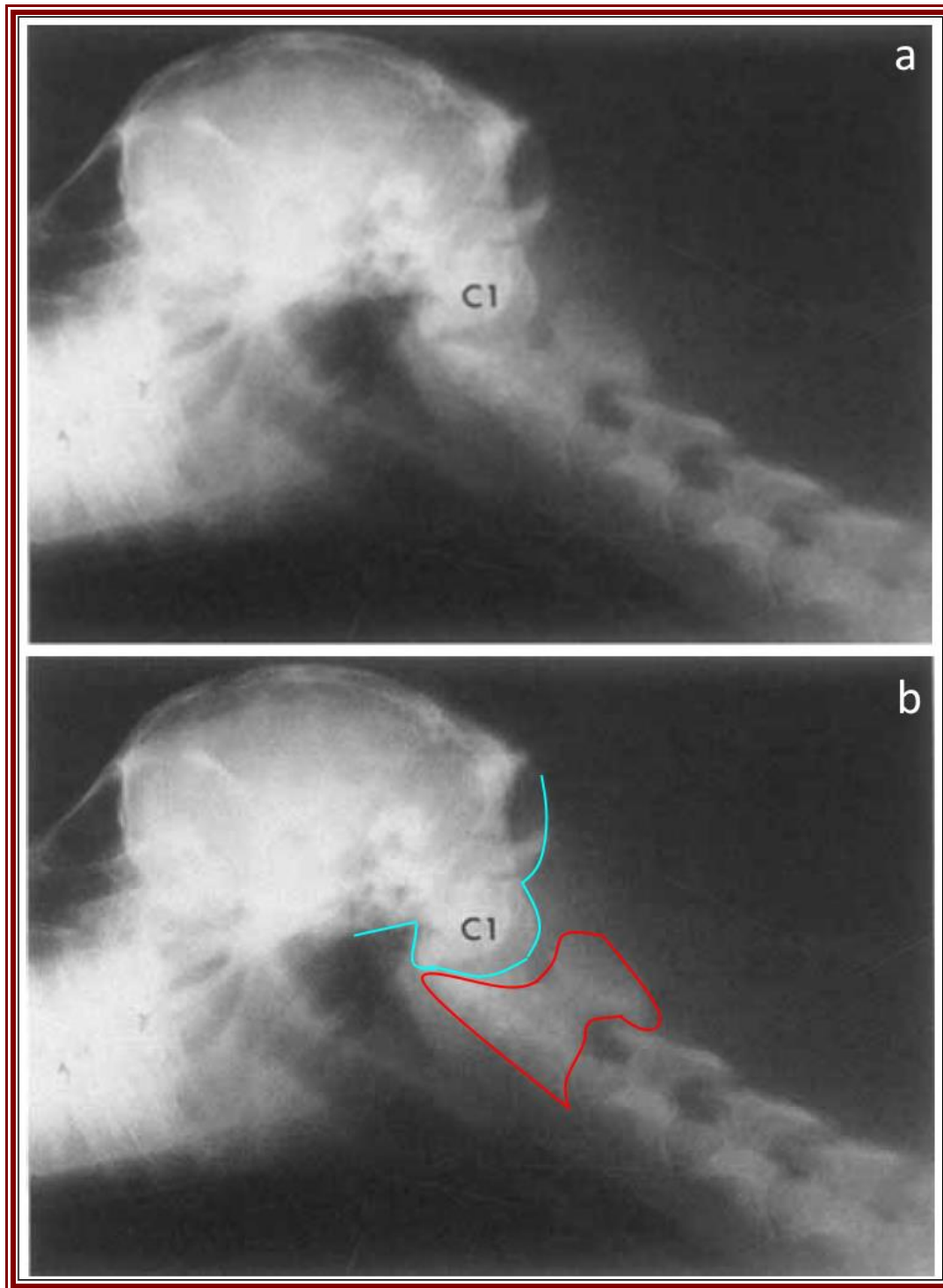


Figure 68 - a. Radiographie de profil des cervicales hautes et du crâne d'un poulain miniature présentant une malformation occipito-atlanto-axiale. b. Les contours de l'atlas et de l'axis sont tracés. On observe une occipitalisation de l'atlas, des condyles occipitaux inexistantes et une articulation atlanto-occipitale non visible, en plus d'une hypoplasie avec rotation transversale de l'atlas. L'axis semble mal articulé avec l'atlas. D'après Rosenstein et al, 2000 [59].

Les malformations ne sont pas toutes congénitales, une fusion vertébrale par exemple peut seconder une fracture ou une discospondylite [20, 33].

Lordose, Cyphose, Scoliose*Clinique et examens complémentaires*

Chez le poulain, la colonne vertébrale peut être déformée. Ce sera une lordose s'il s'agit d'une courbure à concavité ventrale exagérée cervicale, une cyphose est une courbure à concavité dorsale exagérée et une scoliose est une courbure à concavité latérale.

Ce sont des affections que l'on retrouve plutôt sur la colonne vertébrale thoracolumbaire (Figure 69).

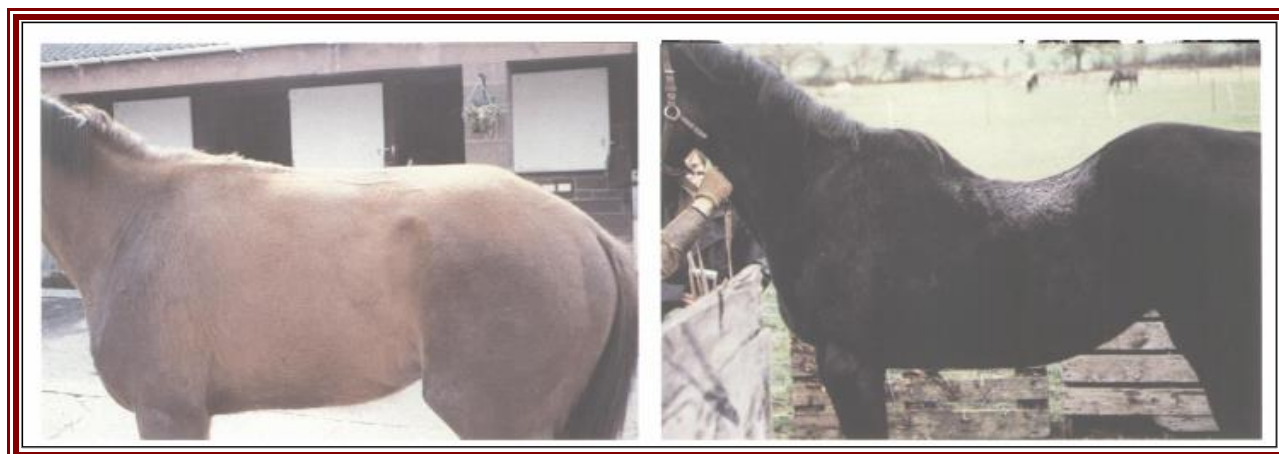


Figure 69 - Exemples de Lordose (à gauche) et de Cyphose (à droite) thoraciques. Cauvin, 1997 [11].

Pronostic et traitements

Une radiologie les met en évidence. La rhodococcose peut en être l'origine, une sérologie est donc indiquée. Il n'y a aucun traitement et le pronostic est très réservé [38].

ii. *Anomalies Ostéo-Articulaires Juvéniles (AOAJ)*

Ostéochondrose et ostéochondrite disséquante (OCD)*Clinique et examens complémentaires*

L'ostéochondrose est un défaut de maturation des cellules cartilagineuses d'un ou de plusieurs cartilages de croissance. Ce défaut entraîne une non ossification de l'os endochondral pouvant entraîner un fragment ostéochondral, appelé ostéochondrite disséquante. Elle affecte les jeunes chevaux de moins de deux ans.

Les signes cliniques sont variables selon la zone touchée et le type d'ostéochondrose concerné. Une cervicalgie est découverte de façon plus ou moins fortuite, un gonflement articulaire peut être associé. Chez l'adulte, le signe principal est une contre-performance avec des raideurs de l'encolure et des défauts de protraction du membre antérieur.

Plusieurs types d'ostéochondrose existent selon les forces mises en cause. Les lésions de compression par conflit et cisaillement au niveau des marges articulaires entraînent de l'OCD sous forme de nodules ostéochondraux péri-articulaires (NOCPA). Celles de compression en regard des surfaces articulaires en charge provoquent de l'OCD avec des

fragmentations ostéo-chondrales de surfaces articulaires (FOCSA) et des kystes osseux sous-chondraux (KOSC), des épiphysites ou des dysplasies. Enfin les lésions de traction par arrachement au niveau des enthèses sont des OCD appelées des nodules ostéochondraux d'avulsion ligamentaire (NOCAL).

Les FOCSA sont les formes trouvées en région cervicale au niveau des processus articulaires. Les épiphysites et les dysplasies ne sont pas de l'ostéochondrose, mais proviennent des mêmes forces de compression que les FOCSA. Les dysplasies touchent plus les corps vertébraux.

Des examens d'imagerie (radiographie, échographie scintigraphie) peuvent apporter des informations quant à l'état des cartilages de croissance touchés.

La génétique (trotteur français, pur-sang, selle français), l'alimentation et l'activité physique sont des facteurs de risque, ainsi que les contraintes excessives sur un squelette immature.

Pronostic et traitements

Deux traitements sont possibles.

Le conservateur met le poulain sous anti-inflammatoires, au repos. Tout ce qui soulage l'animal peut être tenté : infiltrations par exemple. Il est choisi si l'animal a moins de 18 mois et dans ce cas une évolution spontanée est encore possible, si le fragment est petit, extra-articulaire ou synovialisé ou si la chirurgie n'est pas possible pour une raison ou une autre (budget, carrière, risque).

Le traitement chirurgical cervical par arthroscopie est en étude.

Le pronostic est très variable. La moelle peut s'en trouver comprimée et provoquer une ataxie (figure 70) [12, 15, 38, 51, 70].



Figure 70 - Radiographie et myélographie de C4 - C5 chez un cheval présentant un OCD découvert à l'autopsie associé à une mauvaise congruence des processus articulaires (tête de flèche). Une sténose dynamique est affichée par la flèche blanche (cf. IV- 2) a. iii). D'après Buergelt, 2013 [8].

Epiphysite

Clinique et examens complémentaires

L'épiphysite est une inflammation du cartilage de croissance. Elle peut être mécanique, traumatique ou septique. Attention, un cartilage augmenté sans atteinte clinique associée peut être physiologique même avec un remodelage osseux.

L'épiphysite « vraie » serait due à une charge asymétrique contrariant l'ossification endochondrale physiologique. Cette asymétrie peut entraîner une croissance irrégulière et des déviations angulaires. Il s'agit souvent de poulains aux articulations laxes et à l'exercice exagéré, grand ou à croissance rapide, aux sabots mal parés ou boitant du membre controlatéral.

Le radius et le troisième métacarpe et métatarse sur leurs épiphyses distales sont atteints par ce type d'épiphysite[51].

Une atteinte des cartilages de croissance peut aussi faire suite à un traumatisme. Des signes de douleurs et des atteintes neurologiques des nerfs rachidiens concernés sont observés. Une boiterie voire une impossibilité à se lever est possible.

L'examen complémentaire de choix est la radiographie pour nous montrer l'état des cartilages. L'échographie et la scintigraphie peuvent aussi permettre de l'étudier.

Pronostic et traitements

Le pronostic est favorable à défavorable en fonction des atteintes neurologiques associées. Si la moelle est comprimée pendant plus de 6 heures, le pronostic est défavorable.

Un repos avec immobilisation complète voire l'utilisation d'un hamac est nécessaire associé à des anti-inflammatoires.

Enfin l'atteinte peut être septique. Chez le poulain, l'origine est le plus souvent hémotogène, à la suite d'une mauvaise prise colostrale avec mauvais transfert passif de l'immunité, d'une affection respiratoire, ombilicale ou gastro-intestinale.

Les bactéries les plus courantes sont les entérobactéries, en particulier *Escherichia coli*, les salmonelles, *Actinobacillus equuli*, *Klebsiella spp.*, les staphylocoques, les streptocoques et *Rhodococcus equi*.

Dans ce cas, les signes cliniques sont marqués : fièvre, boiterie, effusion synoviale, douleur, chaleur apparaissent.

Une étude approfondie de la zone touchée est nécessaire, radiographie, ponction articulaire de l'articulation adjacente si possible, des biopsies osseuses peuvent être aussi réalisées pour effectuer une bactériologie et un antibiogramme. La radiographie a tendance à sous-estimer la sévérité de l'atteinte. Le scanner est plus sensible.

Une biopsie montre du tissu fibreux, des leucocytes et des fragments d'os désordonnés à priori non viables. Le cartilage de croissance est donc remplacé par du tissu inflammatoire.

Pronostic et traitements

L'antibiothérapie est un point clé du traitement, surtout locale, les injections intra articulaires d'antibiotiques donneraient une concentration osseuse identique à une perfusion locale. L'antibiothérapie locale est longue, jusqu'à une semaine après l'arrêt des signes, puis des antibiotiques par voie générale (oral) sont conseillés pour 2 à 4 semaines. L'association pénicilline/gentamicine et la doxycycline sont les antibiotiques systémiques employés par Hall et al, 2012 [30] en local, la gentamicine, la clindamycine et l'amikacine ont été utilisés.

Un traitement chirurgical est à proposer avec précaution, le cartilage de croissance débridé peut ne plus fonctionner. L'atteinte cervicale n'est pas commune et la chirurgie encore moins [25, 30, 38, 51].

iii. Hyperlaxité et ataxie spinale

Clinique et examens complémentaires

L'ataxie spinale du poulain (ASP) est une dégénérescence de la moelle épinière comprimée par des vertèbres cervicales malformées. Elle apparaît vers six à trente mois mais peut aussi être asymptomatique jusqu'à tard. La maladie est alors découverte sur des adultes ou des vieux chevaux. Il s'agit d'une étiologie possible du syndrome de «Wobbler».

La sténose du canal vertébral peut être permanente ou intermittente n'apparaissant qu'au cours de mouvements particuliers de l'encolure. Dans le premier cas la sténose est appelée anatomique, dans le deuxième, la sténose est dynamique. Lors de sténose dynamique, la position de l'atteinte définit le mouvement problématique. Lorsqu'elle est située avant la 5^{ème} vertèbre cervicale, la sténose apparaît en flexion, tandis qu'après cette vertèbre, c'est l'extension de l'encolure qui provoque le trouble.

Les signes associés sont ataxie et parésie spastique des membres. Ils sont symétriques, d'apparition soudaine et peuvent être d'évolution progressive ou compensés par l'oreille interne.

La radiographie est l'examen complémentaire de choix, plus ou moins associée à une myélographie (figure 71). Un IRM et un scanner peuvent aussi mettre en évidence l'hyperlaxité et les compressions médullaires associées.

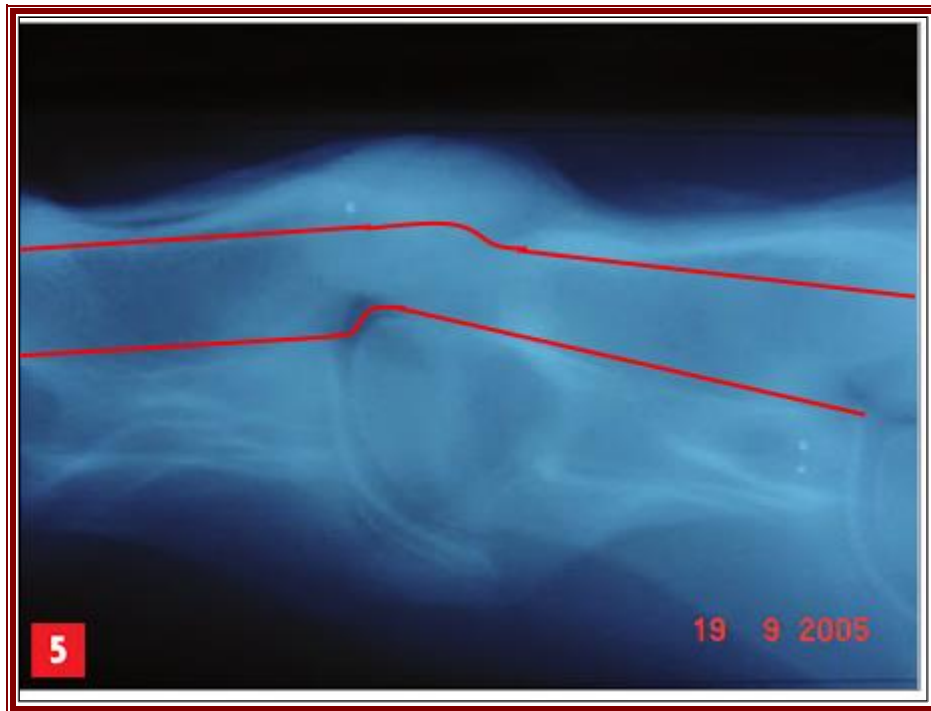


Figure 71 - Radiographie de C3-C4 présentant une subluxation de C4 associée à des signes d'arthrose de l'articulation. Cette hyperlaxité peut entraîner une sténose dynamique. D'après Couroucé-Malblanc, 2010 [13].

Pronostic et traitements

Le pronostic est très variable. La gestion est médicale avec un contrôle neurologique, ou chirurgicale. Dans ce dernier cas, il s'agit d'une arthrodèse des articulations concernées. Le résultat est cependant aléatoire.

Les complications inhérentes à la chirurgie et à la myélographie sont bien sûr possibles [13, 38].

b. Pathologies induites par l'exercice

Clinique et examens complémentaires

Les pathologies musculo-squelettiques induites à l'effort sont les principales causes de baisses de performances et de carrières raccourcies du cheval de sport. Nous ne parlerons pas des atteintes des tissus mous, non étudiables radiographiquement.

Les chevaux de course présentant une activité très intense sur des périodes courtes sont plus sujets à des fractures ou blessures graves voire fatales.

Il s'agit ici de micro traumatismes répétés, les chocs s'accumulent, la capacité adaptative et réparatrice de l'os est dépassée par la charge biomécanique et ce de façon cyclique. Des micro-fractures de l'os et/ou des atteintes focales du cartilage apparaissent alors. Par exemple pour les chevaux de course, le condyle métacarpien est une zone privilégiée de « fracture de fatigue ».

Un cheval au repos après une période d'entraînement, voit ses zones fragilisées, par les microtraumatismes, perdre en densité osseuse ; ce qui prédispose aux fractures lors de la reprise du travail, si celle-ci est trop brutale.

Cliniquement, les signes sont variables allant de la baisse de performance à une boiterie sévère d'apparition aigue. Des signes d'effusion articulaire ou de douleurs à la flexion sont généralement présents lors d'atteintes articulaires, en cas de lésions osseuses, il s'agira plutôt d'une douleur à la palpation et d'un œdème des tissus adjacents.

Le diagnostic se fait par imagerie, anesthésies voire arthroscopie.

Pronostic et traitements

Le pronostic et le traitement dépendent de la sévérité des lésions découvertes. Le plus tôt l'on découvre la pathologie, le meilleur est le pronostic [51].

c. Affections articulaires

i. Articulations intervertébrales

Entorse

Clinique et examens complémentaires

Suite à un traumatisme ou plus couramment une chute, le cheval présente des signes de douleurs et des signes neurologiques des nerfs rachidiens associés.

Radiographie, scintigraphie et échographie peuvent mettre en avant les atteintes ligamentaires mises en jeu.

Pronostic et traitements

Le pronostic est favorable à réservé en fonction de l'atteinte neurologique associée.

Le traitement est un repos complet et un traitement de physiothérapie [38].

Luxation et subluxation

Luxation vertébrale et / ou des processus articulaires

Clinique et examens complémentaires

Un traumatisme ou une chute, fréquent chez les chevaux de steeple, peut provoquer une luxation des processus articulaires. La plupart des dislocations cervicales apparaissent chez les jeunes et sont associées à une ou plusieurs fractures. Le cartilage de croissance de la dent de l'axis est une zone privilégiée de ce type de fracture.

De la douleur, un torticolis, des signes neurologiques des nerfs rachidiens impliqués ainsi qu'une boiterie voire une impossibilité à se lever peuvent en être des signes cliniques. Cependant le plus souvent, ils sont ataxiques ou totalement paralysés juste après l'accident.

Le diagnostic se fait par imagerie. En radiographie, des signes d'élargissement des espaces intervertébraux sont possibles. Les surfaces articulaires ne sont plus emboîtées. Il est possible aussi d'avoir des mauvais alignements vertébraux.

Subluxation

Une atteinte des deux premières vertèbres cervicales est peu courante. Il s'agit surtout de chute, cette dernière n'ayant pas nécessairement eu lieu récemment. Le ligament de la dent de l'axis et/ou le ligament longitudinal ventral sont lésés, à moins que la subluxation ne fasse suite à une fracture de la dent.

Le cheval présente souvent une encolure crispée, raide et souvent en extension. Un claquement peut être entendu en regard de l'atteinte. Le canal vertébral est large et permet en général d'éviter les compressions médullaires.

Le diagnostic est radiologique, les signes sont un mauvais alignement vertébral, une dent déplacée, un espace entre C1 et C2 diminué, des signes d'atteintes secondaires tels que de la néoformation osseuse. En cas de fracture de la dent, des signes neurologiques sont associées telles que de l'ataxie.

Une atteinte basse est plus courante. Lors d'une subluxation des vertèbres C5 à C7, le cheval manque souvent de puissance dans l'arrière-main, il a du mal à se rassembler ou, pour un étalon, à monter les juments. Ils sont en général ataxiques des membres pelviens.

Pronostic et traitements

Que ce soit luxation ou subluxation, le pronostic est favorable à défavorable en fonction des atteintes neurologiques associées. Si la moelle est comprimée pendant plus de 6 heures, le pronostic est défavorable.

Le repos avec immobilisation complète est demandé. L'utilisation d'un hamac peut aider. Des anti-inflammatoires sont administrés et une chirurgie de réduction de la luxation est possible.

La convalescence est longue [19, 33, 38].

Synovite

Clinique et examens complémentaires

Les synovites peuvent être septiques ou aseptiques.

Dans le second cas, les synovites ont une présentation clinique proche des fragments ostéocondraux articulaires, avec contre-performance, raideur de l'encolure et défaut de protraction du membre thoracique.

Les examens complémentaires sont aussi radiographie, scintigraphie et échographie.

Pronostic et traitements

Le pronostic est favorable et le traitement est basé sur des infiltrations échoguidées de corticoïdes non retard et sur un exercice contrôlé.

En cas d'infection (arthrite septique), le point d'entrée des bactéries peut être une blessure, une injection, une infection systémique ou une chirurgie. Il s'agit souvent de Staphylocoques à coagulase négative et de *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus*. En cas de développement d'une infection post opératoire, *Staphylococcus aureus* est le plus souvent mis en cause.

Des signes d'inflammation locale importante sont à attendre, selon la sévérité de l'atteinte. L'évolution est rapide. Une analyse du liquide synovial, une biochimie et une numération formule orientent le diagnostic. L'imagerie permet de suivre l'évolution à un stade plus avancé de la maladie. Une bactériologie et un antibiogramme sont recommandés, malgré une réussite de la culture bactérienne faible. Il s'agit d'une urgence. Le traitement est une antibiothérapie générale et locale agressive et longue et de lavages articulaires.

Des complications existent, paralysie, ostéoarthrite secondaire et arthrodèse en font parties [20, 33, 38, 51].

Ostéoarthrite

Clinique et examens complémentaires

L'ostéoarthrite ou arthrose est une dégénérescence et perte du cartilage articulaire. Il s'agit d'un cercle vicieux provoquant le relargage de médiateurs inflammatoires, une perte de stabilité articulaire, une perte de la capacité d'absorption des chocs voire des traumatismes directs à l'os ou aux cartilages.

La synovite est un facteur de développement de l'ostéoarthrite et peut engrainer le cercle vicieux.

En région cervicale, l'arthrose touche surtout les processus articulaires, qui peuvent s'orner de remodelages osseux assez conséquents. Ces derniers peuvent même s'insérer dans le canal vertébral et comprimer la moelle épinière. Une faiblesse et une ataxie postérieure sont les principaux signes détectés alors. Ils peuvent aussi bloquer les foramens intervertébraux et donc les sorties des racines nerveuses correspondantes. Douleur locale et sueur ciblée sur la zone sont observables, plus ou moins associées à une boiterie ou à des douleurs projetées, rapidement une amyotrophie musculaire d'origine nerveuse est constatée.

Radiographiquement, les processus articulaires apparaissent gros, l'espace articulaire est plus fin et mal défini. Les foramens intervertébraux sont totalement ou partiellement comblés. Lorsque l'atteinte est asymétrique, la vertèbre la plus crâniale peut présenter une rotation malgré un cheval droit sur une radiographie de profil. Ce type de lésion est à latéraliser sur des radiographies obliques. (cf. Deuxième partie)

Pronostic et traitements

Il est difficile de connaître l'impact clinique des lésions d'arthrose. Des anesthésies locales ou la scintigraphie peuvent tenter de définir cet impact.

Le traitement est basé sur des infiltrations échoguidées de corticoïdes non retard et sur un exercice contrôlé. On peut en plus faire de la physiothérapie et de la gestion du geste sportif [19, 33, 38].

*ii. Enthèse du ligament nucal**Clinique et examens complémentaires*

Au niveau de la nuque, le ligament nucal s'insère sur l'os occipital.

Echographie et radiographie mettent en évidence un arrachement ligamentaire ou une atteinte ligamentaire, avec un remodelage osseux voire un fragment et de la minéralisation dans le ligament nucal.



Figure 72 - Radiographie de profil d'un cheval présentant un remodelage osseux (flèche blanche) à l'enthèse du ligament nucal. D'après Dyson, 2011 [19].

Il s'avère qu'un remodelage osseux à l'enthèse du ligament nucal peut être une simple découverte fortuite. Environ 80% des chevaux de sport présenteraient ce genre de lésions. Lorsqu'il y a effectivement desmopathie du ligament nucal, il s'agit dans la plupart des cas d'une cause traumatique.

Le cheval présente une déformation et une douleur locale. Il a du mal à se placer sur la main. Il résiste, se cabre et peut se retourner. Il conserve cependant une bonne propulsion postérieure contrairement aux atteintes dorsales.

Le diagnostic de certitude se fait par anesthésie locale.

Pronostic et traitements

Le traitement se fait par des injections de corticostéroïdes, du Traumeel (homéopathique), d'anesthésique local et d'une modification de l'entraînement avec une absence de travail sur la main pendant 8 semaines et une préférence pour les lignes droites. En main, des flexions douces et progressives latérales et des flexions/extensions de la nuque. Des traitements complémentaires peuvent être réalisés (acupuncture, ondes de choc, ...). Un traitement chirurgical pour cas réfractaire existe, par section du ligament nucal et du fascia du muscle semi-épineux.

Un cheval présentant une atteinte du ligament nucal est dangereux ! Il peut se retourner [19, 38].

iii. Disque intervertébral (discospondylite, rupture ou hernie)

Clinique et examens complémentaires

Le disque intervertébral est plus souvent atteint chez les étalons et les vieux chevaux. Les ruptures sont extrêmement rares.

Des atteintes dégénératives liées à l'âge ont été identifiées. Cependant même avec une désintégration sévère du disque, aucun signe clinique n'a été identifié.

Une dégénérescence du disque associée à une hernie dans le ligament longitudinal dorsal peut par contre provoquer une compression des racines nerveuses en regard.

En général, la discospondylite est une cause rare de douleurs cervicales, de boiterie antérieure, de raideur antérieure bilatérale, d'ataxie ou de difficultés à mettre sur la main. Elle atteint en priorité les cervicales basses et pourrait être une conséquence de trauma.

Radiographie, scintigraphie et échographie nous montrent un amincissement voire une disparition de l'espace de projection du disque intervertébral, les surfaces articulaires sont sclérosées. Des atteintes osseuses plus sévères peuvent être associées et une opacité osseuse diminuée pourra être vue en cas d'infection. S'il s'agit d'une hernie, une compression médullaire y sera associée en myélographie.

Pronostic et traitements

Le traitement est médical ou chirurgical.

