



HAL
open science

Imagerie scanner du carpe du cheval : Application à l'enseignement d'anatomie

Anaïs Lagache

► **To cite this version:**

Anaïs Lagache. Imagerie scanner du carpe du cheval : Application à l'enseignement d'anatomie. Médecine vétérinaire et santé animale. 2020. dumas-04792958

HAL Id: dumas-04792958

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04792958v1>

Submitted on 20 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Année 2020

**IMAGERIE SCANNER DU CARPE DU CHEVAL :
APPLICATION À L'ENSEIGNEMENT D'ANATOMIE.**

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE CRÉTEIL

le 8 Octobre 2020

par

Anaïs Marion Martha LAGACHE

sous la direction de

Fabrice AUDIGIÉ

Président du jury : M. Frédéric RELAIX

Professeur à la Faculté de Médecine de CRÉTEIL

1^{er} Assesseur : M. Fabrice AUDIGIÉ

Professeur à l'EnvA

2nd Assesseur : M. Henry CHATEAU

Professeur à l'EnvA

Liste des membres du corps enseignant



Directeur : Pr Christophe Degueurce
 Directeur des formations : Pr Henry Chateau
 Directrice de la scolarité et de la vie étudiante : Dr Catherine Colmin
 Directeurs honoraires : MM. les Professeurs C. Pilet, B. Toma, A.-L. Parodi, R. Morailon, J.-P. Cotard, J.-P. Mialot & M. Gogny

Département d'Élevage et de Pathologie des Équidés et des Carnivores (DEPEC)

Chef du département : Pr Grandjean Dominique - Adjoint : Pr Blot Stéphane

<p>Unité pédagogique d'anesthésie, réanimation, urgences, soins intensifs</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Fernandez Parra Rocio, Maître de conférences associée - Pr Verwaerde Patrick* <p>Unité pédagogique de clinique équine</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Audigé Fabrice - Dr Bertoni Léila, Maître de conférences - Dr Bourzac Céline, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Coudry Virginie, Praticien hospitalier - Pr Denoix Jean-Marie - Dr Giraudet Aude, Praticien hospitalier - Dr Jacquet Sandrine, Praticien hospitalier - Dr Mespouhès-Rivière Céline, Praticien hospitalier* - Dr Moiroud Claire, Praticien hospitalier - Dr Tanqueret Ludovic, Chargé d'enseignement contractuel <p>Unité pédagogique de médecine et imagerie médicale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Benckekroun Ghita, Maître de conférences - Pr Blot Stéphane* - Dr Canonne-Guibert Morgane, Maître de conférences - Dr Freiche-Légros Valérie, Praticien hospitalier - Dr Maurey-Guénéac Christelle, Maître de conférences 	<p>Unité pédagogique de médecine de l'élevage et du sport</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Cabrera Gonzales Joaquin, Chargé d'enseignement contractuel - Dr Fontbonne Alain, Maître de conférences - Pr Grandjean Dominique* - Dr Hoummady Sara, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Maenhoudt Cindy, Praticien hospitalier - Dr Nudelmann Nicolas, Maître de conférences - Dr Ribeiro dos Santos Natalia, Praticien hospitalier <p>Unité pédagogique de pathologie chirurgicale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Decambon Adeline, Maître de conférences - Pr Fayolle Pascal - Dr Manassero Mathieu, Maître de conférences - Pr Viateau-Duval Véronique* <p>Discipline : cardiologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Chetboul Valérie - Dr Saponaro Vittorio, Praticien hospitalier <p>Discipline : ophtalmologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Chahory Sabine, Maître de conférences <p>Discipline : nouveaux animaux de compagnie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Pignon Charly, Praticien hospitalier - Dr Volait Laetitia, Praticien hospitalier
---	--

Département des Productions Animales et de Santé Publique (DPASP)

Chef du département : Pr Millemann Yves - Adjoint : Pr Dufour Barbara

<p>Unité pédagogique d'hygiène, qualité et sécurité des aliments</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Bolnot François, Maître de conférences - Pr Carlier Vincent - Dr Gauthier Michel, Maître de conférences associé - Dr Mûmet Narjes, Chargée d'enseignement contractuelle <p>Unité pédagogique de maladies réglementées, zoonoses et épidémiologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Crozet Guillaume, Chargé d'enseignement contractuel - Pr Dufour Barbara* - Pr Haddad/Hoang-Xuan Nadia - Dr Rivière Julie, Maître de conférences <p>Unité pédagogique de pathologie des animaux de production</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Adjou Karim - Dr Belbis Guillaume, Maître de conférences* - Dr Delsart Maxime, Maître de conférences associé - Pr Millemann Yves - Dr Plassard Vincent, Praticien hospitalier - Dr Ravary-Plumioën Bérangère, Maître de conférences 	<p>Unité pédagogique de reproduction animale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Constant Fabienne, Maître de conférences* - Dr Denis Marine, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Desbois Christophe, Maître de conférences (rattaché au DEPEC) - Dr Maufré Vincent, Maître de conférences <p>Unité pédagogique de zootechnie, économie rurale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Arné Pascal, Maître de conférences - Dr Barassin Isabelle, Maître de conférences - Pr Bossé Philippe* - Dr De Paula Reis Alline, Maître de conférences - Pr Grimard-Ballif Bénédicte - Pr Ponter Andrew <p>Rattachée DPASP</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Wolgust Valérie, Praticien hospitalier
---	--

Département des Sciences Biologiques et Pharmaceutiques (DSBP)

Chef du département : Pr Desquilbet Loïc - Adjoint : Pr Pilot-Storck Fanny

<p>Unité pédagogique d'anatomie des animaux domestiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Boissady Emilie, Chargée d'enseignement contractuelle - Pr Chateau Henry - Pr Crevier-Denoix Nathalie - Pr Robert Céline* <p>Unité pédagogique de bactériologie, immunologie, virologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Boulouis Henri-Jean - Pr Eloit Marc - Dr Lagrée Anne-Claire, Maître de conférences - Pr Le Poder Sophie - Dr Le Roux Delphine, Maître de conférences* <p>Unité pédagogique de biochimie, biologie clinique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Bellier Sylvain* - Dr Deshuillers Pierre, Maître de conférences - Dr Lagrange Isabelle, Praticien hospitalier <p>Unité pédagogique d'histologie, anatomie pathologique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Cordonnier-Lefort Nathalie, Maître de conférences - Pr Fontaine Jean-Jacques - Dr Latoy Eve, Maître de conférences - Dr Reyes-Gomez Edouard, Maître de conférences* <p>Unité pédagogique de management, communication, outils scientifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mme Conan Muriel, Professeur certifié (Anglais) - Pr Desquilbet Loïc, (Biostatistique, Epidémiologie) - Dr Legrand Chantal, Maître de conférences associée - Dr Marignac Geneviève, Maître de conférences* - Dr Rose Hélène, Maître de conférences associée 	<p>Unité de parasitologie, maladies parasitaires, dermatologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Blaga Radu, Maître de conférences (rattaché au DPASP) - Dr Briand Amaury, Assistant d'Enseignement et de Recherche Contractuel (rattaché au DEPEC) - Dr Cochet-Faivre Noëlle, Praticien hospitalier (rattachée au DEPEC) - Pr Guillot Jacques* - Dr Polack Bruno, Maître de conférences - Dr Risco-Castillo Veronica, Maître de conférences <p>Unité pédagogique de pharmacie et toxicologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Kohlhauer Matthias, Maître de conférences - Dr Perrot Sébastien, Maître de conférences* - Pr Tissier Renaud <p>Unité pédagogique de physiologie, éthologie, génétique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Chevallier Lucie, Maître de conférences (Génétique) - Dr Crépeaux Guillemette, Maître de conférences (Physiologie, Pharmacologie) - Pr Gilbert Caroline (Ethologie) - Pr Pilot-Storck Fanny (Physiologie, Pharmacologie) - Pr Tiret Laurent (Physiologie, Pharmacologie)* - Dr Titeux Emmanuelle (Ethologie), Praticien hospitalier <p>Discipline : éducation physique et sportive</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. Philips Pascal, Professeur certifié
--	--

* responsable d'unité pédagogique

Professeurs émérites : Pr Combrisson Hélène, Pr Enriquez Brigitte, Pr Panthier Jean-Jacques, Pr Paragon Bernard.

Remerciements

A M. Frédéric RELAIX, Président du Jury de cette thèse, Professeur à la Faculté de Médecine de Créteil,

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,
Hommages respectueux.

A M. Fabrice AUDIGIÉ, Professeur à l'EnvA,

Pour m'avoir orientée vers ce sujet, pour sa disponibilité et pour la réalisation des images de cette thèse,
Sincères remerciements.

A M. Henry CHATEAU, Professeur à l'EnvA,

Pour avoir accepté de participer à ce projet et ses corrections,
Sincères remerciements.

A Sabine,

Pour le travail réalisé en commun et les corrections apportées,
Merci.

A Stella,

Pour son aide à la correction,
Merci.

A mes parents,

Pour leur soutien tout au long de ce projet,
Merci.

Table des matières

Liste des figures	4
Liste des abréviations	7
Introduction	9
Première partie : rappels et généralités	11
I. Bases techniques de tomodensitométrie	11
A. <i>Instrumentation</i>	11
1. Tube à rayons X	11
2. Collimateurs et filtration	12
3. Systèmes de détection	12
4. Anatomie du portique	12
B. <i>Interprétation des images</i>	13
1. Coefficients d'atténuation	13
2. Représentation des densités	14
C. <i>Qualité et traitement de l'image</i>	14
1. Résolution, bruit et exposition du patient	14
2. Filtres	15
3. Reconstruction multi-plans	15
4. Reconstruction en trois dimensions (3D)	15
D. <i>Produit de contraste</i>	16
1. Intra-articulaire	16
2. Intravasculaire	16
II. Rappels anatomiques du carpe	17
A. <i>Ostéologie</i>	17
1. Rangée proximale du carpe	20
2. Rangée distale du carpe	20
3. Le carpe dans son ensemble	21
B. <i>Articulations du carpe</i>	23
1. Articulation antébrachiocarpienne	23
a. Surfaces articulaires	23
b. Moyens d'union	23
c. Synoviale	27
2. Articulations intercarpiennes proximales	27
a. Surfaces articulaires	27
b. Moyens d'union	27
c. Synoviales	28
3. Articulation médiocarpienne	28
a. Surfaces articulaires	28
b. Moyens d'union	28
c. Synoviales	29
4. Articulations intercarpiennes distales	29
a. Surfaces articulaires	29
b. Moyens d'union	29
c. Synoviales	29
5. Articulation carpométacarpienne	29

a.	Surfaces articulaires	29
b.	Moyens d'union.....	29
c.	Synoviales.....	30
C.	<i>Tendons de la région du carpe</i>	30
1.	Tendons des muscles antébrachiaux crâniiaux.....	30
2.	Tendons des muscles antébrachiaux caudaux.....	31
D.	<i>Fascias et gaines du carpe</i>	33
1.	Fascias du carpe.....	33
2.	Gainnes tendineuses du carpe	35
E.	<i>Vaisseaux et nerfs du carpe</i>	35
1.	Artères	35
2.	Veines	35
3.	Nerfs	36
Deuxième partie : matériel et méthode		39
I.	Instrumentation	39
II.	Chevaux de référence et protocole de réalisation des images.....	39
III.	Traitement et choix des images	41
Troisième partie : résultats		43
I.	Ostéologie 3D	43
II.	Imagerie en coupe avec filtre osseux	48
A.	<i>Coupes frontales</i>	48
B.	<i>Coupes sagittales</i>	51
C.	<i>Coupes transversales</i>	53
III.	Imagerie en coupe avec filtre tissus mous.....	57
A.	<i>Coupes transversales</i>	57
B.	<i>Coupe sagittale</i>	62
IV.	Technique spéciale.....	63
V.	Support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie.....	66
Quatrième partie : discussion		79
I.	Analyse critique du travail effectué	79
A.	<i>Réalisation des images</i>	79
B.	<i>Mise en place du contenu pédagogique sur la plateforme Eve</i>	79
II.	Intérêt pédagogique	80
A.	<i>Acquisition des connaissances</i>	80
B.	<i>Perspectives</i>	80
III.	Application clinique de l'examen scanner du carpe du cheval.....	81
A.	<i>Exploration pathologique</i>	81
1.	Fracture.....	81
2.	Remaniements osseux : sclérose / ostéolyse.....	82
3.	Déchirure / Desmite / Avulsion des ligaments interosseux du carpe	82
4.	Evaluation du cartilage.....	83
5.	Lésions kystiques sous-chondrales	84
B.	<i>Comparaison risque/bénéfice</i>	85
1.	Avantages	85
2.	Inconvénients.....	86
Conclusion		87

Liste des figures

Figure 1 : Tube à rayons X. (CEA, 2014)	11
Figure 2 : Anatomie du portique des scanners de 3ème et 4ème génération. (Contardi <i>et al.</i> , 2019)	13
Figure 3 : Vue dorsale d'un carpe gauche de cheval. (Barone,1986)	18
Figure 4 : Vue dorsale d'un carpe gauche de cheval. Os disjoints. (Barone,1986)	19
Figure 5 : Vue médiale d'un carpe gauche de cheval. (Barone,1986)	22
Figure 6 : Vue latérale des articulations du carpe d'un cheval. Carpe gauche. La synoviale antébrachio-carpienne a été injectée. (Barone,1989)	24
Figure 7 : Vue médiale des articulations du carpe d'un cheval. Carpe gauche. (Barone,1989)	25
Figure 8 : Vue dorsale des articulations du carpe d'un cheval. Carpe gauche. La membrane dorsale a été conservée. (Barone,1989)	26
Figure 9 : Vue latérale des tendons, gaines et synoviales du carpe d'un cheval. Membre gauche. Les synoviales tendineuses sont colorées en bleu et la synoviale articulaire antébrachio-carpienne en rouge. (Barone,1989).....	32
Figure 10 : Coupe transversale du carpe d'un cheval. Membre gauche. Segment distal des os de la rangée proximale du carpe. Vue proximale. (Barone,1989)	33
Figure 11 : Vue médiale des tendons, gaines et synoviales du carpe d'un cheval. Membre gauche. Les synoviales tendineuses sont colorées en bleu. (Barone,1989)	34
Figure 12 : Vue médiale des vaisseaux et nerfs de la main du cheval. Main gauche. (Barone,1996)	37
Figure 13 : Scanner Canon Aquilion Large Bore et table cheval motorisée (CIRALE - EnvA).	39
Figure 14 : Placement du cheval entier sur la table pour l'acquisition d'images de la région distale du membre antérieur gauche (CIRALE – EnvA).	40
Figure 15 : Capture d'écran de la plateforme Eve contenant le travail de cette thèse.....	42
Figure 16 : 3D - Vue dorsale du carpe.	43
Figure 17 : 3D - Coupe frontale passant par la moitié dorsale du carpe.....	44
Figure 18 : 3D - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe.....	44
Figure 19 : 3D - Vue oblique dorso-latérale du carpe.	45
Figure 20 : 3D - Vue latérale du carpe.	45
Figure 21 : 3D - Vue oblique caudo-latérale du carpe.....	46
Figure 22 : 3D - Vue palmaire du carpe.	46
Figure 23 : 3D - Vue oblique caudo-médiale du carpe.....	47
Figure 24 : 3D - Vue médiale du carpe.	47
Figure 25 : 3D - Vue oblique dorso-médiale du carpe.....	48
Figure 26 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié dorsale du carpe 1.....	48
Figure 27 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié dorsale du carpe 2.....	49
Figure 28 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe 1.....	49
Figure 29 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe 2.....	50

Figure 30 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe 3.....	50
Figure 31 : Tissus osseux - Coupe parasagittale latérale du carpe 1.	51
Figure 32 : Tissus osseux - Coupe parasagittale latérale du carpe 2.	51
Figure 33 : Tissus osseux - Coupe sagittale du carpe.	52
Figure 34 : Tissus osseux - Coupe parasagittale médiale du carpe 1.	52
Figure 35 : Tissus osseux - Coupe parasagittale médiale du carpe 2.	53
Figure 36 : Tissus osseux - Coupe transversale du radius en région physaire 1.....	53
Figure 37 : Tissus osseux - Coupe transversale du radius en région physaire 2.....	54
Figure 38 : Tissus osseux - Coupe transversale du radius en région métaphysaire.....	54
Figure 39 : Tissus osseux - Coupe transversale de l'étage proximal du carpe 1.....	55
Figure 40 : Tissus osseux - Coupe transversale de l'étage proximal du carpe 2.....	55
Figure 42 : Tissus osseux - Coupe transversale de l'étage distal du carpe 2.	56
Figure 41 : Tissus osseux - Coupe transversale de l'étage distal du carpe 1.	56
Figure 43 : Tissus osseux - Coupe transversale de la région métacarpienne proximale...	57
Figure 44 : Tissus mous - Coupe transversale du radius en région diaphysaire.	57
Figure 46 : Tissus mous - Coupe transversale du radius en région physaire.	58
Figure 45 : Tissus mous - Coupe transversale du radius en région métaphysaire.	58
Figure 47 : Tissus mous - Coupe transversale du radius en région épiphysaire.	59
Figure 48 : Tissus mous - Coupe transversale de l'étage proximal du carpe.....	59
Figure 49 : Tissus mous - Coupe transversale de l'étage distal du carpe.....	60
Figure 50 : Tissus mous - Coupe transversale en région métacarpienne proximale 1.	60
Figure 51 : Tissus mous - Coupe transversale en région métacarpienne proximale 2.	61
Figure 52 : Tissus mous - Coupe transversale en région métacarpienne proximale 3.	61
Figure 53 : Tissus mous - Coupe transversale en région métacarpienne proximale 4.	62
Figure 54 : Tissus mous - Coupe parasagittale latérale du carpe.....	62
Figure 55 : Arthrographie - Coupe frontale passant par la moitié dorsale du carpe.....	63
Figure 56 : Arthrographie - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe.....	64
Figure 57 : Arthrographie - Coupe transversale de la rangée proximale du carpe.	64
Figure 58 : Arthrographie - Coupe transversale en partie distale de la rangée proximale du carpe.	65
Figure 59 : Arthrographie - Coupe parasagittale latérale du carpe.	65
Figure 60 : Arthrographie - Coupe sagittale du carpe.	66
Figure 61 : Question 1 du test de niveau tronc commun.....	67
Figure 62 : Question 2 du test de niveau tronc commun.....	68
Figure 63 : Question 3 du test de niveau tronc commun.....	68
Figure 64 : Question 4 du test de niveau tronc commun.....	69
Figure 65 : Question 5 du test de niveau tronc commun.....	70
Figure 66 : Question 6 du test de niveau tronc commun.....	70
Figure 67 : Question 1 du test de niveau A5 et plus.	71
Figure 68 : Question 2 du test de niveau A5 et plus.	72
Figure 69 : Question 3 du test de niveau A5 et plus.	73
Figure 70 : Question 4 du test de niveau A5 et plus.	74
Figure 71 : Question 5 du test de niveau A5 et plus.	75
Figure 72 : Question 6 du test de niveau A5 et plus.	75

Figure 73 : Question 7 du test de niveau A5 et plus.	76
Figure 74 : Question 8 du test de niveau A5 et plus.	76
Figure 75 : Question 9 du test de niveau A5 et plus.	77
Figure 76 : Question 10 du test de niveau A5 et plus.	78

Liste des abréviations

2D : Deux Dimensions

3D : Trois Dimensions

CIRALE : Centre d'Imagerie et de Recherche sur les Affections Locomotrices Equines

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

MIP : Maximal Intensity Projection

MPR : Multi Planar Reconstruction

UC : Unité de Compétence

UH : Unité Hounsfield

Introduction

Les affections du carpe sont fréquemment observées chez les chevaux athlètes en raison des fortes contraintes biomécaniques éprouvées pendant l'entraînement et la course notamment. Les lésions de la synoviale, de la capsule articulaire, des ligaments, du cartilage articulaire et de l'os sous-chondral apparaissent souvent pendant un exercice à grande vitesse ou un traumatisme excessif. En particulier, les bords dorsaux des os du carpe sont prédisposés aux fractures en raison des forces de compression focalisées dans ces zones.

L'examen tomodensitométrique, communément appelé scanner, est particulièrement utile pour le diagnostic des lésions affectant les os du carpe (remodelage, remaniements de type sclérose ou ostéolyse, fracture), la paroi et le contenu de la gaine carpienne (tendon fléchisseur profond du doigt, tendon fléchisseur superficiel du doigt, ligament accessoire du tendon fléchisseur superficiel du doigt, rétinaculum des fléchisseurs, ligament commun palmaire du carpe) et l'insertion proximale du ligament suspenseur. L'utilisation de produit de contraste en perfusion intra-artérielle régionale peut être utilisée pour compléter l'évaluation des tissus mous de la région du carpe. L'arthro-scanner, c'est-à-dire l'injection intra-articulaire de produit de contraste, est une option intéressante pour le diagnostic des lésions du cartilage de l'articulation antébrachiocarpienne, médiocarpienne ou carpométacarpienne, ou les lésions des petits ligaments interosseux.

L'examen tomodensitométrique a permis une grande progression de l'imagerie depuis la radiologie conventionnelle. Basé sur les mêmes principes physiques, il permet de créer des coupes du corps et offre une capacité de distinction des tissus beaucoup plus importante. Le principe de base est la reconstruction des structures internes d'un objet à partir de multiples projections que l'on a obtenues de lui.

Afin de diagnostiquer des lésions du carpe du cheval, il faut d'abord bien en connaître l'anatomie. Cette thèse a pour but la création d'un support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie en école vétérinaire, en particulier l'anatomie du carpe du cheval dans la présente thèse. Pour cela nous allons faire dans un premier temps quelques rappels sur le fonctionnement du scanner et l'anatomie du carpe à partir de planches anatomiques. Puis nous verrons comment nous avons effectué les images scanner du carpe du cheval et l'élaboration du support pédagogique avant d'en voir les résultats. Enfin, nous discuterons de l'intérêt pédagogique du support créé et des applications cliniques de l'examen tomodensitométrique.

Première partie : rappels et généralités

I. Bases techniques de tomodensitométrie

A. Instrumentation

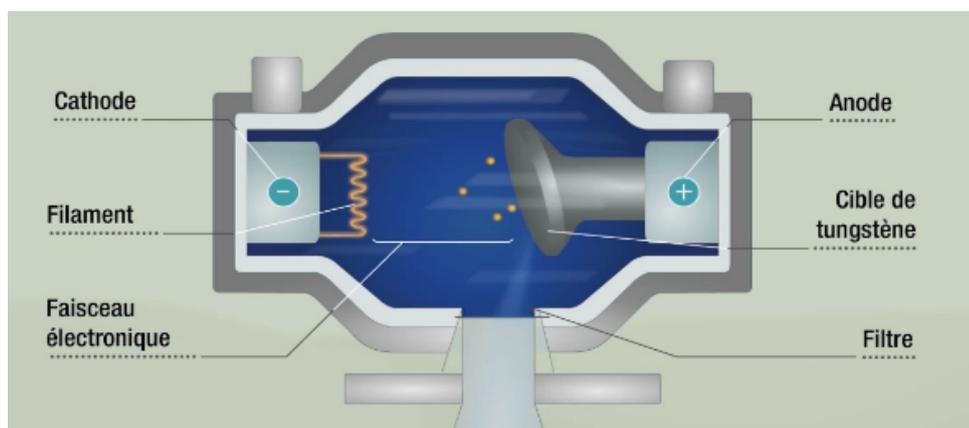
Un scanner ou tomodensitomètre est composé d'un générateur, d'un portique en forme d'anneau contenant le tube à rayons X et les détecteurs, d'une table pour le patient, de matériel informatique et d'une console opérateur (Saunders et Ohlerth, 2011).

Le trou central du portique accueille le patient grâce à une table coulissante dont la hauteur est ajustable. On peut définir un plan x-y dans le plan de l'anneau du scanner dont l'axe x est horizontal et l'axe y vertical. Une troisième dimension z sera représentée selon l'orientation du patient. Le tube à rayons X tourne autour du patient et permet de reconstruire des coupes anatomiques (Saunders et Ohlerth, 2011).

1. Tube à rayons X

C'est un tube sous vide composé d'une cathode et d'une anode et produisant des rayons X. Comme le montre la figure 1, la cathode, un filament de tungstène, libère des électrons lorsqu'elle est soumise à un courant de quelques ampères. Une source d'alimentation haute tension est connectée entre la cathode et l'anode pour accélérer la production d'électrons et ainsi créer un flux. Ce flux d'électrons vient percuter l'anode, un disque de tungstène, et environ 1 % de l'énergie cinétique produite est convertie en rayons X envoyés perpendiculairement au flux d'électrons. Le reste de l'énergie est converti en chaleur. Celle-ci pouvant monter jusqu'à 1500°C, différents éléments permettent le refroidissement de l'appareil (qui ne seront pas détaillés ici) (Saunders et Ohlerth, 2011 ; CEA, 2014).

Figure 1 : Tube à rayons X. (CEA, 2014)



2. Collimateurs et filtration

Les collimateurs, filtres et éléments de blindage varient selon les appareils mais offrent toujours les mêmes fonctions. Ils filtrent le spectre de rayons X, définissent l'épaisseur des coupes, protègent les détecteurs des radiations diffusées et assurent une protection générale contre les radiations (Saunders et Ohlerth, 2011).

Le collimateur sert à assurer une bonne qualité d'image et à réduire les doses de rayonnement inutiles pour le patient. Il est composé de matériaux très absorbants comme le tungstène ou le molybdène. Deux collimateurs sont présents :

- Le *collimateur pré-patient* est placé entre le tube à rayons X et le patient. Il sert à régler la largeur du faisceau de rayons X, avant qu'il ne pénètre dans le patient, en restreignant la zone à examiner : il définit en fait l'épaisseur de la coupe.
- Le *collimateur post-patient* est placé entre le patient et le détecteur. Il améliore la sensibilité des coupes en donnant une forme plus rectangulaire.

Les filtres ont pour but de supprimer les rayonnements à faible énergie qui participent à la dose reçue par le patient et à la diffusion du rayonnement mais pas au signal détecté (Saunders et Ohlerth, 2011).