Dans le premier cas, il s'agit de physiothérapie, de traitement hygiénique et d'exercice contrôlé. Dans le deuxième cas, une arthrodèse vertébrale est réalisée. La chirurgie peut aussi consistée en un débridement de l'espace articulaire et en une greffe d'os spongieux [20, 33, 38].

iv. Instabilité vertébrale cervicale (Wobbler)

Clinique et examens complémentaires

La ou les causes d'instabilité vertébrale cervicale ne sont pas encore bien identifiées. Plusieurs hypothèses sont avancées (tableau 4).

Tableau 4 - Causes avancées du syndrome de Wobbler équin. D'après Farrow, 2005 [9].

Cause	Commentaire
Atteintes de la colonne vertébrale	Fracture ou dislocation, contusion médullaire, lacération médullaire
Malformations vertébrales congénitales	Tout ce qui diminue ou accroche la moelle épinière
Atteintes surtout asymétriques des fossettes articulaires	Souvent congénital, parfois secondaire à une polyarthrite
Rupture ou protrusion du disque intervertébral	Souvent secondaire à une maladie dégénérative primaire. Peut être secondaire à un trauma ou spontanée
Spondylose avec accrochement médullaire	Rare. Comprime quasi systématiquement les racines des nerfs périphériques
Spondylite	Alambiqué
Discospondylite	Alambiqué
Encéphalomyélite	Etiologies variables
Tumeur épidurale	Mélanome, myélome plasmocytaire, lymphosarcome
Granulome	Du cerveau, de la moelle ou des deux
Abcès	Du cerveau, de la moelle ou des deux
Nématodose cérébrospinale équine	A priori <i>Strongylus vulgaris</i>
Myéloencéphalite protozoaire équine	<i>Sarcocystis</i>
Myélopathie dégénérative équine	Aucun signe radiologique, IRM nécessaire
Embole cartilagineux	Aucun signe radiologique, IRM nécessaire
Anémie infectieuse équine	Aucun signe radiologique, IRM nécessaire
Maladie cérébelleuse	Aucun signe radiologique, IRM nécessaire
Malformation veineuse congénitale	Aucun signe radiologique, IRM nécessaire

Les radiographies utilisées sont de profil, l'encolure en position neutre ou en flexion. Certaines instabilités ne sont visibles qu'en flexion.

Le signe radiographique de base est un mauvais alignement vertébral. La myélographie vient confirmer ou infirmer le diagnostic de compression médullaire associée.

Le scanner est plus sensible que les examens complémentaires précédents mais beaucoup moins facile d'utilisation. Les cervicales caudales ne peuvent pas être imagées.

Les autres signes radiographiques sont des arthrites des articulations impliquées, des malformations des corps vertébraux et la sténose du canal vertébral (les mesures à faire pour la déceler sont décrites dans la partie III).

Pour les radiographies en flexion, il faut faire attention aux vertèbres C4 et C5 et leur articulation, qui est le point de flexion maximal cervical et un lieu de lésion potentiel. Les faux positifs sont donc très possibles.

Les compressions médullaires peuvent être classées en trois catégories.

Les sténoses cervicales statiques sont les sténoses ou dislocations visibles en myélographie sur un cheval en position neutre.

Les sténoses cervicales dynamiques sont celles visibles en positions forcées, flexion, extension, traction, latéroflexion.

Les sténoses cervicales combinées statique-dynamiques sont les plus couramment observées [20].

Pronostic et traitements

Ils dépendent de la cause.

d. Affections osseuses

i. Fracture du corps, de l'arc ou des processus transverses

Clinique et examens complémentaires

Chez le cheval, les fractures cervicales sont presque toujours dues à un choc frontal, une chute sérieuse ou un coup direct à la tête, un cheval qui tombe en arrière en se cabrant par exemple.

Dans tous les cas, les signes cliniques sont d'apparition brutale, le cheval tient son encolure anormalement basse, des signes de raideur, douleur, gonflement en regard et des signes neurologiques des nerfs rachidiens et de la moelle associés sont visibles. Des craquements peuvent être entendus.

Les fractures sont visibles en radiographie, en scintigraphie ou en échographie. Le diagnostic de certitude est radiographique, une radiographie de profil est souvent suffisante.

En radiologie, une fracture s'identifie par des angulations anormales des vertèbres, des défauts d'alignement, des séparations complètes de certaines parties de vertèbres, des rapprochements non physiologiquement possibles, des zones ou lignes radiotransparentes interrompant la bordure continue de la vertèbre.

Fracture des cartilages de croissance

En générale, ce type de fractures atteint les premières vertèbres cervicales. Et dans la plupart des cas, les fractures touchant l'atlas ou l'axis entraînent par la même occasion une dislocation plus ou moins sévère. Celle-ci est beaucoup plus problématique au regard des atteintes de la moelle épinière pouvant en résulter.

Pronostic et traitements

Le pronostic dépend du site et du type de fracture et surtout de la possibilité d'observer une compression permanente de la moelle épinière. Il est plutôt bon en cas de fractures des cartilages de l'atlas ou de l'axis chez les poulains, ce qui est assez fréquent. Un traitement conservateur avec confinement au box est en général suffisant.

Fracture du corps vertébral et de l'arc vertébral

Lorsque le corps vertébral ou l'arc vertébral est fracturé, il est possible que le cheval boite voire ne puisse plus se lever. Les fractures vertébrales du corps ou de l'arc touchent plus aisément les vertèbres C4 à C6 ou les processus articulaires de C5 à C7. L'hémorragie locale et l'œdème post traumatisme peuvent comprimer la moelle et donc entraîner de l'ataxie qui se résout en quelques jours. Le pronostic s'assombrit si l'ataxie perdure.

Pronostic et traitements

De la même façon, une fracture se répare par la formation d'un cal osseux qui peut comprimer la moelle à son tour. Les ligaments et le disque intervertébral peuvent évidemment être aussi touchés et entraîner eux aussi une compression médullaire. Enfin la fracture peut être concomitante d'une subluxation vertébrale pouvant sectionner la moelle (figure 73).

Le pronostic est alors favorable à défavorable en fonction des atteintes neurologiques associées. Si la moelle est comprimée depuis plus de 6 heures, le pronostic est défavorable.

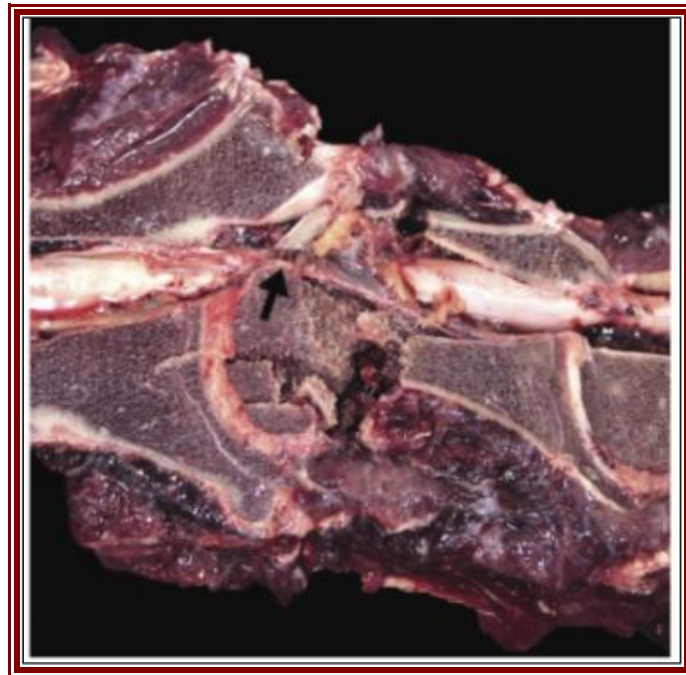


Figure 73 - Fracture déplacée et comminutive du corps et de l'arc vertébral de C3 suite à une chute. La moelle est sectionnée au niveau de la flèche noire suite à la subluxation associée. D'après Buergelt, 2013 [8].

Le traitement est basé sur du repos et une immobilisation complète quitte à utiliser un hamac et sur des anti-inflammatoires. Le cheval est confiné au box sous analgésie contrôlée. Une douleur doit perdurer pour décourager l'animal de bouger la tête. Les mesures hygiéniques correspondantes sont indispensables, mettre l'eau et la nourriture à hauteur de tête, le foin est laissé libre, pour éviter que l'animal ne tire sur le filet à foin. Tout risque qu'il tire au renard est à proscrire. Une amélioration clinique peut n'arriver que 6 voire 9 mois après l'accident.

Une chirurgie d'ostéosynthèse est possible.

Dans le cas de la fracture du corps, une hémorragie fatale est possible !

Fracture des processus transverses

Les fractures des processus transverses sont moins graves. Le pronostic est toujours favorable à défavorable en fonction des atteintes neurologiques associées.

Pronostic et traitements

Le traitement est basé sur du repos, une immobilisation complète et de la physiothérapie.

Les complications sont une instabilité et une pseudoarthrose [19, 20, 33, 38].

ii. Ostéite septique et ostéomyélite septique

Clinique et examens complémentaires

L'infection osseuse plus ou moins associée d'une atteinte de la moelle est due à un traumatisme, des plaies, des infiltrations ou des maladies générales telles que la gourme ou la rhodococcose.

Les signes cliniques sont une douleur aigue et de la température.

Radiographie, scintigraphie et échographie montrent une atteinte osseuse. La radiologie nous montre des anomalies d'opacités des zones concernées, souvent une diminution d'opacité.

Des prélèvements échoguidés peuvent être intéressants pour bactériologie.

Des sérologies et PCR rhodococcose et gourme sont aussi à effectuer.

Pronostic et traitements

Le pronostic est favorable à défavorable. Le traitement est constitué d'une antibiothérapie locale et générale. Des complications existent, paralysie, ostéoarthrite secondaire et arthrodèse en font parties [33, 38].

iii. Kyste osseux

Une ou plusieurs zones radiotransparentes peuvent être identifiées sur une ou plusieurs vertèbres cervicales. Elles sont associées à une douleur cervicale prononcée voire à une boiterie antérieure. Les causes ne sont pas connues.

En vue radiologique de profil, une zone radiotransparente ronde, bien définie peut être observée sur l'os.

Le diagnostic différentiel se fait avec une infection, un trauma ou une lésion ostéochondral ou néoplasique [19, 33].

e. Bursite occipitale

Clinique et examens complémentaires

L'inflammation de la bourse occipitale est due à un traumatisme ou à un mauvais harnachement. Elle peut être aussi due à une infection systémique (gourme, rhodococcose).

Une déformation de la zone occipitale est visible, associée à une douleur aiguë et à de la température. L'encolure est raide, en une position anormale, elle peut présenter des gonflements localisés dorsalement à l'atlas et l'axis.

La bursite est visible en radiographie et en échographie. Des prélèvements échoguidés pour bactériologie peuvent être intéressants. Des sérologies et PCR rhodococcose et gourme peuvent orienter le traitement.

Pronostic et traitements

Le pronostic est réservé à défavorable. Une chirurgie de lavage articulaire et curetage en cas d'ostéite septique associée est envisageable. Une desmotomie du ligament nucal est une autre possibilité. Une antibiothérapie locale et générale est mise en place [19, 38].

3) Affections neurologiques

a. Sténose du canal vertébral avec ataxie spinale

Clinique et examens complémentaires

Des signes de troubles de l'équilibre, des antécédents de chutes ou d'autres signes neurologiques sont des signes d'appel d'une sténose du canal vertébral.

La radiographie nous donne une première idée de la compression mais la myélographie la confirme. Scanner et IRM peuvent être proposés.

Une instabilité vertébrale peut en être à l'origine, en radiologie, le signe est un mauvais alignement vertébral.

Pronostic et traitements

Le pronostic est très variable. La gestion est médicale et hygiénique ou chirurgicale. La procédure chirurgicale consiste en une arthrodèse de l'articulation concernée mais les résultats sont aléatoires.

b. Compression d'un nerf rachidien à son émergence

Clinique et examens complémentaires

Les signes visibles sont une sueur localisée, une amyotrophie localisée, une boiterie, des difficultés dans le travail en équitation.

Il est possible d'observer une paralysie ou parésie d'un membre.

La radiographie nous donne une première idée de la compression mais la myélographie la confirme. Scanner et IRM peuvent être proposés.

Pronostic et traitements

La gestion est médicale et hygiénique. Des complications très graves peuvent apparaître : le cheval ne se relève pas par exemple [33, 38].

c. Intoxication au Zinc

Cette intoxication détruit les cartilages articulaires mais une quantité importante de Zinc doit être absorbée. Elle entraîne des compressions médullaires et des signes neurologiques et locomoteurs.

En radiologie, on observe une disparition des espaces des disques intervertébraux ainsi que des élargissements des épiphyses vertébrales provoquant des compressions médullaires.

Ces anomalies se retrouvent dans toute la colonne vertébrale mais aussi dans toutes les articulations des membres [24, 33].

d. Myéloencéphalite protozoaire équine

La myéloencéphalite protozoaire équine est dite causée par *Sarcocystis neurona* en majorité. Elle peut aussi être due à *Néospora spp.*

La clinique est la même que le Wobbler Syndrome [20].

4) Affections musculaires

a. Myosite

Les myosites ne présentent pas d'anomalies cervicales associées, cependant elles doivent être différenciées des atteintes musculaires d'origine nerveuse. Une radiographie peut être nécessaire pour les distinguer des compressions des racines nerveuses ou de la moelle épinière, décrites plus haut. Voici un rapide aperçu de cette pathologie.

Clinique et examens complémentaires

En cas d'efforts, de mauvais entraînement ou de surnutrition, une myosite peut prendre la forme d'un coup de sang.

Si celle-ci est d'apparition aiguë, le cheval est immobile, très douloureux et en sueur.

Un suivi des enzymes musculaires est alors nécessaire, une bandelette urinaire en urgence peut mettre en avant la présence de sang dans les urines.

Le pronostic est favorable à défavorable en fonction de l'intensité de la crise et de la prise en charge.

Pronostic et traitements

Il faut immobiliser le cheval (Détomidine à petite dose) jusqu'à la disparition de la douleur et des tremblements. Un suivi de la fréquence cardiaque est recommandé. Le cheval est mis sous perfusion avec une bonne gestion de l'équilibre acidobasique et une gestion de l'insuffisance rénale secondaire. Le repos est complet jusqu'à normalisation des enzymes musculaires.

Les myosites aiguës s'aggravent par les mouvements que le cheval fait pour lutter contre la douleur ou à cause de son environnement.

Si elle est chronique, les douleurs sont localisées, on peut rechercher les affections associées en thermographie, radiographie, scintigraphie, échographie.

Le pronostic dépend de la gestion sportive. Il faut gérer l'entraînement, faire de la physiothérapie et traiter les affections associées. L'exercice est contrôlé [38].

b. Torticolis

Le torticolis est dû à une asymétrie de tension des muscles cervicaux. Il peut être dû à une malformation congénitale ou être acquis. Pour faire la différence entre une position de protection ou une position involontaire cervicale, il faut anesthésier la zone et observer le retour à la normale ou non du torticolis.

Les causes de torticolis acquis sont la fracture et la dislocation cervicale, une fracture crânienne, une contracture musculaire unilatérale cervicale, une rupture musculaire unilatérale cervicale, une paralysie musculaire unilatérale, une atrophie musculaire unilatérale neurogène, une dégénération musculaire unilatérale ou encore une rupture du disque intervertébral. La radiographie est dans ce cas toute indiquée.

Les examens complémentaires, le traitement et le pronostic dépendent de la cause [20].



Figure 74 - Exemple d'un poulain avec un torticolis sévère. [https://veteriankey.com/skeletal-disorders/\[76\]](https://veteriankey.com/skeletal-disorders/[76])

5) Les organes cervicaux

L'examen de choix d'étude des poches gutturales, pharynx, larynx, trachée et œsophage est la fibroscopie.

a. Les poches gutturales

En radiologie, les poches gutturales apparaissent triangulaires et ne dépassent pas le bord caudal de l'atlas.

i. L'empyème

L'empyème des poches gutturales est une des maladies des poches gutturales la plus courante.

La radiologie n'est pas l'examen complémentaire de choix pour étudier les poches gutturales, cependant sur une radiographie de profil de la zone pharyngée, on peut observer des accumulations de liquide avec une ligne d'interface fluide-air caractéristique, une augmentation de la taille de la poche peut être mise en évidence car elle repousse le nasopharynx crânioventralement et elle dépasse le bord caudal de l'atlas. Elle peut aussi déplacer le larynx caudoventralement [33].

ii. L'hémorragie

Elle peut être la conséquence d'un traumatisme ou d'une mycose.

En radiologie, sur un cliché identique à l'empyème, on observe une opacité tissulaire entourant la zone aérique et la ligne d'interface fluide - air.

Une ligature de l'artère carotide interne, souvent mise en cause, est nécessaire [33].

iii. Le tympanisme

Les poches gutturales apparaissent ovales et de taille augmentée. Elles repoussent le larynx et la trachée ventralement dans les cas de distension sévère [33].

b. Le pharynx

Des polypes, des kystes, des abcès et des granulomes peuvent être vus en radiologie. La fibroscopie est nécessaire pour les différencier et les situer.

Ils apparaissent par des zones d'opacité tissulaire sur l'aire de projection du pharynx [33].

c. Le larynx

Les entrappements épiglottiques et la calcification du larynx sont visibles en radiologie.

L'entrappement provoque un changement de position de l'épiglotte qui devient droite et des replis aryténoépiglottiques qui se déplacent dorsalement et se raidissent.

La calcification du larynx est une évolution habituelle due à l'âge. Elle atteint d'abord les cartilages thyroïdiens puis l'arc dorsal du cricoïde et de l'aryténoïde.

Le larynx peut aussi être atteint d'un chondrome. Un gonflement de la zone d'opacité tissulaire associé à de la calcification est possible [33].

d. La trachée

Des malformations et des masses extratrachéales provoquant une compression de la trachée peuvent être mises en avant.

Les malformations sont par exemple une diminution de la lumière trachéale, une perte de définition des anneaux trachéaux, des hypoplasies laryngées, des collapsus ...[33]

e. L'œsophage

Chez les chevaux sains, l'œsophage n'est pas visible en radiologie. Si l'animal avale de l'air, il est possible d'alors de voir une accumulation aérique, faisant ressortir cet organe. Un transit baryté est utilisé.

Les principales atteintes visibles en radiologie sont le mégacœsophage, l'obstruction, la perforation, la sténose, les masses extraluminales ou intraluminales [33].

6) Tumeurs cervicales

Les tumeurs atteignant la zone cervicale du cheval peuvent être malignes ou bénignes, primaires ou secondaires. Elles peuvent impliquer les os ou les tissus mous. Elles sont classées en trois groupes. Les tumeurs paraspinales, spinales ou intraspinales. Différentes tumeurs ont été reportées de la plus bénigne à la plus maligne, du lipome à l'hémangiosarcome.

Le myélome, l'ostéomyélite, l'ostéosarcome, l'hémangiosarcome, le chondrosarcome, le sarcome indifférencié, le mélanome malin, ... font partis du diagnostic différentiel lors de signes de fièvre intermittente, douleur et raideur cervicales sévères, boiterie antérieure occasionnelle, perte de poids et autres.

Le diagnostic se base sur l'hématologie, la radiologie et la biopsie osseuse. Une anémie associée à une leucocytose neutrophilique et lymphocytaire et une hyperprotéinémie oriente le diagnostic vers un myélome. La radiographie montre alors des zones radiotransparentes dans l'os. Si la biopsie confirme cette maladie, le pronostic est plus que sombre, aucun traitement n'existe.

[19, 20].

Partie 2 – Etude clinique

Cas cliniques radiographiques

La contre-performance est difficile à objectiver, les problèmes apparaissent souvent à vitesse moyenne à élevée et il est probable que les chevaux contre-performants soient atteints de plusieurs affections concomitantes. Martin et al. 2000 [43] a étudié les causes de contre-performance chez 348 chevaux de sport. Chez 73,5% des chevaux, une cause de contre-performance a été trouvée. 42,9% des chevaux présentés avaient une obstruction dynamique des voies respiratoires plus ou moins associées à une arythmie, 29,3% avaient un souffle cardiaque mais considéré comme sans impact clinique, 15,2% une myosite subclinique, 9,5% une arythmie cardiaque uniquement et 2,2% présentaient une boiterie. Les dernières causes diagnostiquées sont beaucoup moins fréquentes, comme des sarcomes, des thromboses jugulaires ou un collapsus nasal. Aucune cause n'a été mise en évidence dans 26,5% des cas. Dans une autre étude, Dabareiner et al. 2005 [14] ont déterminé que la plupart des chevaux de western vus pour contre-performance étaient boiteux à un grade en moyenne 1,8 sur une échelle de 0 à 4 avec une médiane à 1. Kobluk 1996 [36] a indiqué que les principales causes de contre-performance chez les chevaux Western ou de courses sont liées au système musculosquelettique.

Cette seconde partie a pour but d'étudier les principales pathologies et leurs principales localisations au niveau des vertèbres cervicales, rencontrées chez un panel de chevaux sans clinique évidente d'atteinte cervicale. Ces chevaux viennent en général pour un bilan locomoteur suite à une baisse de performance ou une absence de performance.

Il s'agit aussi d'étudier des radiographies de façon subjective et objective à l'aide de mesures. Les mesures obtenues sont comparées à la littérature et en fonction de l'étude subjective réalisée, les mesures les plus pertinentes sont cherchées. Il s'agit aussi d'essayer d'établir des intervalles de référence des mesures observées.

Dans un dernier point, on tentera d'obtenir des pourcentages permettant d'évaluer la taille d'un processus articulaire par rapport aux processus articulaires voisins pour un même cheval. Cela permettrait d'éviter certains biais d'espèce ou d'âge présents inévitablement dans les tables de référence des mesures.

I – Matériel et méthodes

1) Groupe étudié

Un panel de 56 chevaux présentés pour des baisses de performance est étudié. Ces chevaux sont venus sur une période s'étendant de 2008 à 2017.

Ils ont été choisis car tous ont reçu un bilan radiographique cervical plus ou moins étoffé. En général, lorsque des anomalies radiographiques sont détectées, des clichés supplémentaires sont réalisés.

L'étude n'est que radiographique, aucun élément sur le cheval, sur la consultation, sur l'anamnèse ou sur les commémoratifs n'est connu.

2) Tri des radiographies

Pour des soucis de confidentialité, les chevaux sont renommés par numéro 1 à 56.

Par cheval, les radiographies sont triées par zone. Il en existe trois.

La zone A correspond à l'os occipital, l'atlas et l'axis. Toute radio centrée sur ces os est renommée A puis numérotée en fonction du nombre de radiographie de la zone prise.

La zone B est centrée sur les vertèbres C3, C4 et C5.

La zone C sur C6, C7 et la première vertèbre thoracique.

Les radiographies obliques ou de face peu courantes, ont été nommées comme telles, toujours par zone.

3) Analyse radiographique

Toute radiographie a été étudiée. Les radiographies floues ou de mauvaise qualité ont été considérées avec prudence.

a. Anomalies recherchées

Les anomalies recherchées sur les processus articulaires sont des processus articulaires gros, une « ligne articulaire » entre processus articulaires floue voire absente, des remodelages plus ou moins importants voire des fractures des processus articulaires.

Sur le reste, des malformations, subluxations, compressions médullaires, foramens intervertébraux diminués, ostéophytes, atteintes discales ou autres sont recherchées.

Les anomalies détectées sont explicitées dans le paragraphe suivant.

Un élément suspecté mais non clairement visible n'est pas comptabilisé.

b. Longueurs mesurées

i. Les radiographies de profil

Différentes mesures sont prises sur les radiographies de profil, ces mesures correspondent à celles données dans la première partie III - 3) c. ii Mesures possibles :

M1 est tracé du point le plus caudal du foramen intervertébral au point le plus haut du « cou » du processus articulaire crânial. M2 rejoint M1 au point le plus haut du « cou » du processus articulaire crânial et se termine sur le point le plus crânial du processus articulaire crânial. M3 correspond à la longueur du corps vertébral mesurée sur sa partie dorsale, de l'extrémité crâniale à la caudale. M4 est la hauteur maximale du corps vertébral, mesurée sur la partie crâniale du corps vertébral. M5 est la hauteur minimale du canal vertébral de M3 à la limite ventrale du processus épineux (figure 62).

M3 n'apportant pas d'informations particulières, elle n'a pas été mesurée (figure 75).

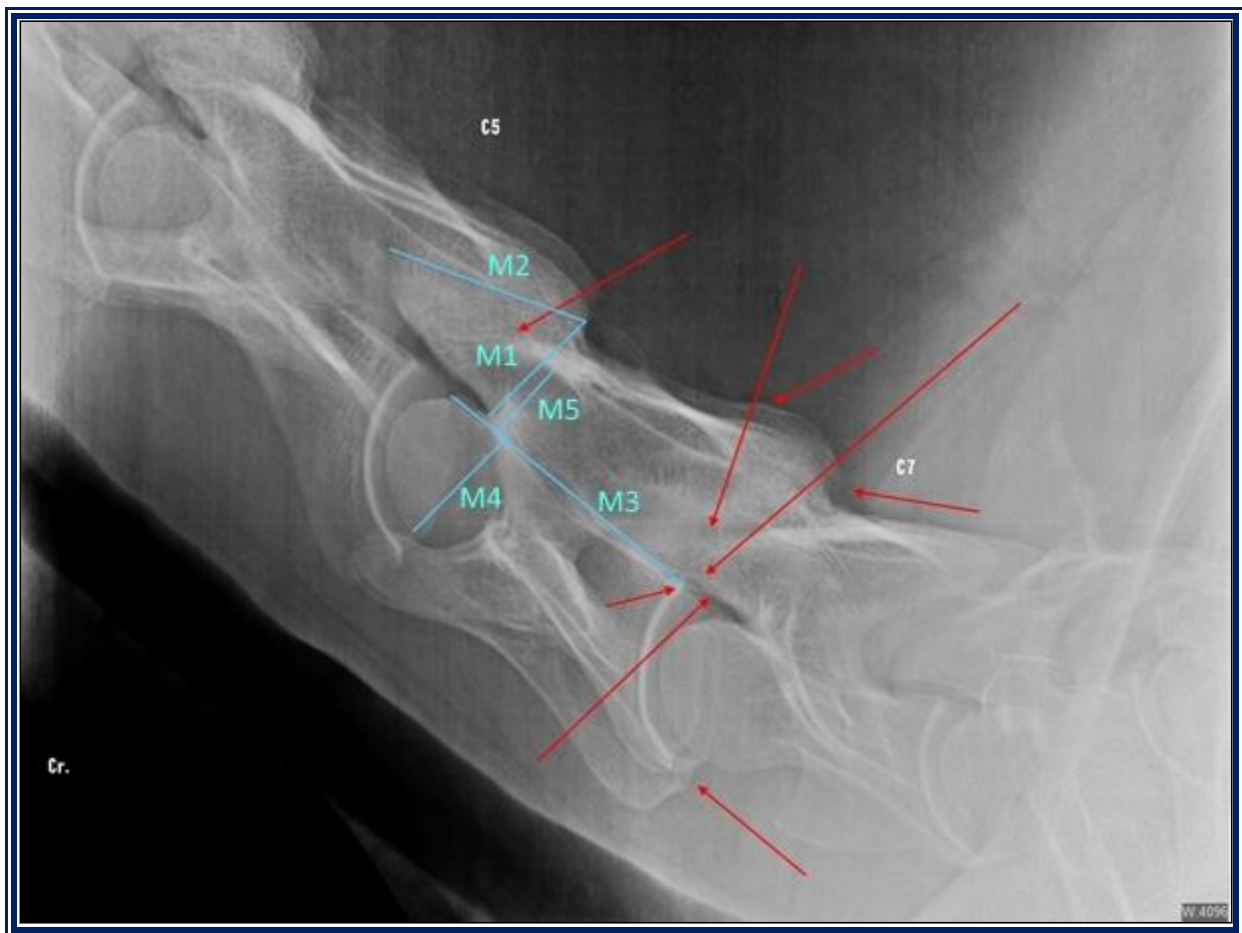


Figure 75 - Exemple de radiographie étudiée. Cette radiographie est un jpeg, centrée sur C6 donc renommée 1 - C. En rouge sont indiquées les anomalies, en bleu les mesures effectuées (sauf M3 qui est tracée mais non mesurée).

ii. Les radiographies obliques

Pour les radiographies obliques, les mesures réalisées sont telles que décrites dans la première partie III - 3) c. ii Mesures possibles (figure 63) :

La largeur du processus articulaire crânial (a), la longueur du processus articulaire crânial (b), la largeur du processus articulaire caudal (c), la longueur du processus articulaire caudal (d), la longueur du processus articulaire caudal controlatéral superposé à l'articulation des corps vertébraux (x) et la longueur du processus articulaire crânial controlatéral (y). Les espaces entre les deux processus articulaires sont aussi mesurés sur les bords crâniens et caudaux des processus articulaires, soit entre les bouts des flèches (x) et (y), je les ai nommés (e1) et (e2).

Les processus articulaires crâniens et caudaux étant difficiles à distinguer, j'ai préféré mesurer la longueur et la largeur de la partie articulaire des processus articulaires, notés (L) et (l) (figure 75). La longueur M3 de la vertèbre caudale est aussi mesurée. Une M3 impossible à obtenir sur la radiographie oblique est prise sur celle de profil après avoir vérifié que les épaisseurs de disque sont identiques entre les deux radios. Si ce n'est pas le cas, le ratio est calculé entre les deux disques puis appliqués à M3.

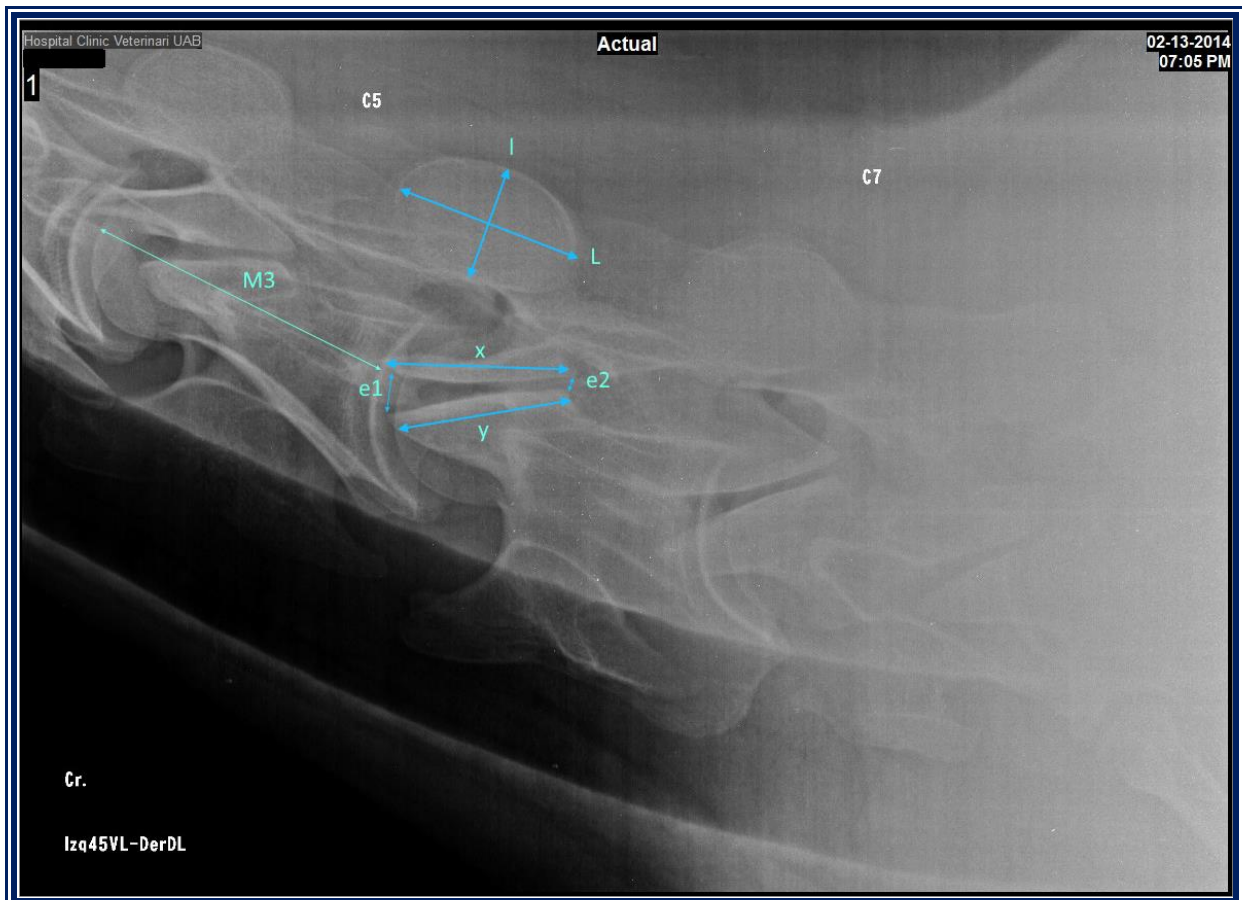


Figure 76 - Mesures prises sur une radiographie oblique. M3 est montrée sur la vertèbre crâniale pour des raisons de lisibilité.

c. Les outils utilisés

Le logiciel Paint a permis d'annoter les radiographies au format jpeg. Les anomalies trouvées sont fléchées et les PA articulaires augmentées sont marquées d'une flèche à double sens. Si une anomalie est observée plusieurs fois, elle n'est pas forcément réécrite.

En ce qui concerne les mesures, les radiographies en format dicom n'ont pas été obtenues pour tous les cas cliniques. Ainsi deux logiciels de mesure ont été utilisés.

Le logiciel Radiant Dicom Viewer a permis d'analyser les radiographies en format dicom et le logiciel Mesurim pro, celles en jpeg.

Les outils de traçage et de mesure ont été utilisés dans ces deux logiciels. M3 a d'abord été tracée, puis les mesures ont été réalisées.

4) Analyses statistiques

Toutes les données ont été condensées dans plusieurs fiches Excel, facilitant ainsi les études statistiques.

Plusieurs fiches Excel permettent d'étudier ces données :

Fiche 1 : Ensemble des anomalies détectées et des mesures des radiographies de profil.

Fiche 2 : Analyse des anomalies

Fiche 3 à 7 : Mesures des profils, réparties en groupes et tests statistiques

Fiche 8 : Ensemble des mesures des radiographies obliques

Fiche 9 à 12 : Mesures des obliques, réparties en groupes et tests statistiques

Fiche 13 et 14 : Etudes des évolutions de tailles des processus articulaires

On considère que nos échantillons suivent une loi normale et que les variances sont homogènes.

L'analyse statistique est une comparaison de moyennes 2 à 2, par un test t de Student entre chaque groupe et sous-groupe.

Malheureusement certains sous-groupes voire groupes ne sont pas composés d'assez de chevaux, les résultats sont donc à prendre avec parcimonie. Ce manque de chevaux étudiés pourrait être la cause de résultats statistiques non significatifs.

Les intervalles de référence obtenus pour chaque groupe sont calculés à l'aide de l'écart-type, environ 95% des valeurs se trouvent dans l'intervalle [moyenne - 2 écart-types ; moyenne + 2 écart-types]. **Toute donnée est écrite en millimètre.**

II – Les anomalies radiographiques cervicales

1) Nomenclature et identification

Voici une liste des anomalies détectées, leur abréviation, leur signification et leur apparence radiographique. Toutes les descriptions sont faites à l'œil, de façon subjective.

a. Fragment et calcification ligt nual

On observe la présence d'un fragment et de calcification dans le ligament nual (figure 77).



Figure 77 - Atteinte du ligament nual.

b. Erosion

Des érosions peuvent être vues sur la surface osseuse vertébrale en deux endroits :

- **dent C2** : présence d'une érosion sur la partie dorsale de la dent de l'axis (figure 78)
- **CV** : Erosion sur le corps vertébral, sur le plancher du canal vertébral



Figure 78 - Exemple d'une érosion sur la dent de l'axis.

c. Malformation atlanto-axio-occipitale

Un exemple est observé sur une radiographie de face pour une meilleure visibilité de la malformation (figure 79).



Figure 79 - Exemple d'une malformation atlanto-axio-occipitale sur une vue de face.

d. Atteintes d'ostéoarthrite

i. Ostéophytes

Des ostéophytes sont recherchés dans diverses localisations et nommés en fonction :

- **Occiput insertion ligt nucal** : ostéophyte présent à l'insertion du ligament nucal
- **Condyle Occipital** : ostéophyte présent sur le condyle occipital
- **Arc dorsal C1** : ostéophyte présent sur l'arc dorsal de l'atlas
- **Arc ventral C1** : ostéophyte présent sur l'arc ventral de l'atlas
- **CV** : ostéophyte présent sur le corps vertébral ventral ou dorsal aux marges de l'articulation concernée, si rien n'est précisé, il s'agit du ventral.
- **PT** : ostéophyte présent sur le processus transverse (figure 80)



Figure 80 - Exemple d'un ostéophyte sur le processus transverse de C4.

ii. LA floue

Le croissant de lune radiotransparent marquant l'espace entre les processus articulaires est flou voir absent. LA correspond à ligne articulaire, ce qui est inexact ici, mais pour des raisons de facilités d'écriture et de lisibilité, ces termes sont utilisés pour analyser les résultats (figure 80).

*iii. Processus articulaires***Sains, remodelés ou peu remodelés**

Les processus articulaires sont considérés peu remodelés quand un seul signe de remodelage est visible.

Lorsque plusieurs signes de remodelage osseux sont aperçus autour des processus articulaires, les PA sont qualifiés de remodelés (figure 81).

Sinon, ils sont considérés sains.

Normaux, intermédiaires ou gros

Les PA sont considérés gros si leur taille est augmentée de plus de 25% par rapport à ce qu'il devrait être (figure 81). S'ils sont augmentés de moins de 25%, ils sont nommés intermédiaires et les normaux ne sont pas augmentés.

iv. IV diminuée ou peu diminuée

Une incisure vertébrale diminuée est comblée dans plus de 50% de son espace, une incisure un peu diminuée est comblée à moins de 50%. Une incisure est considérée normale sinon, les distinctions se faisant à l'œil nu, il est probable qu'un comblement de 15% soit considéré normal (figure 81).



Figure 81 - Comparaison de deux exemples pour C6-C7. a - processus articulaires gros, remodelés et avec une ligne articulaire floue et une incisure diminuée sur une vue de profil. b - processus articulaires intermédiaires, sains avec une ligne articulaire visible et une incisure peu diminuée sur une vue de profil.

e. $M5 / M4 < 50\%$

Il s'agit du rapport de la hauteur du canal vertébral sur la hauteur du corps vertébral, indiquant en cas de taux inférieur à 50%, une possible compression médullaire.

f. Fracture

Les fractures sont localisées sur un processus articulaire (figure 82) ou un processus transverse.



Figure 82 - Exemple d'une fracture d'un processus articulaire en vue oblique.

g. Disque écrasé

Il s'agit d'une diminution d'épaisseur locale du disque intervertébral (figure 83).



Figure 83 - Exemple d'une diminution locale de la largeur du disque intervertébral entre C6 et C7 sur une vue de profil. Le cas présentait aussi des PA remodelés et une IV diminuée.

h. PE C7 absent

Ce n'est pas une anomalie mais plutôt une variation individuelle que l'on va pouvoir confronter à la littérature.

i. Anomalies de C7-T1

- **Malalignement C7-T1** : Il s'agit d'un mauvais alignement vertébral (figure 84).

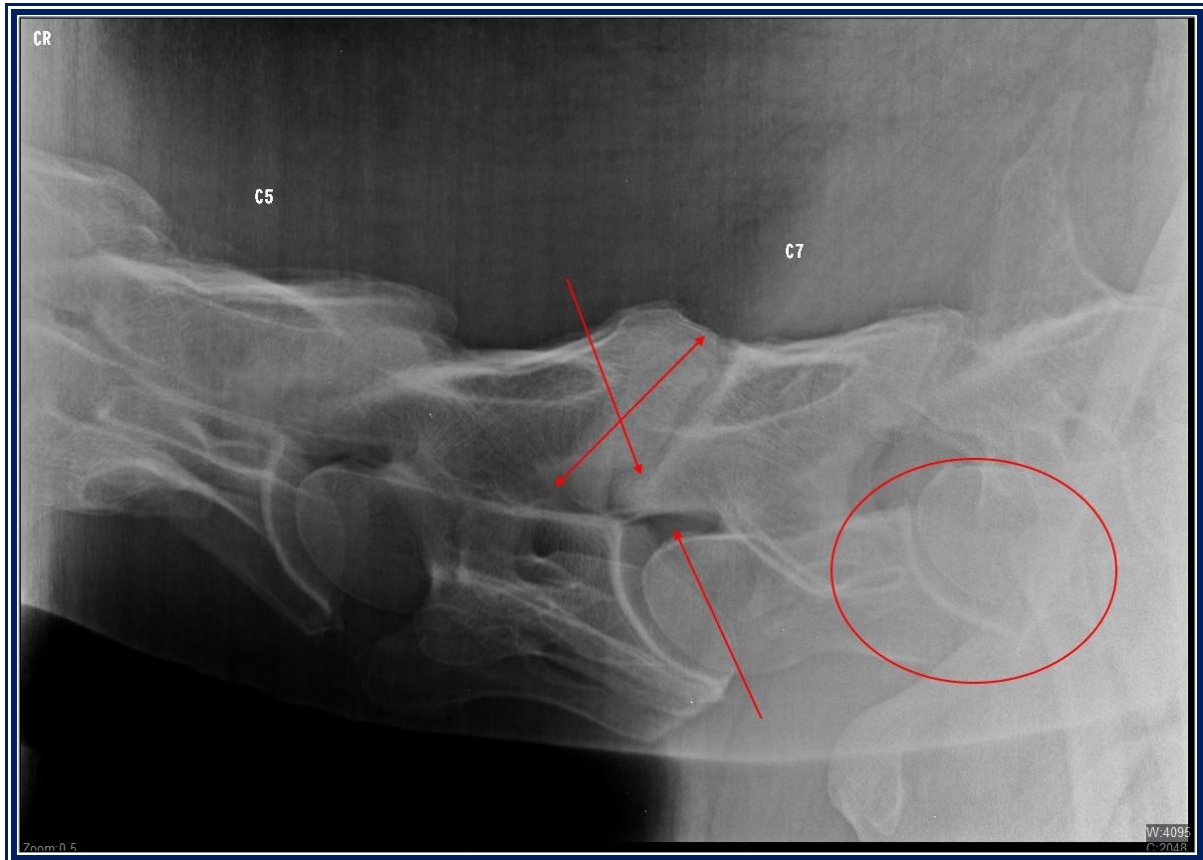


Figure 84 - Exemple d'un malalignement vertébral C7-T1 sur une vue de profil.

- **Non congruence articulaire C7-T1** : il s'agit d'une distance augmentée entre les processus articulaires caudaux de C7 et crâniens de T1 (figure 85).

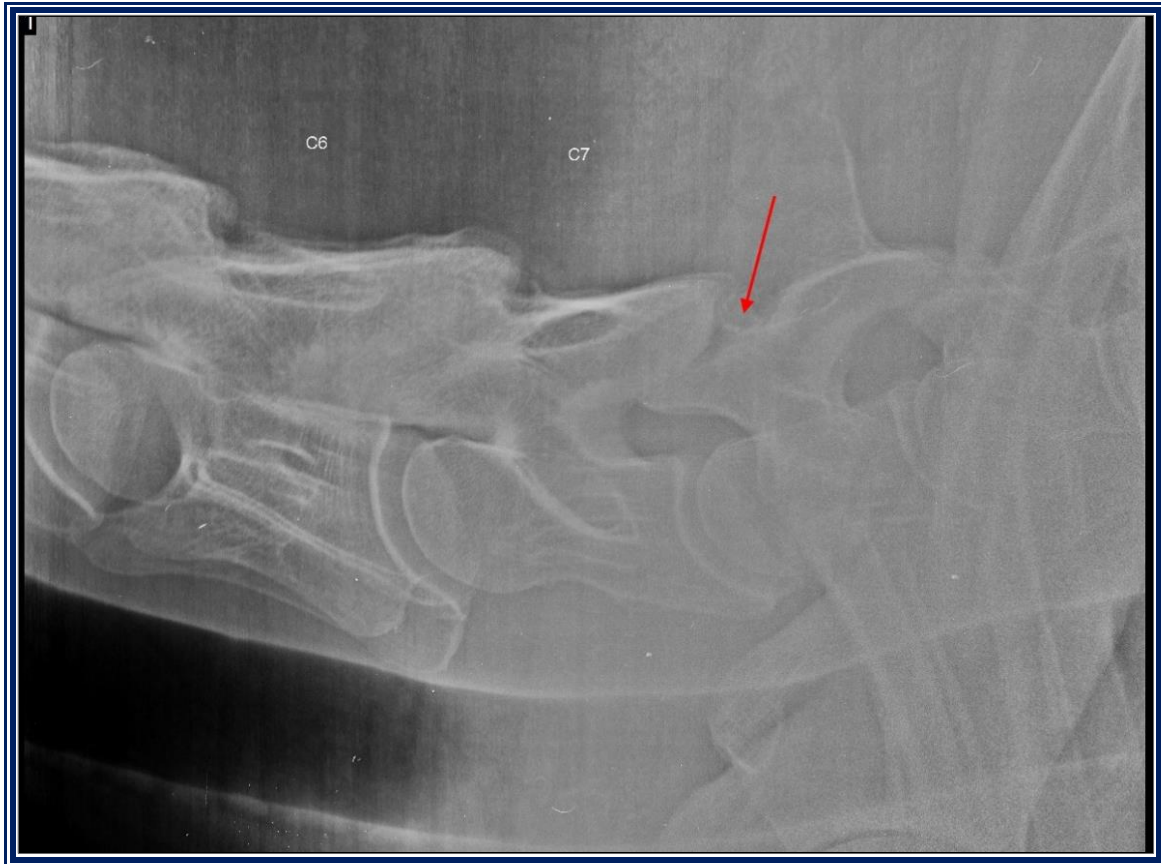


Figure 85 - Exemple d'un défaut de congruence articulaire entre processus articulaires de C7 et de T1 sur une vue de profil.

2) Code couleur

Chaque articulation est représentée par une couleur de fond et chaque catégorie d'anomalie par un contour de couleur pour une meilleure lisibilité.

Les couleurs se réchauffent en descendant les cervicales. Les articulations atlanto-occipitale et atlanto-axiale sont regroupées du fait du faible nombre d'anomalies détectées et de leur faible fréquence. Occiput-C2 en violet, C2-C3 en bleu foncé, C3-C4 en bleu clair, C4-C5 en vert, C5-C6 en jaune, C6-C7 en orange et C7-T1 en rouge.

Les anomalies sont séparées en plusieurs catégories représentées par la couleur d'encadrement des barres de l'histogramme : les couleurs froides sont plus liées à de l'arthrose (bleu foncé pour les anomalies des processus articulaires, violet pour les anomalies des incisures vertébrales et bleu clair pour les ostéophytes) et les couleurs plus chaudes pour les autres : orange pour les atteintes possibles de la moelle (M5/M4<50%), rouge pour les autres atteintes plus sévères, y compris les malformations, ou rares. En rouge foncé est indiquée l'absence de processus épineux sur C7, qui n'est en soit pas une lésion.

Tableau 5 - Tableau récapitulatif du code couleur utilisé

Couleurs	Contour ou fond	Articulation ou catégorie d'anomalies
Violet	Fond	Occiput-C2
Bleu foncé	Fond	C2-C3
Bleu clair	Fond	C3-C4
Vert	Fond	C4-C5
Jaune	Fond	C5-C6
Orangé	Fond	C6-C7
Rouge	Fond	C7-T1
Bleu nuit	Contour	Atteintes des processus articulaires
Violet	Contour	Diminution des incisures vertébrales
Bleu turquoise	Contour	Ostéophytes
Rouge-orangé	Contour	Atteintes suspectées de la moelle (M5/M4<50%)
Rouge	Contour	Anomalies sévères ou très rares
Vert sapin	Contour	Absence du processus épineux de C7 (physiologique)

3) Nombre de chevaux atteints

L'histogramme suivant présente le pourcentage de chevaux présentant au moins une anomalie sur l'articulation indiquée.

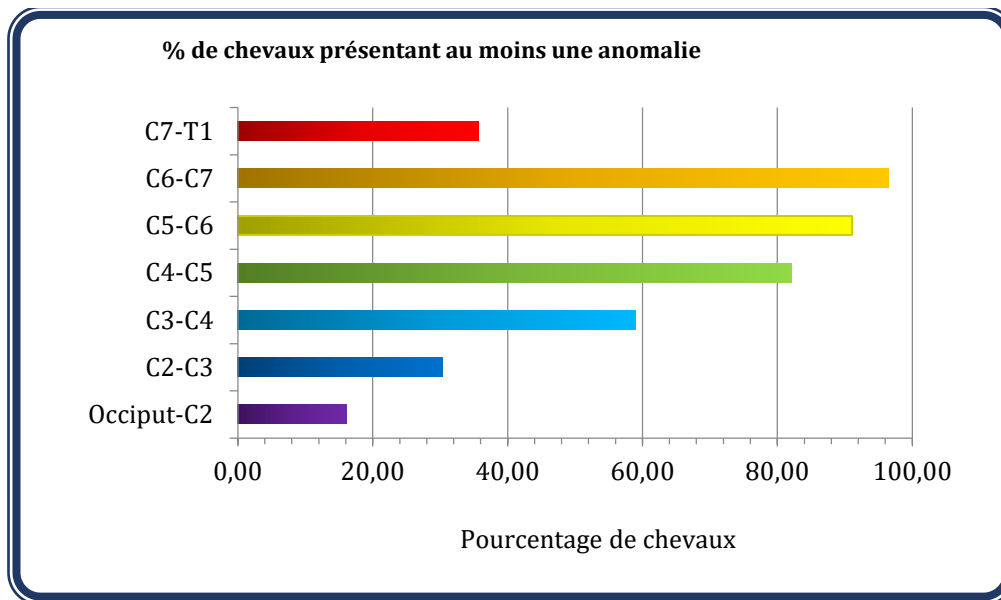


Figure 86 - Histogramme des pourcentages de chevaux présentant au moins une anomalie par articulation cervicale.

L'augmentation remarquable du pourcentage de chevaux atteints, atteignant presque 100% pour l'articulation C6-C7, est presque linéaire le long de la colonne cervicale. L'articulation cervico-thoracique est à mettre à part, apparemment moins touchée. Ces chiffres seront un peu plus étudiés avec les résultats par articulation.

4) Ensemble des types d'anomalies détectées

Cet histogramme présente l'ensemble des lésions observées sans tenir compte de leur localisation. Comme l'on peut voir les couleurs froides dominant dans ce graphique et effectivement la très grande majorité des anomalies observées est liée à l'ostéoarthritis.

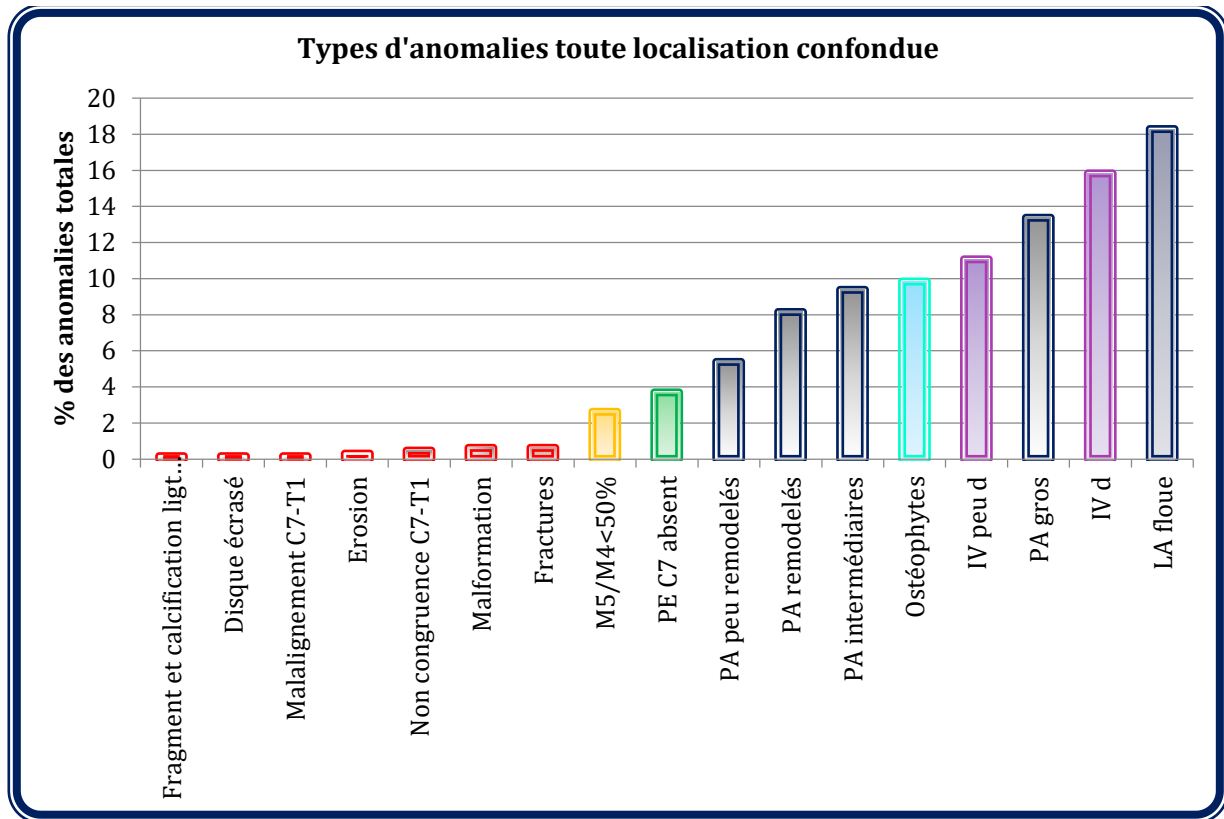


Figure 87 - Histogramme des types d'anomalies détectées en fonction de leur fréquence.

L'anomalie la plus détectée est une ligne articulaire de l'articulation des processus articulaires floue, représentant plus de 18% du total des anomalies observées toute articulation cervicale confondue. Cependant si l'on combine les résultats semi-quantitatifs des atteintes des PA et des comblements des incisures vertébrales, il s'avère que les incisures vertébrales sont les plus retrouvées dans près de 27% des cas suivi des élargissements des PA dans 22% des anomalies.