3. Systèmes de détection

Le détecteur enregistre la quantité de rayonnement ionisant incident. Il existe deux types de détecteurs : les *chambres d'ionisation* et les *cristaux scintillants*. C'est le second qui est principalement utilisé de nos jours et décrit ici (Saunders et Ohlerth, 2011).

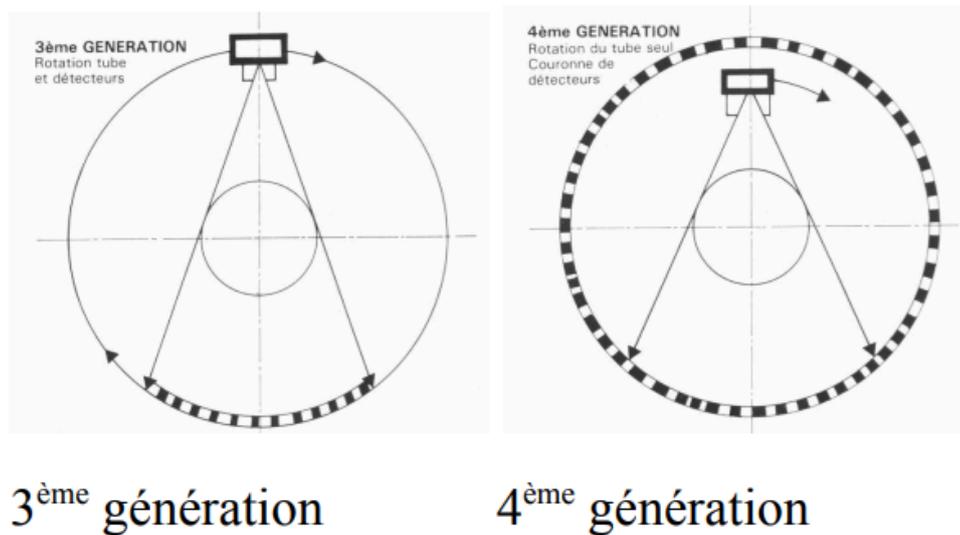
Il est composé de cristaux tels que l'iodure de césium ou le tungstate de cadmium, et de matériaux céramiques tels que l'oxysulfure de gadolinium. Soumis à une stimulation par les rayons X, ces cristaux émettent une lumière dont l'intensité est proportionnelle au faisceau reçu. Cette lumière est ensuite convertie en signal électrique qui est ensuite amplifié et converti en forme numérique (Ruel, 2000 ; Saunders et Ohlerth, 2011).

4. Anatomie du portique

Avec l'évolution, plusieurs générations de scanners ont vu le jour, permettant un examen plus rapide et plus précis. Aujourd'hui ce sont principalement les scanners de troisième et quatrième génération qui sont utilisés (Ruel, 2000).

Dans les scanners de troisième génération, le tube à rayons X et les détecteurs (300 à 700 capteurs) tournent conjointement, on parle de mouvement de « rotation-rotation » comme sur la figure 2. Tandis que dans ceux de quatrième génération, les détecteurs (jusqu'à 2400 capteurs) sont disposés en couronne tout autour du patient et seul le tube à rayons X tourne, on parle de système « rotation-fixe » comme sur la figure 2 (Ruel, 2000 ; Saunders et Ohlerth, 2011 ; Contardi *et al.*, 2019).

Figure 2 : Anatomie du portique des scanners de 3^{ème} et 4^{ème} génération.
(Contardi et al., 2019)



Les composants du portique nécessitent un certain nombre de connexions électriques. Dans les systèmes les plus anciens, ces connexions étaient établies à l'aide de câbles de longueur finie et permettant une rotation d'environ 700 °. L'alternative à ce système de câble est la technologie à bague collectrice. Elle permet la rotation circulaire continue du tube à rayons X et des autres composants du portique. Elle a finalement permis la conception du scanner hélicoïdal moderne (Saunders et Ohlerth, 2011).

Le scanner hélicoïdal représente un système de scanner utilisant la technologie à bague collectrice dans laquelle une rotation continue du tube à rayons X est utilisée avec une translation de table simultanée et continue à travers le portique. Le tube à rayons X décrit ainsi un chemin hélicoïdal autour du patient. Les scanners hélicoïdaux peuvent être à coupe unique ou multi-coupes en fonction du nombre maximal d'images en coupe générées par rotation du portique. Aujourd'hui toutes les machines récentes sont multi-coupes et permettent d'imager un volume donné beaucoup plus rapidement (Saunders et Ohlerth, 2011).

B. Interprétation des images

1. Coefficients d'atténuation

Le scanner forme des images dans différents niveaux de gris après réception d'un faisceau de rayons X qui a été atténué par la région corporelle étudiée. Les capteurs mesurent donc la quantité de rayons X ayant traversé la région corporelle, dont le coefficient d'atténuation peut alors être calculé. En mesurant l'atténuation des rayons X, il est possible de calculer la densité des tissus traversés (Ruel, 2000).

Le coefficient d'atténuation, appelé μ , est une quantité physique, fortement dépendante de l'intensité du faisceau incident, il ne peut donc pas être utilisé en tant que tel pour l'interprétation et la comparaison d'images. Pour cela, l'unité utilisée est le nombre

scanner ou unité Hounsfield (UH) qui prend en compte le coefficient d'atténuation du corps étudié et le compare à celui de l'eau, pris comme valeur de référence (Ruel, 2000).

Calcul du nombre scanner ou UH d'un corps A :

$$\text{Nombre scanner corps A} = \frac{\mu_A - \mu_{eau}}{\mu_{eau}} \times 1000$$

Ainsi, les valeurs en UH de différents tissus sont définies comme relativement stables et hautement indépendantes de l'intensité des rayons X émis (Ruel, 2000 ; Saunders et Schwarz, 2011).

2. Représentation des densités

À partir des valeurs mesurées par les détecteurs, l'ordinateur reconstruit une image en niveaux de gris sous la forme d'une coupe. Aux différents coefficients d'atténuation correspondent différentes tonalités de gris, et le récepteur peut distinguer 4096 nuances de gris. L'atténuation complète des rayons X se traduit par un point blanc et l'absence d'atténuation par un point noir (Ruel, 2000 ; Saunders et Schwarz, 2011).

Cependant, l'œil humain ne peut distinguer que 30 à 90 nuances de gris et les écrans utilisés peuvent en distinguer 256. La technique utilisée pour examiner les images de façon précise est donc de n'utiliser qu'une partie de l'information en choisissant un niveau et une largeur de fenêtre (Ruel, 2000 ; Saunders et Schwarz, 2011).

Dans un premier temps, le lecteur se place donc au niveau du tissu d'intérêt, c'est-à-dire au niveau de sa densité, et les 256 densités situées autour de cette valeur seront représentées. L'information globale n'est pas perdue, mais elle n'apparaît pas à l'écran. Toutes les valeurs inférieures sont représentées en noir et toutes les valeurs supérieures en blanc (Ruel, 2000 ; Saunders et Schwarz, 2011).

Dans un second temps, à un niveau déterminé, on choisit la largeur de la fenêtre. En réduisant la largeur de la fenêtre, on va augmenter le contraste et donc mieux distinguer des densités très proches les unes des autres. À l'inverse, si on élargit la fenêtre, on représente sur une même échelle de gris des densités très différentes, on diminue donc le contraste (Ruel, 2000).

C. Qualité et traitement de l'image

1. Résolution, bruit et exposition du patient

La résolution de l'image dépend de la finesse et de la taille de la matrice. Pour une même surface, la représentation sera plus exacte si le nombre de pixels est plus grand. L'augmentation de la finesse de la matrice est limitée car elle implique l'augmentation de l'irradiation du patient. En effet, si le nombre de pixels augmente et le nombre de rayons X reste identique, il n'y aura plus un nombre suffisant de rayons X par pixel pour obtenir des mesures précises en raison du bruit associé à la mesure, signal aléatoire qui se surajoute

à l'image et en brouille l'information. L'amélioration de la résolution implique donc une irradiation supérieure (Ruel, 2000).

La finesse de l'image peut aussi augmenter en choisissant des coupes plus fines. La conséquence est la même, une augmentation de l'irradiation pour obtenir une image de meilleure qualité. Pour augmenter la dose reçue par les détecteurs, il faut augmenter le milliampérage (mA), les kilovolts (kV) ou le temps d'exposition (s). L'animal étant anesthésié, il est possible d'augmenter ce dernier critère sans craindre un flou cinétique (Ruel, 2000).

2. Filtres

Les filtres permettent de modifier l'apparence de l'image afin de se focaliser sur un type de structure en particulier et ainsi mieux la visualiser (Ruel, 2000).

Le filtre osseux, comme son nom l'indique, permet de mieux visualiser les tissus osseux. Pour cela, il privilégie la résolution spatiale de l'image et renforce les détails (Ruel, 2000).

Le filtre tissus mous permet lui de mieux visualiser ces tissus. Pour ce faire, la résolution spatiale est diminuée et le contraste augmenté (Ruel, 2000).

3. Reconstruction multi-plans

L'examen scanner permet de reconstruire artificiellement des coupes dans des plans différents du plan d'acquisition de la machine. En effet, les images scanner sont acquises sous forme de coupes transversales du patient. Les données sont empilées le long de l'axe déterminé par l'orientation du patient pour créer un volume, puis redécoupées à nouveau le long des autres plans pour créer des coupes sagittales, dorsales ou obliques. Ainsi il suffit d'orienter l'image sur un axe, n'importe lequel dans l'espace, pour ensuite avoir toutes les images reconstituées dans cet axe. C'est ce qu'on appelle la reconstruction multi-plans. La qualité de ce mode augmente avec la finesse des coupes (Kinns *et al.*, 2011)

La reconstruction multi-plans peut s'avérer très utile pour l'évaluation précise de certaines lésions dans l'espace (Kinns *et al.*, 2011).

4. Reconstruction en trois dimensions (3D)

Le scanner par sa très grande précision en matière de densité radiographique permet par des techniques de seuillage et de modélisation 3D d'obtenir des reconstructions surfaciques 3D des formations anatomiques examinées notamment des formations osseuses ou des tissus mous injectés. Ce mode de représentation 3D est très intéressant pour une évaluation volumique des lésions (ex : modélisation en 3D d'une fracture complexe) et à titre pédagogique pour des étudiants vétérinaires tout comme pour la présentation d'informations aux clients/propriétaires des animaux examinés. Les lésions, qu'elles affectent l'appareil locomoteur ou qu'elles concernent les tissus mous ou les vaisseaux, sont beaucoup plus

faciles à comprendre lorsqu'elles sont visualisées à l'aide de cette méthode (Kinns *et al.*, 2011).

Un autre mode est la projection d'intensité maximale (MIP pour Maximal Intensity Projection) qui utilise l'intensité maximale rencontrée par chaque rayon et l'affiche sous la forme d'une projection bidimensionnelle pouvant être pivotée sur n'importe quel plan pour une évaluation tridimensionnelle. Dans le rendu en volume, chaque voxel est représenté en utilisant une opacité et une couleur pour donner à l'image résultante un aspect réaliste. Les gammes de couleurs utilisées peuvent être personnalisées par l'utilisateur pour créer une variété d'effets visuels (Kinns *et al.*, 2011).

La reconstruction par projection d'intensité maximale est particulièrement utile pour évaluer les vaisseaux sanguins après injection de produit de contraste. Comme la plupart des structures environnantes sont automatiquement supprimées de l'image, les vaisseaux peuvent être visualisés plus facilement qu'avec les techniques de reconstruction multiplanaires ou 3D standard (Kinns *et al.*, 2011).

D. Produit de contraste

Le produit de contraste peut être utilisé pour de nombreuses applications, nous nous intéresserons ici à l'administration intravasculaire et intra-articulaire. En effet, l'utilisation de produit de contraste améliore l'utilité clinique du scanner pour l'identification et la caractérisation des lésions des tissus mous incluant les tendons, les ligaments et les formations synoviales (Pollard et Puchalski, 2011).

1. Intra-articulaire

L'injection de produit de contraste en intra articulaire permet de mettre en évidence la synoviale articulaire étudiée et donc des défauts de l'articulation. L'épaisseur du cartilage peut être appréciée en évaluant la largeur de l'espace entre l'os sous-chondral et le produit de contraste. Le produit de contraste peut également remplir un défaut d'ossification sous-chondral, confirmant une communication avec l'espace articulaire (Saunders et Bergman, 2011a).

2. Intravasculaire

L'utilisation de produit de contraste en injection intravasculaire permet de voir les détails anatomiques du réseau vasculaire. D'abord, le produit de contraste met directement en évidence le *flux sanguin et les vaisseaux/capillaires associés*. Puis, étant donné que la plupart des agents de contraste sont de petites particules, elles diffusent librement à travers les parois endothéliales, de sorte que le second mécanisme de mise en évidence du contraste est le reflet de la *perméabilité vasculaire* (Pollard et Puchalski, 2011).

L'intérêt est d'identifier et caractériser les lésions des tissus mous, quantifier le flux sanguin et effectuer un angiogramme sélectif. Le moment choisi pour le début de la perfusion du produit de contraste devrait en permettre l'afflux et l'extravasation dans les

régions lésées avant l'acquisition du scanner afin de mieux caractériser les lésions des tissus mous (Pollard et Puchalski, 2011).

Chez la plupart des espèces, une dose systémique corporelle totale est administrée par voie intraveineuse. Cependant, la dose systémique de produit de contraste chez le cheval n'a pas été établie. En règle générale, la dose systémique équine est extrapolée à partir de données chez l'homme ou le petit animal, ce qui entraîne un volume important et lourd de produit de contraste. Le volume important est difficile à administrer et peut coûter très cher et en pratique, il n'est pas envisageable par voie systémique d'atteindre les concentrations sanguines utilisées en médecine humaine. Pour contourner cette limite majeure tout en bénéficiant de la technique, l'administration locale de produits de contraste via une artère périphérique peut être utilisée dans certains sites anatomiques d'importance clinique (Pollard et Puchalski, 2011).

Pour quantifier le flux sanguin, plusieurs images doivent être obtenues avant l'arrivée du produit de contraste dans la région. Cela peut être fait avec des protocoles spécialisés et un logiciel. Dans ces protocoles, la numérisation commence avant l'injection de produit de contraste. Pour effectuer une angiographie, afin d'évaluer la perméabilité vasculaire (dans le cas de la fourbure) ou le traumatisme d'un membre distal, la perfusion de produit de contraste doit commencer au moment de l'acquisition ou juste avant (Pollard et Puchalski, 2011).

L'interprétation d'images avec produit de contraste injecté par voie intra-artérielle nécessite une approche méthodique avec une comparaison simultanée avec des images pré- et post-contraste. Le produit de contraste facilite l'interprétation de plusieurs manières, principalement en augmentant la visibilité des lésions. Le produit de contraste peut également aider à caractériser les lésions, à évaluer la cicatrisation au fil du temps et à identifier les zones d'hyperhémie. Les lésions des tendons et des ligaments sont généralement mises en évidence par extravasation du produit de contraste ou par la formation de néovaisseaux. Le couplage de l'analyse du tissu mou avec produit de contraste et des avantages de la tomographie pour l'imagerie osseuse constitue une excellente technique d'évaluation complète de nombreuses régions anatomiques impliquées dans une boiterie équine (Pollard et Puchalski, 2011).

II. Rappels anatomiques du carpe

Le carpe est une région complexe comprenant plusieurs articulations, des tendons, des fascias, des gaines et des éléments vasculo-nerveux. Cette partie a été rédigée à l'aide des ouvrages de Robert Barone, l'ouvrage utilisé en question sera cité en début de chaque partie.

A. Ostéologie

Le carpe constitue le premier segment de la main. Il est composé de deux rangées d'os superposées, une rangée proximale et une rangée distale. Les propos de cette partie sont illustrés par les figures 3 et 4 (Barone, 1986).

Figure 3 : Vue dorsale d'un carpe gauche de cheval. (Barone,1986)

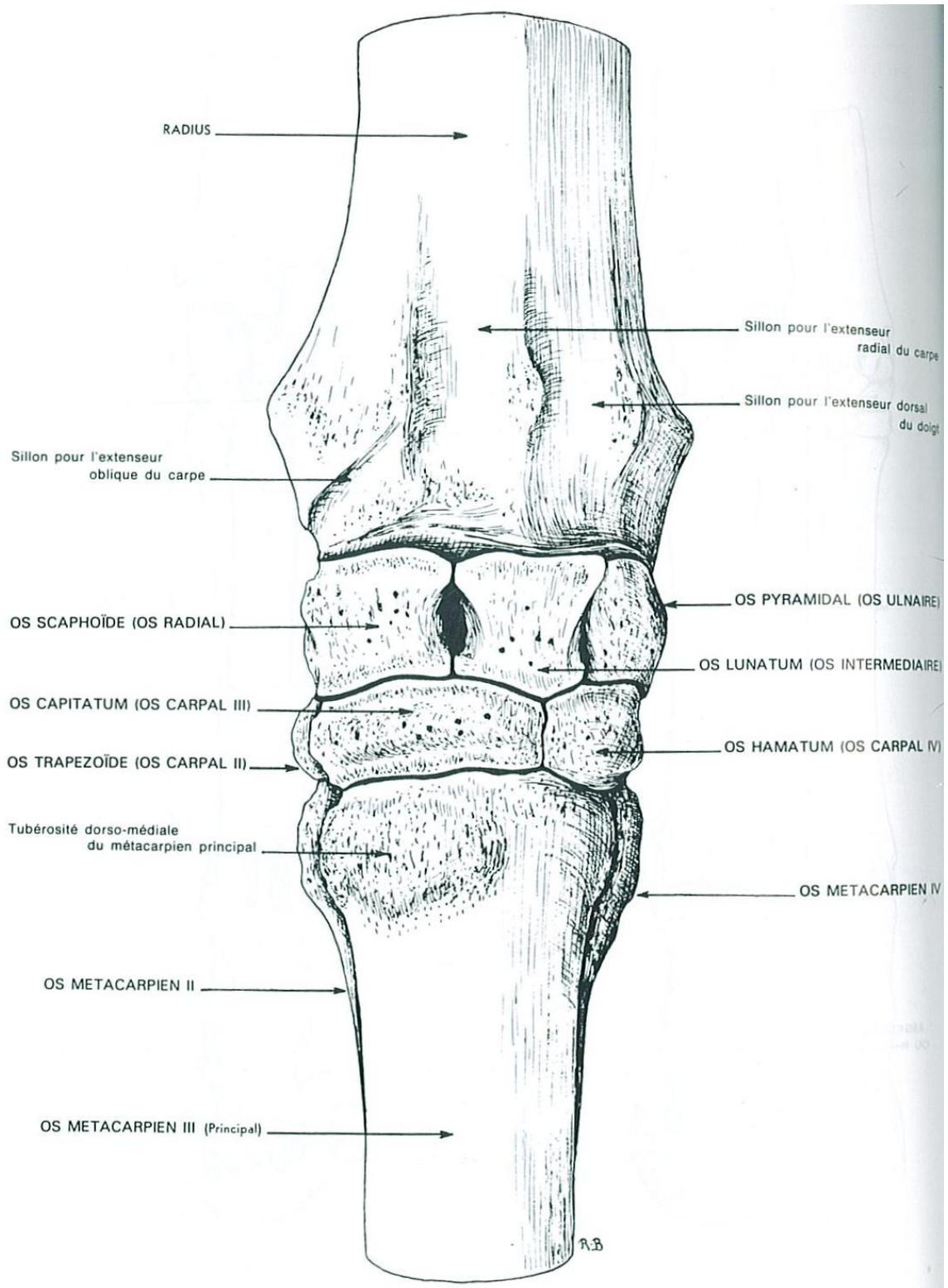
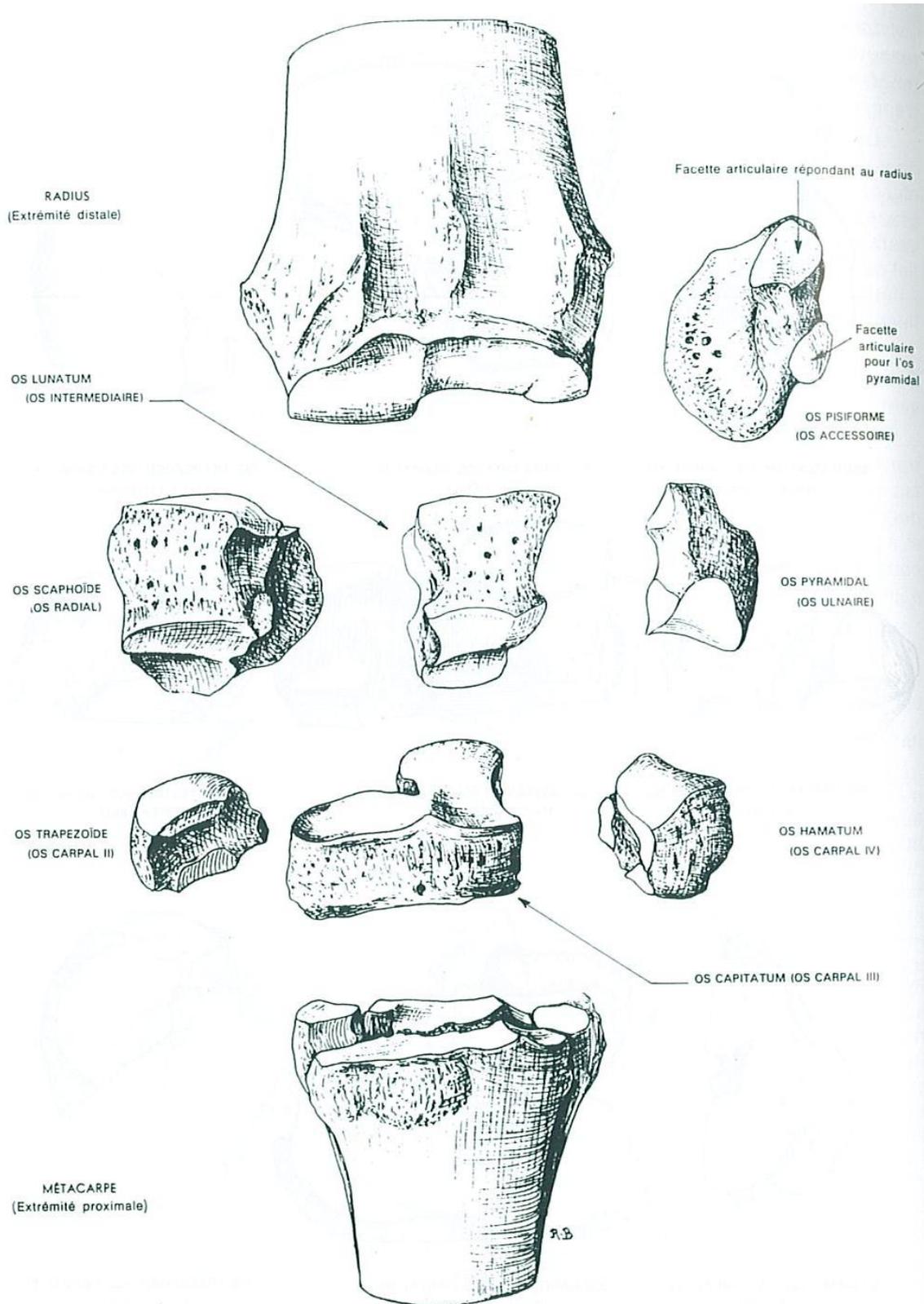


Figure 4 : Vue dorsale d'un carpe gauche de cheval. Os disjoints. (Barone,1986)



1. Rangée proximale du carpe

Elle répond aux os de l'avant-bras que sont le radius et l'ulna. Elle est composée de quatre os dont trois sont placés directement entre les os de l'avant-bras et la rangée distale du carpe.

L'*os radial*, le plus volumineux, est le plus médial et répond directement au radius par une large surface concave. Sa face palmaire porte un relief arrondi, c'est le tubercule de l'os radial. Il est articulé à l'os intermédiaire par deux facettes séparées par une excavation rugueuse. Distalement il s'articule aux os carpal II et III par deux facettes, la première palmaire et concave et la seconde dorsale et légèrement convexe.

L'*os intermédiaire*, le plus central, est étiré dans le sens dorso-palmaire et étranglé en son milieu, avec un fort tubercule palmaire. Il répond aux os radial et ulnaire par des facettes particulières. Il est articulé proximale au radius par une surface articulaire large et convexe en partie dorsale et rétrécie et concave en partie palmaire. Distalement, il est articulé aux os carpal III et IV par deux facettes adjacentes légèrement convexes sur sa partie dorsale, tandis que la partie palmaire est concave en regard de la portion condyloïde de l'os carpal III.

L'*os ulnaire*, le plus latéral, est placé entre l'ulna, dont l'extrémité distale se confond avec le radius chez le cheval, et l'os carpal IV. Sa surface articulaire proximale est légèrement concave et la face distale est concave dorsalement et convexe sur sa partie palmaire. Il présente du côté palmaire une surface concave pour l'os accessoire et du côté médial deux facettes répondant à l'os intermédiaire. La face latérale présente un petit tubercule.

L'*os accessoire*, seul os situé en dehors des rangs, est aplati d'un côté à l'autre. Il est articulé sur son bord dorsal avec le radius par une surface concave et avec l'os ulnaire par une surface convexe. Sa face latérale est convexe et pourvue d'un sillon vertical où glisse le tendon du muscle ulnaire latéral. Sa face médiale est concave. Le bord palmaire est épais et rugueux pour de fortes attaches tendineuses.

2. Rangée distale du carpe

Elle est composée de trois os qui répondent proximale à la rangée proximale et distale aux os métacarpiens II, III et IV.

L'*os carpal II*, le plus médial, est principalement articulé à l'os métacarpien II et accessoirement au métacarpien III par une petite facette oblique alors que la face distale est plane. La face proximale est articulée à l'os radial et la face médiale à l'os carpal III par trois petites facettes. La face palmaire porte un tubercule.

L'*os carpal III*, le plus volumineux, est le plus médial. Il est placé entre les os carpal II et IV pour lesquels ses faces latérales et médiales portent chacune deux facettes articulaires. Il répond par sa face proximale aux os intermédiaire et radial, la face articulaire présente du côté dorsal deux facettes inégales à peine concaves et du côté palmaire une surface condyloïde ; et par sa face distale à l'os métacarpien III et accessoirement à l'os métacarpien II, par deux facettes planiformes inégales. Il porte un volumineux tubercule sur sa face palmaire.

L'*os carpal IV*, le plus latéral, répond par sa face proximale principalement à l'os ulnaire par une surface condyloïde et accessoirement à l'os intermédiaire par une surface

légèrement concave ; et par sa face distale aux os métacarpiens III et IV. Sa face médiale est articulée à l'os carpal III. Ses faces distales et médiales sont planiformes, pourvues chacune de deux facettes, l'une dorsale, la plus grande, et l'autre palmaire. Sa face palmaire porte un prolongement tubéreux.

De manière inconstante, un *os carpal I* peut être présent, chez environ un cheval sur dix. Il se retrouve fréquemment dans l'épaisseur du ligament collatéral médial du carpe, articulé par une petite facette au côté palmaire médial de l'os carpal II.

3. Le carpe dans son ensemble

L'ensemble des os du carpe forment un massif osseux aplati dans le sens dorso-palmar comme le montre la figure 5. Quatre faces peuvent être identifiées, deux articulaires (proximale et distale), dorsale et palmaire, ainsi que deux bords, médial et latéral.

La face dorsale est rugueuse et convexe. Elle montre tous les os du carpe à l'exception de l'os accessoire.

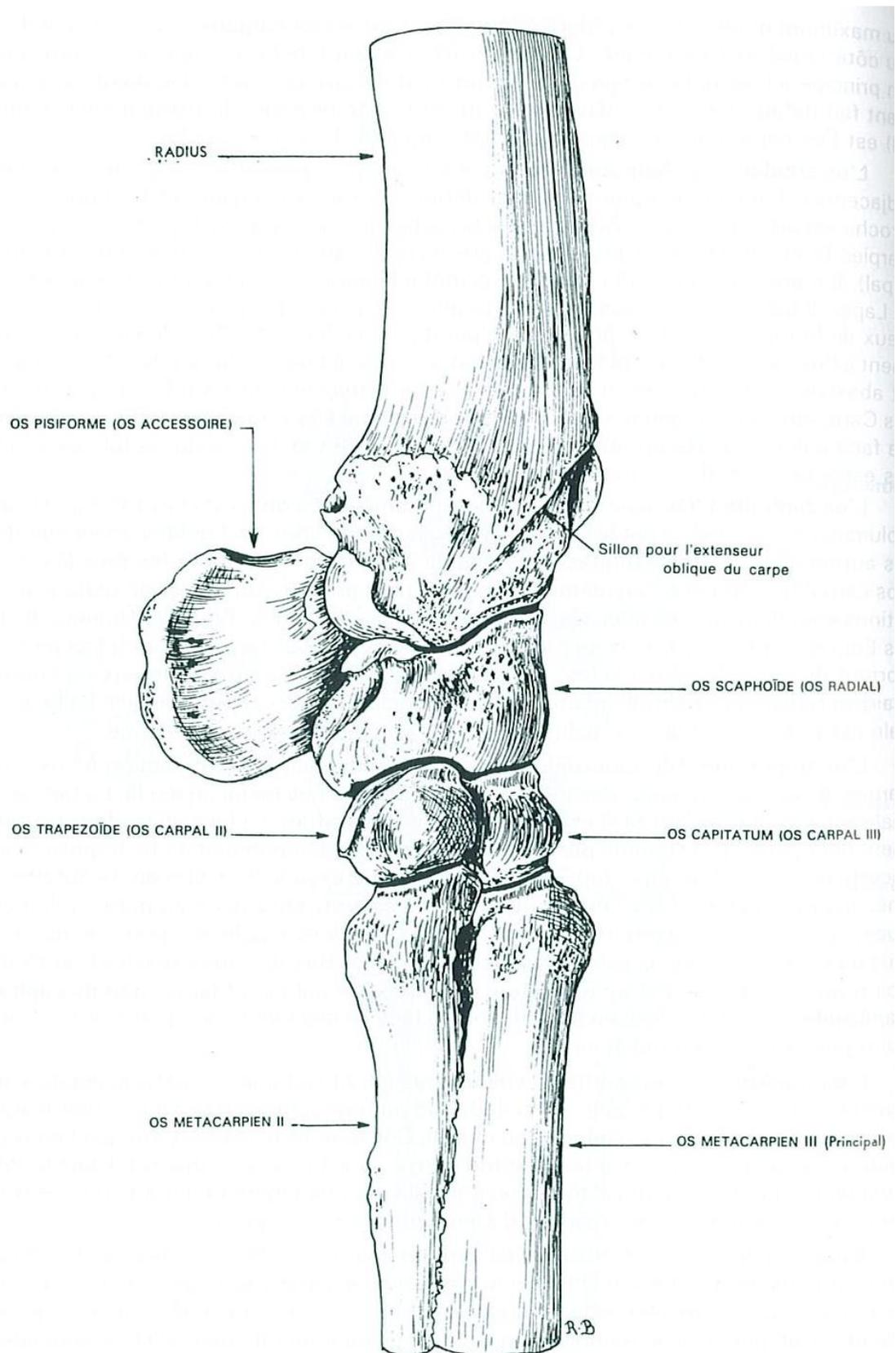
La face palmaire est très irrégulière et anfractueuse. Elle est formée de tous les os du carpe. De nombreuses formations ligamentaires passent au niveau de la face palmaire. L'os accessoire fait saillie et participe à la formation d'une vaste dépression verticale qu'est le sillon carpien. Il constitue l'essentiel du canal carpien dans lequel glissent les tendons fléchisseurs du doigt ainsi que des éléments vasculo-nerveux, fermé du côté palmaire par un puissant fascia : le rétinaculum des fléchisseurs.

La face articulaire proximale répond aux os de l'avant-bras par une surface étendue transversalement et formée par tous les os de la rangée proximale.

La face articulaire distale est formée de tous les os de la rangée distale. Elle est très plate chez les équidés.

Les bords, médial et latéral, sont épais, rugueux et fortement convexe.

Figure 5 : Vue médiale d'un carpe gauche de cheval. (Barone,1986)



B. Articulations du carpe

Les articulations du carpe appartiennent toutes à la classe des articulations synoviales. Elles peuvent être séparées en deux catégories, les articulations extrinsèques qui relient les os du carpe à l'extrémité distale de l'avant-bras et au métacarpe, et les articulations intrinsèques qui relient les os du carpe entre eux. Nous allons ici étudier les articulations de la plus proximale à la plus distale (Barone, 1989).

1. Articulation antébrachio-carpienne

C'est une jointure condylienne qui unit le radius à la rangée proximale du carpe. Il s'agit de la première articulation extrinsèque du carpe.

a. Surfaces articulaires

Comme le montre la figure 4, la *surface antébrachiale* présente dorsalement deux petites cavités glénoïdales peu profondes et du côté palmaire trois reliefs condyloïdes, deux appartenant au radius et un à l'ulna, dont le médial est le plus épais.

La *surface carpienne* y répond par une partie condyloïde dorsale portée par les os radial et intermédiaire, et trois cavités glénoïdales du côté palmaire dont la plus latérale est formée par les os ulnaire et accessoire et la plus médiale par l'os radial.

b. Moyens d'union

Les moyens d'union sont constitués par quatre très puissants ligaments sur chaque face du carpe et de petits ligaments propres.

Le *ligament collatéral ulnaire ou latéral*, visible sur la figure 6, est divisé en deux plans. Le *plan superficiel* prend son origine sur le processus styloïde ulnaire et se termine en direction disto-palmaire sur l'extrémité proximale du métacarpien IV. Le *plan profond*, plus vertical, débute au côté palmaire du précédent et se termine sur le métacarpe plus dorsalement au plan superficiel. Il délègue sur son passage de fortes attaches sur les os ulnaire et carpal IV. Enfin, son bord palmaire est en rapport avec la terminaison des ligaments de l'os accessoire.

Le *ligament collatéral radial ou médial* est plus large et épais que le précédent et est également composé de deux plans de fibres qui sont croisés très obliquement en X, comme le montre la figure 7. Il prend origine sur la tubérosité qui représente le processus styloïde du radius et se termine sur l'extrémité proximale des métacarpiens II et III. Il délègue sur son passage un fort faisceau sur l'os radial qui s'élargit plus distalement pour s'insérer sur les os carpal II et III. Ses bords dorsal et palmaire se continuent chacun respectivement avec la membrane commune dorsale et le ligament commun palmaire.

La *membrane commune dorsale*, comme le montre la figure 8, couvre toute la face dorsale du carpe et constitue la capsule articulaire. Elle s'étend des marges articulaires de l'avant-bras à celles du métacarpe et s'unit sur les côtés aux ligaments collatéraux. Elle est vaste, relativement lâche et formée de fibres entrecroisées. Sa *face profonde* adhère en certains points aux os carpiens ou à leurs ligaments dorsaux et ailleurs elle est tapissée par les diverticules synoviaux des différentes articulations. Sa *face superficielle* forme deux sillons verticaux pour les tendons des muscles extenseurs radial et dorsal du carpe.

Figure 6 : Vue latérale des articulations du carpe d'un cheval. Carpe gauche. La synoviale antébrachio-carpienne a été injectée. (Barone,1989)

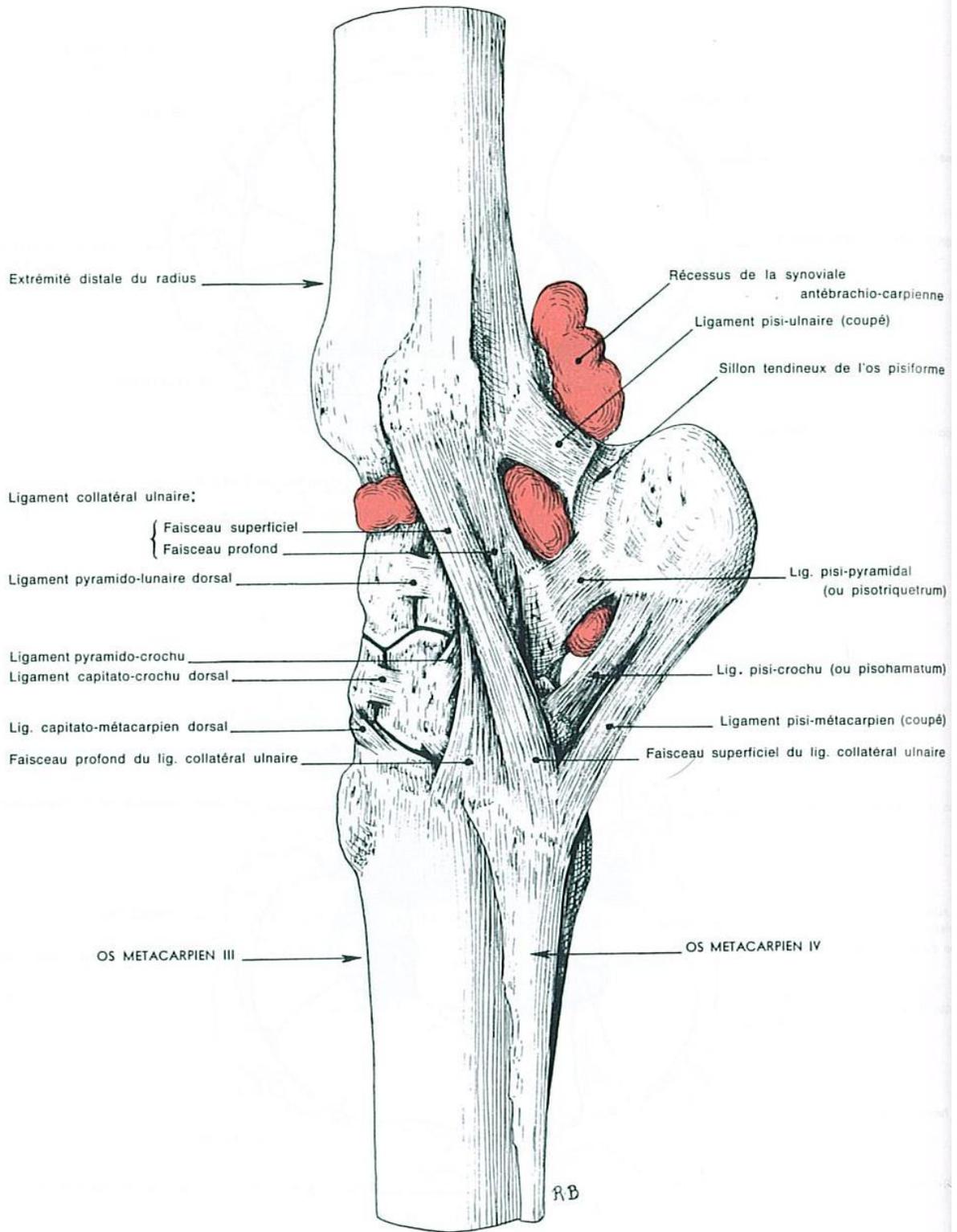


Figure 7 : Vue médiale des articulations du carpe d'un cheval. Carpe gauche. (Barone,1989)

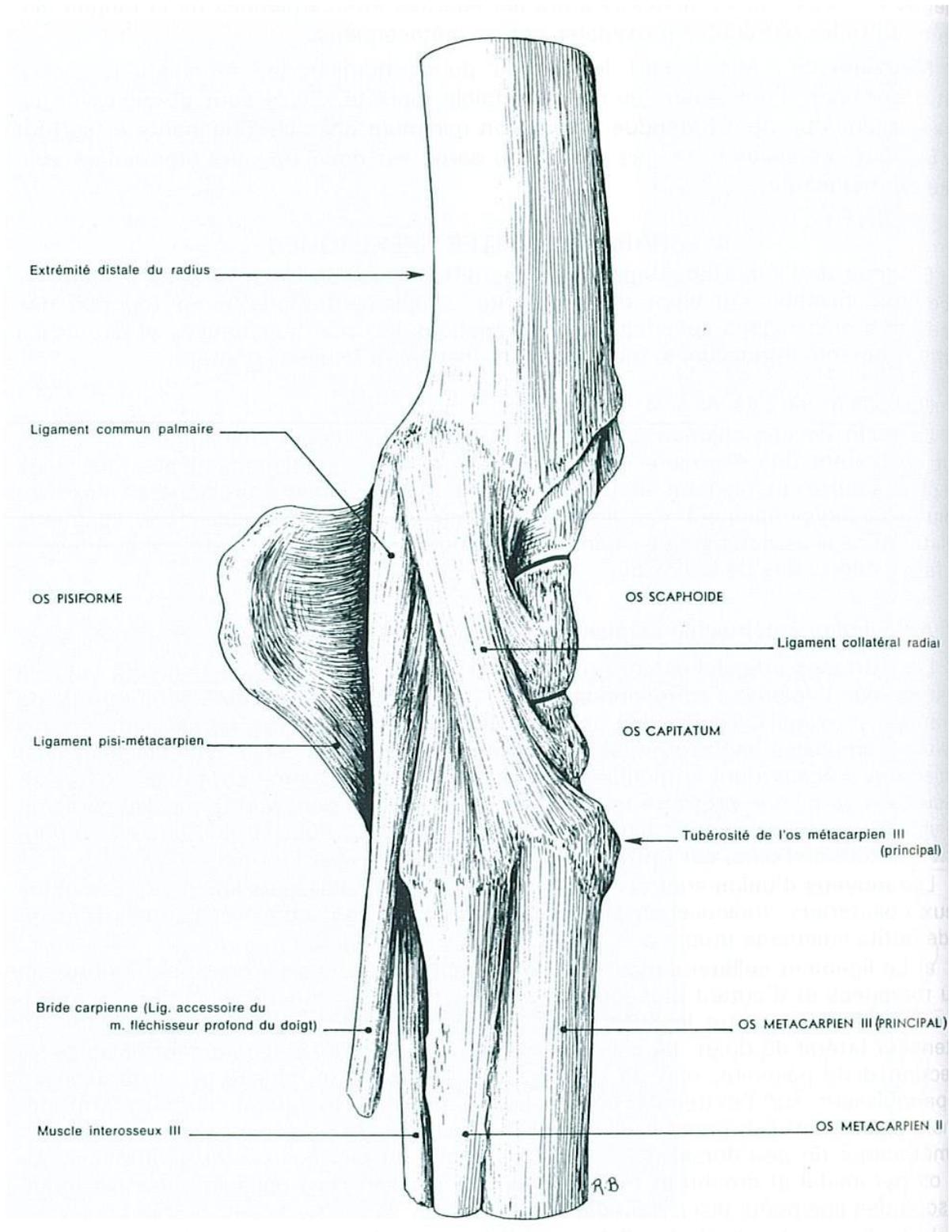
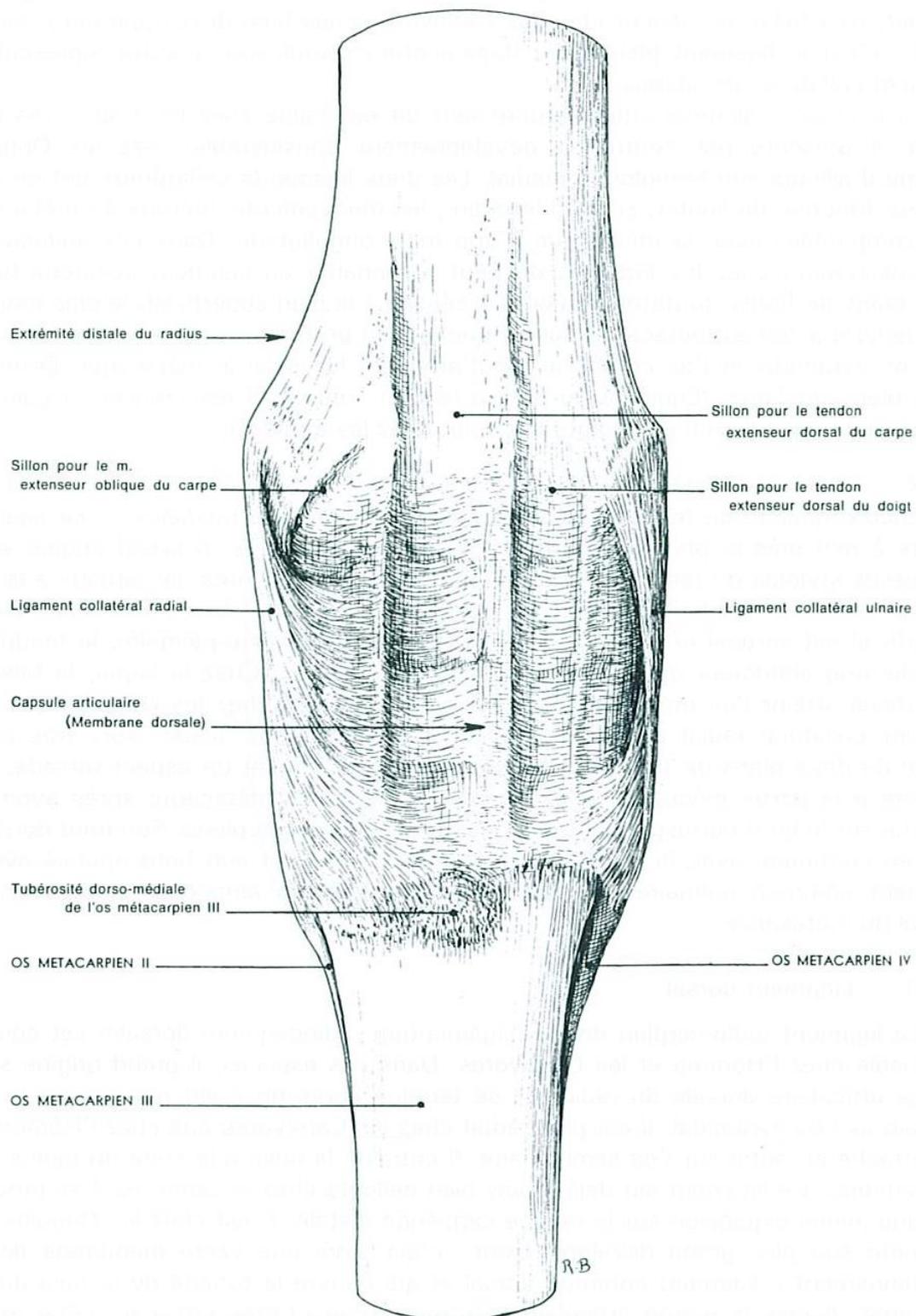


Figure 8 : Vue dorsale des articulations du carpe d'un cheval. Carpe gauche. La membrane dorsale a été conservée. (Barone,1989)



Le *ligament commun palmaire*, en partie visible sur la figure 7, est vaste et épais. Il nivelles les différents reliefs de la face palmaire du carpe qu'il transforme en coulisse de glissement en entrant dans la constitution du canal carpien. Il débute sur la crête transverse du radius et la partie adjacente de l'épiphyse ulnaire. Médialement, il rejoint le ligament collatéral médial et latéralement les ligaments de l'os accessoire, en regard duquel il constitue un bord épais étendu de cet os à l'épiphyse ulnaire. Le ligament commun palmaire adhère fortement à l'origine du muscle interosseux III et se termine distalement par un fort prolongement qu'est le ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt, dénommé également bride carpienne. Sur son trajet, il délègue de nombreux faisceaux aux os du carpe.

Les *ligaments propres* sont au nombre de deux. La figure 6 montre le *ligament accessorio-ulnaire*, un des quatre ligaments de l'os accessoire qui recouvre latéralement l'articulation du même nom. Le *ligament antébrachio-radial* est cylindroïde. Il est caché sous le ligament commun palmaire et de ce fait entouré par la synoviale articulaire. Il débute sur la rainure radio-ulnaire et se termine en direction disto-médiale sur la tubérosité palmaire de l'os radial.

D'autres moyens d'union sont présents tels que les tendons, les gaines et les fascias du carpe qui sont décrits ultérieurement.

c. *Synoviale*

Comme le montre la figure 6, la synoviale antébrachiocarpienne est la plus étendue du carpe. Elle tapisse la face profonde de tous les ligaments et émet des prolongements entre les différents os de la rangée proximale. Proximale au ligament accessorio-ulnaire et au rebord formé par l'os accessoire et le ligament commun palmaire, il existe un défaut de couverture de l'enveloppe ligamenteuse par lequel fait hernie un volumineux récessus de la synoviale. Ce récessus se situe donc entre les tendons de l'extenseur latéral du doigt et l'ulnaire latéral. Enfin, cette synoviale ne communique pas avec la synoviale articulaire médio-carpienne.

2. Articulations intercarpiennes proximales

Elles permettent de garder en contact les os de la rangée proximale du carpe.

a. *Surfaces articulaires*

Les surfaces articulaires sont constituées par des facettes planes ou un peu onduleuses, déjà décrites dans la partie Ostéologie.

b. *Moyens d'union*

Les os de la rangée proximale sont unis par six ligaments propres dont certains sont visibles sur la figure 6 :

- *Deux ligaments dorsaux* s'insérant sur la face dorsale des os en s'étendant d'un os à l'autre, de l'os ulnaire à l'os intermédiaire et de ce dernier à l'os radial. Ils adhèrent à la membrane dorsale commune ;

- *Un ligament accessorio-carpo ulnaire* qui relie la face latérale de l'os accessoire à l'os ulnaire du carpe. Il est partiellement recouvert par le ligament collatéral latéral ;

- *Trois ligaments interosseux* situés dans les dépressions des faces adjacentes des différents os de la rangée proximale. Il existe donc un ligament unissant à la fois les os accessoire, ulnaire, intermédiaire et radial du carpe.

Des moyens d'union complémentaires sont présents tels que ceux de l'articulation antébrachio-carpienne ainsi que les ligaments collatéraux, la membrane commune dorsale et le ligament commun palmaire.

c. *Synoviales*

Il n'existe pas de synoviale propre aux articulations intercarpiennes proximales, si ce n'est la synoviale accessorio-carpo ulnaire. Les facettes sont lubrifiées par des dépendances des synoviales antébrachio-carpienne et médio-carpienne.

3. **Articulation médiocarpienne**

Elle met en rapport les deux rangées des os du carpe.

a. *Surfaces articulaires*

L'articulation médio-carpienne présente sur la rangée proximale, à l'exception de l'os accessoire du carpe, deux légers reliefs condyloïdes dorsaux et trois petites cavités glénoïdales palmaire. La rangée distale y répond par une conformation inverse. Les différentes surfaces ont été détaillées dans la partie Ostéologie.

b. *Moyens d'union*

Ils sont constitués par la capsule articulaire et ses renforcements, ils peuvent être classés en dorsaux et palmaires.

Il existe deux *ligaments médio-carpiens dorsaux*. La figure 6 montre le *ligament dorsal*. Il s'étend de l'os ulnaire du carpe au carpal IV et est partiellement masqué par le ligament collatéral latéral. Le *ligament accessorio-quartale* s'étend lui du bord distal de l'os accessoire au crochet de l'os carpal IV.

Les *ligaments médio-carpiens palmaires* sont plus puissants. Le *ligament palmaire* débute sur le tubercule palmaire de l'os radial du carpe et se termine sur les os carpal II et III. Il adhère au plan profond du ligament commun palmaire. Enfin, il existe deux *ligaments interosseux*, l'un unit les os ulnaire et intermédiaire avec le carpal III et l'autre relie l'os radial du carpe aux os carpal II et III en deux branches.

Les moyens d'unions complémentaires sont les mêmes que pour les articulations intercarpiennes proximales.

c. Synoviales

La synoviale médio-carpienne est vaste mais moins étendue que la synoviale antébrachio-carpienne. Elle délègue des prolongements entre les os de la rangée proximale et de la rangée distale du carpe. Elle présente toujours une communication avec la synoviale carpométacarpienne entre les os carpal III et IV, sous la membrane commune dorsale.

4. Articulations intercarpiennes distales

Elles permettent de garder en contact les os de la rangée distale du carpe.

a. Surfaces articulaires

Comme pour la rangée proximale, les surfaces articulaires sont constituées par des facettes planes ou un peu onduleuses, déjà décrites dans la partie Ostéologie.

b. Moyens d'union

Les os de la rangée distale du carpe sont unis par deux ligaments dorsaux, l'un est visible sur la figure 6, et deux ligaments interosseux implantés de façon similaire aux articulations intercarpiennes proximales.