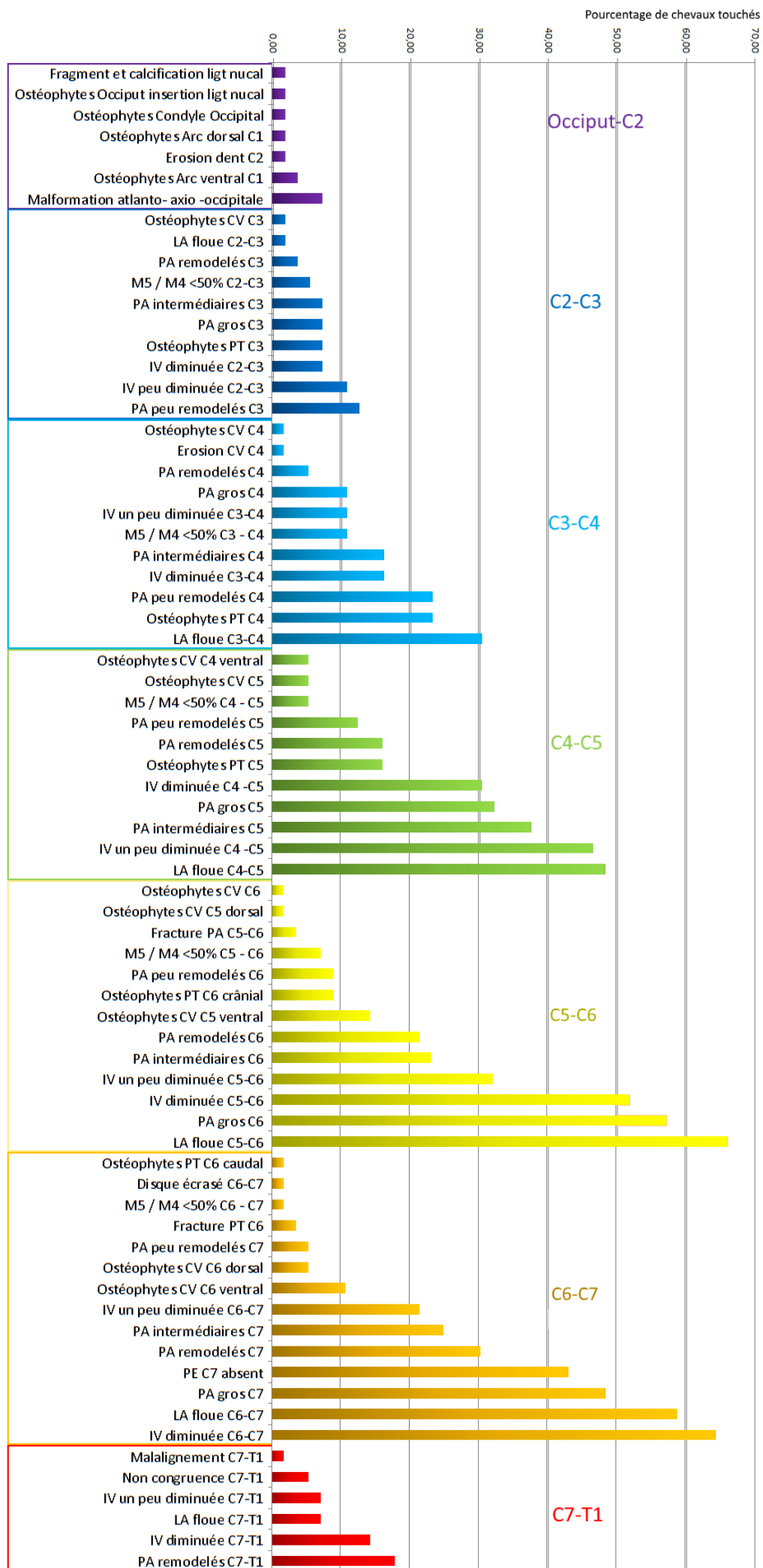
5) Ensemble des anomalies détectées

L'ensemble des anomalies détectées est proposé dans le graphique suivant. Il s'agit d'un histogramme en barre de toutes les anomalies détectées en fonction de leur fréquence d'apparition en pourcentage chez les chevaux étudiés et en fonction de leur localisation.

Les données sont triées de gauche à droite par articulation puis par fréquence croissante d'apparition par articulation. L'os occipital, C1 et C2 ont été considérés comme un seul groupe du fait du faible nombre de pathologies détectées. Ainsi les premières barres représentent les anomalies découvertes entre l'occiput et C2, puis viennent celles découvertes autour de l'articulation C2 - C3 et ainsi de suite jusqu'à obtenir les dernières, celles trouvées autour de C7-T1.

Figure 88 - Histogramme ci-contre (p140) de toutes les anomalies détectées en fonction de leur localisation, des premières vertèbres cervicales, à C7-T1, et en fonction de leur fréquence croissante.

Ensemble des anomalies détectées



La fréquence d'apparition des anomalies et le nombre d'anomalies détectées augmentent au fur et à mesure que l'on descend des vertèbres cervicales, C7-T1 mise à part.

Il semble aussi que, dans notre contexte de baisse de performance, la plupart des anomalies observées sont associées à de l'arthrose et celle-ci peut effectivement expliquer une baisse de performance. Cependant il est difficile d'associer une importance clinique à ces signes radiographiques. Le diagnostic ne peut se faire dans ce cas que par exclusion.

Il semble donc que les vertèbres cervicales crâniales ainsi que la jonction cervico-thoracique soient moins touchées. Les vertèbres cervicales caudales apparaissent beaucoup plus atteintes.

Il est effectivement courant qu'avec l'âge les processus articulaires des vertèbres cervicales caudales soient touchés par de l'ostéoarthrite, surtout C5 – C6 et C6 – C7 [18, 19, 71].

a. Anomalies présentes entre l'occiput et C2

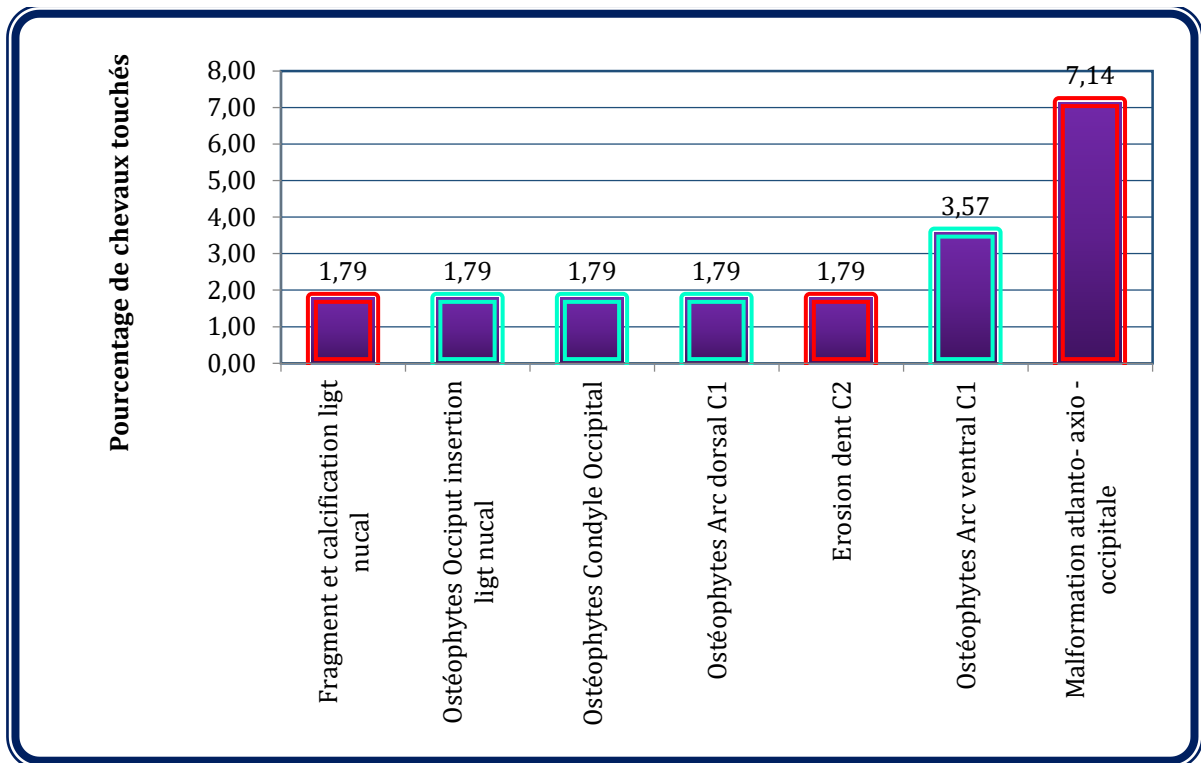


Figure 89 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur la zone occiput - C2.

Peu de chevaux présentait des anomalies des cervicales hautes, seulement 16,07% toutes anomalies confondues. Seulement deux catégories d'anomalies sont présentes les ostéophytes et les lésions plus graves ou rares.

La pathologie la plus représentée est la malformation atlanto-axio-occipitale, avec une fréquence de moins de 8%. Des ostéophytes, des érosions de la dent et des atteintes du ligament nuchal ont aussi été détectées, mais avec des fréquences très faibles.

Les malformations atlanto-axio-occipitales congénitales sont rares et principalement décrites chez les pur-sang arabes où une part génétique est fortement suspectée. Il est possible que nos 7,14% de malformations soient des pur sangs arabes et les malformations congénitales. Dans tous les cas, l'instabilité possible des articulations concernées provient des atteintes ligamentaires secondaires. En cas de chronicité, ce qui est le cas ici, ces instabilités et malformations peuvent provoquer une maladie dégénérative des articulations mises en cause. Elles peuvent aussi entraîner des compressions médullaires. Ce qui pourrait expliquer pour nos cas, une absence ou une baisse de performance [27].

b. Anomalies autour de l'articulation C2-C3

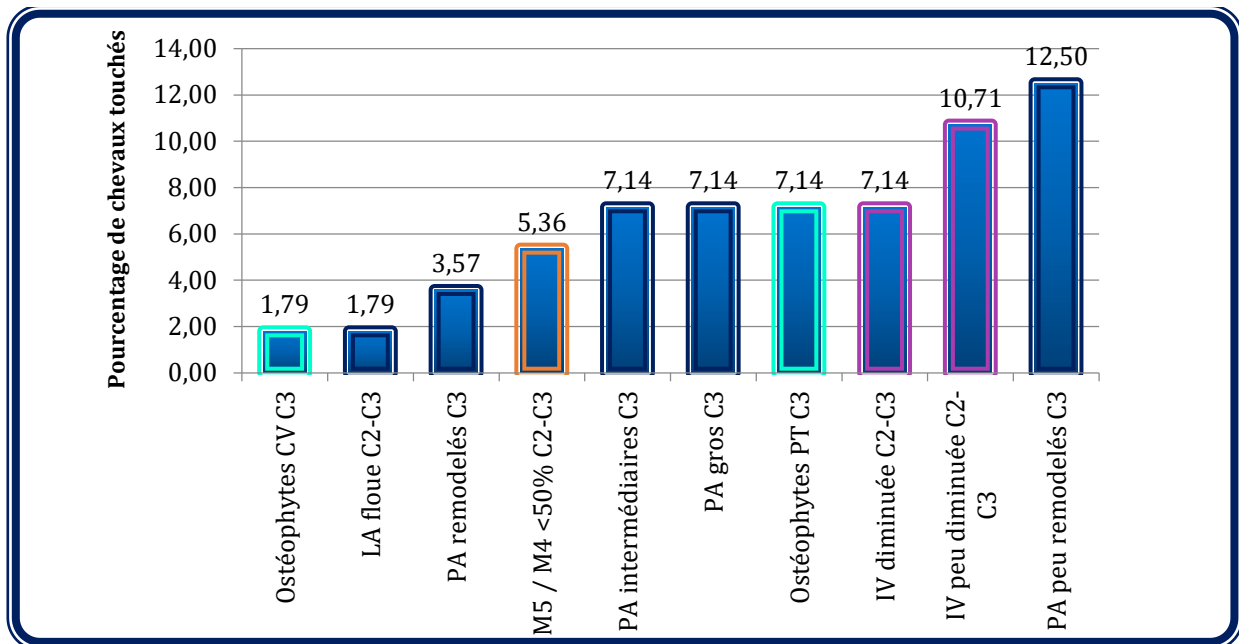


Figure 90 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C2 - C3.

30,36% des chevaux présentaient une atteinte de C2-C3, tous types d'anomalie confondus, soit presque le double de la zone précédente.

Presque toutes les anomalies trouvées autour de C2-C3 sont des formes d'arthrose avec une majorité de couleurs froides parmi les encadrements des barres de l'histogramme.

Le nombre de types observés est de 10 contre 7 pour l'articulation précédente. Les fréquences d'apparition des pathologies sont toujours faibles, avec un maximum de 12,50% pour des processus articulaires peu remodelés. Les ostéophytes sont plus retrouvés sur l'extrémité du processus transverse de C3.

Les deux principales atteintes observées autour de C2-C3 sont des atteintes des processus articulaires et un comblement de l'incisure vertébrale. Le premier cas avec un remodelage de moins de 25% de la périphérie du processus articulaire et dans le deuxième cas, avec un comblement inférieur à 50% du foramen, soient des anomalies légères. Leurs conséquences cliniques ne sont pas aisées à démontrer.

c. Anomalies autour de l'articulation C3-C4

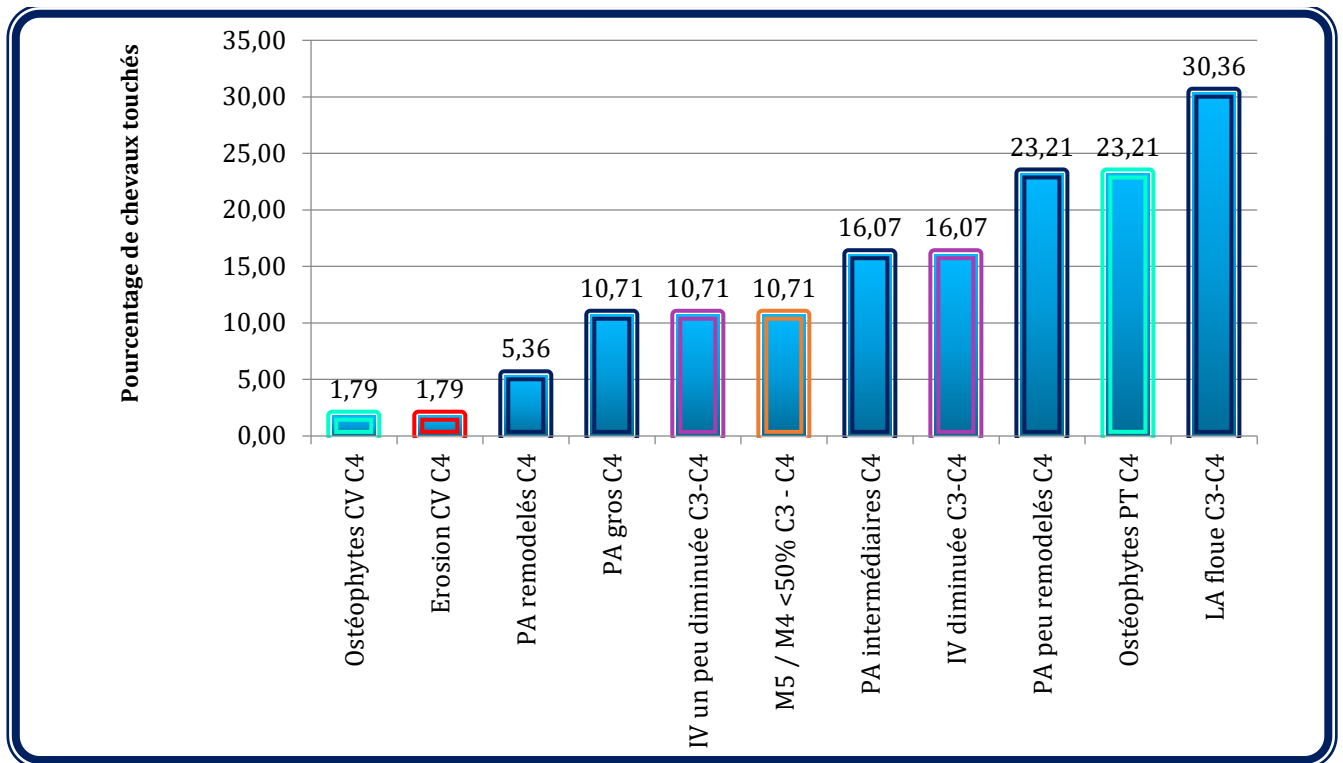


Figure 91 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C3 - C4.

58,93% des chevaux étudiés présentait une ou plusieurs de ces anomalies. Une fois encore, il s'agit presque du double de l'articulation précédente.

Ici encore, les signes d'arthrose prédominent. Le nombre de types d'anomalies augmente encore, avec 11 types et le pourcentage de chevaux touchés est aussi bien supérieur avec un maximum à 30,36% pour une ligne articulaire des processus articulaires floue voire absente. La majorité des ostéophytes est observée sur l'extrémité du processus transverse de C4.

d. Anomalies autour de l'articulation C4-C5

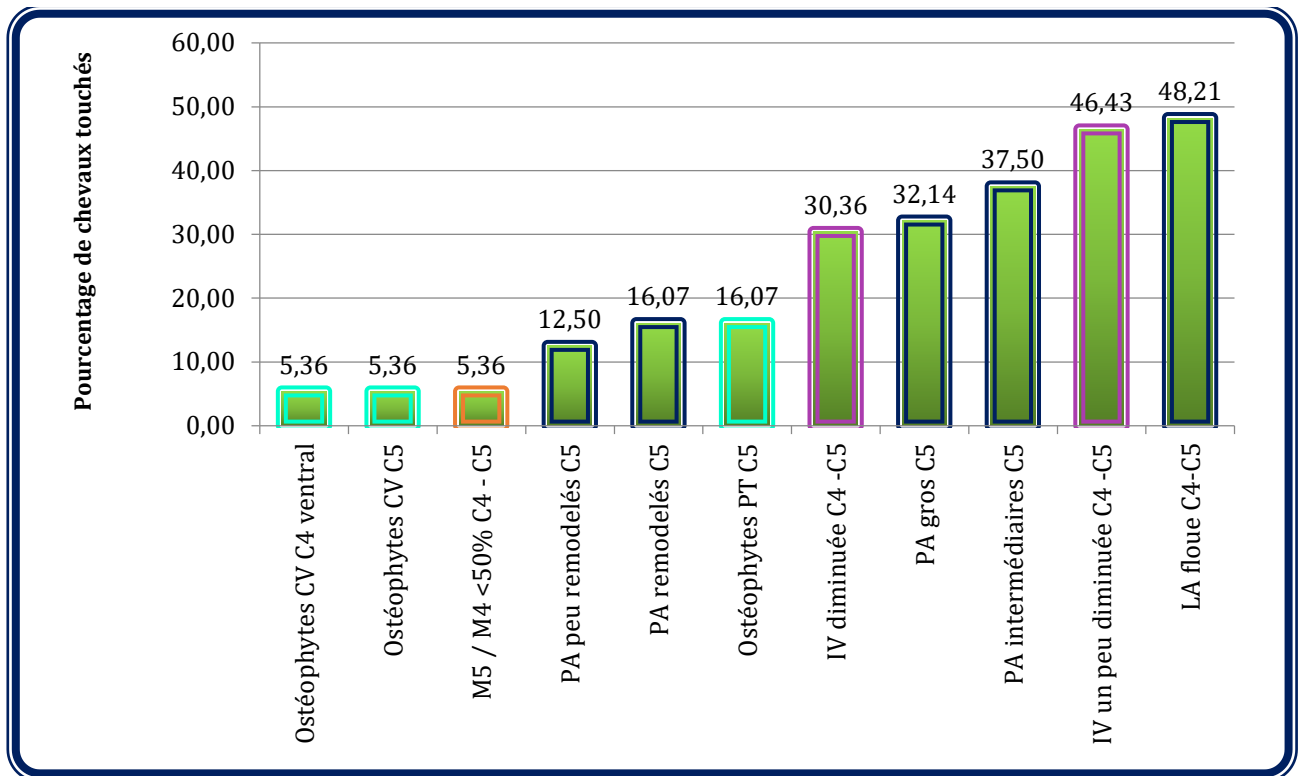


Figure 92 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C4 - C5.

82,14% des chevaux présentaient au moins une atteinte de C4-C5. Le nombre de chevaux touchés continue donc d'augmenter de manière importante au fur et à mesure que l'on descend la colonne vertébrale cervicale.

Presque la moitié des chevaux étudiés (48,21%) présentait une atteinte en regard de la ligne articulaire des processus articulaires de C4 - C5. Les ostéophytes préfèrent une fois de plus les processus transverses en premier lieu. Il s'agit là aussi en majorité d'arthrose.

e. Anomalies autour de l'articulation C5-C6

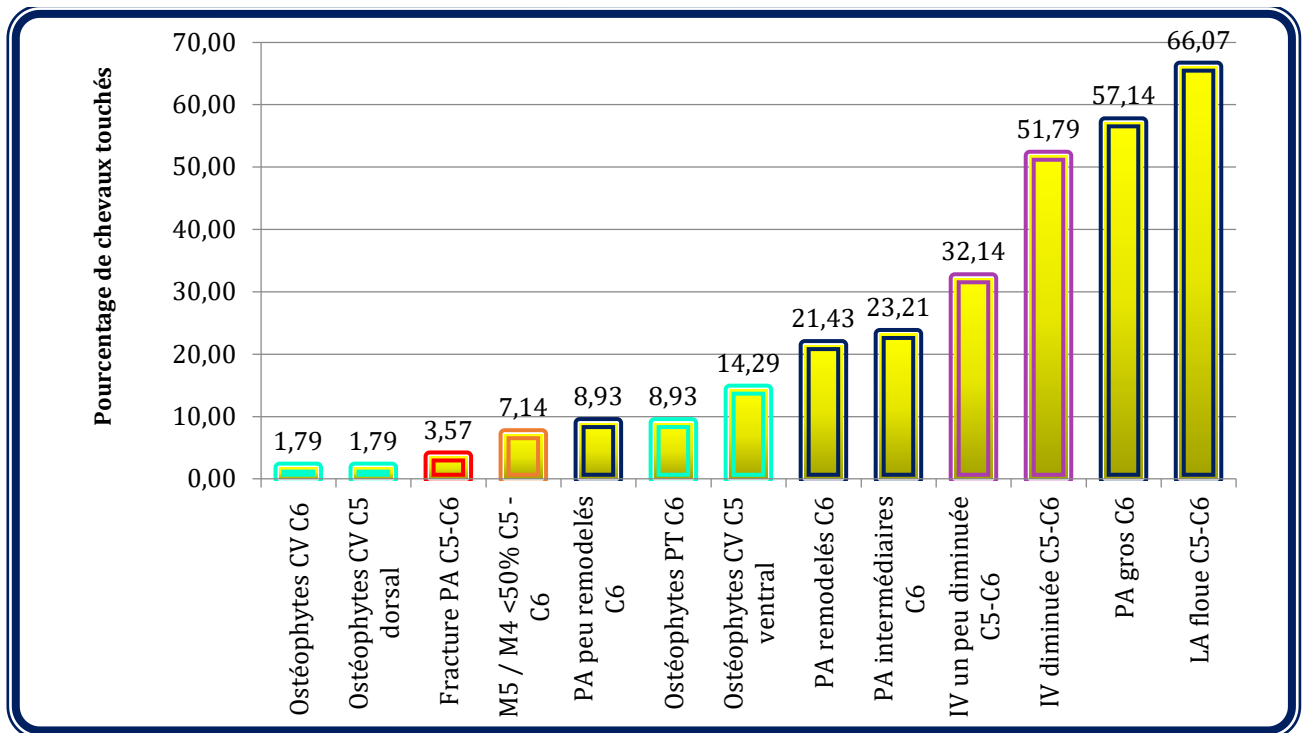


Figure 93 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C5 - C6.

13 types d'anomalies sont à discerner autour de l'articulation C5-C6. 91,07% des chevaux étudiés présentait une atteinte de C5-C6. L'anomalie la plus fréquente est le flou de la ligne articulaire des processus articulaires avec 66,07% de chevaux touchés.

Le nombre de types d'anomalies, le pourcentage de chevaux touchés toutes anomalies confondues ainsi que le pourcentage pour la principale atteinte continuent donc d'augmenter.

Les ostéophytes préfèrent à priori se loger sur l'extrémité ventro-caudale du corps vertébral de C5.

Les seules fractures des processus articulaires observées, l'ont été en regard de cette articulation.

Comparaison avec la littérature :

Plusieurs publications rapportent des fractures de C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 et T1 à différents niveaux. Il semblerait que les fractures des processus articulaires concernent surtout les vertèbres cervicales caudales, à partir de C5.

Les principales fractures décrites sont des atteintes hautes chez les poulains, de l'axis chez les adultes, des processus transverses ou du corps chez les vertèbres C3 à T1 ou des processus articulaires de C5. Les signes associés étaient en général plus sévères qu'une simple baisse de performance, il est possible pour le propriétaire de ne pas remarquer de signes particuliers pour certaines fractures de C2. La fracture du processus articulaire de C5 a eu par contre comme répercussion clinique une absence de performance [23, 28, 41, 46, 47, 56, 58, 63, 65, 67].

f. Anomalies autour de l'articulation C6-C7

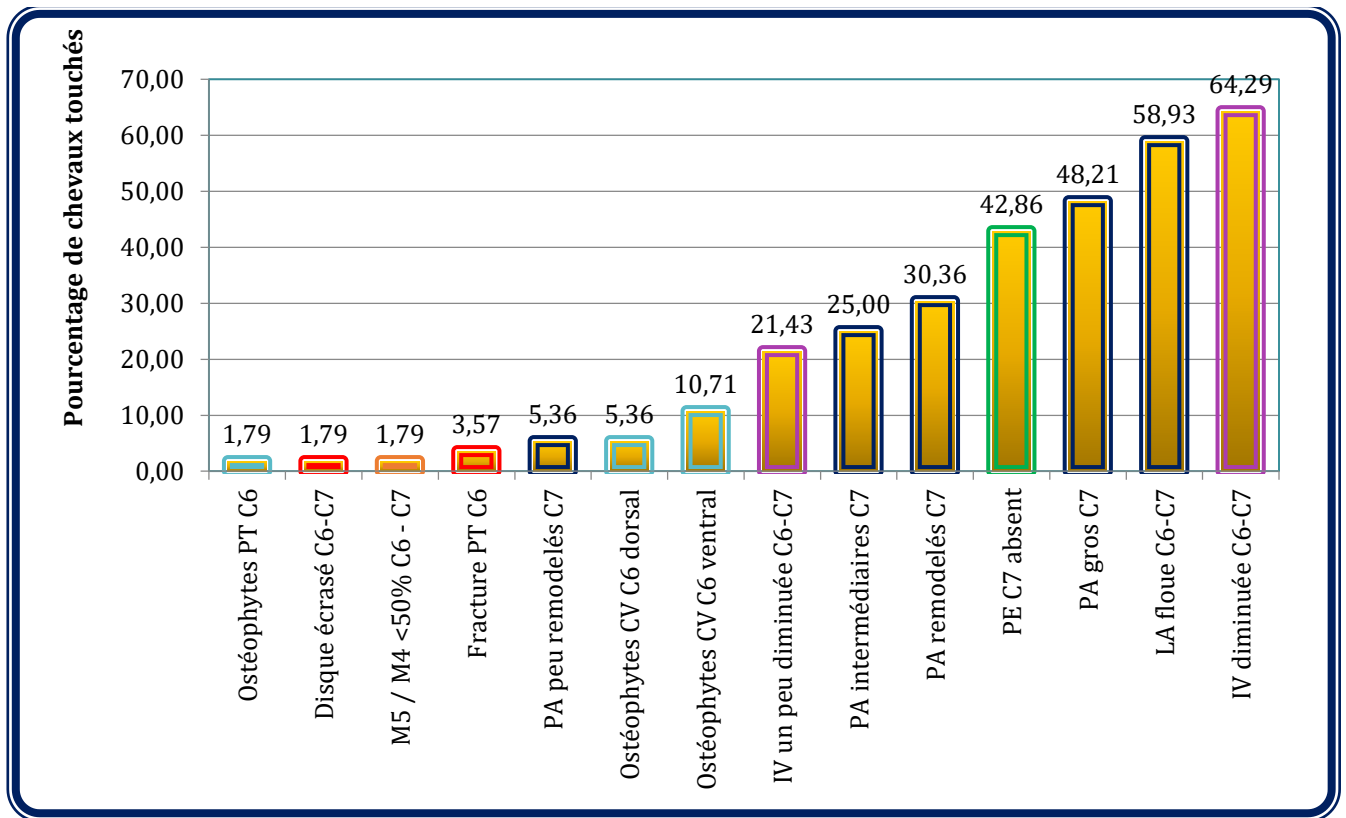


Figure 94 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C6 - C7.

14 types d'anomalies sont observés sur 96,43% des chevaux de l'étude. Il s'agit donc de l'articulation la plus touchée.

Les principales anomalies sont sévères, avec des processus articulaires gros et des incisures vertébrales comblées à plus de 50%. Les lignes articulaires floues prédominaient les articulations précédentes, ce qui diffère de celle-ci où l'incisure vertébrale diminuée est prépondérante.

En ce qui concerne le processus épineux de C7, il s'avère être absent ou non discernable dans 42,86% des cas. Considérant les formes variées que ce processus peut prendre, ainsi que les possibilités qu'il se superpose aux processus articulaires, il est possible que ce nombre soit surestimé.