Les moyens complémentaires d'union sont également similaires à ceux des articulations intercarpiennes proximales.

c. Synoviales

Il n'existe pas de synoviale propre aux articulations intercarpiennes distales, seulement des prolongements des synoviales médio-carpienne et carpo-métacarpienne.

5. Articulation carpométacarpienne

Elle unit la rangée distale du carpe aux os métacarpiens. Il s'agit de la seconde articulation extrinsèque du carpe.

a. Surfaces articulaires

Comme le montre la figure 4, les surfaces articulaires carpiennes et métacarpiennes sont planiformes et légèrement obliques marquant la place de chaque os carpal. L'os carpal IV est en rapport avec les métacarpiens IV et III. L'os carpal III s'articule principalement avec le métacarpien III et accessoirement avec le métacarpien II. Enfin l'os carpal II répond principalement au métacarpien II et accessoirement au métacarpien III à sa face palmaire.

b. Moyens d'union

Ils sont constitués par la capsule articulaire renforcée par des ligaments.

Les *ligaments dorsaux* sont orientés obliquement en direction disto-latérale. Il existe un ligament reliant l'os carpal IV au métacarpien III et un autre unissant l'os carpal III au métacarpien III par deux branches, visible sur la figure 6.

Il existe deux *ligaments interosseux*. L'un relie les os carpal II et III à l'intervalle séparant les métacarpiens II et III. L'autre unie de la même façon les os carpal III et IV à l'espace métacarpien correspondant.

Les moyens d'union complémentaires sont identiques à ceux de l'articulation médiocarpienne auxquels s'ajoutent le *muscle interosseux III* par l'intermédiaire de son insertion proximale et le *ligament accessorio-métacarpien* qui relie le bord disto-latéral de l'os accessoire, où il s'unit au *ligament accessorio-quartale (ou accessorio-carpal IV)*, à l'extrémité proximale du métacarpien IV.

c. *Synoviales*

La synoviale carpométacarpienne délègue des prolongements entre les facettes intercarpiennes de la rangée distale et entre les extrémités proximales des articulations intermétacarpiennes. Par ailleurs, elle communique avec la synoviale médio-carpienne comme décrit précédemment.

C. Tendons de la région du carpe

Les muscles décrits occupent la région de l'avant-bras mais en regard du carpe, ce sont leurs tendons qui sont présents (Barone, 1989).

1. Tendons des muscles antébrachiaux crâniiaux

Les muscles antébrachiaux crâniiaux regroupent les muscles extenseurs de l'avant-bras. Ils sont tous visibles sur la figure 9 et en partie sur la figure 10.

Le *tendon du muscle extenseur radial du carpe*, le plus volumineux et le plus médial, glisse dans un large sillon vertical à la face dorsale du radius et s'engage dans la gaine qui lui est propre à la face dorsale du carpe. Il s'insère distalement sur la tubérosité dorsale du métacarpien III.

Le *tendon du muscle extenseur dorsal du doigt* glisse dans un sillon vertical situé dorso-latéralement au radius puis s'engage dans une gaine qui lui est propre à la face dorsale du carpe, latéralement au tendon extenseur radial du carpe. Son insertion distale se fait sur le processus extensorius de la phalange distale.

Le *tendon du muscle extenseur latéral du doigt* chemine entre l'extenseur dorsal du doigt et le muscle ulnaire latéral. Son tendon glisse dans un sillon vertical en partie disto-latérale du radius avant de pénétrer dans une gaine fibreuse qui passe entre les deux plans de fibres du ligament collatéral latéral du carpe. Il se retrouve ensuite dorsal au métacarpien principal où il reçoit une forte branche de renforcement qui descend obliquement du bord de l'os accessoire. Son insertion distale s'effectue sur la face dorsale de la phalange proximale.

Le *tendon du muscle extenseur oblique du carpe* croise la surface du tendon extenseur radial du carpe puis se dirige disto-médialement dans une gaine étroite et longue. Son insertion distale s'effectue sur l'extrémité proximale du métacarpien rudimentaire médial.

2. Tendons des muscles antébrachiaux caudaux

Les muscles antébrachiaux caudaux regroupent les muscles fléchisseurs qui sont organisés en deux couches. Une couche superficielle regroupe les muscles fléchisseurs du carpe et une couche profonde regroupe les muscles fléchisseurs du doigt. Ils sont visibles sur les figures 9, 10 et 11.

Les muscles superficiels :

- Le *tendon du muscle extenseur ulnaire du carpe (ulnaire latéral)* longe le bord palmaire du muscle extenseur latéral du doigt. Son insertion distale s'effectue en deux branches, une branche courte mais forte s'insère sur le bord proximal de l'os accessoire et s'unit au tendon du muscle fléchisseur ulnaire du carpe et une branche accessoire longue qui glisse dans le sillon de la face latérale de l'os accessoire et s'insère sur l'extrémité proximale du métacarpien rudimentaire latéral.

- Le *tendon du muscle fléchisseur ulnaire du carpe (ulnaire médial)* est commun aux deux chefs qui composent ce muscle (chef ulnaire et chef huméral). Il est large et fort et s'unit au tendon du muscle ulnaire latéral pour s'attacher sur l'os accessoire.

- Le *tendon du muscle fléchisseur radial du carpe* chemine à la face médiale du carpe dans une gaine qui lui est propre et se termine à l'extrémité proximal du métacarpien rudimentaire médial.

Les muscles profonds :

- Le *tendon du muscle fléchisseur superficiel du doigt (perforé)* débute vers le quart distal de l'avant-bras et reçoit, dans sa partie proximale, une très forte production fibreuse qui provient de la face palmaire du radius, près du bord médial de cet os, c'est le ligament accessoire du fléchisseur superficiel du doigt ou bride radiale. Le tendon pénètre ensuite dans le canal carpien en longeant la face médio-palmaire du tendon fléchisseur profond. Dans cette gaine, les deux tendons sont enveloppés dans une vaste synoviale commune. Le tendon perforé se termine en deux courtes branches sur le scutum moyen de la phalange moyenne.

- Le *muscle fléchisseur profond du doigt* est composé à son origine de trois chefs : le chef huméral, le plus volumineux, le chef ulnaire et le chef radial, chacun prolongé par un tendon. Ces tendons fusionnent en face palmaire du carpe pour donner un tendon commun, le *tendon fléchisseur profond du doigt ou perforant*, qui semble continuer directement le chef huméral. Le tendon perforant traverse le canal carpien, puis se prolonge en région métacarpienne où il reçoit une forte lanière fibreuse, c'est le ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt ou bride carpienne. Le tendon perforant se termine sur la face palmaire de la phalange distale.

- Le *muscle interosseux III*, également appelé *ligament suspenseur du boulet* dû à sa composition fibreuse chez le cheval, s'insère proximalelement sur la face palmaire des os de la rangée distale du carpe et de l'extrémité proximale du métacarpien principal. Il couvre la face palmaire de l'os métacarpien III. Distalement, il se divise en deux branches qui s'insèrent chacune sur le sommet de l'os sésamoïde proximal correspondant.

Figure 9 : Vue latérale des tendons, gaines et synoviales du carpe d'un cheval. Membre gauche. Les synoviales tendineuses sont colorées en bleu et la synoviale articulaire antébrachio-carpienne en rouge. (Barone,1989)

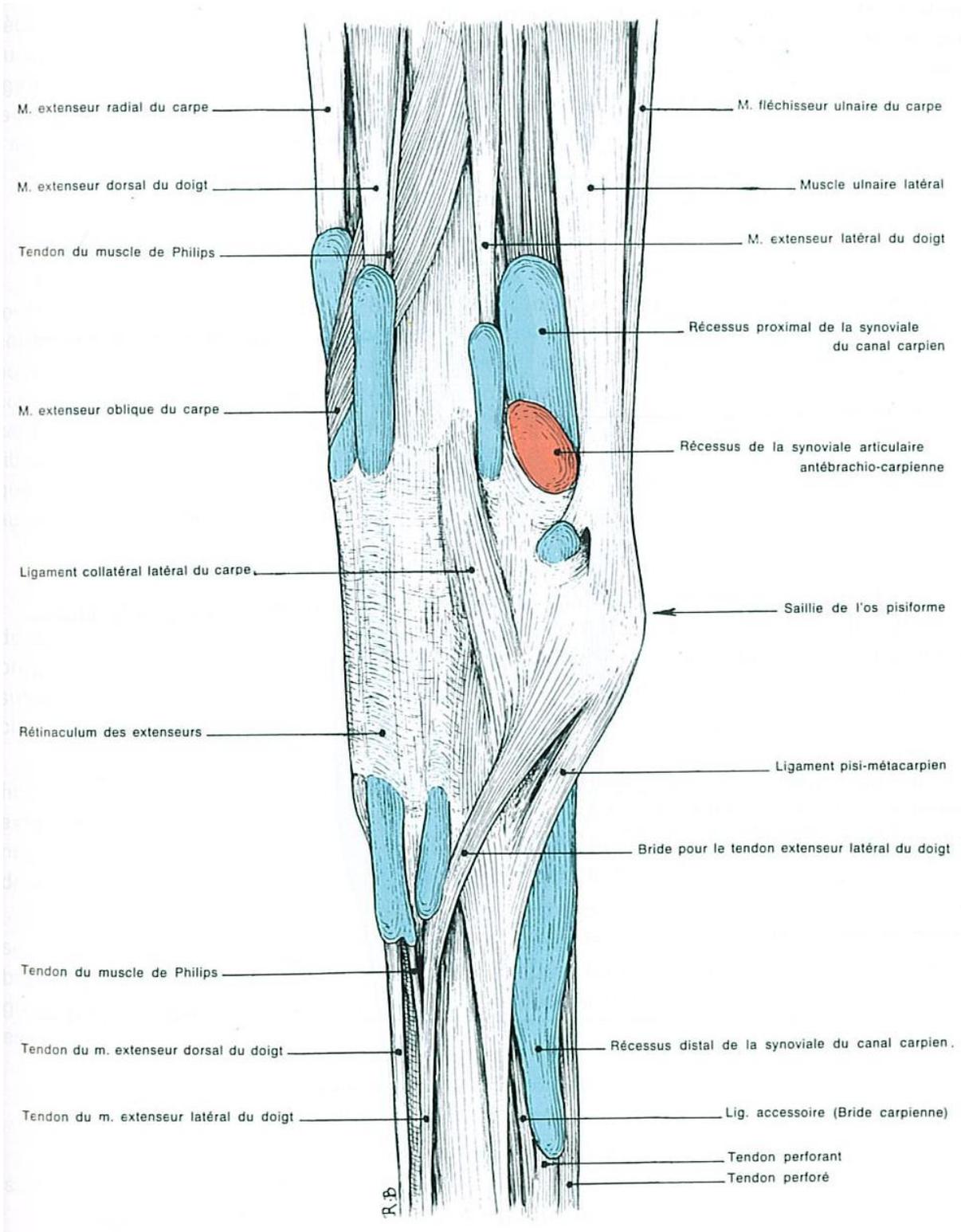
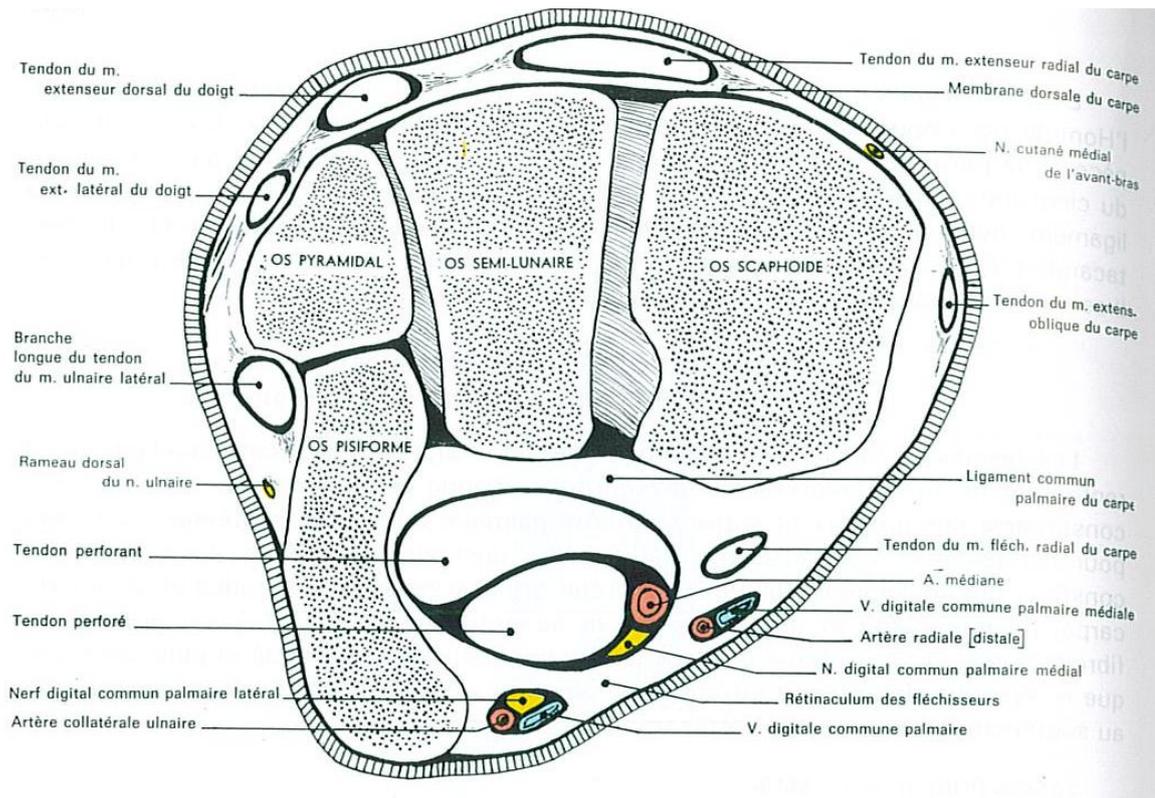


Figure 10 : Coupe transversale du carpe d'un cheval. Membre gauche. Segment distal des os de la rangée proximale du carpe. Vue proximale. (Barone,1989)



D. Fascias et gaines du carpe

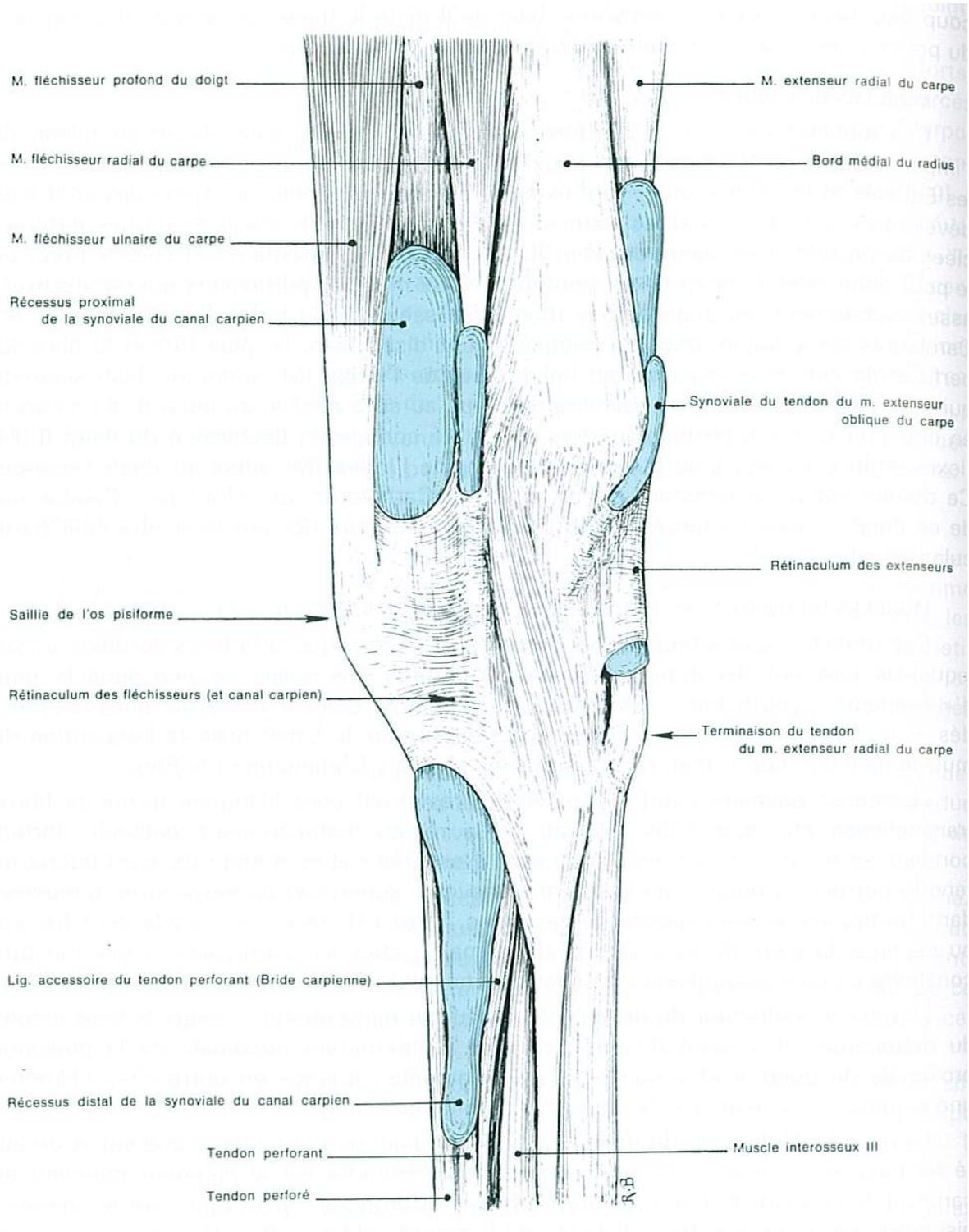
Les fascias de la main prolongent à partir du carpe, le fascia antébrachial. Ils se renforcent au niveau du carpe et constituent des systèmes contentifs pour les tendons des muscles antébrachiaux. Ils entrent ainsi dans la constitution des gaines tendineuses (Barone, 1989).

1. Fascias du carpe

Le *fascia dorsal du carpe* est formé de deux lames, une superficielle et une profonde, entre lesquelles cheminent les tendons extenseurs. La lame superficielle est la plus développée, elle est renforcée de fibres transversales et constitue le *rétinaculum des extenseurs*, figures 9 et 11, qui permet de maintenir les tendons extenseurs du carpe. La lame profonde se confond avec la membrane dorsale du carpe, figure 8. Entre les gaines, elle s'unit à la lame superficielle.

Le *fascia palmaire du carpe* est plus développé et complexe. Il est également divisé en deux lames, une superficielle et une profonde. La lame superficielle est épaisse, elle s'étend de l'os accessoire du carpe et de ses ligaments au bord médial du carpe. Elle forme le *rétinaculum des fléchisseurs*, figure 11. La lame profonde débute sur la face palmaire du carpe et s'unit au ligament palmaire commun du carpe, figure 10.

Figure 11 : Vue médiale des tendons, gaines et synoviales du carpe d'un cheval. Membre gauche. Les synoviales tendineuses sont colorées en bleu. (Barone,1989)



2. Gains tendineuses du carpe

Les *gaines dorsales du carpe* permettent le glissement des tendons extenseurs. Elles sont formées par le rétinaculum des extenseurs et la lame profonde du fascia dorsal unie à la membrane commune dorsale. Du côté médial vers le côté latéral, visibles sur la figure 11, se trouvent successivement : la *gaine de l'extenseur oblique du carpe*, la *gaine de l'extenseur radial du carpe*, la *gaine de l'extenseur dorsal du doigt* et la *gaine de l'extenseur latéral du doigt*. Dans chacune de ces gaines, le tendon est enveloppé d'une synoviale vaginale qui forme un récessus à chaque extrémité.

Les *gaines palmaires du carpe* permettent elles le glissement des tendons fléchisseurs. À la face médiale, caudalement au ligament collatéral médial, se trouve la *gaine du fléchisseur radial du carpe*, étroite et allongée, figure 11.

À la face latérale, se trouve la *gaine de l'ulnaire latéral*, en rapport avec le sillon de la face latérale de l'os accessoire du carpe, figure 9.

À la face palmaire, se trouve le *canal carpien* qui donne passage aux tendons fléchisseurs profond et superficiel du doigt. Il est formé dorsalement par le ligament commun palmaire du carpe, latéralement par l'os accessoire et ses ligaments, et il est fermé à la face médio-palmaire par le rétinaculum des fléchisseurs. Dans cette gaine, les deux tendons sont enveloppés dans une vaste synoviale commune donnant un récessus à chaque extrémité, figure 11.

E. Vaisseaux et nerfs du carpe

Seuls les principaux vaisseaux et nerfs sont décrits (Barone, 1996 ; Barone et Simoens, 2010). Ils sont visibles sur la figure 12.

1. Artères

Le réseau artériel dorsal est très réduit et se limite à un *réseau carpien dorsal*, prolongé au-delà du carpe par les artères métacarpiennes dorsales II et III.

À la face palmaire, se trouvent deux *artères digitales communes palmaires*, la médiale étant beaucoup plus volumineuse que la latérale.

L'artère collatérale ulnaire passe au bord médio-caudal de l'os accessoire du carpe avant de donner un rameau superficiel qu'est l'artère digitale commune palmaire III (latérale) et un rameau profond. L'artère médiane chemine sous le muscle fléchisseur radial du carpe avant de pénétrer dans le canal carpien après lequel elle se continue par l'artère digitale commune palmaire II (médiale). Elle émet juste proximale au carpe l'artère radiale distale qui passe médialement et à l'extérieur du canal carpien. Cette dernière se distribue finalement en rameaux carpiens dorsaux et palmaires.

2. Veines

Le réseau veineux dorsal est presque inexistant, la face dorsale est drainée par des affluents dorsaux des veines digitales palmaires.

À la face palmaire, la veine digitale commune palmaire II (médiale) se prolonge par la veine céphalique de l'avant-bras qui chemine à l'extérieur du canal carpien avec l'artère radiale distale. La veine digitale commune palmaire III (latérale) empreinte le même chemin

que l'artère collatérale ulnaire. En regard de la partie distale du carpe, elle forme avec la médiale une arcade palmaire profonde drainée par les veines céphaliques et médianes.

3. Nerfs

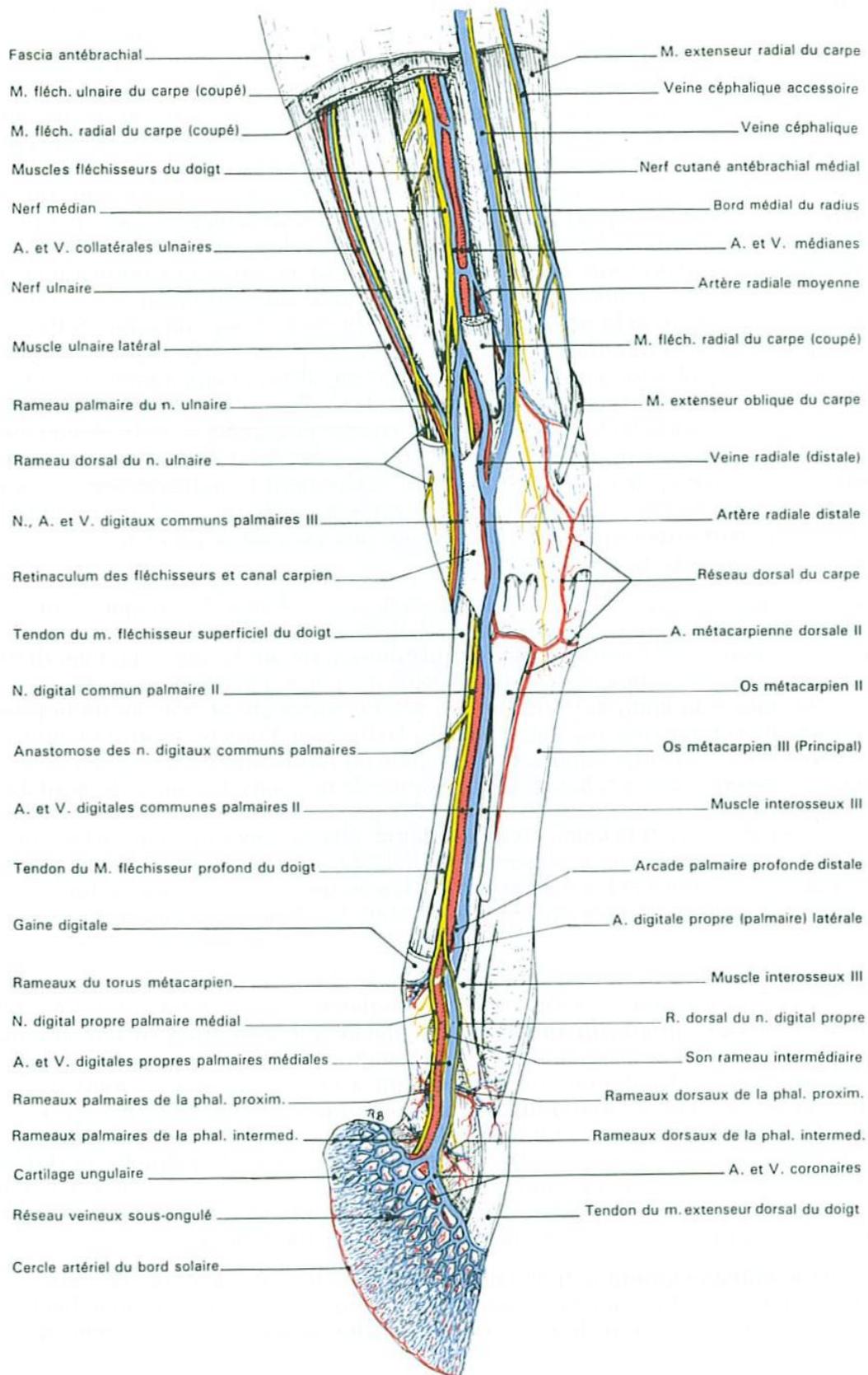
Le *nerf médian* émet au quart distal de l'avant-bras, deux rameaux inégaux :

- le rameau médial est le plus important. Il pénètre dans le canal carpien, où il est accompagné par l'artère médiane, pour former le *nerf digital commun palmaire II (médial)* ;
- le rameau latéral est plus grêle. Il rejoint le rameau palmaire du nerf ulnaire à l'extrémité proximale du carpe. L'ensemble passe médialement à l'os accessoire du carpe et se poursuit par le *nerf digital commun palmaire III (latéral)*.

Le *nerf ulnaire* se termine proximale à l'os accessoire du carpe en émettant un rameau dorsal et un rameau palmaire.

Les vaisseaux et nerf digitaux communs palmaires suivent le même chemin et se positionnent dans l'ordre, de la face palmaire vers la face dorsale : nerf, artère puis veine.

Figure 12 : Vue médiale des vaisseaux et nerfs de la main du cheval. Main gauche. (Barone,1996)

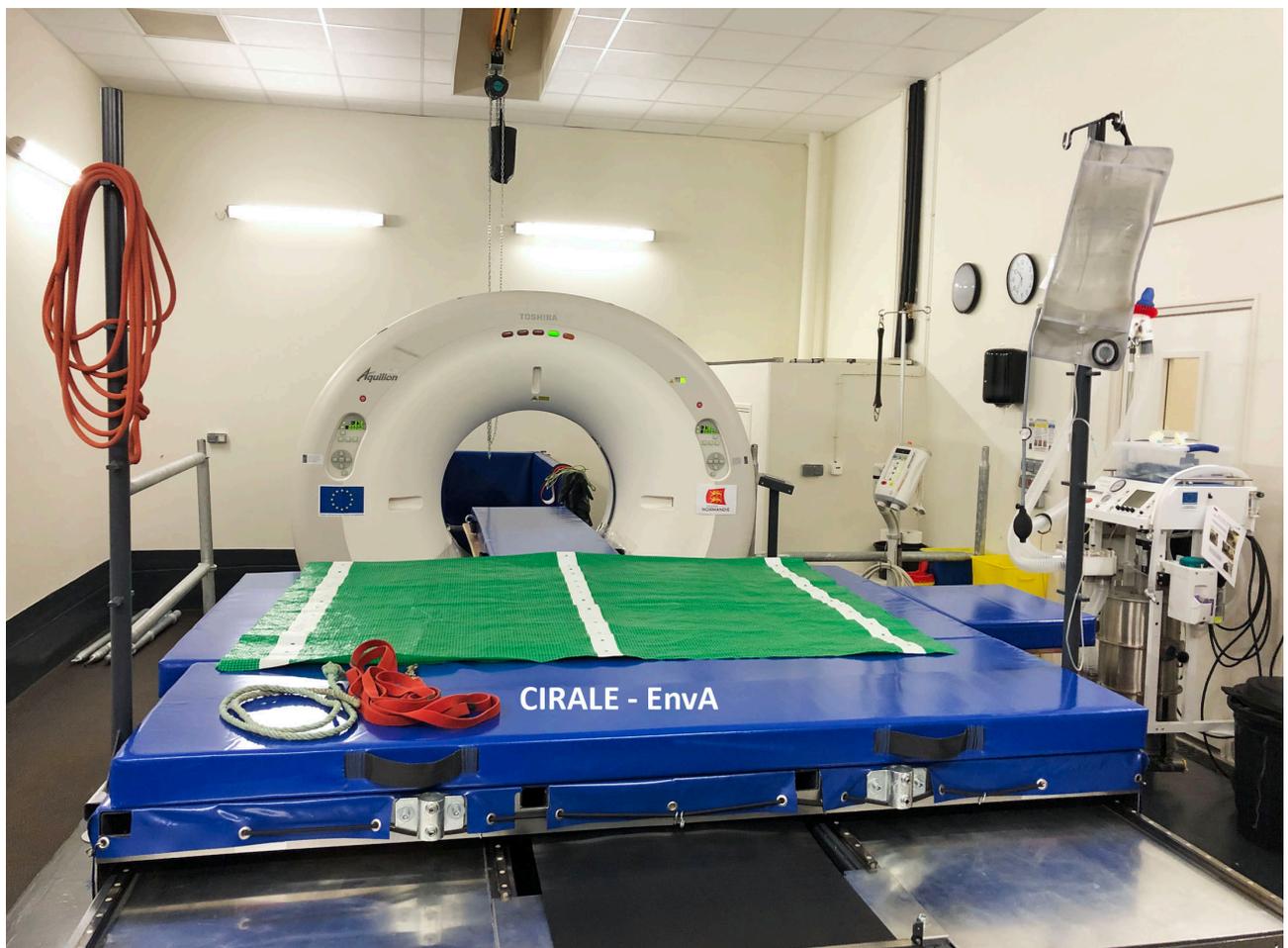


Deuxième partie : matériel et méthode

I. Instrumentation

Les images ont été acquises au Centre d'Imagerie et de Recherche sur les Affections Locomotrices Equines (CIRALE) de l'EnvA à l'aide d'un scanner Canon (anciennement Toshiba) Aquilion Large Bore (LB) d'un diamètre patient de 90 cm équipé d'une table cheval motorisée réglable en hauteur entièrement conçue dans son cahier des charges par le CIRALE et réalisée par l'entreprise belge Medical Imagery. L'ensemble est illustré par la figure 13.

Figure 13 : Scanner Canon Aquilion Large Bore et table cheval motorisée (CIRALE - EnvA).



II. Chevaux de référence et protocole de réalisation des images

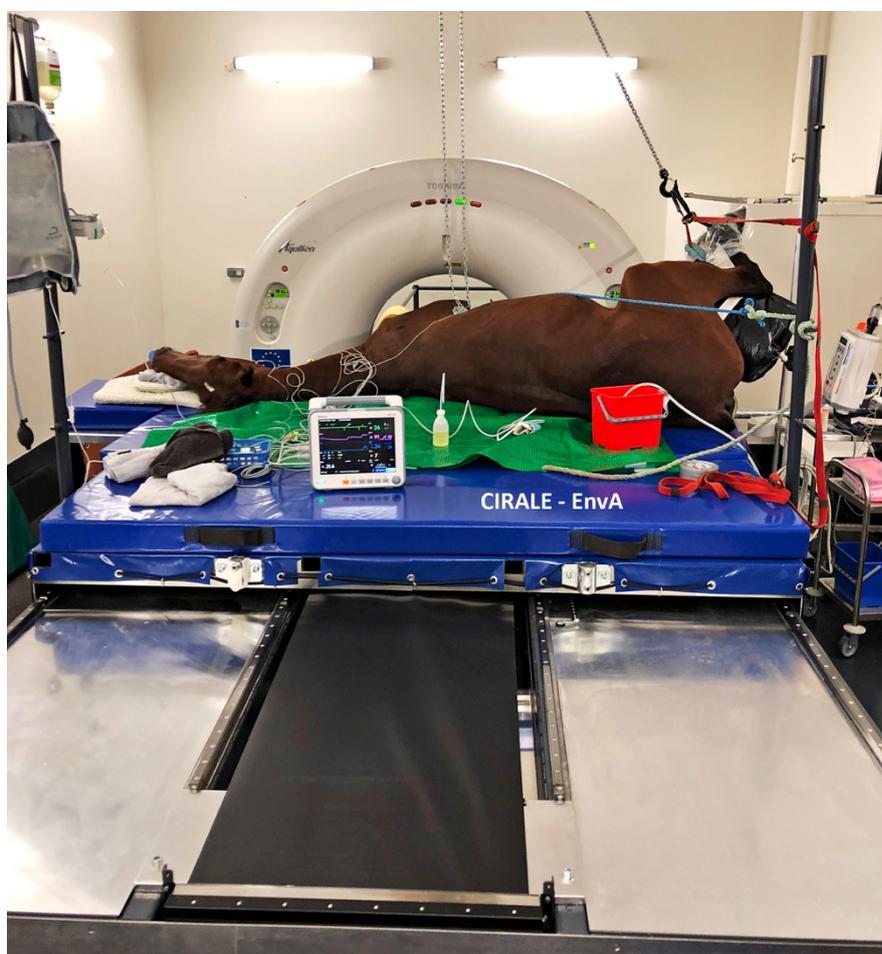
Les images de la thèse ont été acquises sur des membres isolés récupérés à la salle d'autopsie de l'ANSES – Dozulé.

Les paramètres d'acquisition étaient les suivants :

- constantes d'exposition : tension = 120 kV ; intensité = 200 mA ; temps de rotation du tube = 0,5 s ; mAs effective = 145 mAs ; petit foyer du tube radiogène ;
- champ de vue reconstruit : diamètre = 320 mm ; longueur d'acquisition = 700 mm ; collimation = 1 mm avec 16 détecteurs, vitesse de déplacement de la table (pitch) = lent ; durée d'acquisition 33,1 s.

Le membre isolé est placé sur la table du scanner. L'acquisition des images a été réalisée de l'extrémité distale du radius jusqu'à l'extrémité proximale des os métacarpiens, incluant l'insertion proximale du ligament suspenseur. La figure 14 montre le placement du cheval vivant pour l'acquisition d'images du tiers distal du radius au pied antérieur gauche.

Figure 14 : Placement du cheval entier sur la table pour l'acquisition d'images de la région distale du membre antérieur gauche (CIRALE – EnvA).



Les coupes sans préparation ont été acquises sur un membre isolé d'un Trotteur Français hongre de 20 ans autopsié à l'ANSES – Dozulé.

Les coupes scanner avec injection intra-articulaire de produit de contraste ont été acquises sur un membre isolé d'un Trotteur Français mâle entier de 18 mois autopsié à l'ANSES – Dozulé. Le produit de contraste utilisé est de l'iode dosé à 150 mg d'iode par ml.

L'injection de l'articulation antébrachio-carpienne a été réalisée avec 25 ml de produit de contraste et l'articulation médiocarpienne avec 15 ml du même produit. Cette dernière communique avec l'articulation carpométacarpienne qui se trouve également injectée.

III. Traitement et choix des images

Pour étudier l'anatomie du carpe du cheval, nous avons utilisé les modes de reconstruction 3D, MPR (Multi Planar Reconstruction) et filtres tissus mous et osseux. Ces outils nous ont permis d'avoir un éventail d'images permettant une visualisation la plus complète possible de l'anatomie de la région étudiée.

La reconstruction des coupes après acquisition des images a été réalisée avec :

- un filtre osseux et une épaisseur de coupe de 1 mm, des coupes chevauchantes avec un chevauchement de 20 % entre deux coupes ;
- un filtre tissus mous et une épaisseur de coupe de 2 mm, des coupes chevauchantes avec un chevauchement de 50 % entre deux coupes.

Les filtres osseux et tissus mous mettent en évidence respectivement les formations osseuses et les tissus mous. Des coupes ont ensuite été recalculées dans les différents plans (transversal, sagittal, frontal) grâce à l'outil MPR de la console d'acquisition du scanner.

Il en a été de même pour les vues 3D produites sur cette console d'acquisition Canon dont on peut obtenir des vues à 360 °. La reconstruction 3D, en seuillant au niveau de densité de l'os, permet d'obtenir des images d'os avec détails, comme de réelles photographies de pièces anatomiques.

IV. Création du support pédagogique

Le but de cette thèse est en effet de créer un support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie de la première à la cinquième année d'école et pour la formation continue des vétérinaires.

Pour cela nous utilisons deux axes :

- la création d'un diaporama avec les images légendées pour acquérir les connaissances nécessaires. Un code couleur a été instauré pour différencier les niveaux de connaissances à acquérir. Le premier niveau représente les connaissances attendues pour les étudiants de première année lors des enseignements d'anatomie du tronc commun et le second niveau pour les étudiants en cinquième année à dominante équine et les internes ;
- la création de quizz, à deux niveaux comme décrits ci-dessus, pour l'entraînement et le contrôle des connaissances.

Ces deux supports pédagogiques ont ensuite été mis en ligne sur Eve, plateforme pour l'enseignement des étudiants Alforiens, avec l'aide de la direction des systèmes informatiques de l'école. Ces supports pourront ainsi être intégrés dans les modules d'enseignement d'anatomie.

Pour accéder à ces ressources, il faut se connecter sur Eve et ensuite deux accès seront possibles :

- en suivant le chemin suivant : Formation initiale > Supports pédagogiques variés > Thèses multimédias > Anatomie du cheval – Imagerie scanner ;
- en cliquant sur le lien qui se trouve dans l'UC (Unité de Compétence) concernée par l'utilisation de ces ressources.

La page se présente comme sur la figure 15. Une autre thèse effectue le même travail sur le pied du cheval.

Figure 15 : Capture d'écran de la plateforme Eve contenant le travail de cette thèse.

EVE Espace Information Formation initiale Formations complémentaires Espace collaboratif

Accueil > Cours > Espace Formation initiale > Supports pédagogiques variés > Les thèses multimédia > Thèses en cours (non publiées) > Anatomie du cheval - Imagerie scanner

Anatomie du cheval - Imagerie scanner

Votre progression ?

Événements à venir

Aucun événement à venir

Vers le calendrier...

Annonces

Instruction : un clic sur le titre de la section affiche ou masque cette section

▶ Le pied du cheval Section 1

▼ Le carpe du cheval Section 2

- Le carpe - images 3D
- Le carpe - coupes avec filtre osseux
- Le carpe - coupes avec filtre tissus mous
- Le carpe - coupes après arthrographie
- Anatomie du carpe du cheval avec images scanner - niveau A1-A4
- Anatomie du carpe du cheval avec images scanner - niveau A5 et plus

Troisième partie : résultats

Le code couleur utilisé dans les légendes des figures correspond au niveau de connaissance demandé. Les légendes en noir sont celles à connaître pour le tronc commun, tandis que les légendes en bleu sont les informations supplémentaires à connaître pour un étudiant de A5 et un interne en Clinique équine.

I. Ostéologie 3D

Les images sélectionnées en rotation autour du carpe permettent d'avoir une vue du carpe dans son ensemble. Des coupes frontales ont également été sélectionnées. L'ensemble de ces images permet de bien voir la forme des différents os et comment ils sont agencés entre eux. Il s'agit ici d'un carpe gauche.

Les figures 16 à 25 ci-dessous correspondent aux diapositives du support pédagogique pour cette partie.

Figure 16 : 3D - Vue dorsale du carpe.

Vue dorsale

1. Radius
1a. Sillon pour l'extenseur oblique du carpe
1b. Sillon pour l'extenseur radial du carpe
1c. Sillon pour l'extenseur dorsal du doigt
1d. Processus styloïde radial
1e. Processus styloïde ulnaire
2. Os radial du carpe
3. Os intermédiaire du carpe
4. Os ulnaire du carpe
5. Os carpal II
6. Os carpal III
7. Os carpal IV
8. Os métacarpien II
9. Os métacarpien III
9a. Tubérosité dorso-médiale du métacarpien III
10. Os métacarpien IV
11. Articulation antébrachio-carpienne
12. Articulation médiocarpienne
13. Articulation carpométacarpienne

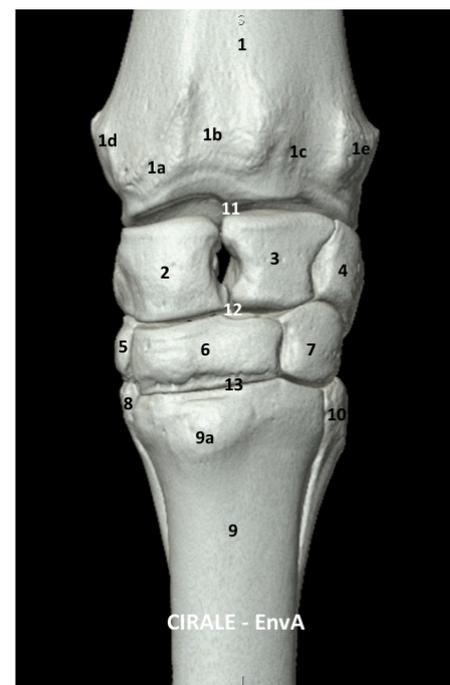


Figure 17 : 3D - Coupe frontale passant par la moitié dorsale du carpe.

Coupe frontale (passant par la moitié dorsale du carpe)

1. Radius
2. Os radial du carpe
3. Os intermédiaire du carpe
4. Os ulnaire du carpe
5. Facettes articulaires intercarpiennes de la rangée proximale
6. Fosse pour le ligament interosseux dorsal
7. Os carpal II
8. Os carpal III
 - 8a. Fosse radiale
 - 8b. Fosse intermédiaire
9. Os carpal IV
10. Facettes articulaires intercarpiennes de la rangée distale
11. Os métacarpien II
12. Os métacarpien III
13. Os métacarpien IV
14. Articulation antébrachiocarpienne
15. Articulation médiocarpienne
16. Articulation carpométacarpienne

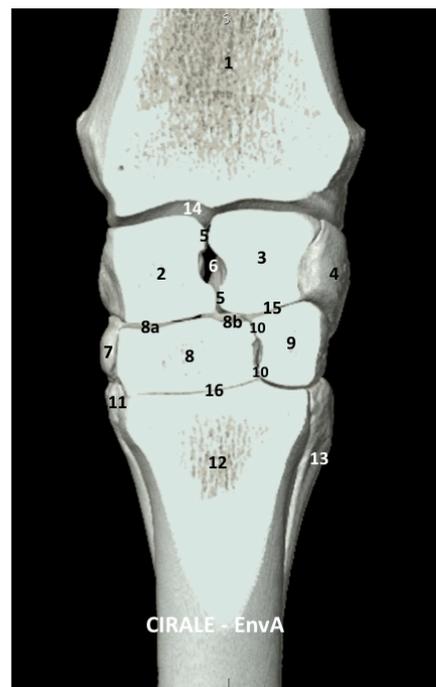


Figure 18 : 3D - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe.

Coupe frontale (passant par la moitié palmaire du carpe)

1. Radius
 - 1a. Processus styloïde radial
 - 1b. Processus styloïde ulnaire
2. Os radial du carpe
3. Os intermédiaire du carpe
4. Os ulnaire du carpe
5. Os carpal II
6. Os carpal III : tubercule palmaire
7. Os carpal IV
8. Facettes articulaires intercarpiennes pour la rangée distale
9. Os métacarpien II
10. Os métacarpien III
 - 10a. Cavité médullaire
 - 10b. Foramen vasculaire nourricier
11. Os métacarpien IV
12. Articulation antébrachiocarpienne
13. Articulation médiocarpienne
14. Articulation carpométacarpienne

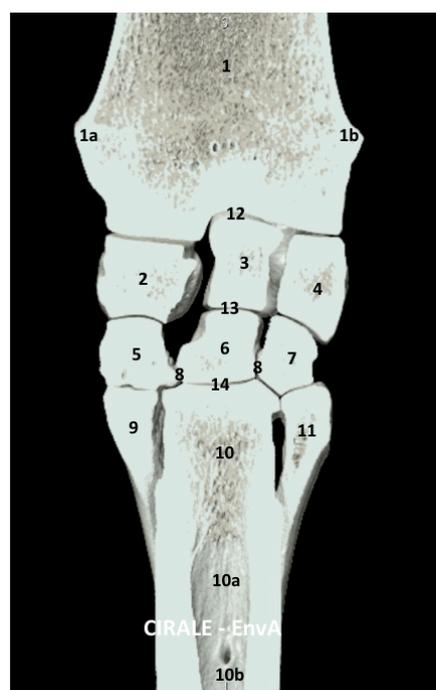
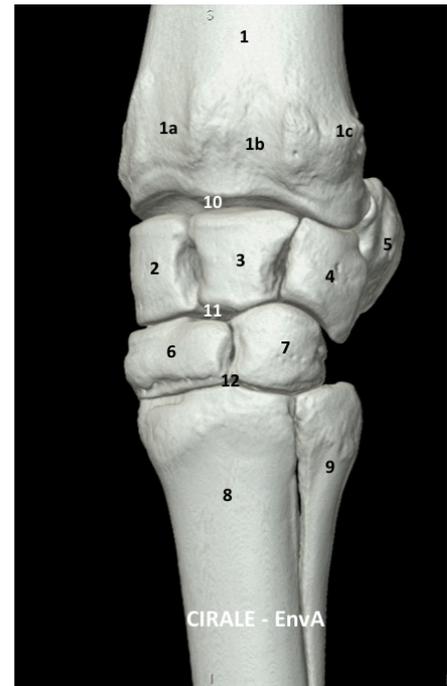


Figure 19 : 3D - Vue oblique dorso-latérale du carpe.

Vue oblique dorso-latérale

- | |
|---|
| 1. Radius |
| 1a. Sillon pour l'extenseur radial du carpe |
| 1b. Sillon pour l'extenseur dorsal du doigt |
| 1c. Processus styloïde ulnaire |
| 2. Os radial du carpe |
| 3. Os intermédiaire du carpe |
| 4. Os ulnaire du carpe |
| 5. Os accessoire du carpe |
| 6. Os carpal III |
| 7. Os carpal IV |
| 8. Os métacarpien III |
| 9. Os métacarpien IV |
| 10. Articulation antébrachiocarpienne |
| 11. Articulation médiocarpienne |
| 12. Articulation carpométacarpienne |



Sur la vue latérale ci-dessous, la légende n°7 pourrait correspondre à l'os carpal I ou V, tous deux présents de façon inconstante chez le cheval. Les vues suivantes permettent d'identifier cet os comme étant ici l'os carpal I.

Figure 20 : 3D - Vue latérale du carpe.

Vue latérale

- | |
|---|
| 1. Radius |
| 1a. Sillon pour l'extenseur dorsal du doigt |
| 1b. Sillon pour l'extenseur latéral du doigt |
| 1c. Condyle latéral |
| 1d. Crête transverse du radius |
| 2. Os intermédiaire du carpe |
| 3. Os ulnaire du carpe |
| 4. Os accessoire du carpe |
| 4a. Surface articulaire pour le radius |
| 4b. Surface articulaire pour l'os ulnaire du carpe |
| 4c. Sillon pour le tendon long du muscle ulnaire latéral |
| 5. Os carpal III |
| 6. Os carpal IV |
| 7. Os carpal I (ou V) (nécessiterait une vue de face pour trancher) |
| 8. Os métacarpien III |
| 9. Os métacarpien IV |

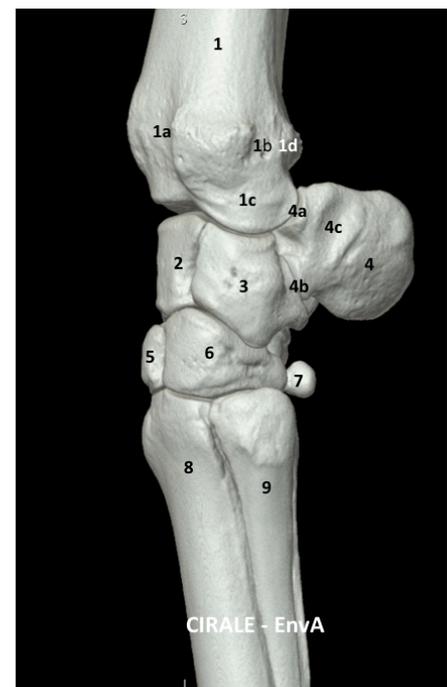


Figure 21 : 3D - Vue oblique caudo-latérale du carpe.

Vue oblique caudo-latérale

- | |
|--|
| 1. Radius |
| 1a. Sillon pour l'extenseur latéral du doigt |
| 1b. Crête transverse |
| 1c. Condyle latéral |
| 2. Os accessoire du carpe |
| 2a. Surface articulaire pour le radius |
| 2b. Surface articulaire pour l'os ulnaire du carpe |
| 2c. Sillon pour le tendon long du muscle ulnaire latéral |
| 3. Os ulnaire du carpe |
| 4. Os carpal IV |
| 4a. Tubercule palmaire |
| 5. Os carpal III |
| 6. Os carpal II |
| 7. Os carpal I |
| 8. Os métacarpien IV |
| 9. Os métacarpien III |
| 10. Os métacarpien II |

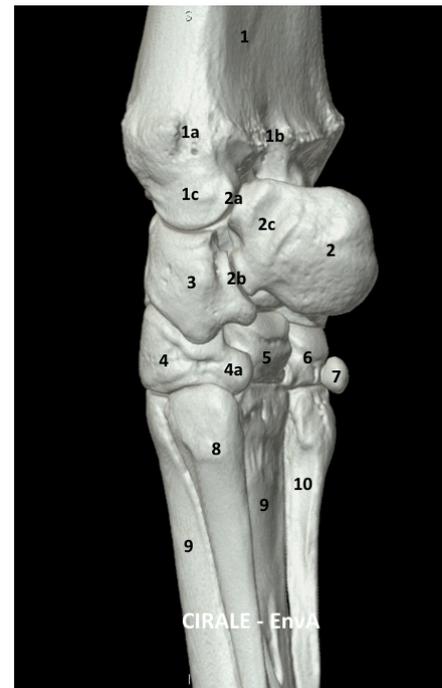


Figure 22 : 3D - Vue palmaire du carpe.

Vue palmaire

- | |
|--|
| 1. Radius |
| 1a. Crête transverse |
| 1b. Condyle latéral |
| 1c. Condyle intermédiaire |
| 1d. Condyle médial |
| 2. Os accessoire du carpe |
| 3. Os ulnaire du carpe |
| 4. Os intermédiaire du carpe |
| 5. Os radial du carpe |
| 6. Os carpal IV |
| 7. Os carpal III |
| 8. Os carpal II |
| 9. Os carpal I |
| 10. Os métacarpien IV |
| 11. Os métacarpien III |
| 11a. Insertion proximale du muscle interosseux III |
| 12. Os métacarpien II |

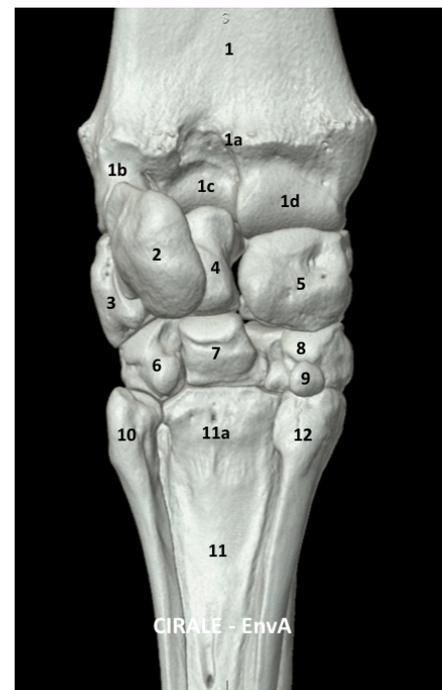


Figure 23 : 3D - Vue oblique caudo-médiale du carpe.