Des fractures des processus transverses sont à déplorer parmi le panel étudié, seulement en regard de cette articulation. Les ostéophytes se développent surtout sur le corps vertébral de C6, en son extrémité ventro-caudale.

Comparaison avec la littérature :

Dans l'étude de Santinelli et al, 2016 [62], le processus épineux a été identifié dans 76,1% des chevaux, soit 23,9% d'absent. Ces derniers ont été associés aux pur-sang, ce qui pourrait laisser penser que les pur-sang étaient en plus grand nombre dans mon panel. Cependant ne connaissant pas les races des chevaux étudiés, il n'y a aucun moyen de le savoir.

g. Anomalies autour de l'articulation C7-T1

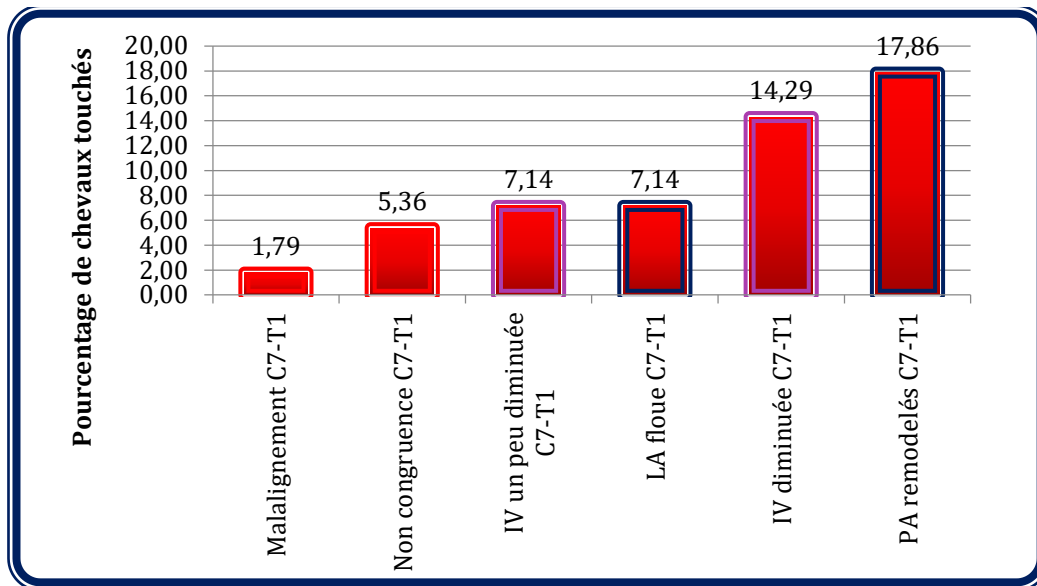


Figure 95 - Histogramme de la figure 88 zoomée sur l'articulation C7 - T1.

Seulement 35,71% des chevaux présentaient une anomalie sur C7-T1. Il est possible cependant que certaines anomalies soient restées indétectées du fait de la difficulté d'obtenir de radiographies de qualité de la zone pour tous les chevaux, même si la majorité l'était.

Il s'agit surtout de remodelages des processus articulaires, le pourcentage de chevaux touchés reste tout de même faible.

6) Zones préférentielles de détection de certaines anomalies

a. Les ostéophytes

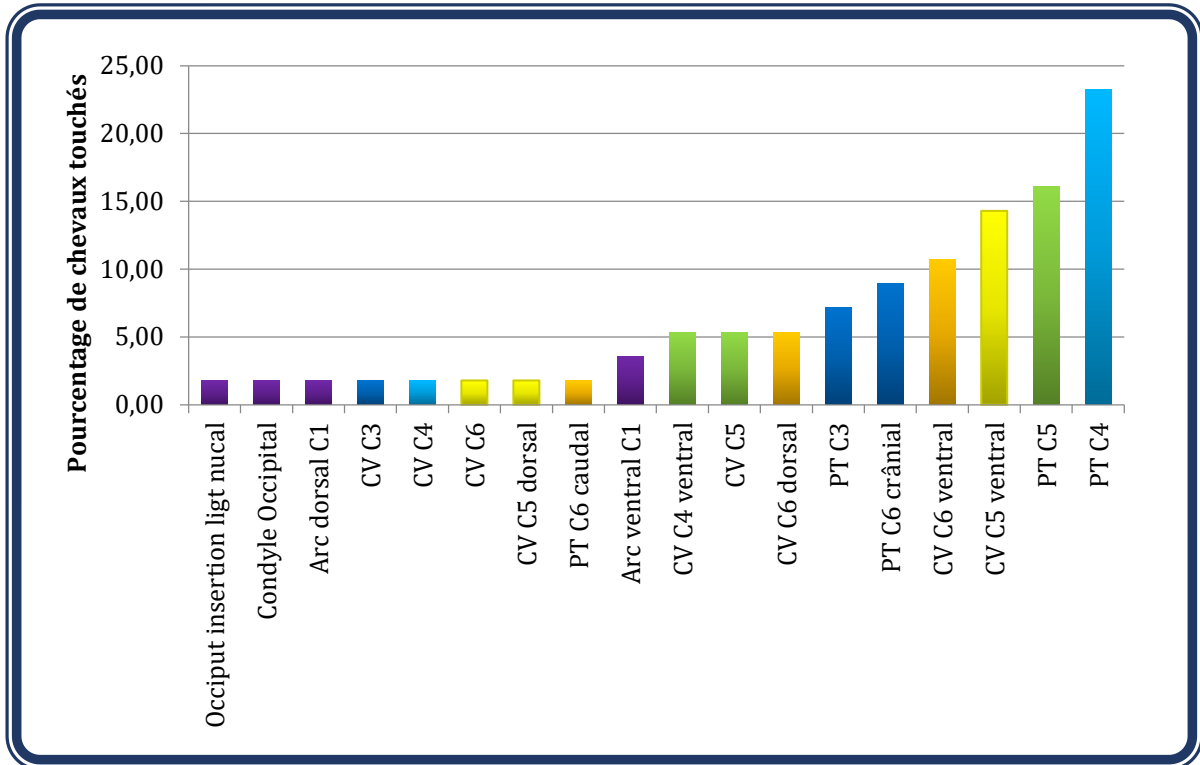


Figure 96 - Histogramme des fréquences d'apparition des ostéophytes en fonction de leur localisation.

Ce graphe est un histogramme regroupant tous les ostéophytes et leur fréquence d'apparition observés. Ils sont triés dans un ordre croissant de fréquence.

D'après ces résultats, les processus transverses de C4 et C5 semblent être des lieux privilégiés de développement des ostéophytes et C5 et C6 présentent beaucoup de localisations possibles d'ostéophytes.

Ces résultats sont cohérents avec les lieux préférentiels d'arthrose cervicale équine au niveau des vertèbres cervicales caudales.

b. Les tailles et remodelages des processus articulaires

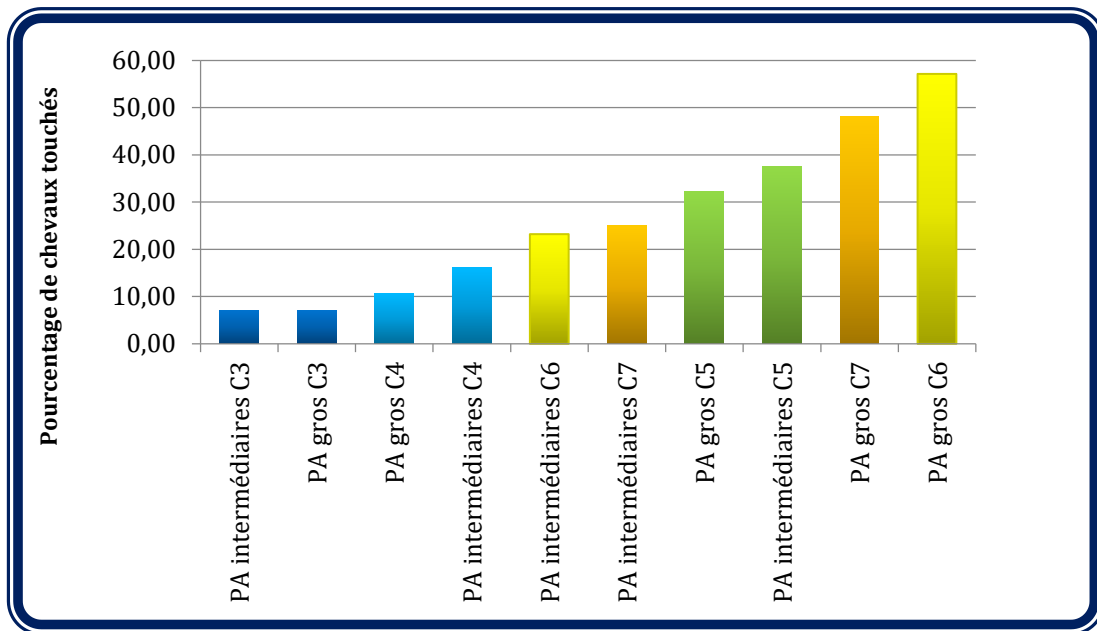


Figure 97 - Histogramme des fréquences des chevaux touchés en fonction des élargissements des processus articulaires et de leur localisation.

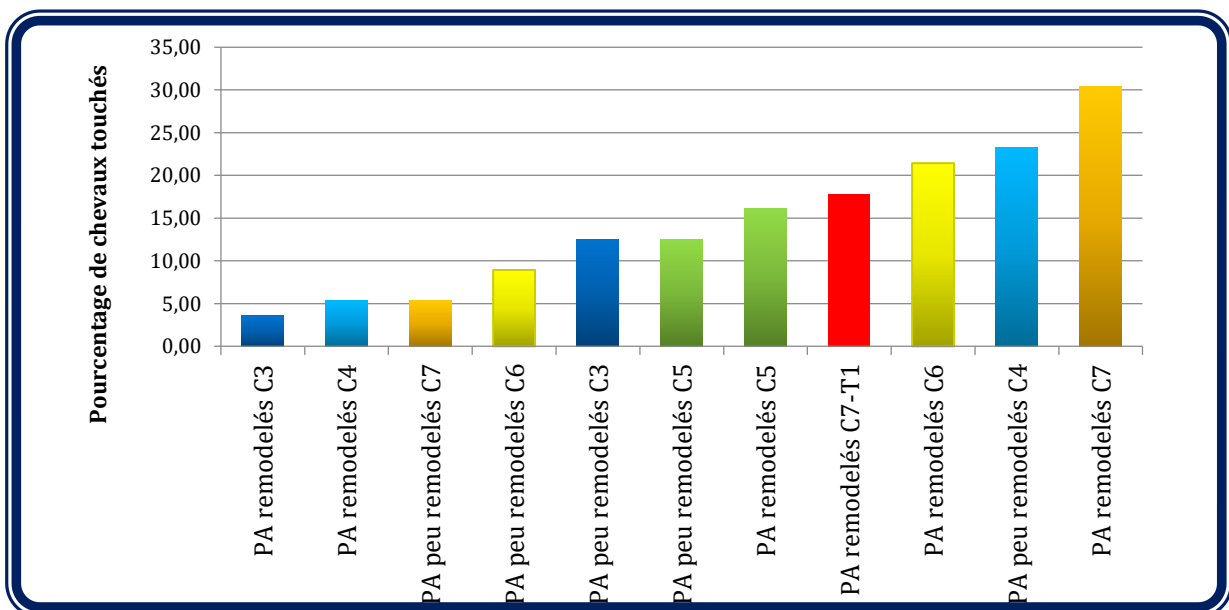


Figure 98 - Histogramme des pourcentages d'apparition des remodelages des processus articulaires en fonction de leur localisation.

Ces deux histogrammes représentent respectivement les élargissements des processus articulaires et les remodelages de ces-derniers.

Les vertèbres cervicales caudales comportent les pourcentages de processus articulaires élargis les plus importants entre C5, C6 et C7, soit en regard des articulations C4-C5, C5-C6 et C6-C7.

Etonnamment, les pourcentages de processus articulaires remodelés sont plus faibles de beaucoup par rapport aux élargissements des processus articulaires. Il est possible que ce soit dû à un remodelage suspecté mais non clairement visible et donc non comptabilisé. Il est aussi possible qu'aucun remodelage important de la surface ne soit provoqué dans des temps peu avancés de la lésion. Les résultats restent cependant cohérents avec les vertèbres cervicales caudales les plus touchés.

Il est étonnant de retrouver les processus articulaires de l'articulation C3-C4 en seconde position des plus retrouvés, même s'il s'agit de remodelages peu importants. Ce résultat pourrait être expliqué par des radiographies de profil des cervicales du milieu de l'encolure plus aisément obtenue de bonne qualité et parfaitement de profil, permettant d'apercevoir facilement les remodelages des processus articulaires, par rapport à des radiographies un peu moins de profil qui provoquent des doutes sur des possibles images construites.

c. Les incisures vertébrales et les lignes articulaires

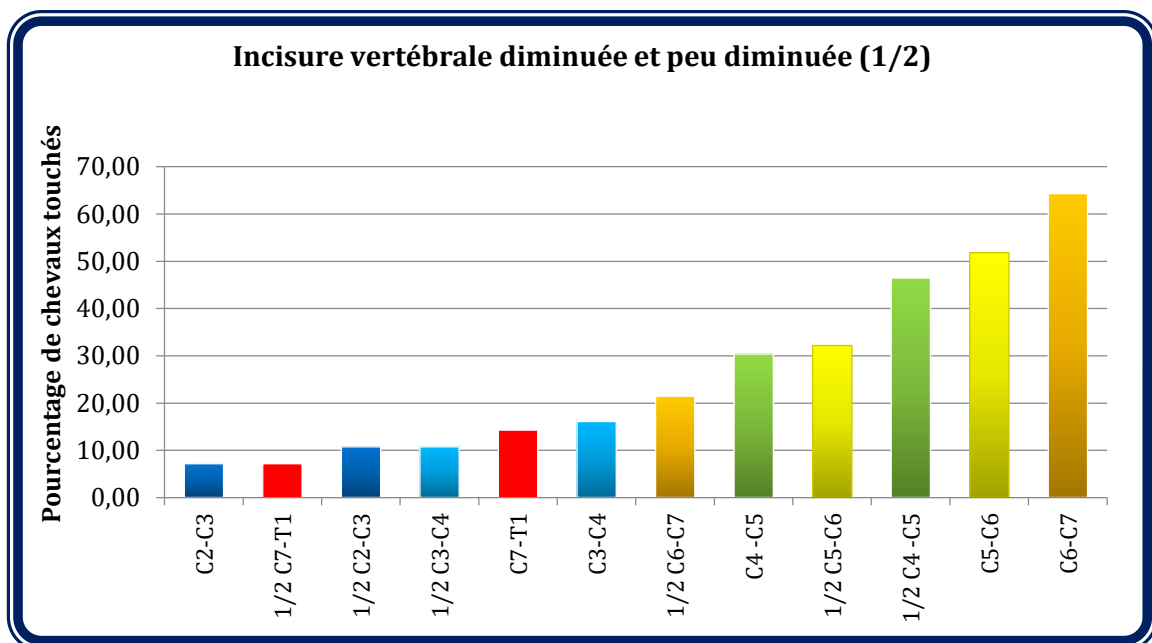


Figure 99 - Histogramme des fréquences de comblement des incisures vertébrales. 1/2 devant l'articulation indique un comblement inférieur à 50% et donc une incisure vertébrale peu diminuée.

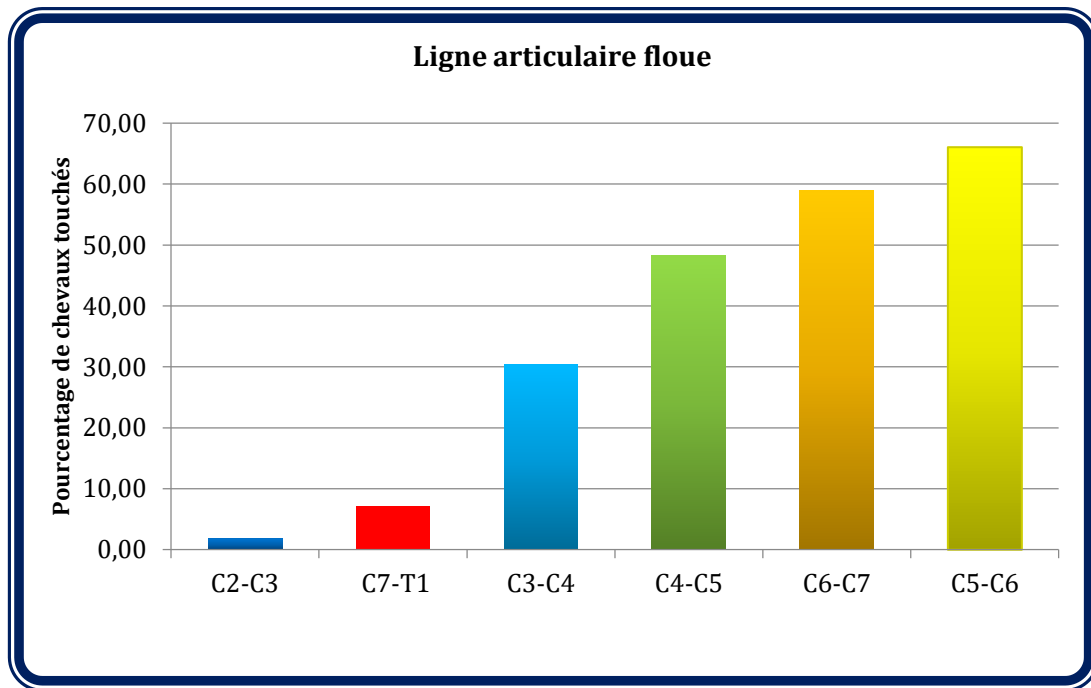


Figure 100 - Histogramme de la fréquence des lignes articulaires des processus articulaires floues.

Ces deux histogrammes représentent les pourcentages d'incisure vertébrale plus ou moins diminuée et des lignes articulaires floues en fonction de leur localisation et triés par ordre croissant de fréquence.

Les incisures vertébrales et les lignes articulaires suivent le même schéma que précédemment. Les vertèbres cervicales caudales sont les plus touchées ; ce qui une fois encore est parfaitement cohérent avec de l'arthrose des processus articulaires des vertèbres caudales.

Un résultat peut paraître étonnant ; C7-T1 n'est pas une articulation qui semble beaucoup touchée par ces anomalies. Il se peut que les radiographies de profil n'apportent pas une image nette et que du fait de superpositions et d'images construites, les résultats n'aient pas été comptabilisés. Il s'avère que les incisures vertébrales de C7-T1 étaient bien visibles et ne présentaient que rarement un comblement.

Il est donc difficile de savoir si ces anomalies qui peuvent être considérées normales avec l'avancé de l'âge du cheval, ont des répercussions cliniques et donc puissent provoquer des baisses de performance.

Il est vrai que dans des cas avancés d'arthrose des cervicales basses, les processus articulaires peuvent s'élargir au point de comprimer la moelle épinière ou les racines nerveuses que les incisures vertébrales laissent passer [18].

d. Les diminutions du canal vertébral (M5/M4<50%)

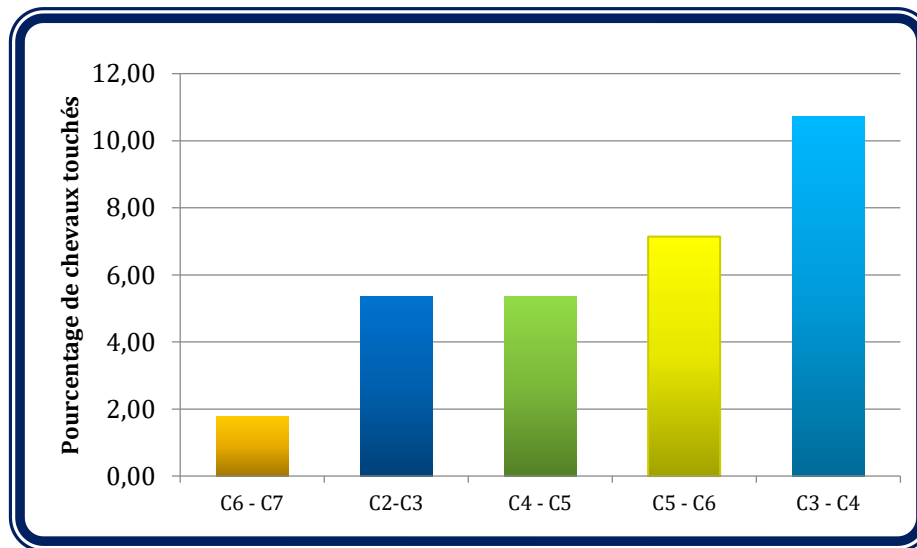


Figure 101 - Histogramme des pourcentages de chevaux touchés par une diminution du canal vertébral en fonction de leur localisation.

Cet histogramme montre les principales localisations des atteintes du canal vertébral.

Ces résultats sont basés sur l'étude des mesures réalisées sur les radiographies de profil, il s'agit du rapport M5/M4, soit la hauteur minimale du canal sur la hauteur du corps vertébral. Lorsque ce rapport est inférieur à 50%, il est considéré qu'un risque de compression médullaire existe.

Les mesures n'ayant été prises que sur les vertèbres C3 à C7, aucune donnée n'est présente quant aux vertèbres cervicales crâniales et T1.

Comparaison avec la littérature :

Selon ces résultats, il semblerait que les compressions médullaires soient localisées autour des vertèbres cervicales du milieu d'encolure. C3-C4 semble être un site privilégié de compressions médullaires, ce qui est cohérent avec l'étude de Papageorges et al., 1987 [50] où 31,8% des chevaux ataxiques étudiés présentent une compression avérée par myélographie. Selon ce dernier, il est courant d'avoir des faux positifs ou faux négatifs dans plus de 60% des cas sauf au niveau de C3-C4 où seulement 30% des cas présentaient une erreur de diagnostic. Des lésions multiples de compression associent en général C3 - C4 et C5 - C6 ou C3 - C4 et C4 - C5 ou C5 -C6 et C6 - C7.

Dans cette étude, la compression médullaire était suspectée à l'œil, sans mesures, ce qui diffère de ce qui a été fait ici.

Il faut donc prendre les résultats suivant avec prudence, même si les mesures rendent l'analyse plus objective.

Parmi les chevaux étudiés, seuls 10 présentaient un M5/M4<50%, soit 18%. Parmi ceux-ci, quatre présentaient des lésions multiples. Voici un tableau récapitulatif des localisations des lésions suspectées de compressions médullaires.

Tableau 6 - Tableau récapitulatif des chevaux présentant une ou plusieurs lésions de compression médullaire suspectée.

Numéro Chevaux	C2-C3	C3-C4	C4-C5	C5-C6	C6-C7
2		X		X	X
10		X			
12	X	X	X	X	
19	X				
20			X		
24		X			
28			X		
40		X		X	
47	X				
50		X		X	

Un cheval présentait quatre sites de compression possible, un second trois sites, deux chevaux deux sites et six chevaux un seul site.

2/5^{ème} des chevaux ont donc plusieurs sites de compression suspectée. Tous ces chevaux ont une compression C3 – C4 associée à un ou plusieurs autres sites.

III – Etude des mesures des radiographies de profil

1) Création des groupes

Les mesures sont établies par articulation intervertébrale. Et dans chaque espace intervertébral à partir de C2-C3, trois groupes sont définis.

Il s'agit de séparer les cas en fonction de l'analyse subjective réalisée. Ainsi les groupes sont séparés en fonction de la taille augmentée ou non des processus articulaires (PA).

Ainsi le premier groupe (Groupe 1) a des processus articulaires considérés normaux, le deuxième (Groupe 2), des processus articulaires intermédiaires et le dernier (Groupe 3) des processus articulaires gros. La composition des groupes change donc pour chaque articulation. Quelques groupes se retrouvent avec peu de chevaux, donc le résultat n'est malheureusement pas représentatif de la réalité et les tests ne seront pas significatifs.

2) Intérêt des mesures étudiées

M1 et M2 sont directement liées à la taille des PA. M4 correspond à la hauteur du corps vertébral et varie en fonction du format du cheval, du zoom radiographique... Il est donc intéressant de regarder si M4 est homogène entre les groupes ou non ; ce qui indiquerait des données M1 et M2 non utilisables brutes. En effet les groupes comparés ne présentent pas des radiographies de mêmes zooms et des chevaux de mêmes gabarits.

M5 est intéressante pour étudier les compressions médullaires. Celle-ci peut être en lien avec un PA augmenté.

On regarde la pertinence des mesures pour déterminer l'augmentation d'un PA et obtenir les valeurs seuils associées.

Attention, une étude de Scrivani, 2011 [64] a montré qu'en fonction des opérateurs voire avec le même opérateur, les valeurs obtenues pour M4 et M5 variaient de 5 à 10%. Ce constat peut probablement être extrapolé à toute autre mesure radiographique sur les cervicales.

3) Comparaison des mesures obtenues par articulation

a. C2 – C3

i. *Mesures simples*

Voici un tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les mesures simples, les moyennes, les minimum et maximum des intervalles de référence obtenus sont donnés pour chaque groupe et longueur mesurée. Toutes les mesures ont été prises en millimètre.

Tableau 7 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C2-C3, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1			M2			m M4	m M5
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ		
PA Normaux (1)	32,2	21,5	42,9	50,7	32,9	68,5	42,5	24,3
PA Intermédiaires (2)	37,5	34,0	40,9	59,7	49,5	69,8	45,2	25,8
PA Gros (3)	33,3	15,6	51,0	52,2	32,3	72,1	38,2	23,5

Analyse du tableau :

Il est étonnant d'observer des longueurs M1 et M2 plus grandes dans le groupe des « intermédiaires » que dans le groupe des processus articulaires élargis. Cependant il est difficile de les comparer en regard des hauteurs de corps vertébral plus courtes chez les « gros » et plus grandes chez les « intermédiaires ». Tous les chevaux n'ont donc probablement pas le même zoom radiographique ou les mêmes tailles de vertèbres (âge, race). Ce paramètre peut donc influencer sur les différences vues pour M1 et M2.

Obtention de seuils :

Si M1 > 42,9mm, il est considéré augmenté dans 95% des cas, de la même façon si M2 > 68,5mm. Ce sont des valeurs obtenues dans ce lot de chevaux-ci. Il faudrait une étude avec plus d'effectifs par groupe pour pouvoir la généraliser.

Réflexion sur les biais et recherche dans la littérature :

Le choix de diviser les valeurs obtenues par la hauteur du corps vertébral a été fait, pour supprimer les effets du zoom et des paramètres liés à la taille et l'ossature du cheval, Lautenschlager[39] a utilisé la hauteur minimale du canal vertébral, mais la hauteur du corps vertébral a été aussi utilisée, Butler et al., 2017 [9]. De plus, j'ai considéré qu'en cas d'anomalie liée directement aux processus articulaires, le canal vertébral pouvait être diminué et donc biaiser l'étude.

ii. Mesures normalisées par la hauteur du corps vertébral

Voici donc les nouveaux résultats normalisés par la hauteur du corps vertébral.

Tableau 8 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C2-C3, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1/M4			M2/M4			m M5/M4
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ	
PA Normaux (1)	0,76	0,60	0,92	1,19	0,97	1,41	0,575
PA Intermédiaires (2)	0,83	0,79	0,87	1,32	1,13	1,51	0,572
PA Gros (3)	0,86	0,55	1,17	1,36	1,04	1,69	0,615

Analyse du tableau :

Les moyennes pour chaque groupe de M1/M4 et de M2/M4 augmentent avec l'élargissement des processus articulaires comme l'on pourrait s'y attendre. Cependant les intervalles obtenus se chevauchent. Il est possible que le manque de chevaux dans les groupes « intermédiaires » et « gros » en soit l'origine. En effet seulement 4 chevaux font partie des groupes 2 et 3.

Obtention de seuils :

Selon ces résultats, il semblerait qu'un $M1/M4 > 0,92$ puisse être considéré comme élargi dans 95% des cas. De la même façon, $M2/M4 > 1,41$ pourrait être considéré comme élargi dans 95% des cas. Inversement, $M2/M4 < 1,04$ pourrait être normale.

iii. Test de Student

Le test de Student est un test statistique permettant de comparer des moyennes.

Chaque groupe est donc comparé avec les deux autres, pour chaque mesure obtenue. Il permet de prouver statistiquement ou non que deux groupes sont bien différents et donc que les données des intervalles puissent être utilisés par exemple.

Tableau 9 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C2 - C3, sur les radiographies de profil.

p value	M1	M2	M4	M5	M1/M4	M2/M4	M5/M4
Groupe 3 / Groupe 1	0,834	0,793	0,174	0,616	0,278	0,128	0,013
Groupe 3 / Groupe 2	0,417	0,245	0,058	0,211	0,691	0,677	0,066
Groupe 2 / Groupe 1	0,0013	0,0273	0,051	0,160	0,0006	0,064	0,852

Test de Student

Le test de Student nous donne la probabilité que les deux moyennes soient égales. Le pourcentage limite pour considérer que les deux moyennes sont différentes est 5%. Dans le cas inverse si le pourcentage obtenu est supérieur à 95% les deux moyennes peuvent statistiquement être considérées comme égales.

Analyse des résultats statistiques*Groupe 3 / Groupe 1 :*

M5/M4 est significativement différente entre le groupe 1 et le groupe 3. Il est plus grand chez le groupe 3. Cela est étonnant et inexplicable du fait que la compression médullaire peut être consécutive à une augmentation de taille des processus articulaires. Le fait qu'il y ait plus de chevaux présentant des lésions possibles de compression chez les chevaux « normaux » que chez les chevaux du groupe 3, vient probablement du manque d'effectif.

Groupe 3 / Groupe 2 :

Aucune mesure n'a permis de différencier ces groupes.

Groupe 2 / Groupe 1 :

Comme vu dans les paragraphes précédents, la hauteur du corps vertébral (M4) varie selon les groupes, tel et si bien qu'elle est tout juste significativement plus grande chez le groupe 2 que le groupe 1.

M1, M2 et M1/M4 sont significativement différentes. Il s'avère donc que M1 et M2 sont plus importantes chez le groupe 2 que le groupe 1.

M1/M4 est aussi plus grande chez le groupe 2 que le 1 mais pas M2/M4, le faible nombre de chevaux dans les groupes peut en être une cause.

Conclusion :

Les mesures ne semblent pas discriminantes pour cette articulation

b. C3 – C4

i. *Mesures simples*

Les données des radiographies de profil vont être traitées de la même façon que C2-C3 pour chaque articulation.

Voici donc le tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les mesures simples. Les moyennes, les minimum et maximum des intervalles de référence sont donnés pour chaque groupe et longueur mesurée. Toutes les mesures ont été prises en millimètre.

Tableau 10 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C3-C4, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1			M2			m M4	m M5
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ		
PA Normaux (1)	32,4	19,8	44,9	56,4	34,0	78,7	41,4	23,1
PA Intermédiaires (2)	34	21,9	46,1	61,9	41,9	81,8	43,5	24,7
PA Gros (3)	35,9	24,4	47,4	68,9	53,9	83,9	42,3	24,1

Analyse du tableau :

Les moyennes des valeurs obtenues sont cohérentes avec l'élargissement progressif des processus articulaires. Les intervalles de référence obtenus sont bien sûr difficilement utilisables. Peut-être que les valeurs normalisées donneront de meilleurs résultats.

La hauteur du corps vertébral semble moins varier que pour l'articulation précédente.

Obtention de seuils :

Peut-être est-il possible de dire que M1 est augmenté lorsque sa valeur dépasse 44,9mm et M2 78,7mm. On peut aussi supposer que M1 < 21,9mm et M2 < 41,9mm pourraient être normaux.

Le constat reste le même, il est difficile d'utiliser ses valeurs comme référence.

Comparaison avec la littérature :

Hett et al., 2006 ont étudiés les mêmes paramètres. Hett n'a séparé ses échantillons que par la présence ou l'absence d'altérations liées à l'arthrose, ce qui est différent dans l'absolu de ce qui a été réalisé ici. Cependant les résultats devraient être comparables. Il faut aussi se pencher sur les différences radiographiques entre les périodes étudiées. En effet le matériel était différent et les résultats obtenus le seront en conséquence.

Hett et al., 2006 [31] obtiennent des mesures sur PA sains pour cette articulation. Ainsi leurs résultats donnent :

- $M1 = 21,7 \pm 4,3\text{mm}$
- $M2 = 52,4 \pm 6,6\text{mm}$
- $M4 = 35 \pm 3,6\text{mm}$
- $M5 = 22,6 \pm 2,9\text{mm}$

Les valeurs obtenues dans l'étude actuelle sont toutes plus importantes. Les différences entre les hauteurs des corps vertébraux montrent en moyenne 6,4mm de plus et M5 ne présente que 0,5mm de plus. Les groupes étudiés ne sont probablement pas les mêmes. Les résultats semblent cohérents avec ceux trouvés par Hett.

ii. *Mesures normalisées par la hauteur du corps vertébral*

Voici donc les nouveaux résultats normalisés par la hauteur du corps vertébral.

Tableau 11 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C3-C4, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1/M4			M2/M4			m
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ	M5/M4
PA Normaux (1)	0,78	0,62	0,95	1,36	1,10	1,62	0,563
PA Intermédiaires (2)	0,78	0,60	0,95	1,42	1,17	1,66	0,568
PA Gros (3)	0,85	0,60	1,11	1,64	1,34	1,94	0,573

Analyse du tableau :

Les moyennes pour chaque groupe de M1/M4 et de M2/M4 stagnent ou augmentent avec l'élargissement des processus articulaires comme l'on pourrait s'y attendre, là aussi.

Les intervalles de référence se chevauchent et donc même si les tests statistiques confirment une valeur de M1 ou M2 différente entre les groupes, les intervalles sont inutilisables.

Obtention de seuils :

Selon ces résultats, il semblerait qu'un $M1/M4 > 0,95$ puisse être considéré comme élargi dans 95% des cas. De la même façon, $M2/M4 > 1,62$ pourrait être considéré comme élargi même faiblement dans 95% des cas et $M2/M4 < 1,17$ serait normale.

iii. Test de Student

Le test de Student est un test statistique permettant de comparer des moyennes.

Chaque groupe est donc comparé avec les deux autres, pour chaque mesure obtenue. Il permet de prouver statistiquement ou non que deux groupes sont bien différents et donc que les données des intervalles puissent être utilisés par exemple.

Tableau 12 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C3 - C4, sur les radiographies de profil.

p value	M1	M2	M4	M5	M1/M4	M2/M4	M5/M4
Groupe 3 / Groupe 1	0,148	0,001	0,709	0,339	0,178	0,001	0,653
Groupe 3 / Groupe 2	0,522	0,132	0,636	0,640	0,201	0,006	0,824
Groupe 2 / Groupe 1	0,515	0,193	0,358	0,221	0,891	0,292	0,763

Analyse des résultats statistiques*Groupe 3 / Groupe 1 :*

M2 et M2/M4 sont significativement différentes. Il s'avère donc que M2 et M2/M4 sont significativement plus importantes chez le groupe 3 que le groupe 1.

Groupe 3 / Groupe 2 :

M2/M4 est significativement plus grande chez le groupe 3 que le groupe 2.

Groupe 2 / Groupe 1 :

Aucune mesure n'a permis de différencier ces groupes.

Conclusion :

En ce qui concerne cette articulation M2 semble plus pertinente à mesurer que M1 pour séparer les processus articulaires gros. M2/M4 l'est encore plus, permettant de séparer les processus articulaires gros, des intermédiaires et des normaux.

Cependant les intervalles ne sont pas distincts et à moins d'une valeur extrême, il est difficile, pour des cas limites et juste avec une mesure, de conclure à un élargissement des processus articulaires.

c. C4 – C5

i. Mesures simples

Voici un tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les mesures simples. Les moyennes, les minimum et maximum des intervalles de référence obtenus sont donnés pour chaque groupe et longueur mesurée. Toutes les mesures ont été prises en millimètre.

Tableau 13 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C4-C5, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1			M2			m M4	m M5
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ		
PA Normaux (1)	34,1	21,7	46,4	57,4	34,4	80,4	41,9	25,3
PA Intermédiaires (2)	36,5	22,6	50,3	66,1	47,2	85,1	43,9	22,8
PA Gros (3)	41,6	27,1	56,1	74,3	49,6	98,9	45,5	25,3

Analyse du tableau :

Les moyennes respectives des différents groupes suivent la tendance habituelle d'augmentation des mesures avec celle de la taille des processus articulaires.

Les différences entre les intervalles semblent être plus importantes que pour les articulations précédentes.

Les hauteurs des corps vertébraux sont légèrement différentes donc ce paramètre peut encore une fois changer les choses.

Obtention de seuils :

M1 < 22,6mm et M2 < 47,2mm, indique dans notre groupe d'étude un processus articulaire de taille normal dans 95% des cas.

M1 > 46,4mm et M2 > 80,4mm indique une augmentation de taille des processus articulaires dans 95% des cas.

Comparaison avec la littérature :

Hett et al., 2006 [31] obtiennent des mesures sur PA sains pour cette articulation. Ainsi leurs résultats donnent :

- M1 = 29,1 ± 4,1mm
- M2 = 55,1 ± 6,6mm
- M4 = 36,8 ± 3,6mm
- M5 = 23,2 ± 2,8mm

Le constat est identique à l'articulation précédente. Les résultats semblent cohérents avec ceux trouvés par Hett malgré un probable biais de population.

ii. Mesures normalisées par la hauteur du corps vertébral

Voici donc les nouveaux résultats normalisés par la hauteur du corps vertébral.

Tableau 14 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C4-C5, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1/M4			M2/M4			m
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ	M5/M4
PA Normaux (1)	0,82	0,59	1,06	1,38	1,08	1,67	0,61
PA Intermédiaires (2)	0,83	0,60	1,06	1,51	1,30	1,72	0,53
PA Gros (3)	0,91	0,71	1,12	1,63	1,29	1,98	0,56

Analyse du tableau :

Les moyennes pour chaque groupe de M1/M4 et de M2/M4 augmentent toujours avec l'élargissement des processus articulaires.

M5/M4 semble plus grand chez le groupe 1, cela s'explique par le fait que les processus articulaires non augmentés ne diminuent pas le canal vertébral, ce résultat paraît donc logique.

Obtention de seuils :

Selon ces résultats, il semblerait qu'un M1/M4 > 1,06 puisse être considéré comme élargi dans 95% des cas. De la même façon, M2/M4 > 1,67 pourrait être considéré comme élargi dans 95% des cas.

De la même façon et dans les mêmes proportions, M1/M4 < 0,6 et M2/M4 < 1,3 seraient des signes de normalité du processus articulaire.

iii. Test de Student

Le test de Student est un test statistique permettant de comparer des moyennes.

Chaque groupe est donc comparé avec les deux autres, pour chaque mesure obtenue. Il permet de prouver statistiquement ou non que deux groupes sont bien différents et donc que les données des intervalles puissent être utilisés par exemple.

Tableau 15 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C4 - C5, sur les radiographies de profil.

p value	M1	M2	M4	M5	M1/M4	M2/M4	M5/M4
Groupe 3 / Groupe 1	0,002	0,0002	0,132	0,987	0,021	0,00004	0,008
Groupe 3 / Groupe 2	0,029	0,028	0,437	0,093	0,025	0,014	0,253
Groupe 2 / Groupe 1	0,284	0,021	0,401	0,164	0,800	0,004	0,011

Analyse des résultats statistiques

Beaucoup plus de résultats apparaissent dans ces tests.

Une première chose est que M4 n'a aucune différence significative, ce qui indique peut-être une meilleure homogénéité des groupes.

Groupe 3 / Groupe 1 :

M1, M2, M1/M4 et M2/M4 sont significativement différentes. Il s'avère donc que M1, M2, M1/M4 et M2/M4 sont plus importantes chez le groupe 3 que le groupe 1.

Lorsque l'on regarde le paramètre M5, les groupes 1 et 3 ont 99% de chance d'être identiques. Des plus étonnamment, M5/M4 révèle 0,8% de chance que ces deux groupes soient les mêmes. Ce résultat est surprenant, ils sont totalement contradictoires, malgré le reste des résultats cohérents et aucune différence significative entre les hauteurs de corps vertébral.

Groupe 3 / Groupe 2 :

M1, M2, M1/M4 et M2/M4 sont significativement différents entre les groupes 2 et 3. Ces valeurs sont plus grandes dans le groupe 3 que dans le groupe 2.

Groupe 2 / Groupe 1 :

M2 et M2/M4 sont significativement différents. Ils sont plus importants chez le groupe 2 par rapport au groupe 1.

M5/M4 est significativement plus importante dans le groupe 1 que le groupe 2.

Conclusion :

Les rapports des mesures M1 et M2 sur M4 ne semblent pas apporter ici d'informations supplémentaires.

M1, M2, et leur rapport respectif sur M4 semblent donc être de bons indicateurs pour séparer les groupes 1 et 3 ainsi que les groupes 2 et 3.

Seul M2 et M2/M4 permettent de séparer les groupes 1 et 2. Peut-être ces paramètres sont-ils plus pertinents et plus sensibles que M1 et M1/M4.

Il se trouve que M5/M4 révèle une différence significative entre les groupes 1 et 3 et entre les groupes 1 et 2. Les groupes 2 et 3 ont une hauteur minimale du canal cervical plus petite que le groupe 1, ce qui en regard de l'encombrement spatial des processus articulaires augmentés est cohérent.

d. C5 – C6

i. Mesures simples

Voici un tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les mesures simples, les moyennes, les minimum et maximum des intervalles de référence obtenus sont donnés pour chaque groupe et longueur mesurée. Toutes les mesures ont été prises en millimètre.

Tableau 16 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C5-C6, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1			M2			m M4	m M5
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ		
PA Normaux (1)	36,3	22,3	50,2	58,3	38,3	78,3	41,8	26,1
PA Intermédiaires (2)	38,8	26,7	50,8	67,8	45,6	90,0	47,4	26,7
PA Gros (3)	46,0	30,9	61,2	78,5	52,6	104,3	48,3	27,4

Analyse du tableau :

Les moyennes de M1 et M2 suivent la tendance habituelle et attendue.

Les hauteurs des corps vertébraux ont une fois de plus assez différents, probablement que les résultats seront en conséquence différents entre les valeurs brutes et les valeurs normalisées par M4.

Obtention de seuils :

M1 peut être considérée normale si elle est inférieure à 26,7mm, de même M2 sera normale si inférieure à 52,6mm dans 95% des cas.

M1 supérieure à 50,2mm et M2 supérieure à 78,3mm semblent être les valeurs seuils pour pouvoir dire que dans 95% des cas, M1 et M2 sont augmentés.

Comparaison avec la littérature :

Hett et al., 2006 [31] obtiennent des mesures sur PA sains et sur PA arthrosés pour cette articulation. A gauche sont notés les résultats du groupe sain, à droite ceux du groupe présentant des altérations arthrosiques :

- M1 = 32,3 ± 5,7mm
- M2 = 56,6 ± 8,3mm
- M4 = 37,3 ± 4mm
- M5 = 26 ± 3,3mm
- M1 = 39,4 ± 5,9mm
- M2 = 62,7 ± 8,9mm
- M4 = 39,4 ± 4,4mm
- M5 = 26,1 ± 2,9mm

Le constat est identique à l'articulation précédente. Les résultats semblent cohérents avec ceux trouvés par Hett malgré un probable biais de population. Il est possible que dans le groupe présentant des altérations arthrosiques de Hett, les processus articulaires ne soient pas forcément augmentés. Cela expliquerait alors les différences entre les mesures M1 et M2 du groupe arthrosique de Hett et du groupe 3 de cette étude.

ii. Mesures normalisées par la hauteur du corps vertébral

Voici donc les nouveaux résultats normalisés par la hauteur du corps vertébral.

Tableau 17 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C5-C6, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1/M4			M2/M4			m M5/M4
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ	
PA Normaux (1)	0,88	0,64	1,12	1,42	1,05	1,78	0,63
PA Intermédiaires (2)	0,82	0,61	1,04	1,44	1,07	1,81	0,57
PA Gros (3)	0,96	0,68	1,23	1,63	1,22	2,04	0,57

Analyse du tableau :

M2/M4 suit la tendance mais M1/M4 présente une moyenne pour le groupe 2 inférieure au groupe 1. Se pourrait-il qu'un effet de processus articulaires élargi soit donné par un corps vertébral plus gros, puisqu'effectivement en moyenne les M4 du groupe 2 étaient plus gros de 6 cm que les M4 du groupe 1, auquel cas, des processus articulaires qui étaient peut-être intermédiaires sont rangés dans normaux et inversement.

Obtention de seuils :

Selon ces résultats, il semblerait qu'un M1/M4 > 1,12 puisse être considéré comme élargi dans 95% des cas. De la même façon, M2/M4 > 1,78 pourrait être considéré comme élargi dans 95% des cas. A l'inverse, M1/M4 < 0,61 et M2/M4 < 1,07 seraient signes d'un processus articulaire sain.

iii. Test de Student

Le test de Student est un test statistique permettant de comparer des moyennes.

Chaque groupe est donc comparé avec les deux autres, pour chaque mesure obtenue. Il permet de prouver statistiquement ou non que deux groupes sont bien différents et donc que les données des intervalles puissent être utilisés par exemple.

Tableau 18 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C5 - C6, sur les radiographies de profil.

p value	M1	M2	M4	M5	M1/M4	M2/M4	M5/M4
Groupe 3 / Groupe 1	0,002	0,0001	0,041	0,518	0,096	0,007	0,005
Groupe 3 / Groupe 2	0,002	0,010	0,662	0,567	0,001	0,006	0,966
Groupe 2 / Groupe 1	0,381	0,043	0,101	0,780	0,256	0,778	0,010

Analyse des résultats statistiques

Groupe 3 / Groupe 1 :

M4 est significativement différents entre les groupes 1 et 3, traduisant une mauvaise homogénéité des groupes et donc, toutes les valeurs non normalisées par M4 sont à prendre avec beaucoup de précautions.

M1, M2 et M2/M4 sont significativement différentes. Il s'avère donc que M1, M2 et M2/M4 sont plus importantes chez le groupe 3 que le groupe 1.

M5/M4 est significativement plus petit dans le groupe 3.

Groupe 3 / Groupe 2 :

De la même façon M1, M2, M1/M4 et M2/M4 sont significativement différents entre les groupes 2 et 3.

Groupe 2 / Groupe 1 :

Enfin M2 est significativement différents entre les groupes 1 et 2.

M5/M4 est significativement plus petit dans le groupe 2.

Conclusion :

M1, M2, et M2/ M4 semblent donc être de bons indicateurs pour séparer les groupes 1 et 3 ainsi que les groupes 2 et 3.

Seul M2 permet de séparer les groupes 1 et 2. Ce résultat est à prendre avec précaution puisque son homologue rapporté à M4 n'est pas significatif.

M5/M4 est significativement différente entre le groupe 1 et le groupe 3 ainsi qu'entre le groupe 1 et le groupe 2, ce qui est logique suite à l'augmentation de taille des processus articulaires. Il semble cependant que pour les groupes 2 et 3, les moyennes soient égales, donc ce paramètre ne permet pas de séparer les groupes 2 et 3.

e. C6 – C7

i. Mesures simples

Voici un tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les mesures simples, les moyennes, les minimum et maximum des intervalles de référence obtenus sont donnés pour chaque groupe et longueur mesurée. Toutes les mesures ont été prises en millimètre.

Tableau 19 - Tableau des résultats obtenus pour les valeurs M1 à M5 en regard de l'articulation C6-C7, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1			M2			m M4	m M5
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ		
PA Normaux (1)	48,5	27,8	69,2	67,9	34,9	100,8	50,6	30,8
PA Intermédiaires (2)	48,0	30,8	65,1	70,7	37,5	103,8	48,3	30,2
PA Gros (3)	57,5	41,3	73,7	80,2	57,2	103,2	50,2	30,1

Analyse du tableau :

M1 est plus courte chez le groupe 2 que le groupe 1. Les raisons possibles sont les mêmes que précédemment.

M4 semble proche entre les trois groupes.

Obtention de seuils :

M1 < 30,8mm et M2 < 37,5mm sont les valeurs seuils pour que dans 95% des cas, ces inégalités signifient un processus articulaire non augmenté.

M1 > 69,2mm et M2 > 100,8mm sont les seuils opposés et signifient un processus articulaire augmenté.

Comparaison avec la littérature :

Hett et al., 2006 [31] obtiennent des mesures sur PA sains et sur PA arthrosés pour cette articulation. A gauche sont notés les résultats du groupe sain, à droite ceux du groupe présentant des altérations arthrosiques :

- M1 = 37,8 ± 7,1mm
- M2 = 57,9 ± 8,1mm
- M4 = 39,7 ± 3,7mm
- M5 = 29 ± 3,4mm
- M1 = 50,1 ± 7mm
- M2 = 69,6 ± 8,7mm
- M4 = 42,9 ± 4,9mm
- M5 = 31,2 ± 3,7mm

Le constat est identique au reste. Les résultats semblent cohérents avec ceux trouvés par Hett. Les M4 semblent beaucoup plus gros dans l'étude actuelle, soit les radiographies n'ont pas été prises de la même façon, expliquant un zoom radiographique différent, soit la population étudiée n'est pas la même. Le constat d'une probable incidence des différences de séparation des groupes étudiés se voit dans la différence entre les M2, avec un M2 de Hett, beaucoup plus proche du M2 du groupe 2.

ii. Mesures normalisées par la hauteur du corps vertébral

Voici donc les nouveaux résultats normalisés par la hauteur du corps vertébral.

Tableau 20 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C6-C7, une fois normalisée par la hauteur du corps vertébral, sur les radiographies de profil.

Groupes / Moyennes (m)	M1/M4			M2/M4			m
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ	M5/M4
PA Normaux (1)	0,96	0,75	1,17	1,34	0,99	1,68	0,61
PA Intermédiaires (2)	1,00	0,83	1,17	1,46	1,17	1,75	0,63
PA Gros (3)	1,15	0,91	1,39	1,60	1,22	1,99	0,60

Analyse du tableau :

Les moyennes pour chaque groupe de M1/M4 et de M2/M4 augmentent avec l'élargissement des processus articulaires comme l'on pourrait s'y attendre.

Obtention de seuils :

Selon ces résultats, il semblerait qu'un M1/M4 > 1,17 puisse être considéré comme élargi dans 95% des cas. De la même façon, M2/M4 > 1,68 pourrait être considéré comme élargi dans 95% des cas. A l'inverse, M1/M4 < 0,83 et M2/M4 < 1,17 seraient signes d'un processus articulaire sain.

iii. Test de Student

Chaque groupe est donc comparé avec les deux autres, pour chaque mesure obtenue. Il permet de prouver statistiquement ou non que deux groupes sont bien différents et donc que les données des intervalles puissent être utilisés par exemple.

Tableau 21 - Tableau récapitulatif des valeurs obtenues par le test de Student appliqué entre chaque groupe pour C6 - C7, sur les radiographies de profil.

p value	M1	M2	M4	M5	M1/M4	M2/M4	M5/M4
Groupe 3 / Groupe 1	0,010	0,021	0,875	0,633	0,00001	0,0001	0,548
Groupe 3 / Groupe 2	0,002	0,069	0,496	0,992	0,0001	0,011	0,130
Groupe 2 / Groupe 1	0,878	0,655	0,495	0,723	0,238	0,052	0,503

Analyse des résultats statistiques*Groupe 3 / Groupe 1 :*

Les valeurs obtenues entre les groupes 1 et 3 pour M1, M2, M1/M4 et M2/M4 sont significativement différentes. Il s'avère donc que M1 et M2 sont plus importantes chez le groupe 3 que le groupe 1.

Groupe 3 / Groupe 2 :

M1, M1/M4 et M2/M4 permettent de séparer de façon significative les groupes 2 et 3.

M5 est significativement identique entre ces deux groupes.

Groupe 2 / Groupe 1 :

M2/M4 est significativement plus grande chez le groupe 2.

Conclusion :

Il semble donc que M2/M4 est un bon paramètre pour différencier les trois groupes étudiés pour cette articulation.

M1/M4 est moins précis mais permet tout de même de séparer les groupes 1 et 3.

Il est intéressant de regarder M5 qui présente une p-value de 0,99 entre les groupes 2 et 3. Ce qui correspond aux résultats de l'articulation précédente pour M5/M4.

Il est probable que ce paramètre ne soit pas discriminant des élargissements des PA.

4) Conclusion

Selon les données croisées des tableaux de mesures et des tests statistiques, certaines données semblent plus pertinentes par articulation.

- Ainsi pour C2-C3, aucune mesure n'a permis de différencier les trois groupes, mais M1, M2 et M1/M4 ont différencié les groupes 1 et 2.
- Pour C3-C4, M2/M4 apporte le plus de différences significatives séparant le groupe 3 des groupes 1 et 2.
- Pour C4-C5, M2 et M2/M4 différencient chaque groupe.
- Pour C5-C6, M2 semble le plus pertinent, il faut juste faire attention d'avoir le même zoom radiographique.
- Pour C6-C7, M2/M4 semble être le plus pertinent.

Voici un tableau récapitulatif des valeurs seuils pour chaque mesure et articulation obtenue pour les chevaux étudiés. La première colonne de chaque mesure correspond au seuil normal obtenu par différence des intervalles de référence correspondants et la deuxième au seuil lésionnel, dans 95% des cas. Ce sont des valeurs obtenues pour les chevaux de l'étude. Certains intervalles de référence n'ont donné aucune différence et aucune valeur n'a pu être obtenue (cases vides). Entre ces deux valeurs seuils, les intervalles se recoupent et il est difficile de dire si le processus articulaire est augmenté ou non.

Tableau 22 - Valeurs seuils obtenus avec le groupe de chevaux étudiés.

	M1		M2		M1/M4		M2/M4	
C2-C3	<	> 42,9	<	> 68,5	<	> 0,92	< 1,04	> 1,41
C3-C4	< 21,9	> 44,9	< 41,9	> 78,7	<	> 0,95	< 1,17	> 1,62
C4-C5	< 22,6	> 46,4	< 47,2	> 80,4	< 0,6	> 1,06	< 1,3	> 1,67
C5-C6	< 26,7	> 50,2	< 52,6	> 78,3	< 0,61	> 1,12	< 1,07	> 1,78
C6-C7	< 30,8	> 69,2	< 37,5	> 100,8	< 0,83	> 1,17	< 1,17	> 1,68

Ces intervalles sont très larges, or en pratique, l'utilisation des mesures permettrait de distinguer les cas limites que l'œil ne peut différencier. Avec de tels écarts, il est peu probable que ces seuils le puissent. Cependant ces mesures peuvent constituer un suivi radiographique intéressant.

IV – Etude des mesures des radiographies obliques

1) Création des groupes

Ces analyses de taille des PA observées sur les radiographies de profil et les groupes qui en découlent, sont conservés pour les radiographies obliques, dans le but de rechercher une corrélation avec les mesures effectuées sur ces radiographies.

Pour des raisons de manque d'effectif des rassemblements ont pu être faits entre les groupes des « normaux » et des « intermédiaires » ou entre les « intermédiaires » et les « gros ».

2) Intérêt des mesures étudiées

(l), (L), (x) et (y) sont directement liées à la taille des PA. M3 correspond à la longueur du corps vertébral et varie en fonction du format du cheval, du zoom radiographique, ... La longueur du corps vertébral (M3) a été proposé dans Clinical radiology of the horse [9] comme longueur possible utilisable pour normaliser les mesures, dans l'étude du diamètre sagittal minimal du canal vertébral.

Il est donc intéressant de regarder si M3 est homogène entre les groupes ou non. Ce qui indiquerait des données utilisables brutes ou non. En effet les groupes comparés ne présentent pas des radiographies de mêmes zooms et des chevaux de mêmes gabarits.

(e1) et (e2) pourraient varier avec l'augmentation de taille des PA, suite à du remodelage osseux.

L'objectif est identique que pour les radiographies de profil.