Vue oblique caudo-médiale

1. Radius
 - 1a. Crête transverse
 - 1b. Condyle latéral
 - 1c. Condyle intermédiaire
 - 1d. Condyle médial
 - 1e. Processus styloïde radial
2. Os accessoire du carpe (face médiale concave)
3. Os ulnaire du carpe
4. Os intermédiaire du carpe : **tubercule palmaire**
5. Os radial du carpe
6. Os carpal IV
- 7a. **Tubercule palmaire de l'os carpal III**
- 7b. Face dorsale de l'os carpal III
8. Os carpal II
9. Os carpal I
10. Os métacarpien IV
11. Os métacarpien III
12. Os métacarpien II

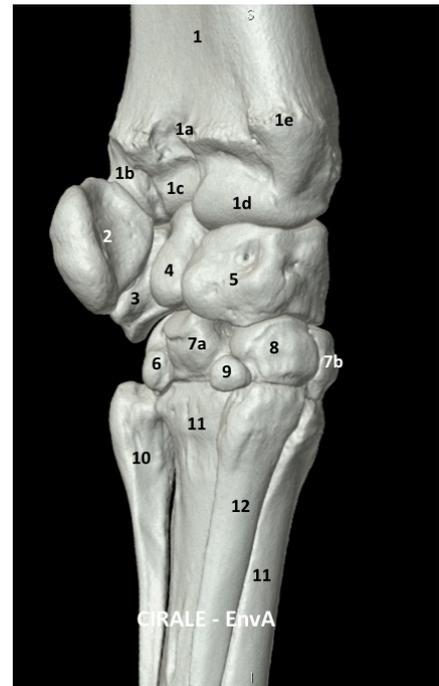


Figure 24 : 3D - Vue médiale du carpe.

Vue médiale

1. Radius
 - 1a. Crête transverse
 - 1b. Condyle médial
2. Sillon pour l'extenseur oblique du carpe
3. Os accessoire du carpe
4. Os radial du carpe
 - 4a. **Tubercule palmaire**
5. Os carpal I
6. Os carpal II
7. Os carpal III
8. Os métacarpien II
9. Os métacarpien III
 - 9a. **Tubérosité dorso-médiale de l'os métacarpien III**

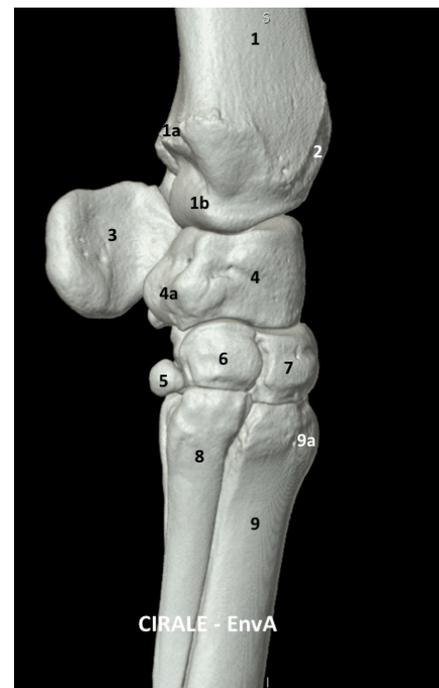
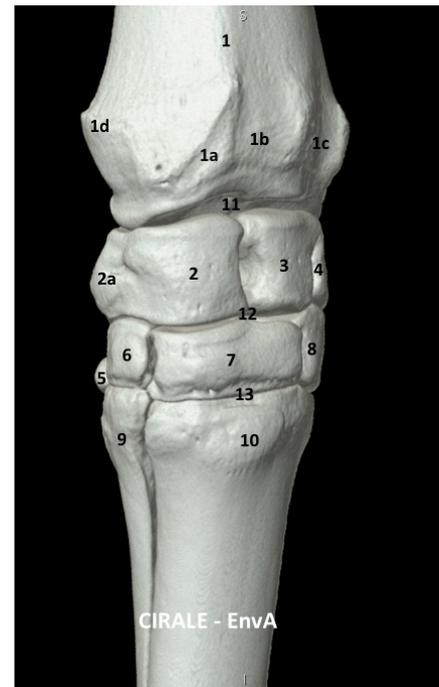


Figure 25 : 3D - Vue oblique dorso-médiale du carpe.

Vue oblique dorso-médiale

- | |
|--|
| 1. Radius |
| 1a. Sillon pour l'extenseur oblique du carpe |
| 1b. Sillon pour l'extenseur radial du carpe |
| 1c. Sillon pour l'extenseur dorsal du doigt |
| 1d. Processus styloïde radial |
| 2. Os radial du carpe |
| 2a. Tubercule palmaire |
| 3. Os intermédiaire du carpe |
| 4. Os ulnaire du carpe |
| 5. Os carpal I |
| 6. Os carpal II |
| 7. Os carpal III |
| 8. Os carpal IV |
| 9. Os métacarpien II |
| 10. Tubérosité dorso-médiale de l'os métacarpien III |
| 11. Articulation antébrachio-carpienne |
| 12. Articulation médiocarpienne |
| 13. Articulation carpométacarpienne |



II. Imagerie en coupe avec filtre osseux

Dans cette partie nous allons nous intéresser plus particulièrement aux formations osseuses du carpe à travers des coupes frontales, sagittales et transversales.

A. Coupes frontales

Les figures 26 à 30 ci-dessous correspondent aux diapositives du support pédagogique pour cette partie.

Figure 26 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié dorsale du carpe 1.

Coupe frontale dorsale 1

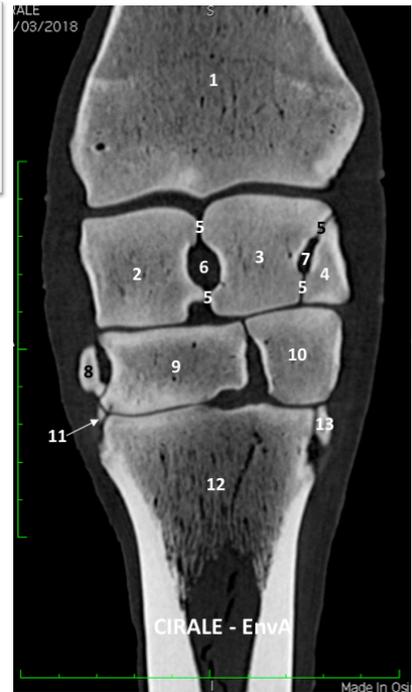
- | |
|---|
| 1. Radius |
| 2. Os radial du carpe |
| 3. Os intermédiaire du carpe |
| 4. Facettes articulaires intercarpiennes de la rangée proximale |
| 5. Ligament interosseux dorsal |
| 6. Os carpal III |
| 7. Os carpal IV |
| 8. Facettes articulaires intercarpiennes de la rangée distale |
| 9. Os métacarpien III |



Figure 27 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié dorsale du carpe 2.

Coupe frontale dorsale 2

1. Radius
2. Os radial du carpe
3. Os intermédiaire du carpe
4. Os ulnaire du carpe
5. Facettes articulaires intercarpiennes de la rangée proximale
6. Fosse pour le ligament interosseux dorsal (intermédio-radial)
7. Fosse pour le ligament interosseux dorsal (intermédio-ulnaire)
8. Os carpal II
9. Os carpal III
10. Os carpal IV
11. Os métacarpien II
12. Os métacarpien III
13. Os métacarpien IV

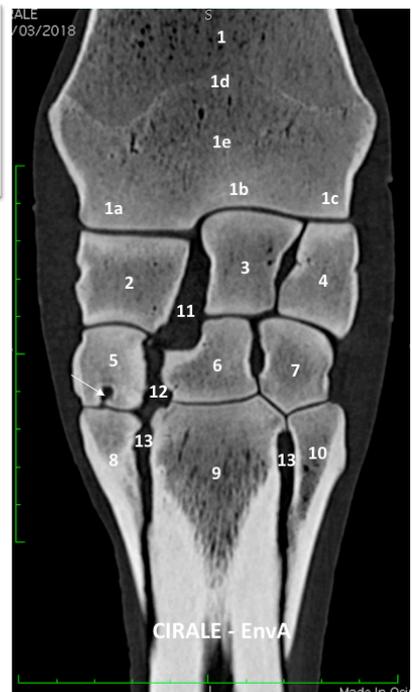


La formation anatomique montrée par une flèche dans la figure 28 est un kyste pathologique dans l'os carpal II. Il ne s'agit donc pas d'une image anatomique à connaître.

Figure 28 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe 1.

Coupe frontale palmaire 1

1. Radius
 - 1a. Condyle médial
 - 1b. Condyle intermédiaire
 - 1c. Condyle latéral
 - 1d. Physe (ancienne plaque de croissance)
 - 1e. Epiphyse
 2. Os radial du carpe
 3. Os intermédiaire du carpe
 4. Os ulnaire du carpe
 5. Os carpal II
 6. Os carpal III
 7. Os carpal IV
 8. Os métacarpien II
 9. Os métacarpien III
 10. Os métacarpien IV
 11. Ligament interosseux palmaire médial (articulation médiocarpienne)
 12. Ligament interosseux palmaire médial (articulation carpométacarpienne)
 13. Syndesmose intermétacarpienne
- Remarque: un kyste osseux sous-chondral pathologique est présent dans la partie distale de l'os carpal II (flèche)*



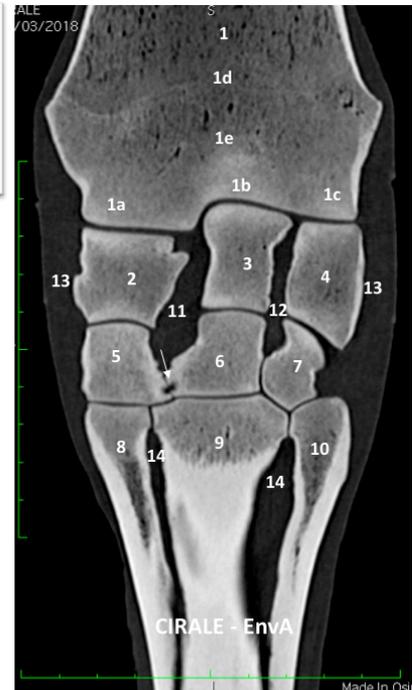
Dans la figure 29 ci-dessous, la flèche indique une discrète arthropathie entre les facettes articulaires des os carpal II et III. Il ne s'agit donc pas d'une image anatomique à connaître.

Figure 29 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe 2.

Coupe frontale palmaire 2

1. Radius
 - 1a. Condyle médial
 - 1b. Condyle intermédiaire
 - 1c. Condyle latéral
 - 1d. Physe (ancienne plaque de croissance)
 - 1e. Métaphyse
2. Os radial du carpe
3. Os intermédiaire du carpe
4. Os ulnaire du carpe
5. Os carpal II
6. Os carpal III
7. Os carpal IV
8. Os métacarpien II
9. Os métacarpien III
10. Os métacarpien IV
11. Ligament interosseux palmaire médial (articulation médiocarpienne)
12. Ligament interosseux palmaire latéral (articulation médiocarpienne)
13. Ligaments collatéraux médial et latéral
14. Syndesmose intermétacarpienne

Remarque : discrète arthropathie visible entre les facettes articulaires des os carpal II et III (flèche)



La flèche indique sur la figure 30 le vestige fibro-cartilagineux séparant l'épiphyse distale de l'ulna de celle du radius chez le poulain.

Figure 30 : Tissus osseux - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe 3.

Coupe frontale palmaire 3

1. Radius
 - 1a. Condyle médial
 - 1b. Fosse palmaire pour l'os intermédiaire du carpe
 - 1c. Condyle latéral
2. Os radial du carpe
3. Os intermédiaire du carpe
4. Os ulnaire du carpe
5. Os carpal II
6. Os carpal III
7. Os carpal IV
8. Os métacarpien II
9. Os métacarpien III
10. Ligament suspenseur du boulet

Remarque : Vestige fibro-cartilagineux séparant l'épiphyse distale de l'ulna de celle du radius chez le poulain (flèche)



B. Coupes sagittales

Les figures 31 à 35 ci-dessous correspondent aux diapositives du support pédagogique pour cette partie.

Figure 31 : Tissus osseux - Coupe parasagittale latérale du carpe 1.

Coupe parasagittale latérale 1

- 1. Radius
- 1a. Crête transverse
- 1b. Condyle latéral
- 2. Os accessoire du carpe
- 3. Os ulnaire du carpe
- 4. Os carpal IV
- 5. Os métacarpien IV



Sur le figure 32, la flèche indique de nouveau le vestige fibro-cartilagineux séparant l'épiphyse distale de l'ulna de celle du radius chez le poulain.

Figure 32 : Tissus osseux - Coupe parasagittale latérale du carpe 2.

Coupe parasagittale latérale 2

- 1. Radius
- 1a. Crête transverse
- 2. Os accessoire du carpe
- 2a. Surface articulaire pour le radius
- 2b. Surface articulaire pour l'os ulnaire du carpe
- 3. Os intermédiaire du carpe
- 4. Os ulnaire du carpe
- 5. Ligament interosseux dorsal
- 6. Os carpal IV
- 7. Os métacarpien III
- 8. Os métacarpien IV
- 9. Syndesmose intermétacarpienne

Remarque : Vestige fibro-cartilagineux séparant l'épiphyse distale de l'ulna de celle du radius chez le poulain (flèche)



Figure 33 : Tissus osseux - Coupe sagittale du carpe.

Coupe sagittale

1. Radius
 - 1a. Condyle intermédiaire
2. Os intermédiaire du carpe
 - 2a. Tubercule palmaire
3. Os accessoire du carpe (partie médiale)
4. Canal carpien (contenant les tendons fléchisseurs superficiel et profond du doigt)
5. Os carpal III
 - 5a. Fosse intermédiaire
 - 5b. Tubercule palmaire
6. Os métacarpien III
7. Ligament interosseux



Figure 34 : Tissus osseux - Coupe parasagittale médiale du carpe 1.

Coupe parasagittale médiale 1

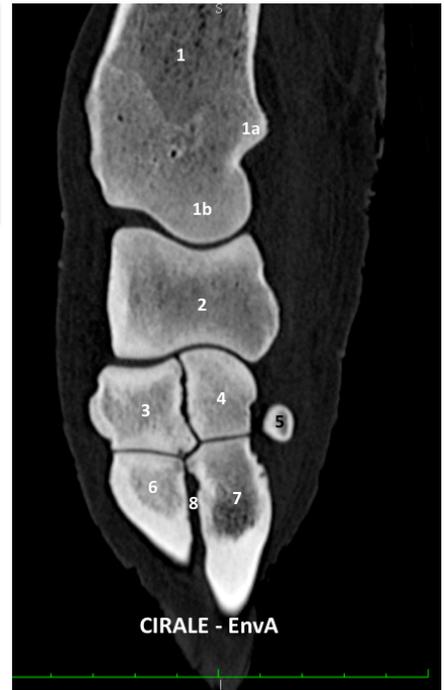
1. Radius
 - 1a. Physe
 - 1b. Crête transverse
 - 1c. Condyle médial
2. Os radial du carpe
 - 2a. Tubercule palmaire
3. Os carpal III
 - 3a. Fosse radiale
4. Os carpal II
5. Ligament interosseux palmaire médial
6. Os métacarpien III
7. Os métacarpien II



Figure 35 : Tissus osseux - Coupe parasagittale médiale du carpe 2.

Coupe parasagittale médiale 2

1. Radius
 - 1a. Crête transverse
 - 1b. Condyle médial
2. Os radial du carpe
3. Os carpal III
4. Os carpal II
5. Os carpal I
6. Os métacarpien III
7. Os métacarpien II
8. Syndesmosse intermétacarpienne



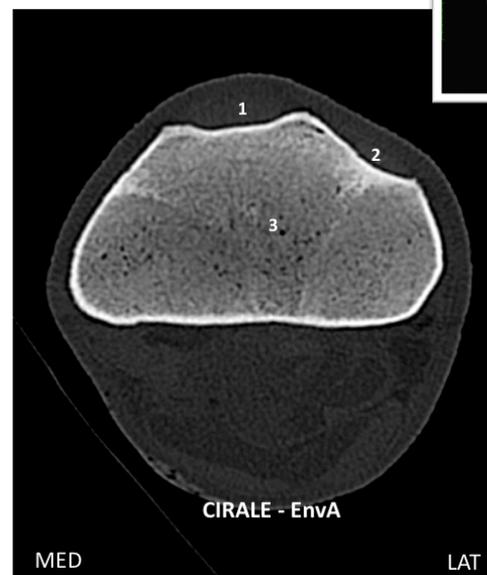
C. Coupes transversales

Les figures 36 à 43 ci-dessous correspondent aux diapositives du support pédagogique pour cette partie.

Figure 36 : Tissus osseux - Coupe transversale du radius en région physaire 1.

Radius – région physaire 1

1. Sillon pour l'extenseur radial du carpe
2. Sillon pour l'extenseur dorsal du doigt
3. Radius (région physaire)



La figure 37 ci-dessous montre une surface irrégulière de la crête transverse du radius, ce qui est normal.

Figure 37 : Tissus osseux - Coupe transversale du radius en région physaire 2.

Radius – région physaire 2

1. Sillon pour l'extenseur radial du carpe
2. Sillon pour l'extenseur dorsal du doigt
3. Radius
 - 3a. Processus styloïde radial
 - 3b. Processus styloïde ulnaire
 - 3c. Crête transverse

Remarque : la crête transverse du radius présente normalement une surface discrètement irrégulière



Sur la figure 38 ci-dessous, la flèche indique le vestige fibro-cartilagineux séparant l'épiphyse distale de l'ulna de celle du radius chez le poulain.

Figure 38 : Tissus osseux - Coupe transversale du radius en région métaphysaire.

Radius – région métaphysaire

1. Sillon pour l'extenseur radial du carpe
2. Sillon pour l'extenseur dorsal du doigt
3. Radius (épiphyse)
4. Fosse palmaire pour l'os intermédiaire du carpe

Remarque : Vestige fibro-cartilagineux séparant l'épiphyse distale de l'ulna de celle du radius chez le poulain (flèche)

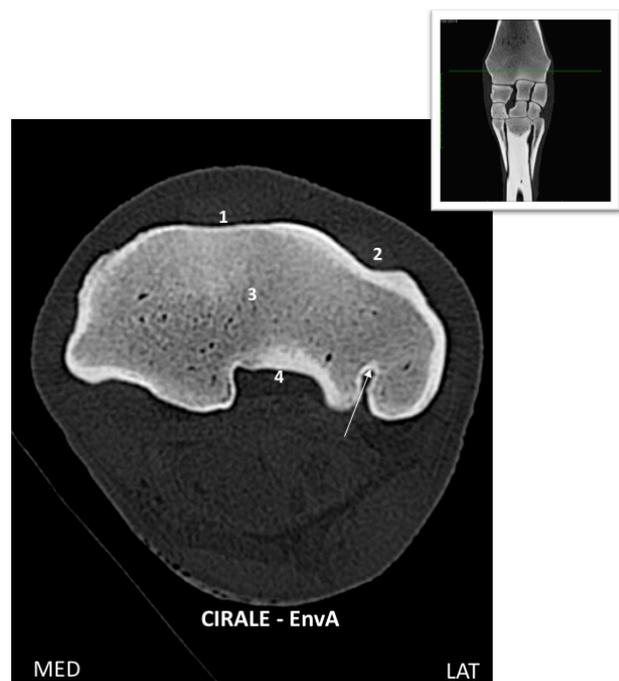


Figure 39 : Tissus osseux - Coupe transversale de l'étage proximal du carpe 1.

Étage proximal du carpe 1

- 1. Os radial du carpe
- 2. Os intermédiaire du carpe
- 3. Os ulnaire du carpe
- 4. Os accessoire du carpe



Figure 40 : Tissus osseux - Coupe transversale de l'étage proximal du carpe 2.

Étage proximal du carpe 2

- 1. Os radial du carpe
- 1a. Tubercule palmaire
- 2. Os intermédiaire du carpe
- 3. Os ulnaire du carpe
- 4. Os accessoire du carpe
- 5. Canal carpien
- 6. Facettes articulaires intercarpiennes de la rangée proximale

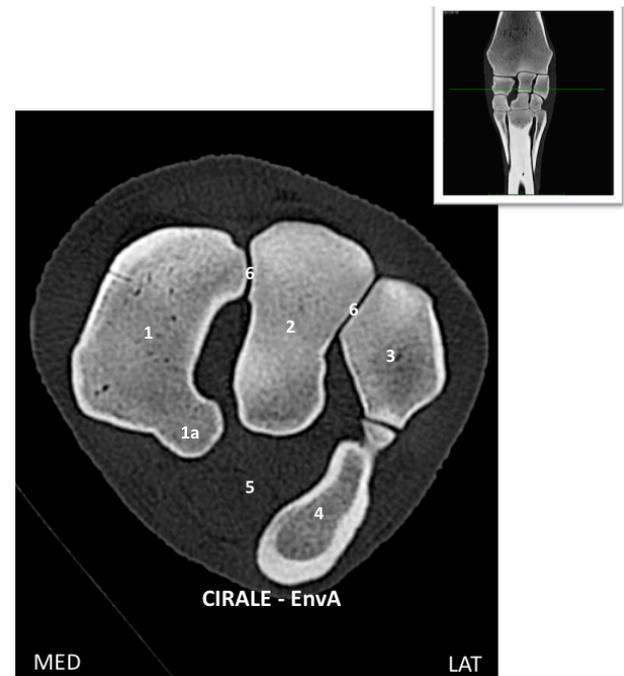


Figure 42 : Tissus osseux - Coupe transversale de l'étage distal du carpe 1.

Étage distal du carpe 1

- 1. Os carpal II
- 2. Os carpal III
 - 2a. Fosse radiale
 - 2b. Fosse intermédiaire
 - 2c. Tubercule palmaire
- 3. Os carpal IV
- 4. Os ulnaire du carpe
- 5. Facettes articulaires intercarpiennes de la rangée distale

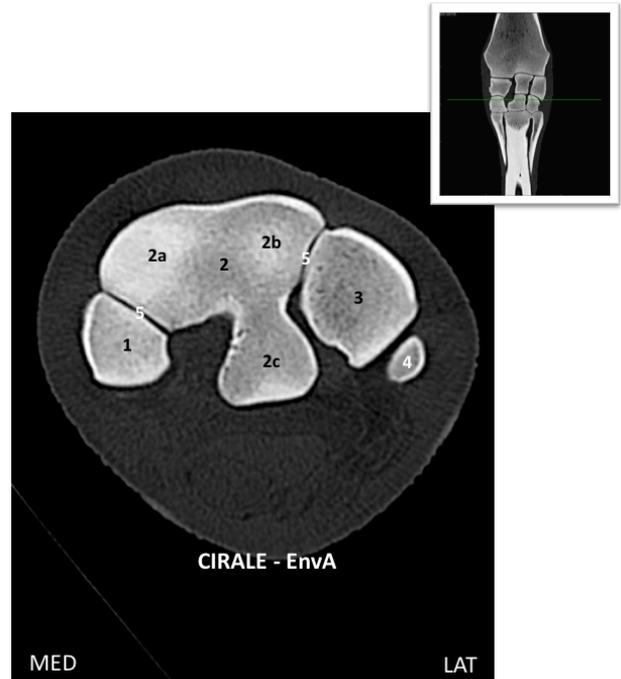


Figure 41 : Tissus osseux - Coupe transversale de l'étage distal du carpe 2.

Étage distal du carpe 2

- 1. Os carpal II
- 2. Os carpal III
 - 2a. Tubercule palmaire
- 3. Os carpal IV

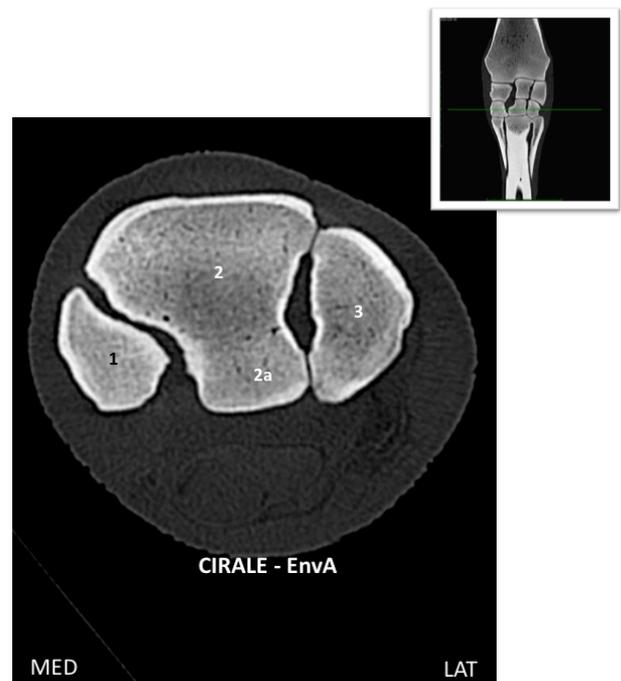


Figure 43 : Tissus osseux - Coupe transversale de la région métacarpienne proximale.

Région métacarpienne proximale

1. Os métacarpien II
2. Os métacarpien III
3. Os métacarpien IV
4. Facettes articulaires entre les os métacarpiens
5. Syndesmoïse intermétacarpienne



III. Imagerie en coupe avec filtre tissus mous

Dans cette partie nous allons nous intéresser plus particulièrement aux structures des tissus mous du carpe à travers des coupes transversales et une coupe sagittale.

A. Coupes transversales

Les figures 44 à 53 ci-dessous correspondent aux diapositives du support pédagogique pour cette partie.

Figure 44 : Tissus mous - Coupe transversale du radius en région diaphysaire.

Radius – région diaphysaire

1. Radius
2. Ulna
3. Muscle extenseur radial du carpe
4. Muscle extenseur oblique du carpe
5. Muscle extenseur dorsal du carpe
6. Muscle extenseur latéral du doigt
7. Ligament accessoire du tendon fléchisseur superficiel du doigt (bride radiale)
8. Muscle fléchisseur radial du carpe
9. Muscle fléchisseur profond du doigt
10. Muscle fléchisseur superficiel du doigt
11. Muscle fléchisseur ulnaire du carpe
12. Muscle ulnaire latéral

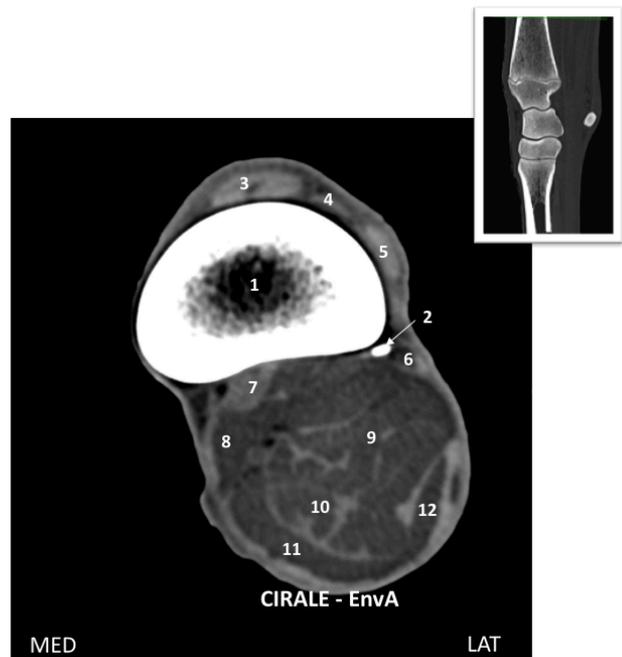


Figure 46 : Tissus mous - Coupe transversale du radius en région métaphysaire.

Radius – région métaphysaire

1. Radius
2. Ulna
3. Tendon extenseur radial du carpe
4. Tendon extenseur oblique du carpe
5. Tendon extenseur dorsal du carpe
6. Tendon extenseur latéral du doigt
7. Ligament accessoire du tendon fléchisseur superficiel du doigt (bride radiale)
8. Muscle fléchisseur profond du doigt
9. Muscle fléchisseur superficiel du doigt
10. Insertion proximale du rétinaculum des fléchisseurs
11. Tendon fléchisseur radial du carpe
12. Muscle fléchisseur ulnaire du carpe
13. Muscle ulnaire latéral
14. Artère médiane



Figure 45 : Tissus mous - Coupe transversale du radius en région physaire.

Radius – région physaire

1. Radius
2. Récessus palmarolatéral de l'articulation antébrachio-carpienne
3. Tendon extenseur oblique du carpe
4. Tendon extenseur radial du doigt
5. Tendon extenseur dorsal du carpe
6. Tendon extenseur latéral du doigt
7. Ligament accessoire du tendon fléchisseur superficiel du doigt (bride radiale)
8. Muscle fléchisseur superficiel du doigt
9. Muscle fléchisseur profond du doigt
- 9a. Chef radial et son tendon
10. Insertion proximale du rétinaculum des fléchisseurs
11. Tendon fléchisseur radial du carpe
12. Muscle fléchisseur ulnaire du carpe
13. Tendon ulnaire latéral

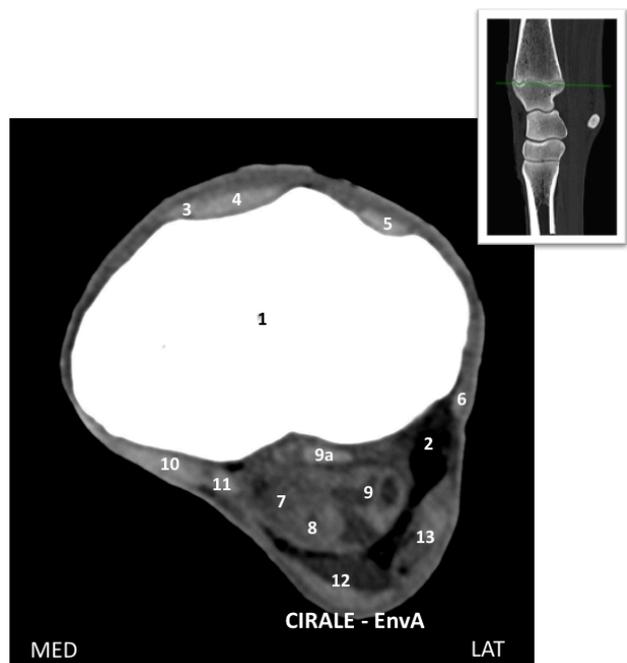


Figure 47 : Tissus mous - Coupe transversale du radius en région épiphysaire.

Radius – région épiphysaire

1. Radius
2. Articulation antébrachio-carpienne
 - 2a. Récessus palmarosagittal
 - 2b. Récessus palmarolatéral
3. Ligament collatéral latéral
4. Ligament commun palmaire du carpe
5. Tendon extenseur oblique du carpe
6. Tendon extenseur radial du doigt
7. Tendon extenseur dorsal du doigt
8. Tendon extenseur latéral du carpe
9. Rétinaculum des extenseurs
10. Tendon fléchisseur profond du doigt
11. Tendon fléchisseur superficiel du doigt
12. Rétinaculum des fléchisseurs
13. Tendon du fléchisseur radial du carpe
14. Tendon du muscle fléchisseur ulnaire du carpe
15. Tendon du muscle ulnaire latéral
 - 15a. Tendon court
 - 15b. Tendon long
16. Artère médiane

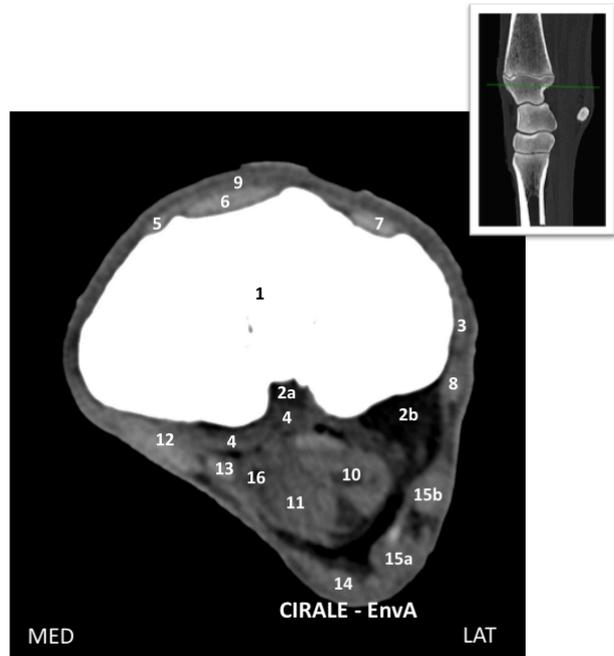


Figure 48 : Tissus mous - Coupe transversale de l'étage proximal du carpe.

Étage proximal du carpe

1. Os radial du carpe
2. Os intermédiaire du carpe
3. Os ulnaire du carpe
4. Os accessoire du carpe
5. Ligament interosseux dorsal
6. Ligament collatéral médial
7. Ligament collatéral latéral + tendon extenseur latéral du doigt
8. Ligament commun palmaire du carpe
9. Capsulaire articulaire dorsale
10. Rétinaculum des extenseurs
11. Tendon extenseur radial du carpe
12. Tendon extenseur dorsal du doigt
13. Tendon long du muscle ulnaire latéral
14. Tendon fléchisseur radial du carpe
15. Tendon fléchisseur profond du doigt
16. Tendon fléchisseur superficiel du doigt
17. Rétinaculum des fléchisseurs
18. Artère et nerf médians

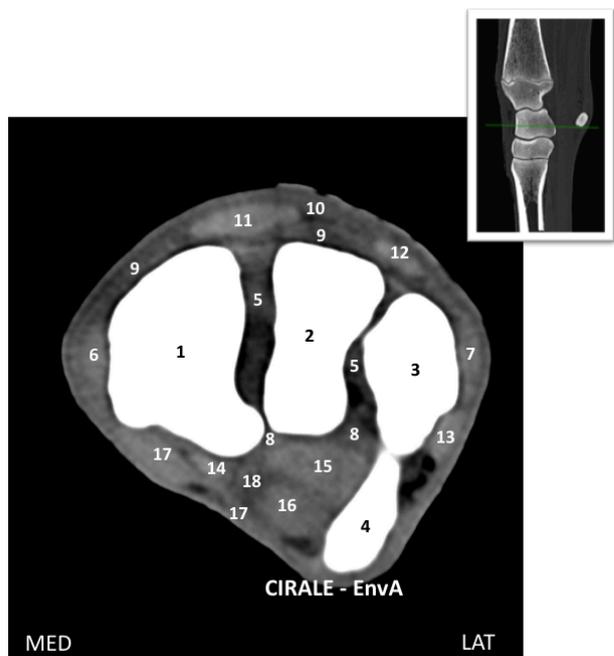


Figure 49 : Tissus mous - Coupe transversale de l'étage distal du carpe.

Étage distal du carpe

1. Os carpal II
2. Os carpal III
3. Os carpal IV
4. Ligament interosseux
5. Ligament collatéral médial
6. Ligament collatéral latéral et tendon long du muscle ulnaire latéral
7. Ligament commun palmaire du carpe
8. Capsule articulaire dorsale et rétinaculum des extenseurs
9. Recessus palmarolatéral de l'articulation médiocarpienne
10. Ligament accessorio-métacarpien
11. Tendon extenseur radial du carpe
12. Tendon extenseur dorsal du doigt
13. Tendon extenseur latéral du doigt
14. Tendon fléchisseur radial du carpe
15. Tendon fléchisseur profond du doigt
16. Tendon fléchisseur superficiel du doigt
17. Rétinaculum des fléchisseurs
18. Artère médiane
19. Canal carpien (cavité synoviale)

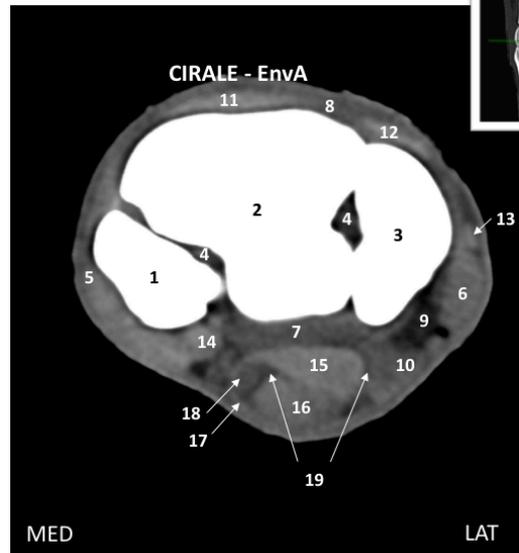


Figure 50 : Tissus mous - Coupe transversale en région métacarpienne proximale 1.

Région métacarpienne proximale 1

1. Os métacarpien II
2. Os métacarpien III
3. Os métacarpien IV
4. Ligament collatéral médial
5. Ligament collatéral latéral
6. Ligament commun palmaire du carpe
7. Capsule articulaire dorsale et rétinaculum des extenseurs
8. Recessus palmaire de l'articulation carpométacarpienne
9. Ligament accessorio-métacarpien
10. Tendon extenseur radial du carpe
11. Tendon extenseur dorsal du doigt
12. Tendon extenseur latéral du doigt
13. Tendon fléchisseur radial du carpe
14. Tendon fléchisseur profond du doigt
15. Tendon fléchisseur superficiel du doigt
16. Rétinaculum des fléchisseurs
17. Artère médiane
18. Canal carpien (cavité synoviale)

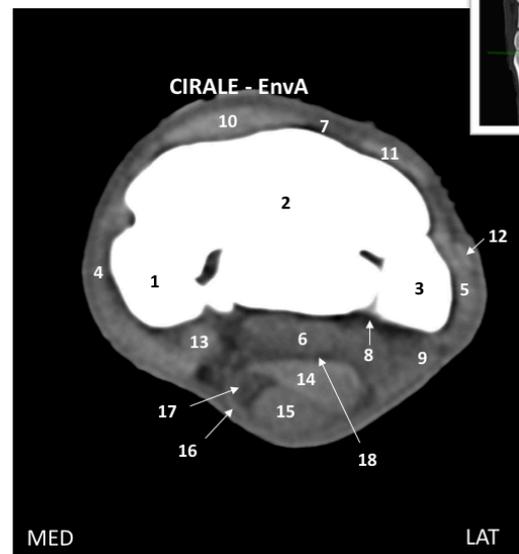


Figure 51 : Tissus mous - Coupe transversale en région métacarpienne proximale 2.

Région métacarpienne proximale 2

1. Os métacarpien II
2. Os métacarpien III
3. Os métacarpien IV
4. Syndesmose intermétacarpienne
5. Ligament collatéral médial
6. Ligament collatéral latéral
7. Ligament accessorio-métacarpien
8. Ligament suspenseur du boulet (partie proximale de l'enthèse)
9. Ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne prolongeant le ligament commun palmaire du carpe)
10. Tendon extenseur radial du carpe
11. Tendon extenseur dorsal du doigt
12. Tendon extenseur latéral du doigt
13. Tendon fléchisseur radial du carpe
14. Tendon fléchisseur profond du doigt
15. Tendon fléchisseur superficiel du doigt
16. Rétinaculum des fléchisseurs
17. Artère médiane
18. Canal carpien (cavité synoviale)

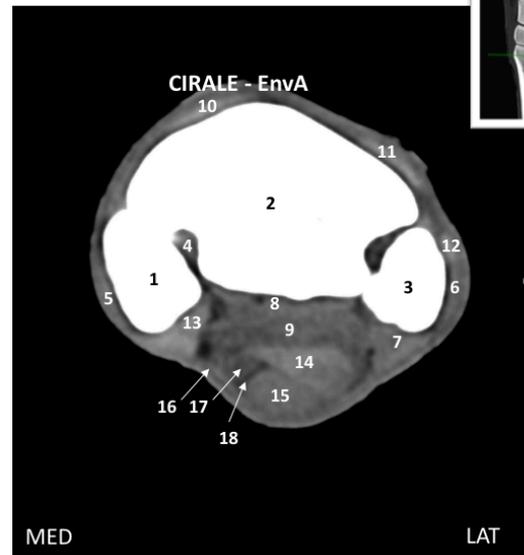


Figure 52 : Tissus mous - Coupe transversale en région métacarpienne proximale 3.

Région métacarpienne proximale 3

1. Os métacarpien II
2. Os métacarpien III
3. Os métacarpien IV
4. Syndesmose intermétacarpienne
5. Tendon extenseur dorsal du doigt
6. Tendon extenseur latéral du doigt
7. Ligament suspenseur du boulet
 - 7a. Lobe médial
 - 7b. Lobe latéral
8. Ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne)
9. Tendon fléchisseur profond du doigt
10. Tendon fléchisseur superficiel du doigt
11. Rétinaculum des fléchisseurs
12. Canal carpien

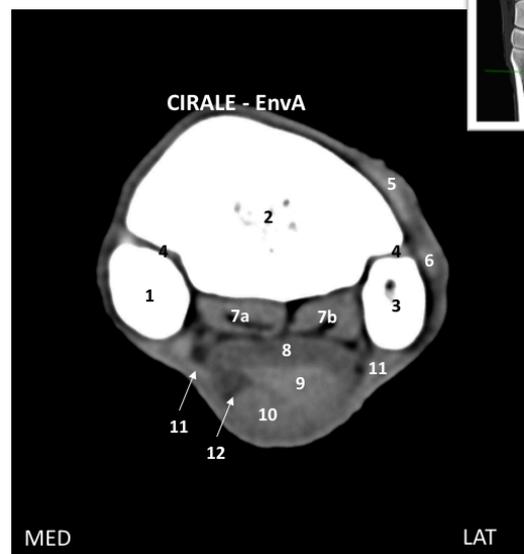
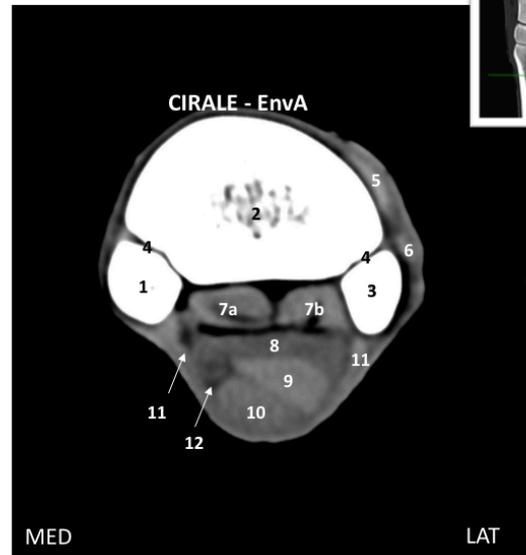


Figure 53 : Tissus mous - Coupe transversale en région métacarpienne proximale 4.

Région métacarpienne proximale 4

1. Os métacarpien II
2. Os métacarpien III
3. Os métacarpien IV
4. Syndesmose intermétacarpienne
5. Tendon extenseur dorsal du doigt
6. Tendon extenseur latéral du doigt
7. Ligament suspenseur du boulet
 - 7a. Lobe médial
 - 7b. Lobe latéral
8. Ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne)
9. Tendon fléchisseur profond du doigt
10. Tendon fléchisseur superficiel du doigt
11. Rétinaculum des fléchisseurs
12. Canal carpien



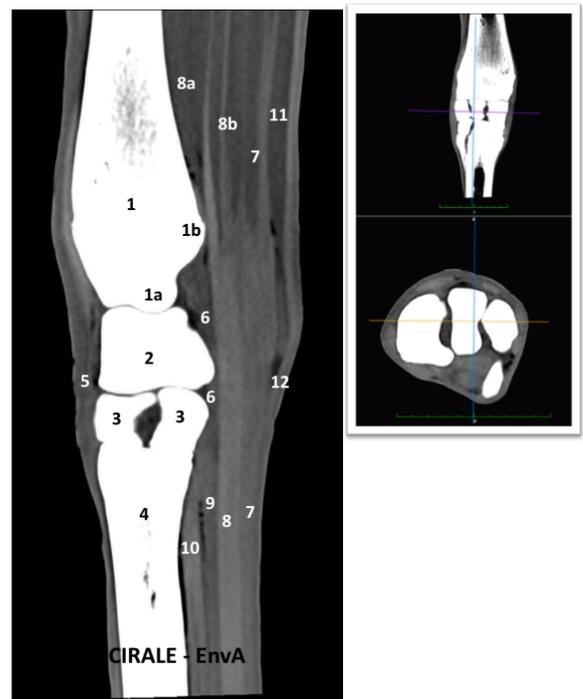
B. Coupe sagittale

La figure 54 ci-dessous correspond à la diapositive du support pédagogique pour cette partie. De par sa forme irrégulière, l'os carpal III apparaît sur cette coupe en deux morceaux distincts.

Figure 54 : Tissus mous - Coupe parasagittale latérale du carpe.

Coupe parasagittale latérale

1. Radius
 - 1a. Condyle intermédiaire
 - 1b. Crête transverse
2. Os intermédiaire du carpe
3. Os carpal III
4. Os métacarpien III
5. Capsule articulaire dorsale et rétinaculum des extenseurs
6. Ligament commun palmaire du carpe
7. Muscle puis tendon fléchisseur superficiel du doigt
8. Muscle puis tendon fléchisseur profond du doigt
 - 8a. Chef radial
 - 8b. Chef huméral
9. Ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne)
10. Ligament suspenseur du boulet
11. Muscle fléchisseur ulnaire du carpe
12. Rétinaculum des fléchisseurs



IV. Technique spéciale

La technique utilisée est l'injection intra-articulaire de produit de contraste. Elle va nous permettre de nous intéresser plus particulièrement aux synoviales articulaires et à leur récessus, aux ligaments interosseux et à la visualisation de l'épaisseur de cartilage articulaire.

L'injection de produit de contraste dans la synoviale articulaire a pour conséquence de distendre l'articulation, les images ne sont donc pas exactement physiologiques.

Les figures 55 à 60 ci-dessous correspondent aux diapositives du support pédagogique pour cette partie.

Sur la figure 55, il faut noter la présence d'une bulle d'air dans la synoviale antébrachio-carpienne, qui s'est insérée lors de l'injection, à ne pas prendre en compte dans l'apprentissage de l'anatomie.

Figure 55 : Arthrographie - Coupe frontale passant par la moitié dorsale du carpe.

Coupe frontale dorsale

1. Radius
 - 1a. Métaphyse
 - 1b. Physe (ancienne plaque de croissance)
 - 1c. Epiphyse
 2. Os radial du carpe
 3. Os intermédiaire du carpe
 4. Os ulnaire du carpe
 5. Os carpal III
 6. Os carpal IV
 7. Os métacarpien III
 8. Articulation antébrachio-carpienne : récessus dorsolatéral/médial
 9. Articulation médiocarpienne : récessus dorsolatéral/médial
 10. Articulation carpométacarpienne
 11. Ligament interosseux dorsal
- Remarque : Bulle d'air injectée avec le produit de contraste dans l'articulation antébrachio-carpienne (flèche)*

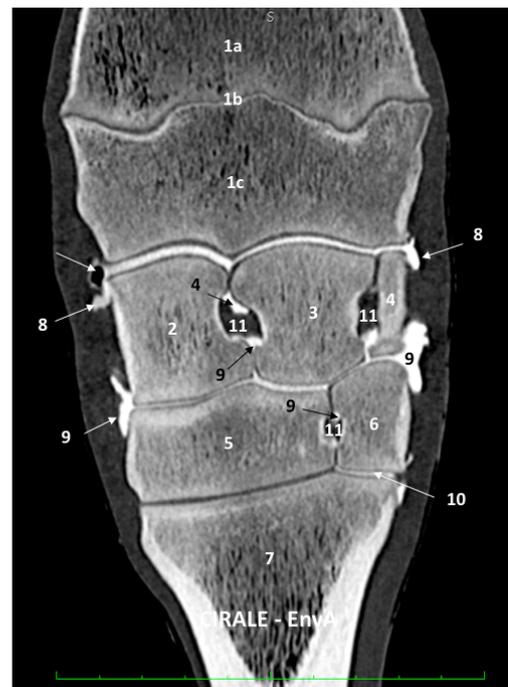


Figure 56 : Arthrographie - Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe.

Coupe frontale palmaire

1. Radius
 - 1a. Condyle médial
 - 1b. Condyle latéral
2. Os radial du carpe
3. Os intermédiaire du carpe
4. Os ulnaire du carpe
5. Os carpal II
6. Os carpal III
7. Os carpal IV
8. Os métacarpien II
9. Os métacarpien III
10. Os métacarpien IV
11. Articulation antébrachio-carpienne
 - 11a. Récessus palmarolatéral
 - 11b. Récessus synoviaux
12. Articulation médio-carpienne
13. Ligament interosseux palmaire

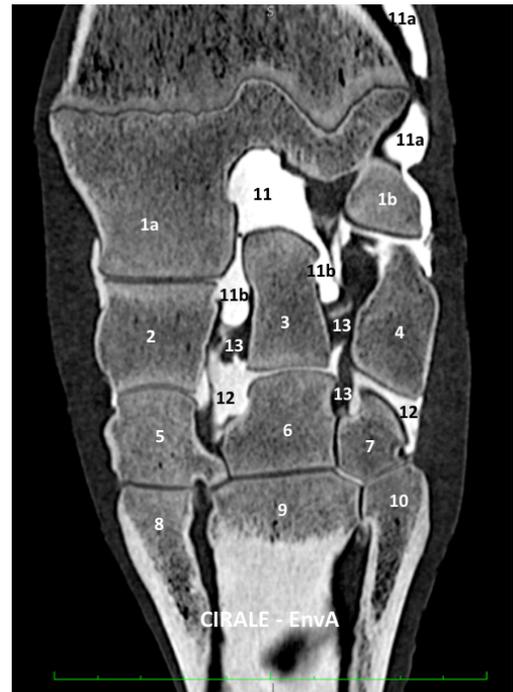


Figure 57 : Arthrographie - Coupe transversale de la rangée proximale du carpe.

Coupe transversale rangée proximale du carpe

1. Os radial du carpe
2. Os intermédiaire du carpe
3. Os ulnaire du carpe
4. Os accessoire du carpe
5. Articulation antébrachio-carpienne
 - 5a. Récessus dorsal
 - 5b. Récessus palmarolatéral
6. Ligaments interosseux
7. Capsule articulaire dorsale
8. Ligament commun palmaire du carpe

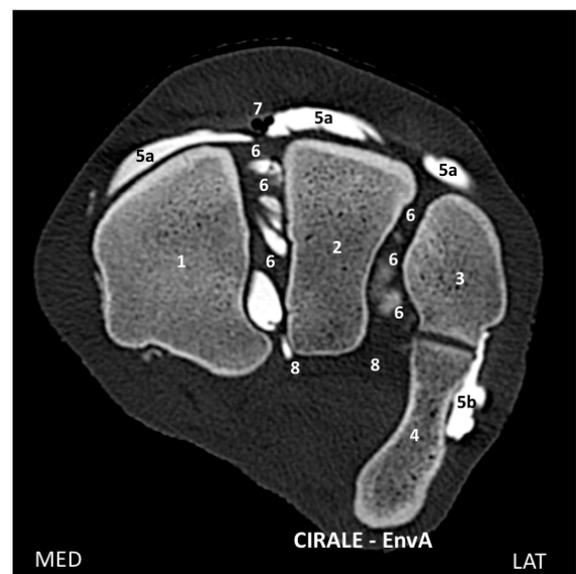


Figure 58 : Arthrographie - Coupe transversale en partie distale de la rangée proximale du carpe.

Coupe transversale rangée proximale du carpe (partie distale)

1. Os radial du carpe
2. Os intermédiaire du carpe
3. Os ulnaire du carpe
4. Articulation médiocarpienne : récessus dorsal
5. Ligament interosseux palmaire médial
6. Ligament interosseux palmaire latéral
7. Capsule articulaire dorsale
8. Ligament commun palmaire du carpe



Figure 59 : Arthrographie - Coupe parasagittale latérale du carpe.