3) Comparaison des mesures obtenues

Il s'avère que les zooms radiographiques sur les radiographies obliques étaient nettement et visiblement différents, d'où l'intérêt d'étudier le rapport des longueurs mesurées sur M3, la longueur du corps vertébral. Les longueurs (l), (L), (x) et (y) représentent la taille des processus articulaires, on peut donc s'attendre à ce qu'elles augmentent pour le groupe 3. A l'inverse la distance entre les processus articulaires (e1) et (e2) va probablement diminuer avec les remodelages et les élargissements des processus.

Des groupes avaient un faible effectif, les résultats sont donc à prendre avec beaucoup de précautions.

a. C3 – C4

Voici les tableaux récapitulatifs des résultats obtenus pour les mesures simples, les moyennes, les minimum et maximum des intervalles de référence obtenus sont donnés pour chaque groupe et longueur mesurée. Le premier tableau concerne les longueurs (l), (L), (x) et (y), le deuxième compile leur homologue rapporté à M3 et le dernier tableau donne les données des écarts entre les processus articulaires (e1) et (e2) et ces-derniers sur M3.

Toutes les mesures ont été prises en millimètre. Le groupe 2 ne contenant qu'un seul individu, il n'a pas été étudié par lui-même pour cette articulation.

Tableau 23 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C3-C4 sur les radiographies obliques.

Groupes	l			L			x C3			y C4		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	42,1	36,1	48,1	60,4	42,1	78,8	64,3	46,0	82,6	49,4	40,2	58,6
1+2	38,8	24,6	53,0	60,9	45,8	75,9	59,7	36,0	83,5	46,1	30,9	61,3
2+3	45,5	20,7	70,2	71,1	55,4	86,9	62,0	37,5	86,4	56,5	28,1	84,9
3	51,0	37,6	64,4	74,1	61,7	86,5	67,3	52,9	81,8	63,3	52,6	74,0

Analyse du tableau :

L'individu unique du groupe 2 présente des mesures plus petites que ceux du groupe 1, la moyenne du groupe 1+2 est donc plus faible que le groupe 1. Les valeurs suivent par ailleurs la tendance espérée.

Obtention de seuils :

Quelques valeurs peuvent être gardées. Ainsi si $l < 37,6\text{mm}$, $L < 61,7\text{mm}$, $x < 52,9\text{mm}$ et/ou $y < 52,6\text{mm}$, 95% des processus articulaires présenteront un élargissement faible ou absent.

De la même façon, si $l > 48,1\text{mm}$, $L > 78,8\text{mm}$, $x > 82,6\text{mm}$, $y > 58,6\text{mm}$, on a un élargissement des processus articulaires dans 95% des cas.

Analyse des résultats statistiques

Le test de Student a mis en évidence quelques différences significatives entre les moyennes des groupes.

La longueur du processus articulaire (L) :

Ainsi la longueur du processus articulaire (L) permet de différencier les groupes 1+2 et 3 ($p=0,05$).

La longueur du processus articulaire caudal (y) :

La longueur du processus articulaire (y) différencie les groupes 1 et 1+2 du 3 ($p=0,03$ et $0,02$).

Conclusion :

(y) semble être la mesure la plus discriminatrice pour cette articulation.

Tableau 24 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C3-C4, une fois normalisée par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.

Groupes	l/M3			L/M3			x C3/M3			y C4/M3		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	0,379	0,335	0,424	0,543	0,428	0,657	0,577	0,474	0,680	0,444	0,408	0,480
1+2	0,358	0,266	0,450	0,566	0,433	0,699	0,550	0,415	0,686	0,426	0,347	0,504
2+3	0,369	0,262	0,475	0,589	0,509	0,670	0,511	0,368	0,653	0,460	0,338	0,581
3	0,393	0,343	0,443	0,574	0,512	0,635	0,524	0,362	0,686	0,489	0,457	0,522

Analyse du tableau :

L'individu unique du groupe 2 possède des mesures normalisées par M3 toujours plus petites que ceux du groupe 1, la moyenne du groupe 1+2 est donc plus faible que le groupe 1.

En ce qui concerne la longueur (x), la moyenne du groupe 3 est inférieure aux groupes 1 et 1+2. Il est possible que lorsque les processus articulaires de l'articulation C3-C4 sont augmentés, C4 soit le plus élargi. Il est possible aussi que les radiographies obliques n'aient pas une oblique parfaite et donc augmente peut-être la longueur du processus articulaire caudal et diminue la longueur du crânial, d'où un (x) plus petit pour un (y) plus grand.

Obtention de seuils :

Quelques valeurs peuvent être gardées. Ainsi si l/M3 < 0,343, L/M3 < 0,512 et/ou y < 0,457, 95% des processus articulaires présenteront un élargissement faible ou absent.

De la même façon, si l/M3 > 0,424 et ou y/M3 > 0,480, on a un élargissement des processus articulaires dans 95% des cas.

Analyse des résultats statistiques

Le test de Student a mis en évidence quelques différences significatives entre les moyennes des groupes.

La longueur du processus articulaire caudal (y) /M3:

Ainsi la longueur du processus articulaire (y/M3) différencie les groupes 1 et 1+2 du 3 (p=0,03 et 0,04).

Tableau 25 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C3-C4, pour les écartements entre les processus articulaires, valeurs brutes et normalisées par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.

Groupes	e1			e2			e1/M3			e2/M3		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	12,2	9,6	14,9	7,0	4,4	9,6	0,111	0,067	0,155	0,063	0,036	0,090
1+2	11,9	9,2	14,5	5,8	0,7	10,9	0,111	0,075	0,147	0,053	0,008	0,098
2+3	13,7	8,6	18,8	4,8	-0,4	10,0	0,112	0,103	0,121	0,039	0,030	0,048
3	14,7	10,8	18,6	5,6	0,8	10,5	0,113	0,103	0,123	0,045	0,001	0,088

Analyse du tableau :

On pourrait s'attendre à ce que suite à l'augmentation de taille des processus articulaires, un rapprochement se fasse et donc que les longueurs (e1) et (e2) diminuent avec l'élargissement des processus. Les longueurs rapportées suivent la même tendance que les mesures brutes.

On remarque qu'effectivement (e2) diminue, mais (e1) augmente. Il se pourrait qu'un élargissement des processus articulaires rapprochent uniquement la partie caudale de l'articulation et qu'à l'inverse ouvrent la zone crâniale. Le remodelage a peut-être son rôle aussi.

Analyse des résultats statistiques

Le test de Student n'a pas mis en évidence de différences significatives entre les moyennes des groupes.

b. C4 – C5

Voici les tableaux récapitulatifs des résultats obtenus pour les mesures simples, les moyennes, les minimum et maximum des intervalles de référence obtenus sont donnés pour chaque groupe et longueur mesurée. Le premier tableau concerne les longueurs (l), (L), (x) et (y), le deuxième compile leur homologue rapporté à M3 et le dernier tableau donne les données des écarts entre les processus articulaires (e1) et (e2) et ces-derniers sur M3. Toutes les mesures ont été prises en millimètre.

Tableau 26 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C4-C5 sur les radiographies obliques.

Groupes	l			L			x C4			y C5		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	40,2	13,3	67,0	58,0	30,3	85,6	47,7	12,0	83,3	47,2	19,1	75,3
1+2	41,3	16,3	66,2	59,0	31,5	86,6	53,3	17,1	89,6	50,2	26,2	74,1
2	42,7	15,0	70,4	60,5	27,1	93,9	60,9	23,0	98,8	54,1	34,7	73,5
2+3	52,6	25,0	80,2	76,5	40,5	112,5	73,1	41,4	104,9	68,8	35,4	102,2
3	55,9	30,1	81,7	81,8	50,4	113,3	77,2	50,3	104,2	73,7	41,9	105,4

Analyse du tableau :

Les longueurs suivent la tendance croissante attendue avec l'élargissement des processus articulaires.

Obtention de seuils :

Quelques valeurs peuvent être gardées. Ainsi si l < 15mm, L < 27,1mm, x < 23mm et/ou y < 34,7mm, 95% des processus articulaires présenteront sont normaux.

De la même façon, si l > 67mm, L > 85,6mm, x > 83,3mm, y > 75,3mm, les processus articulaires sont augmentés dans 95% des cas.

Analyse des résultats statistiques

Le test de Student a mis en évidence quelques différences significatives entre les moyennes des groupes.

Largeur du processus articulaire (l):

La largeur du processus articulaire (l) permet de différencier le groupe 1+2 du 3 (p=0,04).

La longueur du processus articulaire (L) :

La longueur du processus articulaire (L) permet de différencier les groupes 1 et 1+2 du 3 (p=0,03 et 0,008)

La longueur du processus articulaire crânial (x) :

La longueur du processus articulaire crânial (x) différencie les groupes 1 et 1+2 du 3 (p=0,04 et 0,01) ainsi que le groupe 1 du 2+3 (p=0,05).

La longueur du processus articulaire caudal (y) :

La longueur du processus articulaire caudal (y) sépare les groupes 1 et 1+2 du 3, le 1 du 2+3 et le 2 du 3 (p=0,02 / 0,005 / 0,04 / 0,04).

La longueur du corps vertébral (M3) :

Une mesure est à prendre en compte pour cette articulation, il s'agit de M3 qui est significativement différente entre le groupe 1+2 et le 3 (p=0,01). Les mesures suivantes sont donc plus pertinentes que les précédentes.

Conclusion :

(y) semble être la mesure la plus discriminatrice pour cette articulation.

Tableau 27 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C4-C5, une fois normalisée par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.

Groupes	l/M3			L/M3			x C4/M3			y C5/M3		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	0,391	0,317	0,465	0,574	0,519	0,630	0,460	0,293	0,628	0,463	0,390	0,536
1+2	0,388	0,293	0,484	0,562	0,472	0,652	0,501	0,269	0,733	0,476	0,412	0,540
2	0,385	0,248	0,522	0,545	0,416	0,675	0,554	0,255	0,853	0,493	0,459	0,527
2+3	0,403	0,303	0,504	0,589	0,451	0,728	0,566	0,415	0,717	0,529	0,420	0,638
3	0,410	0,317	0,502	0,604	0,468	0,739	0,570	0,477	0,663	0,541	0,425	0,657

Analyse du tableau :

En ce qui concerne les longueurs (l/M3) et (L/M3), la moyenne du groupe 2 est inférieure au groupe 1. Le groupe 2 ne comprenant que 3 individus, il se pourrait que des radiographies non exactement obliques en soit la cause. Il se pourrait aussi que ce soit dû à une augmentation unilatérale de processus, ce qui entrainent une augmentation des longueurs (x) et (y) et non de (l) et (L) selon le côté touché. Cela expliquerait aussi que les longueurs (x/M3) et (y/M3) voient leurs moyennes suivre la tendance croissante.

Obtention de seuils :

Quelques valeurs peuvent être gardées. Ainsi si $y < 0,459$, 95% des processus articulaires ne présenteront pas d'anomalie de taille.

De la même façon, si $l/M3 > 0,465$, $L/M3 > 0,630$, $x/M3 > 0,628$ et ou $y/M3 > 0,536$, on a un élargissement des processus articulaires dans 95% des cas.

Analyse des résultats statistiques

Le test de Student a mis en évidence quelques différences significatives entre les moyennes des groupes.

La longueur du processus articulaire caudal (y) /M3:

La longueur du processus articulaire ($y/M3$) différencie les groupes 1 et 1+2 du 3 ($p=0,02$ et $0,01$). Elle permet aussi de séparer le groupe 2 du 3 ($p=0,08$) et le 1 du 2+3 ($p=0,03$).

Tableau 28 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C4-C5, pour les écartements entre les processus articulaires, valeurs brutes et normalisées par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.

Groupes	e1			e2			e1/M3			e2/M3		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	12,3	5,3	19,3	4,2	1,2	7,3	0,123	0,081	0,164	0,042	0,013	0,071
1+2	13,5	3,7	23,2	4,1	1,3	6,9	0,129	0,051	0,207	0,040	0,016	0,064
2	15,0	1,4	28,6	4,0	1,0	7,1	0,137	0,015	0,260	0,036	0,017	0,055
2+3	16,1	8,8	23,4	4,7	0,9	8,5	0,127	0,061	0,192	0,036	0,012	0,061
3	16,5	11,6	21,3	4,9	0,8	9,0	0,123	0,080	0,166	0,036	0,009	0,064

Analyse du tableau :

(e1) augmente confirmant la tendance de l'articulation précédente mais les moyennes de ($e1/M3$) semblent augmenter puis rediminuer au niveau initial. Se pourrait-il qu'un processus articulaire très élargi finisse quand même par diminuer l'écartement crânial ?

Il se peut aussi que des radiographies non parfaitement obliques est biaisé ce résultat.

(e2) voit ses moyennes diminuer puis augmenter mais celles de ($e2/M3$) diminuent et stagnent.

Analyse des résultats statistiques

Il semble cependant que ($e1/M3$) soient en réalité identique entre les groupes 1 et 3 ($p=0,98$) et ($e2/M3$) entre les groupes 2 et 3 ($p=0,98$).

$e1/M3$ et $e2/M3$ du fait peut-être de leur petite taille et de leurs larges marges d'erreur associées, ne semblent pas être différents selon la taille des PA.

c. C5 – C6

Voici les tableaux récapitulatifs des résultats obtenus pour les mesures simples, les moyennes, les minimum et maximum des intervalles de référence obtenus sont donnés pour chaque groupe et longueur mesurée. Le premier tableau concerne les longueurs (l), (L), (x) et (y), le deuxième compile leur homologue rapporté à M3 et le dernier tableau donne les données des écarts entre les processus articulaires (e1) et (e2) et ces-derniers sur M3. Toutes les mesures ont été prises en millimètre.

Tableau 29 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C5-C6 sur les radiographies obliques.

Groupes	l			L			x C4			y C5		
	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ	m	m - 2 σ	m + 2 σ
1	46,0	12,7	79,4	71,3	24,9	117,6	61,5	21,8	101,2	59,7	22,5	97,0
1+2	46,5	21,3	71,7	72,7	37,7	107,6	64,1	36,1	92,0	62,6	36,5	88,7
2	46,9	26,1	67,7	73,8	45,2	102,4	66,1	47,9	84,4	64,9	48,6	81,1
2+3	53,8	24,2	83,4	80,9	44,4	117,4	73,8	49,0	98,5	73,7	45,3	102,0
3	56,7	25,2	88,2	83,9	45,0	122,7	76,9	52,0	101,8	77,3	47,7	106,9

Analyse du tableau :

Les longueurs suivent la tendance croissante avec l'élargissement des processus articulaires attendue.

Obtention de seuils :

Quelques valeurs peuvent être gardées. Ainsi si $l < 26,1\text{mm}$, $L < 45,2\text{mm}$, $x < 47,9\text{mm}$ et/ou $y < 48,6\text{mm}$, 95% des processus articulaires présenteront sont normaux.

De la même façon, si $l > 79,4\text{mm}$, $L > 117,6\text{mm}$, $x > 101,2\text{mm}$, $y > 97\text{mm}$, les processus articulaires sont augmentés dans 95% des cas.

Analyse des résultats statistiques

Le test de Student a mis en évidence quelques différences significatives entre les moyennes des groupes.

La longueur du processus articulaire crânial (x) :

(x) différencie le groupe 1+2 du 3 ($p=0,04$).

La longueur du processus articulaire caudal (y) :

(y) distingue le groupe 1+2 du 3 ($p=0,03$) et le groupe 2 du 3 ($p=0,04$).

La longueur du corps vertébral (M3) :

Une mesure est à prendre en compte pour cette articulation, il s'agit de M3 qui est significativement identique entre les groupes 2 et 3 ($p=0,99$). Les mesures précédentes entre les groupes 2 et 3 paraissent donc utilisables.

Conclusion :

(y) semble être la mesure la plus discriminatrice pour cette articulation.

Comparaison avec la littérature :

Lautenschläger et al., 2010 [39] obtiennent des mesures de (x) et (y) pour cette articulation sur chevaux ne présentant pas de signes cliniques que ce soit à pied ou monté. Ils ont aussi comparé droite et gauche. A gauche sont notés les résultats des PA de gauche, à droite ceux des PA de droite:

- $x = 70,1 \pm 5,1\text{mm}$
- $y = 71,5 \pm 3,1\text{mm}$
- $x = 69,8 \pm 5,9\text{mm}$
- $y = 70,6 \pm 6,4\text{mm}$

Les mesures obtenues par Lautenschläger semblent être une moyenne entre les groupes étudiés. Les résultats sont donc parfaitement cohérents, puisque les populations étudiées sont différentes. En effet Lautenschläger n'associe pas ces mesures à des PA normaux. Les chevaux étudiés ont en moyenne 10 ans et sont tous des chevaux de sport. Ce qui signifie que probablement il existe une augmentation des PA physiologique avec l'âge dans son panel. Cela expliquerait ces valeurs intermédiaires.

Tableau 30 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C5-C6, une fois normalisée par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.

Groupes	l/M3			L/M3			x C4/M3			y C5/M3		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	0,418	0,353	0,483	0,652	0,614	0,691	0,566	0,436	0,696	0,549	0,502	0,596
1+2	0,391	0,292	0,391	0,613	0,510	0,715	0,546	0,391	0,701	0,533	0,403	0,663
2	0,369	0,264	0,475	0,581	0,488	0,675	0,530	0,350	0,709	0,520	0,346	0,694
2+3	0,415	0,274	0,557	0,628	0,467	0,790	0,578	0,448	0,707	0,577	0,418	0,736
3	0,435	0,295	0,574	0,648	0,478	0,818	0,598	0,516	0,679	0,601	0,468	0,734

Analyse du tableau :

Le même constat que l'articulation précédente et fait ; la moyenne du groupe 2 est inférieure au groupe 1, cette fois pour toutes les longueurs. Une hypothèse est un effet élargi des processus articulaires sans élargissement réel associé en cas de remodelage, et donc certains individus considérés groupe 2 au lieu d'être groupe 1.

Obtention de seuils :

Si $l/M3 > 0,483$, $L/M3 > 0,691$, $x/M3 > 0,696$ et ou $y/M3 > 0,596$, on a un élargissement des processus articulaires dans 95% des cas dans notre étude.

Analyse des résultats statistiques

Le test de Student a mis en évidence quelques différences significatives entre les moyennes des groupes.

La longueur du processus articulaire (L)/M3 :

(L/M3) sépare le groupe 1 du groupe 2 (p=0,02).

La longueur du processus articulaire caudal (y) /M3:

(y/M3) différencie les groupes 1 et 1+2 du 3 (p=0,04 et 0,03).

Tableau 31 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C5-C6, pour les écartements entre les processus articulaires, valeurs brutes et normalisées par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.

Groupes	e1			e2			e1/M3			e2/M3		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	14,3	5,8	22,8	4,1	1,7	6,5	0,135	0,062	0,208	0,041	0,007	0,074
1+2	15,2	7,5	22,8	10,1	-22,6	42,7	0,130	0,067	0,194	0,084	-0,175	0,343
2	15,8	8,4	23,3	14,8	-28,5	58,2	0,127	0,064	0,190	0,118	-0,229	0,465
2+3	14,6	7,9	21,3	7,3	-16,6	31,2	0,116	0,059	0,173	0,058	-0,133	0,249
3	14,0	7,6	20,4	4,2	2,2	6,2	0,111	0,057	0,165	0,033	0,018	0,049

Analyse du tableau :

(e1), (e2) et (e2/M3) ne semblent pas suivre de logiques particulières. (e1/M3) voit ses moyennes diminuer mais en regard des autres mesures, ce résultat ne paraît pas significatif pour cette articulation.

Analyse des résultats statistiques

Le test de Student n'a pas mis en évidence de différences significatives entre les moyennes des groupes.

Comparaison avec la littérature :

Lautenschläger et al., 2010 [39] obtiennent des mesures de (e1) et (e2) pour cette articulation sur chevaux ne présentant pas de signes cliniques que ce soit à pied ou monté. Ils n'ont mesuré que ceux de gauche.

- e1 = 13,3 ± 2,4mm
- e2 = 5,4 ± 1,9mm

Les mesures obtenues entre ces deux études sont cohérentes. En regard de la petitesse des mesures, les variations sont probablement importantes entre chaque manipulateur.

d. C6 – C7

Voici les tableaux récapitulatifs des résultats obtenus pour les mesures simples, les moyennes, les minimum et maximum des intervalles de référence obtenus sont donnés pour chaque groupe et longueur mesurée. Le premier tableau concerne les longueurs (l), (L), (x) et (y), le deuxième compile leur homologue rapporté à M3 et le dernier tableau donne les données des écarts entre les processus articulaires (e1) et (e2) et ces-derniers sur M3. Toutes les mesures ont été prises en millimètre.

Tableau 32 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C6-C7 sur les radiographies obliques.

Groupes	I			L			x C4			y C5		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	65,4	-9,4	140,2	80,6	19,0	142,1	79,7	15,9	143,5	82,4	19,1	145,6
1+2	59,7	7,2	112,3	79,8	29,3	130,3	72,9	23,5	122,3	75,8	27,9	123,7
2	55,2	22,2	88,2	79,2	31,6	126,8	67,5	28,7	106,3	70,5	34,8	106,3
2+3	61,0	33,5	88,5	81,7	47,0	116,4	72,9	45,5	100,2	75,1	46,4	103,7
3	63,4	38,6	88,3	82,8	52,5	113,0	75,1	53,5	96,7	77,0	51,0	103,0

Analyse du tableau :

Il semble que plus les vertèbres cervicales sont descendues, moins les valeurs obtenues n'ont de sens. Il est possible que l'axe d'augmentation du processus articulaire ne soit pas le même en fonction des articulations, cela expliquerait pourquoi les résultats observés pour cette articulation et la précédente ne semblent pas suivre de logique.

Analyse des résultats statistiques

Le test de Student n'a pas mis en évidence de différences significatives entre les moyennes des groupes.

Comparaison avec la littérature :

Lautenschläger et al., 2010 [39] obtiennent des mesures de (x) et (y) pour cette articulation sur chevaux ne présentant pas de signes cliniques que ce soit à pied ou monté. Ils ont aussi comparé droite et gauche. A gauche sont notés les résultats des PA de gauche, à droite ceux des PA de droite :

- x = 69 ± 6,3mm
- y = 74,3 ± 5,5mm
- x = 67,9 ± 6,6mm
- y = 72,6 ± 6mm

Les résultats sont moins en phase que pour l'articulation précédente. Il est vrai que les résultats obtenus ici sont déjà peu cohérents. Cependant les mesures restent proches entre ces deux études. Il existe peut-être un biais radiographique au niveau de cette articulation. Par exemple, des radiographies moins parfaitement obliques peuvent engendrer des zooms radiographiques différents.

Tableau 33 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C6-C7, une fois normalisée par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.

Groupes	I/M3			L/M3			x C4/M3			y C5/M3		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	0,656	0,248	1,063	0,836	0,598	1,073	0,823	0,569	1,078	0,853	0,619	1,086
1+2	0,588	0,286	0,588	0,797	0,559	1,035	0,731	0,455	1,007	0,763	0,489	1,038
2	0,534	0,377	0,690	0,766	0,520	1,011	0,657	0,449	0,865	0,692	0,464	0,920
2+3	0,551	0,342	0,759	0,734	0,537	0,930	0,657	0,507	0,806	0,681	0,463	0,898
3	0,558	0,326	0,789	0,720	0,543	0,898	0,656	0,527	0,786	0,676	0,454	0,899

Analyse du tableau :

Les conclusions sont identiques au tableau précédent. Le constat est un peu différent tout de même, les longueurs semblent diminuer avec l'augmentation des processus articulaires.

Analyse des résultats statistiques

La longueur du processus articulaire caudal (y) /M3:

Le test de Student rapporte une p-value de 0,05 entre les groupes 1 et 3 et les groupes 1 et 2+3 pour la longueur (y/M3). Ce qui indiquerait que la diminution observée de (y/M3) serait significative.

La longueur du processus articulaire crânial (x)/M3 :

Par contre, (x/M3) entre les groupes 2 et 3 est significativement identique (p=0,99).

Conclusion :

Si l'axe d'élargissement est effectivement différent, serait-il possible qu'à l'inverse si le processus articulaire s'élargit selon un axe, il s'amincisse dans son axe perpendiculaire ?

Il est aussi possible que pour les vertèbres caudales, les radiographies obliques soient plus difficiles à obtenir et donc de moins bonne qualité.

Tableau 34 - Tableau récapitulatif des données obtenues pour C6-C7, pour les écartements entre les processus articulaires, valeurs brutes et normalisées par la longueur du corps vertébral, sur les radiographies obliques.

Groupes	e1			e2			e1/M3			e2/M3		
	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ	m	m - 2σ	m + 2σ
1	14,4	1,0	27,8	5,0	2,0	7,9	0,167	-0,011	0,344	0,053	0,029	0,076
1+2	14,0	5,1	22,9	5,5	1,6	9,5	0,152	0,023	0,281	0,056	0,026	0,086
2	13,6	9,0	18,3	6,0	1,3	10,7	0,140	0,051	0,229	0,058	0,022	0,095
2+3	15,1	8,8	21,5	5,7	1,9	9,5	0,139	0,073	0,205	0,053	0,015	0,090
3	15,7	9,0	22,5	5,6	2,0	9,2	0,138	0,080	0,197	0,050	0,012	0,089

Analyse du tableau :

Le constat est le même que pour le tableau précédent.

Analyse des résultats statistiques

Il semble de plus que les groupes 1 et 2+3 aient la même (e2/M3) (p=0,99).

Comparaison avec la littérature :

Lautenschläger et al., 2010 [39] obtiennent des mesures de (e1) et (e2) pour cette articulation sur chevaux ne présentant pas de signes cliniques que ce soit à pied ou monté. Ils n'ont mesuré que ceux de gauche.

- e1 = 16,4 ± 3,1mm
- e2 = 5,1 ± 2mm

Les mesures obtenues entre ces deux études sont cohérentes.

4) Conclusion

(y) est la longueur la plus pertinente à mesurer pour déterminer l'élargissement d'un processus articulaire. Cependant comme pour les mesures sur radiographies de profil, une seule mesure est insuffisante et la clinique est primordiale.

La sensibilité des mesures semblent diminuer pour les vertèbres caudales, ce qui n'est pas le cas sur les radiographies de profil.

La précision de l'angle d'oblique est aussi très importante et influe sur les longueurs mesurées. Ce dernier point pourrait peut-être expliquer les résultats sur les vertèbres cervicales caudales.

V - Evolution de tailles des processus articulaires

1) Création des sous-groupes et analyse

Des sous-groupes ont été nécessaires pour tenter d'établir des pourcentages d'augmentation de processus articulaires par rapport aux processus articulaires précédents. Les chevaux ont été répartis par paires de processus articulaires. Ainsi les sous-groupes sont nommés par deux lettres. La première lettre correspond aux processus articulaires crâniens, la deuxième aux suivants. Les lettres peuvent être N, I ou G, pour PA normaux, intermédiaires ou gros. N correspond aux PA normaux, I aux PA intermédiaires et G aux PA gros.

Par exemple, on étudie la paire de processus articulaires des articulations C2-C3 et C3-C4, soit les mesures des processus articulaires crâniens de C3 et les crâniens de C4 et la taille des PA des articulations C2-C3 et C3-C4.

Si les PA de C2-C3 sont normaux et les PA de C3-C4 sont gros, le cheval appartient au sous-groupe des NG. Ainsi, les sous-groupes NN, NI, NG, IN, II, IG, GN, GI et GG existent.

2) Analyse réalisée

Des pourcentages d'élargissement ont ainsi été calculés entre les PA des paires d'articulation. C'est-à-dire, que les mesures de M1 et M2 ainsi que M1/M4 et M2/M4, des PA de l'articulation caudale sont divisées par les mesures des PA de l'articulation crâniale. On obtient ainsi un pourcentage d'augmentation des PA caudaux en fonction des PA crâniens.

Ce qui permettrait de donner des pourcentages d'augmentation nécessaires pour que les PA caudaux soient considérés augmentés ou normaux.

Le but étant d'obtenir un pourcentage d'élargissement basé uniquement sur des mesures faites sur le même individu pour éviter certains biais récurrents de taille, format, âge des chevaux.

Des probabilités ont aussi été calculées pour chaque PA en fonction du PA précédent et du suivant. Ainsi sont obtenues les probabilités que des PA soient augmentés si le précédent est sain ou si le suivant est augmenté.

3) Résultats des pourcentages d'augmentation

On s'attend à ce que les pourcentages d'augmentation augmentent entre les groupes NN, NI et NG ainsi que IN, II et IG et pour GN, GI et GG. Les colonnes en orange indiquent un

seul individu dans le sous-groupe concerné. M1 et M2 sont étudiés et pour les biais surtout de zooms, M1/M4 et M2/M4 aussi.

Voici les résultats pour chaque paire d'articulations, les paires sont nommées par les deux vertèbres caudales.

Tableau 35 - Tableau récapitulatif des pourcentages d'augmentation de taille des PA entre les PA de C2-C3 et de C3-C4.

C3-C4	NN	NI	NG	IN	II	IG	GN	GI	GG
M1	102%	105%	102%	/	92%	102%	100%	/	99%
M2	114%	120%	120%	/	114%	118%	130%	/	121%
M1/M4	103%	106%	107%	/	96%	107%	107%	/	94%
M2/M4	114%	120%	125%	/	119%	124%	139%	/	114%

Les pourcentages suivent les attentes sauf pour M1 entre NN et NG qui sont identiques (p=0,99). NI et NG sont aussi identiques pour M2 (p=0,99). GN ne contenant qu'un seul individu, les résultats ne sont pas interprétables.

M2/M4 sépare NN et NI (p=0,04).

Tableau 36 - Tableau récapitulatif des pourcentages d'augmentation de taille des PA entre les PA de C3-C4 et de C4-C5.

C4-C5	NN	NI	NG	IN	II	IG	GN	GI	GG
M1	109%	110%	120%	128%	119%	107%	/	/	115%
M2	105%	117%	120%	103%	115%	119%	/	/	108%
M1/M4	107%	102%	116%	122%	108%	112%	/	/	109%
M2/M4	103%	112%	115%	98%	105%	126%	/	/	102%

On observe une p-value de 0,002 entre les sous-groupes NN et NU et de 0,003 entre NN et NG pour M2 (0,02 et 0,03 pour M2/M4). Elle de 0,03 entre NN et NG pour M1, de 0,04 pour M1/M4 entre NI et NG et de 0,03 entre II et IG pour M2/M4.

Obtenir un pourcentage d'augmentation minimum pour dire que le PA suivant sera augmenté ne semble pas possible. Plusieurs lignes ne donnent pas le résultat escompté.

Tableau 37 - Tableau récapitulatif des pourcentages d'augmentation de taille des PA entre les PA de C4-C5 et de C5-C6.

C5-C6	NN	NI	NG	IN	II	IG	GN	GI	GG
M1	109%	120%	124%	/	104%	122%	99%	152%	114%
M2	109%	104%	117%	/	104%	113%	98%	119%	109%
M1/M4	102%	110%	114%	/	102%	110%	102%	137%	108%
M2/M4	102%	95%	108%	/	101%	102%	101%	107%	103%

Les p-values obtenues pour cette paire sont :

- 0,03 entre les sous-groupes NN et NG pour M1 et 0,006 pour M1/M4
- 0,04 entre NI et NG pour M2
- 0,01 entre II et IG pour M1
- 0,96 entre II et IG pour M2

Le constat est le même que précédemment. Il se peut que le manque d'effectif soit la cause de ces tendances non suivies.

Tableau 38 - Tableau récapitulatif des pourcentages d'augmentation de taille des PA entre les PA de C5-C6 et de C6-C7.

C6-C7	NN	NI	NG	IN	II	IG	GN	GI	GG
M1	124%	120%	117%	128%	126%	147%	127%	138%	123%
M2	104%	95%	110%	101%	109%	106%	104%	104%	103%
M1/M4	115%	112%	113%	121%	116%	133%	113%	129%	118%
M2/M4	96%	89%	106%	96%	101%	96%	92%	100%	99%

Les chiffres donnés par ce tableau sont anarchiques. GN et GI sont même considérés identiques pour M2 (p=0,99).

4) Conclusion

Les pourcentages d'augmentation des PA semblent donner des résultats trop aléatoires pour être utilisés en pratique. Peut-être qu'un effectif plus important pourrait permettre d'obtenir des résultats plus adéquats. Cependant en regard des variations individuelles, il n'est pas sûr, même avec un effectif plus important, d'obtenir des seuils utilisables.

En général les augmentations les plus importantes entre des PA sains et des augmentés tournent autour de 120%, tandis que les PA restant peu augmentés voire sains restent autour de 100-110%.

Il est plus simple dans ce cas-là, d'étudier les chances que les PA soient d'un type en fonction des PA précédents ou suivants. Ce qui a été fait dans le paragraphe suivant.

5) Probabilités d'augmentation des PA

Voici un tableau récapitulant les probabilités d'augmentation des PA obtenues dans le groupe étudié.

Tableau 39 - Probabilités d'augmentation des PA en fonction des PA suivants et précédents.

Si les précédents sont	les PA	Probabilité que les PA soient	Si les suivants sont				
			C2-C3	C3-C4	C4-C5	C5-C6	C6-C7
normaux	normaux	/	80%	38,5%	56,3%	60%	
	intermédiaires	/	13%	38,5%	18,8%	30%	
	gros	/	7%	23%	25%	10%	
Intermédiaires	normaux	/	0%	12,5%	0%	30,8%	
	intermédiaires	/	50%	62,5%	45%	61,5%	
	gros	/	50%	25%	55%	7,7%	
Gros	normaux	/	25%	0%	5,3%	12,5%	
	intermédiaires	/	0%	0%	5,3%	9,4%	
	gros	/	75%	100%	89,5%	78,1%	
Si les suivants sont							
normaux	normaux	97%	93,8%	90%	42,9%	/	
	intermédiaires	0%	6,3%	0%	28,6%	/	
	gros	3%	0%	10%	28,6%	/	
Intermédiaires	normaux	75%	75%	23,1%	21,4%	/	
	intermédiaires	25%	25%	69,2%	57,1%	/	
	gros	0%	0%	7,7%	21,4%	/	
Gros	normaux	37,5%	47,4%	12,5%	3,7%	/	
	intermédiaires	25%	10,5%	34,4%	3,7%	/	
	gros	37,5%	42,1%	53,1%	92,6%	/	

Ce tableau montre les chances que les PA soient du groupe 1, 2 ou 3 en fonction des PA suivants et précédents.

C'est-à-dire par exemple, que si C2-C3 est normale, C3-C4 a 80% de chance d'être normale. De la même façon mais inversement, si C5-C6 est augmentée, C4-C5 a 53,1% de chance d'être augmentée.

Ces chiffres montrent qu'en cas d'une augmentation de taille des PA d'une articulation, il y a beaucoup de chance que ceux d'après soient augmentés. Pour les articulations précédentes, il semble qu'il y ait autant de chance que les PA soient augmentés ou normaux jusqu'à C3-C4, par la suite les PA semblent enclins à augmenter.

Ces résultats peuvent être utilisés en pratique. En effet en cas de doute sur un élargissement, les PA précédents et suivants permettent de donner un pourcentage de chance que ce cheval ait les PA étudiés élargis. Il faut bien entendu que l'animal considéré vienne pour baisse de performance sans signe flagrant d'atteinte cervicale.

CONCLUSION

Les principales anomalies observées sont dues à de l'arthrose cervicale, il s'agit surtout d'atteintes des processus articulaires par élargissement et remodelage. Quelques traumatismes et malformations ont aussi pu être détectés. L'arthrose des vertèbres caudales est omniprésente dans le panel étudié avec plus de 95% des chevaux touchés.

Toutes les radiographies de l'étude ont été analysées par une seule et même personne. Malgré cela, les différences pour les mesures peuvent être variables de 5 à 10% selon Scrivani [64] et les biais importants d'espèces, de tailles, de zoom, d'orientation radiographique sont à prendre en compte dans les analyses des mesures brutes obtenues. Un simple rapport sur une mesure permet de les réduire. Malgré cela, les variations individuelles sont très importantes et les seuils obtenus ne sont probablement pas ou peu utilisables, sans intérêt supplémentaire par rapport à l'œil nu. Un manque d'effectif dans certains groupes peut expliquer aussi des absences de résultats.

M2 et (y) semblent être les mesures les plus fiables pour étudier la taille des PA. Ces paramètres doivent bien sûr être associés à une analyse radiographique complète et une étude clinique poussée. La mesure du diamètre sagittal minimal est la mesure à mettre à part. L'œil n'est en général pas suffisant pour observer une baisse pathologique de ce diamètre dans des cas limites.

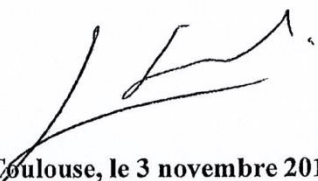
L'étude des augmentations des processus articulaires n'a pas donné de résultats probants. Cependant l'étude épidémiologique nous a fourni une table de probabilités d'augmentation des PA en fonction des PA précédents et suivants.

Il serait aussi intéressant de comparer les résultats obtenus avec un panel de chevaux sains et un panel avec des signes cliniques avérés d'atteinte cervicale. Une étude de la population étudiée pourrait aussi être menée pour essayer de comprendre certaines différences entre les groupes voire avec la littérature.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

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

Je soussigné, **Gabriel CUEVAS RAMOS**, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Hélène FAUP-BOULZIM** intitulée «**Les affections cervicales radiographiques du cheval de sport sur 56 cas cliniques**» et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

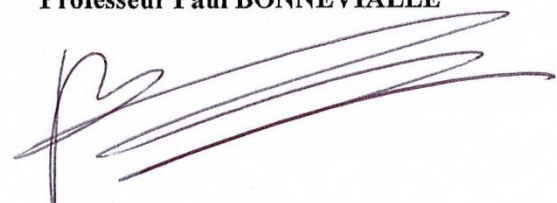


Fait à Toulouse, le 3 novembre 2017
Docteur **Gabriel CUEVAS RAMOS**
Maître de Conférences
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :
La Directrice de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Isabelle CHMITELIN

Professeur **Paul BONNEVIALLE**
RPPS 10003857942
Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
Hôpital Pierre-Paul Riquet
Place du Docteur Baylac - TSA 40031
31059 TOULOUSE Cedex 9

Vu :
Le Président du jury :
Professeur **Paul BONNEVIALLE**



Mlle **Hélène FAUP-BOULZIM**
a été admis(e) sur concours en : 2012
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 23/06/2016
a validé son année d'approfondissement le : 13/07/2017
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.



Vu et autorisation de l'impression :
Président de l'Université
Paul Sabatier
Monsieur **Jean-Pierre VINEL**

Le Président de l'Université Paul Sabatier
par délégation,
La Vice-Présidente de la CFVU



Régine **ANDRE-OBRECHT**

BIBLIOGRAPHIE

1. Adams, Stashak (2011) Adams and Starshak's Lameness in Horses, 6ème édition
2. Anderson KL (2015) Normal Musculoskeletal Radiographic Anatomy (emphasis on equine)
3. Back W, Clayton H (2013) Equine locomotion, 2nde édition
4. Barone R (1986) Anatomie comparée des mammifères domestiques.
5. Boulocher C, Sawaya S (2008) Anatomie fonctionnelle du rachis cervical du cheval. Prat Vét Equine 40:
6. Brunot J-N (1824) Etudes anatomiques du cheval
7. Budras K-D, Sack WO, Röck S (2001) Anatomy of the Horse Third Edition
8. Buergelt C, Del Piero F (2013) Color Atlas of Equine Pathology
9. Butler JA, Colles CM, Dyson SJ, Kold SE, Poulos PW (2017) Clinical Radiology of the Horse 4th Edition
10. Caspar GL, Dhand NK, McGreevy PD (2015) Human Preferences for Conformation Attributes and Head-And-Neck Positions in Horses. PLoS ONE 10: . doi: 10.1371/journal.pone.0131880
11. Cauvin E (1997) Assessment of back pain in horses. Equine Pract November/December:522–533
12. Clinique de Grosbois (2015) Qu'est ce que l'ostéochondrose ou OCD ? <http://www.cliniqueveterinairegrosbois.fr/quest-ce-que-losteochondrose-ou-ocd/>. Accessed 11 Aug 2017
13. Couroucé-Malblanc A (2010) Maladie des chevaux
14. Dabareiner RM, Cohen ND, Carter GK, Nunn S, Moyer W (2005) Lameness and poor performance in horses used for team roping: 118 cases (2000–2003). J Am Vet Med Assoc 226:1694–1699
15. Denoix J-M (2016) Cours : Affections ostéo-articulaires juvéniles
16. Deretz S Ostéopathie et bien-être animal | Cheval en mouvement. In: Ostéopathie Bien-Être Anim. Accueil. <https://www.bien-etre-cheval.com/s-f-cheval-au-travail>. Accessed 20 Mar 2017
17. DeRouen A, Spriet M, Aleman M (2016) Prevalence of Anatomical Variation of the Sixth Cervical Vertebra and Association with Vertebral Canal Stenosis and Articular Process Osteoarthritis in the Horse. Vet Radiol Ultrasound 57:253–258 . doi: 10.1111/vru.12350

18. Down SS, Henson FMD (2009) Radiographic retrospective study of the caudal cervical articular process joints in the horse. *Equine Vet J* 41:518–524 . doi: 10.2746/042516409X391015
19. Dyson SJ (2011) Lesions of the Equine Neck Resulting in Lameness or Poor Performance. *Vet Clin North Am Equine Pract* 27:417–437 . doi: 10.1016/j.cveq.2011.08.005
20. Farrow CS (2005) *Veterinary Diagnostic Imaging. The Horse*
21. Fraipont A, Van Erck E, Ramery E, Richard E, Denoix J-M, Lekeux P, Art T (2011) Subclinical diseases underlying poor performance in endurance horses: diagnostic methods and predictive tests. *Vet Rec* 169:154–154 . doi: 10.1136/vr.d4142
22. Franchet d’Espèrey P Les oscillations du garrot, charnière essentielle. <http://equitation-francaise-baucher.fr/les-oscillations-du-garrot-charniere-essentielle>. Accessed 20 Mar 2017
23. Gather C, Weinburger T, Nolting B (2000) Halswirbelfraktur bei einem Pferd – Fallbericht. *Pferdeheilkunde* 16:487–494
24. Geor RJ, Coenen M, Harris P (2013) *Equine Applied and Clinical Nutrition E-Book: Health, Welfare and Performance*. Elsevier Health Sciences
25. Glass K, Watts AE (2017) Septic Arthritis, Physitis, and Osteomyelitis in Foals. *Vet Clin North Am Equine Pract* 33:299–314 . doi: 10.1016/j.cveq.2017.03.002
26. Griffin RL, Bennett SD, Brandt C, McAnly J (2007) Value of ventrodorsal radiographic views for diagnosis of transverse atlanto-occipital joint luxation in three American Saddlebred neonates. *Equine Vet Educ* 19:452–456 . doi: 10.2746/095777307X236329
27. Gutiérrez-Crespo B, Kircher PR, Carrera I (2014) 3 TESLA MAGNETIC RESONANCE IMAGING OF THE OCCIPITOATLANTOAXIAL REGION IN THE NORMAL HORSE: Assessment of the occipitoatlantoaxial region with 3T MRI in the normal horse. *Vet Radiol Ultrasound* 55:278–285 . doi: 10.1111/vru.12121
28. Gygax D, Fürst A, Picek S, Kummer M (2011) Internal Fixation of a Fractured Axis in an Adult Horse: Internal Fixation of a Fractured Axis in an Adult Horse. *Vet Surg* 40:636–640 . doi: 10.1111/j.1532-950X.2011.00842.x
29. Hahn CN, Handel I, Green SL, Bronsvort MB, Mayhew IG (2008) ASSESSMENT OF THE UTILITY OF USING INTRA- AND INTERVERTEBRAL MINIMUM SAGITTAL DIAMETER RATIOS IN THE DIAGNOSIS OF CERVICAL VERTEBRAL MALFORMATION IN HORSES: Cervical vertebral malformation intervertebral sagittal ratios. *Vet Radiol Ultrasound* 49:1–6 . doi: 10.1111/j.1740-8261.2007.00308.x
30. Hall M, Pollock P, Russell T (2012) Surgical treatment of septic physitis in 17 foals. *Aust Vet J* 90:479–484 . doi: 10.1111/j.1751-0813.2012.01000.x

31. Hett AR, Busato A, Ueltschi G (2006) Radiologische Messungen an der arthrotisch veränderten Halswirbelsäule des Pferdes – eine retrospektive, statistische Studie. *Pferdeheilkunde* 241–249
32. Hudson NPH, Mayhew IG (2005) Radiographic and myelographic assessment of the equine cervical vertebral column and spinal cord. *Equine Vet Educ* 17:34–38
33. J. Dik K, Gunsser I (1991) *Atlas of Diagnostic Radiology of the Horse, Part 3: Diseases of the Head, Neck and Thorax*
34. Johnson AL (2017) *Cervical Radiographs: A Neurologist's Perspective*
35. Kienapfel K (2015) The effect of three different head-neck positions on the average EMG activity of three important neck muscles in the horse. *J Anim Physiol Anim Nutr* 99:132–138 . doi: 10.1111/jpn.12210
36. Kobluk C, Gross G (1996) Exercise intolerance and poor performance in western performance and sprint horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 12
37. Kristoffersen M, Puchalski S, Skog S, Lindegaard C (2014) Cervical computed tomography (CT) and CT myélography in live horses: 16 cases
38. Launois T, Perrin R, Denoix J-M, Defline C (2012) *Guide pratique d'orthopédie et de chirurgie équine*
39. Lautenschläger I, Baumann I, Martens I, Schulze M, Rohn K, Stadler P (2010) Radiologische Messungen an der Halswirbelsäule des Warmblutpferdes. *Pferdeheilkunde* 122–129
40. Lischer CJ, Withers JM, Parkin T (2010) Accuracy of radiographic measurements of the Cervical Articular Process Joints of the horse. *Pferdeheilkunde* 553–558
41. Lopez MJ, Nordberg C, Trostle S (1997) Fracture of the 7th cervical and 1st thoracic vertebrae presenting as radial nerve paralysis in a horse. *Can Vet J* 38:112
42. Mair T, Love S, Schumacher J, Smith RKW, Frazer G (2013) *Equine Medicine, Surgery and Reproduction*
43. Martin Jr BB, Reef VB, Parente EJ, Sage AD (2000) Causes of poor performance of horses during training, racing, or showing: 348 cases (1992–1996). *J Am Vet Med Assoc* 216:554–558
44. Martinelli MJ, Rantanen N (2002) The role of select imaging studies in the lameness examination. In: *Proceedings of the 48th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners.* pp 4–8
45. Mayhew IG, Donawick WJ, Green SL, Galligan DT, Stanley EK, Osborne J (1993) Diagnosis and prediction of cervical vertebral malformation in Thoroughbred foals based on semi-quantitative radiographic indicators. *Equine Vet J* 25:435–440 . doi: 10.1111/j.2042-3306.1993.tb02986.x

46. McConnico RS, Rashmir AM, Douglas JP (1989) What is your diagnosis? Fractures of the sixth cervical vertebra in a Quarter Horse colt. *J Am Vet Med Assoc* 194:1477–1478
47. McCoy DJ, Shires PK, Beadle R (1984) Ventral approach for stabilization of atlantoaxial subluxation secondary to odontoid fracture in a foal. *J Am Vet Med Assoc* 185:545–549
48. Melotte S (2011) LE CHEVAL AU TRAVAIL : Partie 1 : le dos. <http://www.trob.be/Lesarticles/tabid/445/articleType/ArticleView/articleId/2341/LE-CHEVAL-AU-TRAVAIL-Partie-1-le-dos.aspx>. Accessed 20 Mar 2017
49. Nottingham Vet School Radiographie cervicale haute équine. https://farm7.static.flickr.com/6036/6351841394_3341829e99_b.jpg. Accessed 24 Mar 2017
50. Papageorges M, Gavin PR, Sande RD, Barbee DD, Grant BD (1987) Radiographic and Myelographic Examination of the Cervical Vertebral Column in 306 Ataxic Horses. *Vet Radiol* 28:53–59 . doi: 10.1111/j.1740-8261.1987.tb01725.x
51. Peat FJ, Kawcak CE (2015) Musculoskeletal Pathology. *Vet Clin North Am Equine Pract* 31:407–424 . doi: 10.1016/j.cveq.2015.04.003
52. Pilliner S, Elmhurst S, Davies Z (2002) *The Horse in Motion: The Anatomy and Physiology of Equine Locomotion*
53. Prange T, Derksen FJ, Stick JA, Garcia-Pereira FL (2011) Endoscopic anatomy of the cervical vertebral canal in the horse: A cadaver study. *Equine Vet J* 43:317–323 . doi: 10.1111/j.2042-3306.2010.00170.x
54. Pujol B, Mathon D (2003) Le Wobbler Syndrome chez le cheval. Spondylomyélopathie cervicale ou «Mal de chien» Etude bibliographique. *Rev Méd Vét* 154:211–224
55. Raffaelli M, Unité d’anatomie de l’ENVA (2011) Ostéologie comparée des carnivores domestiques, des équidés et des bovins.
56. Robinson PA, Currall JHS (1981) Surgical repair of a cervical fracture/dislocation in a mature horse. *N Z Vet J* 29:28–28 . doi: 10.1080/00480169.1981.34786
57. Rombach N, Stubbs NC, Clayton HM (2014) Gross anatomy of the deep perivertebral musculature in horses. *Am J Vet Res* 75:433–440
58. Rosenbruch M, Denecke R, Hertsch B (1982) [Fracture of the 6th cervical vertebrae in a stallion]. *DTW Dtsch Tierarztl Wochenschr* 89:302–303
59. Rosenstein D, Schott II H, Stickle R (2000) Imaging diagnosis - Occipitoatlantoaxial malformation in a miniature horse foal. *Vet Radiol Ultrasound* 218–219
60. Ross MW, Dyson SJ (2011) *Diagnosis and management of lameness in the horse*, 2nd ed. Elsevier/Saunders, St. Louis, Mo

61. Royal School of Veterinary Studies T university of E (2005) Cervical Spine. <http://www.3d-it.vet.ed.ac.uk/xrayhandbook/webpages/other/Cervical%20spine/Cervical%20spine.html>. Accessed 23 Mar 2017
62. Santinelli I, Beccati F, Arcelli R, Pepe M (2016) Anatomical variation of the spinous and transverse processes in the caudal cervical vertebrae and the first thoracic vertebra in horses. *Equine Vet J* 48:45–49 . doi: 10.1111/evj.12397
63. Scheffer CJ, Blaauw G, Dik KJ, Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM (2001) [Ataxia and pruritus in a pony due to a cervical vertebral fracture]. *Tijdschr Diergeneeskd* 126:419–422
64. Scrivani PV, Levine JM, Holmes NL, Furr M, Divers TJ, Cohen ND (2011) Observer agreement study of cervical-vertebral ratios in horses: Agreement of cervical-vertebral ratios. *Equine Vet J* 43:399–403 . doi: 10.1111/j.2042-3306.2010.00300.x
65. Smyth GB (1993) Use of ventral cervical stabilization for treatment of a suspected articular facet fracture in a horse. *J Am Vet Med Assoc* 202:771–772
66. Sprayberry KA, Robinson NE (2014) Robinson's Current Therapy in Equine Medicine
67. Sysel AM, Moll HD, Carrig CB, Newton TJ (1998) What is your diagnosis? Oblique fracture of the caudal half of the transverse process of the fourth cervical vertebra. *J Am Vet Med Assoc* 213:607–608
68. Tomizawa N, Nishimura R, Sasaki N, Kadosawa T, Senba H, Hara S, Takeuchi A (1994) Efficacy of the new radiographic measurement method for cervical vertebral instability in wobbling foals. *J Vet Med Sci* 56:1119–1122
69. Trotteuse P par Etude du galop : le trotteur est-il un galopeur comme les autres ? <http://jetrottedoncjesuis.blogspot.com/2013/10/etude-du-galop-le-trotteur-est-il-un.html>. Accessed 20 Mar 2017
70. Vander Heyden L, Serteyn D, Caudron I, Verwilghen D, Deliège B, Lejeune J-P (2008) Prévalence de l'ostéochondrose chez le cheval de sport en Wallonie. In: *Annales de médecine vétérinaire*. Université de Liège, pp 131–137
71. Withers JM, Voûte LC, Hammond G, Lischer CJ (2009) Radiographic anatomy of the articular process joints of the caudal cervical vertebrae in the horse on lateral and oblique projections. *Equine Vet J* 41:895–902 . doi: 10.2746/042516409X434107
72. Zsoldos RR, Groesel M, Kotschwar A, Kotschwar AB, Licka T, Peham C (2010) A preliminary modelling study on the equine cervical spine with inverse kinematics at walk. *Equine Vet J* 42:516–522 . doi: 10.1111/j.2042-3306.2010.00265.x
73. Zsoldos RR, Kotschwar AB, Kotschwar A, Groesel M, Licka T, Peham C (2010) Electromyography activity of the equine splenius muscle and neck kinematics during walk and trot on the treadmill: Evaluation of the EMG activity of the splenius muscle. *Equine Vet J* 42:455–461 . doi: 10.1111/j.2042-3306.2010.00263.x

74. Zsoldos RR, Licka TF (2015) The equine neck and its function during movement and locomotion. *Zoology* 118:364–376 . doi: 10.1016/j.zool.2015.03.005
75. (2013) Rôles du ligament nuchal et du grand dorsal ... de l'importance de la décontraction. <https://lechevalenharmonie.wordpress.com/2013/09/20/la-locomotion-anatomie-et-biomecanique/>. Accessed 20 Mar 2017
76. (2017) Skeletal disorders. <https://veteriankey.com/skeletal-disorders/>. Accessed 4 Dec 2017
77. Percheron-international. <http://percheron-international.blogspot.com/2013/02/on-nous-envoye.html>. Accessed 31 Mar 2017

LES AFFECTIONS CERVICALES RADIOGRAPHIQUES DU CHEVAL DE SPORT SUR 56 CAS CLINIQUES.

Nom et Prénom : FAUP-BOULZIM Hélène

Résumé :

Cette thèse est divisée en deux parties, une partie bibliographique pose les bases anatomiques, biomécaniques, radiographiques et pathologiques des cervicales nécessaire à la seconde : une étude rétrospective de radiographies de chevaux présentées pour contre-performance. Cette-dernière vise à étudier les principales anomalies rencontrées et leurs fréquences, ainsi que la fiabilité et des tables de référence des mesures trouvées dans la littérature.

Mots clés :

IMAGERIE MEDICALE, RADIOGRAPHIE, VERTEBRE CERVICALE, EQUIDE, CHEVAL, CHEVAL DE SPORT, CONTRE-PERFORMANCE, MESURES

Jury :

Président : Pr. Paul BONNEVIALLE

Directeur : Dr. Gabriel CUEVAS RAMOS

Assesseur : Pr. Claude PETIT

Adresse de l'auteur :

Hélène FAUP-BOULZIM

15 rue des Iris

31400 Toulouse

RADIOGRAPHIC ABNORMALITIES OF THE CERVICAL VERTEBRAE IN SPORT HORSES OVER 56 CLINICAL CASES.

Name: FAUP-BOULZIM Hélène

Summary:

This thesis is divided in two parts, the first one lays down the basis of anatomy, biomechanics, radiography and pathology of the cervical vertebrae, needed for the second one: a retrospective study of radiographies of sport horses presented for poor performance. This study aims to define the principal abnormalities found with their frequencies and to test the reliability and provide reference tables for measures found in the literature

Keywords:

MEDICAL IMAGING, RADIOGRAPHY, CERVICAL VERTEBRA, EQUIDAE, HORSE, SPORT HORSE, POOR PERFORMANCE, MESURES

Jury :

President : Pr. Paul BONNEVIALLE

Director : Dr. Gabriel CUEVAS RAMOS

Assessor : Pr. Claude PETIT

Author's address:

Hélène FAUP-BOULZIM

15 rue des Iris

31400 Toulouse

France