Coupe parasagittale latérale

1. Radius
 - 1a. Condyle latéral
2. Os accessoire du carpe
3. Os ulnaire du carpe
4. Os carpal IV
5. Os métacarpien III
6. Os métacarpien IV
7. Articulation antébrachio-carpienne
 - 7a. Récessus palmarolatéral partie proximale
 - 7b. Récessus palmarolatéral partie distale
 - 7c. Récessus dorsal
8. Articulation médiocarpienne
 - 8a. Récessus dorsal de l'articulation médiocarpienne
 - 8b. Récessus palmarolatéral de l'articulation médiocarpienne
9. Articulation carpométacarpienne : récessus palmarolatéral
10. Ligament interosseux accessorio-carpal IV



Figure 60 : Arthrographie - Coupe sagittale du carpe.

Coupe sagittale

1. Radius
2. Os intermédiaire du carpe
3. Os carpal III
4. Os métacarpien III
5. Articulation antébrachio-carpienne
 - 5a. Récessus dorsal
 - 5b. Récessus palmaire
6. Articulation médiocarpienne
 - 6a. Récessus dorsal
 - 6b. Récessus palmaire
7. Articulation carpométacarpienne : récessus dorsal
8. Ligament interosseux antébrachioradial
9. Ligament commun palmaire du carpe
10. Ligament suspenseur du boulet



V. Support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie

Le support pédagogique se compose du diaporama, dont toutes les images ont été présentées dans les différentes parties ci-dessus, et des quizz, tous deux mis en ligne sur la plateforme Eve.

Les images légendées sont réparties en quatre diaporamas au format pdf afin de retrouver plus rapidement les informations : images 3D, images avec filtre osseux, images avec filtre tissus mous et images avec produit de contraste. Chaque image est présentée avec et sans légendes afin de bien visualiser les formations anatomiques.

Les questions sont regroupées en deux niveaux : les questions de tronc commun pour les étudiants de première à quatrième année et les questions supplémentaires pour les étudiants de cinquième année à dominante équine et les internes.

Pour chaque question, un second essai est possible si la première tentative est fautive. Un message apparaît indiquant si la réponse est correcte, partiellement correcte (avec le nombre de bonnes réponses) ou incorrecte. La correction avec la réponse juste, et parfois d'autres précisions, est disponible immédiatement après chaque question. Ainsi, les tentatives multiples et le feedback immédiat permettent un meilleur apprentissage.

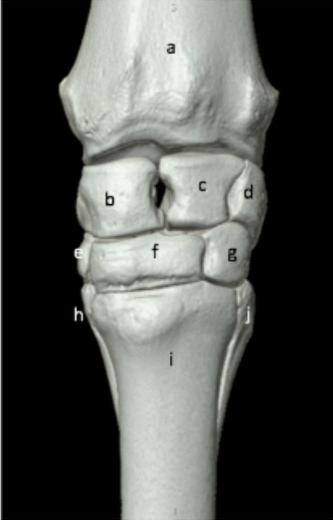
Les questions sont illustrées avec une image scanner et peuvent prendre plusieurs formes : question à choix multiples, menu déroulant, réponse courte à rédiger et légendes à déplacer directement sur l'image.

Les figures 61 à 66 ci-dessous sont des captures d'écran de la plateforme Eve avec les différentes questions rédigées pour le premier niveau. Pour chaque question, la correction est présentée dans le texte à la suite de l'image.

Figure 61 : Question 1 du test de niveau tronc commun.

Question 1 Essais restants : 2 Noté sur 1,00 Marquer la question Modifier la question

Identifier les différents os de l'articulation du carpe indiqués sur les reconstitutions 3D ci-dessous.



Vue dorsale du carpe



Vue caudo-latérale du carpe

d Choisir...
 os intermédiaire du carpe
 os carpal III

h Choisir...
 os carpal II
 os carpal IV

e Choisir...
 os carpal I
 os métacarpien II
 os métacarpien IV
 os radial du carpe

i Choisir...
 os accessoire du carpe
 radius
 os ulnaire du carpe
 os métacarpien III

b Choisir...

a Choisir...

j Choisir...

g Choisir...

Vérifier

Correction question 1 : a. radius ; b. os radial du carpe ; c. os intermédiaire du carpe ; d. os ulnaire du carpe ; e. os carpal II ; f. os carpal III ; g. os carpal IV ; h. os métacarpien II ; i. os métacarpien III ; j. os métacarpien IV ; k. os accessoire du carpe.

Figure 62 : Question 2 du test de niveau tronc commun.

Question 2

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Quel est le nom de l'espace indiqué par l'astérisque ?

(la réponse doit être rédigée sans déterminant, ni majuscule, ni ponctuation, ni accents)



Coupe transverse de la rangée proximale du carpe



Coupe sagittale du carpe

Réponse :

Vérifier

Correction question 2 : il s'agit du canal carpien. Il est formé dorsalement par le ligament commun palmaire du carpe, latéralement par l'os accessoire et ses ligaments, et il est fermé à la face palmaro-médiale par le rétinaculum des fléchisseurs.

Figure 63 : Question 3 du test de niveau tronc commun.

Question 3

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Quelle(s) est/sont la/les formation(s) anatomique(s) située(s) dans l'espace précédemment cité ? (cocher la ou les bonne(s) réponse(s))

Veillez choisir au moins une réponse :

- Ligament accessoire du tendon fléchisseur superficiel du doigt (bride radiale)
- Ligament suspenseur du boulet
- Tendon fléchisseur profond du doigt
- Tendon extenseur latéral du doigt
- Ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne)
- Tendon fléchisseur superficiel du doigt

Vérifier

Correction question 3 : il s'agit du tendon fléchisseur profond du doigt, du tendon fléchisseur superficiel du doigt et du ligament accessoire du tendon fléchisseur superficiel du doigt (bride radiale), ce dernier étant situé dans la partie proximale du canal, caudalement au radius.

Question 4

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Quelle est la formation anatomique s'insérant sur la face palmaire et proximale de l'os métacarpien III et indiquée sur l'image par l'astérisque ? (cocher la bonne réponse)



Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe

Veuillez choisir une réponse :

- Tendon fléchisseur profond du doigt
- Tendon fléchisseur superficiel du doigt
- Ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne)
- Ligament suspenseur du boulet

Vérier

Correction question 4 : il s'agit du ligament suspenseur du boulet ou muscle interosseux III. Il s'insère proximalelement sur la face palmaire des os de la rangée distale du carpe et sur l'extrémité proximo-palmaire du métacarpien principal.

Figure 65 : Question 5 du test de niveau tronc commun.

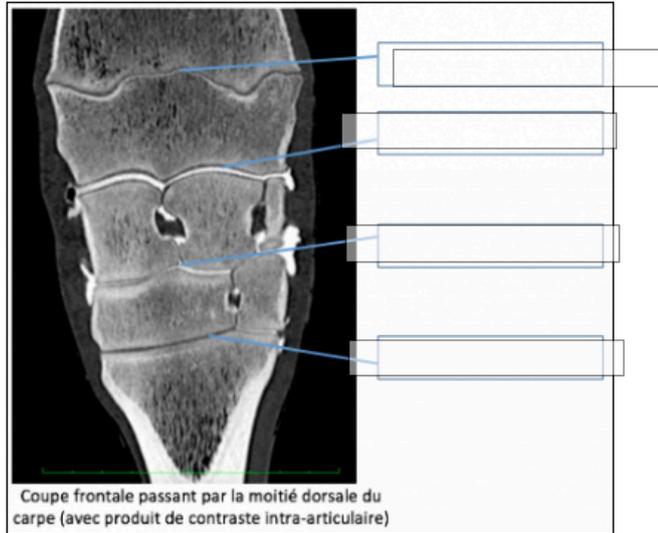
Question 5

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Identifier les différentes articulations. (Placer les légendes dans les encadrés correspondants)



Articulation antébrachio-carpienne

Articulation médio-carpienne

Articulation carpo-métacarpienne

Aucune de celles citées

Vérifier

Correction question 5 : En effet, le premier encadré ne correspond pas à une articulation, il s'agit de la physe distale du radius. 2^{ème} encadré = articulation antébrachio-carpienne ; 3^{ème} encadré = articulation médio-carpienne ; 4^{ème} encadré = articulation carpo-métacarpienne.

Figure 66 : Question 6 du test de niveau tronc commun.

Question 6

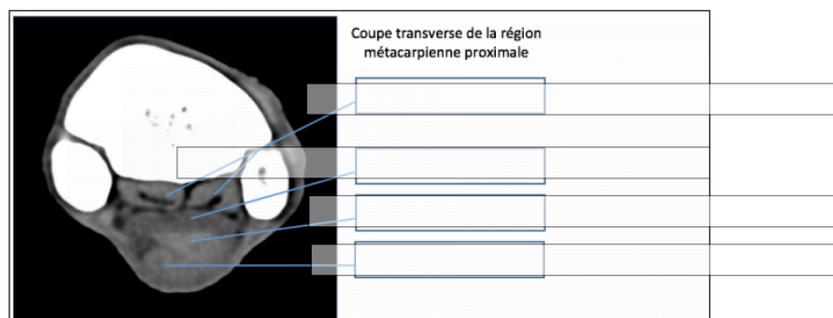
Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Identifier les différentes formations anatomiques fléchées sur la coupe ci-dessous.

(Placer les légendes dans les encadrés correspondants)



Ligament suspenseur du boulet

Tendon fléchisseur profond du doigt

Tendon fléchisseur superficiel du doigt

Ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne)

Vérifier

Correction question 6 : 1^{er} encadré = Ligament suspenseur du boulet ; 2^{ème} encadré = Ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne) ; 3^{ème} encadré = Tendon fléchisseur profond du doigt ; 4^{ème} encadré = Tendon fléchisseur superficiel du doigt.

De même, les figures 67 à 76 ci-après sont des captures d'écran de la plateforme Eve et leurs réponses pour le second niveau. Pour ce groupe, les deux questionnaires sont à prendre en compte. Pour chaque question, vous trouverez la correction dans le texte à la suite de l'image.

Figure 67 : Question 1 du test de niveau A5 et plus.

Question 1 Essais restants : 2 Noté sur 1,00 [Marquer la question](#) [Modifier la question](#)

Identifier les différents reliefs sur les reconstitutions 3D ci-dessous.



Vue dorsale du carpe



Vue latérale du carpe

✓ Choisir...

- sillon pour l'extenseur dorsal du doigt
- sillon pour l'extenseur latéral du doigt
- sillon pour le tendon long du muscle ulnaire latéral
- sillon pour l'extenseur radial du carpe

c Choisir...

Vérier

Correction question 1 : a. sillon pour l'extenseur oblique du carpe ; b. sillon pour l'extenseur radial du carpe ; c. sillon pour l'extenseur dorsal du doigt ; d. sillon pour l'extenseur latéral du doigt ; e. sillon pour le tendon long du muscle ulnaire latéral.

Figure 68 : Question 2 du test de niveau A5 et plus.

Question 2

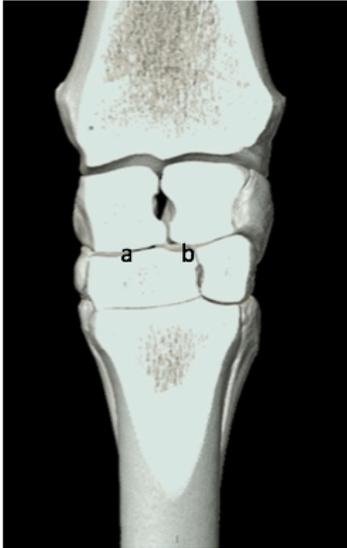
Essais restants : 2

Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Quel est le nom des formations anatomiques identifiées sur l'os carpal III ?



Coupe frontale passant par la moitié dorsale du carpe

✓ Choisir...

- fosse ulnaire
- fosse intermédiaire
- fosse radiale

Vérier

Correction question 2 : a. fosse radiale : site de lésions souvent rencontrées chez les chevaux de course ; b. fosse intermédiaire recevant la partie disto-médiale de l'os de même nom. La fosse ulnaire n'existe pas.

Figure 69 : Question 3 du test de niveau A5 et plus.

Question 3

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Quelle formation anatomique retrouve-t-on aux différents endroits indiqués par l'astérisque ? (Cocher la bonne réponse)



Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe



Coupe parasagittale médiale du carpe

Veillez choisir une réponse :

- Tendon
- Ligament collatéral du carpe
- Ligament suspenseur du boulet
- Ligament interosseux

Vérifier

Correction question 3 : il s'agit de ligaments interosseux.

Figure 70 : Question 4 du test de niveau A5 et plus.

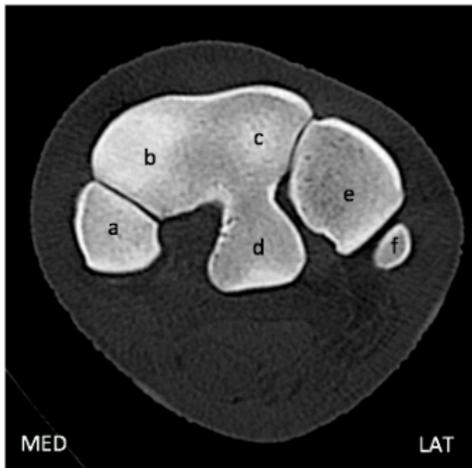
Question 4

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Légender l'image suivante.



Coupe transverse de l'étage distal du carpe

b Choisir...
Os carpal II

d Fosse radiale de l'os carpal III
Os carpal IV

f Fosse intermédiaire de l'os carpal III
Os intermédiaire

a Tubercule palmaire de l'os carpal III
Os ulnaire
Os radial

e

c

Vérifier

Correction question 4 : a. os carpal II ; b. fosse radiale de l'os carpal III ; c. fosse intermédiaire de l'os carpal III ; d. tubercule palmaire de l'os carpal III ; e. os carpal IV ; f. os ulnaire.

Figure 71 : Question 5 du test de niveau A5 et plus.

Question 5

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Comment s'appelle la formation anatomique identifiée par l'astérisque ?

(Rédiger la réponse sans déterminant, ni majuscule, ni ponctuation, ni accent)



Coupe sagittale du carpe
(avec produit de contraste intra-articulaire)

Réponse :

Vérifier

Correction question 5 : il s'agit de la physe distale du radius.

La question 6 se réfère à l'image de la question 5. Les deux questions se trouvent sur la même page.

Figure 72 : Question 6 du test de niveau A5 et plus.

Question 6

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Légèder l'image ci-dessus.

- ✓ Choisir...
- c récessus dorsal de la synoviale antébrachio-carpienne
 - d récessus palmaire de la synoviale antébrachio-carpienne
 - d récessus dorsal de la synoviale carpométacarpienne
 - a récessus palmaire de la synoviale carpométacarpienne
 - b récessus dorsal de la synoviale médiocarpienne
 - b récessus palmaire de la synoviale médiocarpienne
- e Choisir...

Vérifier

Correction question 6 : a. récessus dorsal de la synoviale antébrachio-carpienne ; b. récessus palmaire de la synoviale antébrachio-carpienne ; c. récessus dorsal de la synoviale médiocarpienne ; d. récessus palmaire de la synoviale médiocarpienne ; e. récessus dorsal de la synoviale carpométacarpienne.

Figure 73 : Question 7 du test de niveau A5 et plus.

Question 7

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Quelles articulations communiquent entre elles ? (Cocher la bonne réponse)

Veillez choisir une réponse :

- Articulations antébrachio-carpienne, médiocarpienne et carpométacarpienne
- Articulations médiocarpienne et carpométacarpienne
- Articulations antébrachio-carpienne et médiocarpienne

Vérifier

Correction question 7 : Les articulations médiocarpienne et carpométacarpienne communiquent toujours entre elles. Attention notamment lors d'anesthésie diagnostique intra-articulaire du carpe. L'injection d'un anesthésique local dans l'articulation médiocarpienne qui communique avec l'articulation carpométacarpienne peut ainsi diffuser au niveau de l'insertion proximale du ligament suspenseur du boulet par les récessus palmaires de celle-ci et donc interférer avec le résultat.

Figure 74 : Question 8 du test de niveau A5 et plus.

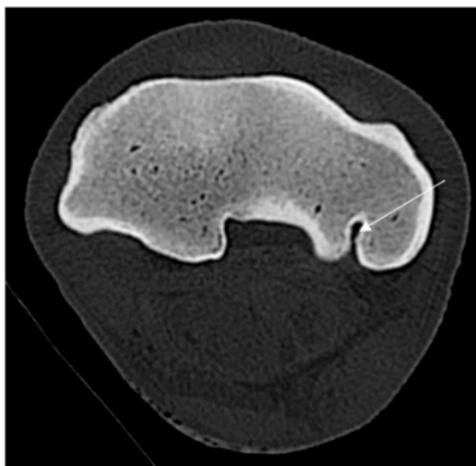
Question 8

Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Quelle est la formation anatomique désignée par la flèche ?



Coupe transverse du radius en région métaphysaire



Coupe frontale passant par la moitié palmaire du carpe

Veillez choisir une réponse :

- syndesmose radio-ulnaire
- kyste
- vestige fibro-cartilagineux

Vérifier

Correction question 8 : il s'agit d'un vestige fibro-cartilagineux séparant l'épiphyse distale de l'ulna de celle du radius chez le poulain.

Figure 75 : Question 9 du test de niveau A5 et plus.

Question 9

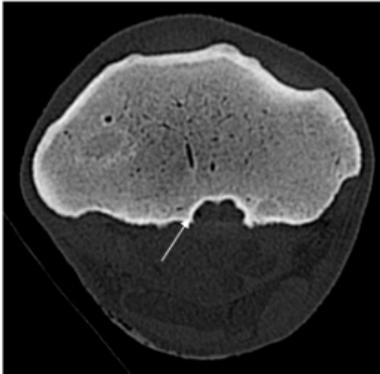
Essais restants : 2 Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Quelle est la formation anatomique identifiée par la flèche ?

(Rédiger la réponse sans déterminant, ni majuscule, ni ponctuation, ni accent)



Coupe transverse du radius en région physaire



Coupe parasagittale médiale du carpe

Réponse :

Vérifier

Correction question 9 : il s'agit de la crête transverse du radius. Elle présente de façon normale une surface discrètement irrégulière.

Figure 76 : Question 10 du test de niveau A5 et plus.

Question 10

Essais restants : 2

Noté sur 1,00

Marquer la question

Modifier la question

Identifier les différentes formations anatomiques indiquées sur la coupe ci-dessous.



Coupe parasagittale latérale du carpe

✓ Choisir...

rétinaculum des fléchisseurs

ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne)

muscle puis tendon fléchisseur superficiel du doigt

ligament commun palmaire du carpe

muscle puis tendon fléchisseur profond du doigt

ligament suspenseur du boulet

b

Choisir...

d

Choisir...

Vérifier

Correction question 10 : a. muscle puis tendon fléchisseur profond du doigt ; b. muscle puis tendon fléchisseur superficiel du doigt ; c. rétinaculum des fléchisseurs ; d. ligament commun palmaire du carpe ; e. ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride carpienne) ; f. ligament suspenseur du boulet.

Quatrième partie : discussion

I. Analyse critique du travail effectué

A. Réalisation des images

Les images sont réalisées sur des membres isolés et non sur cheval vivant cependant la position du membre a été la même que celle utilisée lors de l'examen de patient équins, les images présentées dans cette thèse sont donc identiques à celles que l'on peut visualiser sur un cheval vivant, les vaisseaux sanguins et leur flux ne générant pas d'artéfact en imagerie scanner. Nous aborderons dans la partie suivante quelques indications et la balance risque/bénéfice de réaliser cet examen.

L'utilisation de seulement deux chevaux différents pour l'étude ne permet pas de mettre en évidence toutes les variations anatomiques que l'on peut avoir. Comme par exemple la présence ou non d'un os carpal I et V.

Pour la même raison, il est difficile d'avoir des images anatomiques sans aucune anomalie ostéo-articulaire. En effet, certaines images pathologiques, comme un discret kyste osseux sous-chondral dans notre cas non cliniquement significatif ont été rencontrées. Dans le même esprit, des artéfacts dus à la manipulation lors de l'injection du produit de contraste, comme la présence d'une bulle d'air dans la synoviale sont également présents dans cette thèse. De plus, l'injection intra-articulaire de produit de contraste a pour but et conséquence de distendre l'articulation, les images des récessus synoviaux ne sont donc pas exactement physiologiques.

B. Mise en place du contenu pédagogique sur la plateforme Eve

L'interface d'Eve est globalement assez intuitive. Il m'a fallu un peu de temps pour trouver certains réglages mais une fois les outils maîtrisés, ils sont faciles d'utilisation.

Pour la création des questionnaires, j'ai utilisé quatre type de question mais une quinzaine de formats sont disponibles ce qui permet de varier la forme des questions. Je n'ai pas utilisé les autres formats, comme par exemple glisser un mot dans un texte ou entrer des valeurs numériques, car ils ne correspondaient pas au type de question que j'ai créé.

Une fois le test créé, il est possible d'en avoir une prévisualisation et ainsi améliorer le questionnaire ou repérer des erreurs, ce qui est indispensable à une bonne mise en place.

II. Intérêt pédagogique

A. Acquisition des connaissances

L'anatomie est un prérequis essentiel à acquérir et maîtriser avant de pouvoir interpréter des lésions.

D'un point de vue pédagogique, pour une première approche de l'anatomie, la reconstruction 3D est particulièrement intéressante. Dans le cas de l'ostéologie, elle permet de reproduire artificiellement l'os avec toutes ses particularités et donc d'en avoir une visualisation réaliste dans l'espace.

Pour l'apprentissage, je pense que la répartition des questions en deux niveaux de difficulté est pertinente afin de ne pas surcharger les étudiants de première année avec des informations non essentielles à leur niveau. Il leur faut dans un premier temps apprendre l'anatomie de base. Pour les étudiants de cinquième année et plus, les éléments ajoutés sont principalement d'importance clinique, ce qui donne du sens à l'acquisition de ces connaissances.

B. Perspectives

Il serait intéressant de tester l'efficacité de ce support pédagogique dans l'apprentissage des étudiants.

Pour cela, une étude pourrait être menée sur un semestre en répartissant les étudiants en deux groupes différents :

- une demi-promotion qui apprend l'ostéologie de façon classique, comme enseignée actuellement avec les pièces d'anatomie et les explications des professeurs ;
- une demi-promotion qui apprend l'ostéologie de façon classique mais en ayant en plus le diaporama avec toutes les images scanner légendées.

Il serait également possible de complexifier les groupes, par quart de promo, avec les deux groupes précédemment décrits et deux nouveaux groupes :

- un quart de promotion avec l'ostéologie classique et uniquement les images scanner légendées de reconstruction 3D ;
- un quart de promotion avec l'ostéologie classique et uniquement les images scanner en coupes.

Les étudiants seraient ensuite évalués avec les mêmes questions pour chaque groupe. Les résultats obtenus pourraient donc démontrer ou non l'utilité de ce support pédagogique supplémentaire.

III. Application clinique de l'examen scanner du carpe du cheval

A. Exploration pathologique

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à des lésions fréquentes du carpe rencontrées chez le cheval et l'intérêt de l'imagerie scanner dans leur exploration.

Les maladies du carpe sont fréquemment observées chez les athlètes équins (y compris les chevaux de course, de sports ou d'autres disciplines comme la chasse à courre par exemple) en raison des contraintes biomécaniques très élevées pendant les gestes sportifs. Les changements traumatiques ou dégénératifs de la synoviale, de la capsule articulaire, des ligaments, du cartilage articulaire et des formations osseuses apparaissent souvent pendant un exercice à grande vitesse ou un traumatisme excessif unique ou répété (lésion de fatigue). En particulier, les marges dorsales des os du carpe sont prédisposées aux fractures en raison des forces de commotion focalisées dans ces zones (Waselau *et al.*, 2006).

L'examen scanner est particulièrement utile pour le diagnostic des lésions affectant les os du carpe (sclérose, ostéolyse, fracture), la paroi et le contenu du canal carpien (tendon fléchisseur profond du doigt, tendon fléchisseur superficiel du doigt, ligament accessoire du tendon fléchisseur superficiel du doigt, rétinaculum des fléchisseurs, ligament commun palmaire du carpe) et l'insertion proximale du ligament suspenseur. L'utilisation de produit de contraste en perfusion régionale intra-artérielle est conseillée pour évaluer plus précisément les tissus mous. L'arthro-scanner est une option intéressante pour les lésions du cartilage de l'articulation antébrachio-carpienne, médiocarpienne ou carpométacarpienne, ou les lésions des petits ligaments interosseux. Une évaluation séparée de ces ligaments courts n'est pas possible avec une tomодensitométrie simple (Saunders et Bergman, 2011a).

1. Fracture

Les fissures et les fractures de fatigue sont deux types de fractures incomplètes. Leur diagnostic peut être difficile radiographiquement mais est essentiel pour empêcher la progression vers une fracture complète catastrophique. Même plusieurs semaines après la confirmation clinique et scintigraphique, la fréquence estimée de la radiographie faussement négative est de 20 à 50 %. Dans de tels cas, d'autres modalités d'imagerie avancées sont nécessaires pour un diagnostic améliorant directement la prise en charge et le pronostic comme le scanner et l'IRM (Saunders et Bergman, 2011b).

En effet, la détection des fractures dans les articulations complexes est parfois difficile par radiographie en raison de la superposition des différentes formations osseuses. Dans ces cas, la tomодensitométrie peut être utilisée pour la détection de fractures ou pour définir l'emplacement exact de la fracture et sa configuration dans l'espace. Ces informations importantes obtenues grâce à la tomодensitométrie peuvent donner un diagnostic plus précis et peuvent être utilisées pour sélectionner le traitement le plus approprié et pour déterminer le pronostic (Saunders et Bergman, 2011b).

En cas de fracture comminutive, l'os est cassé, éclaté ou écrasé en trois morceaux ou plus. L'examen radiologique du motif géométrique de multiples fractures peut être difficile, compte tenu de la superposition complexe de l'anatomie 3D d'une région sur une image 2D. La tomодensitométrie est très supérieure à la radiographie pour évaluer la configuration spatiale et l'exhaustivité de la fracture ainsi que la relation entre la fracture et les lésions adjacentes (telles que les lésions sous-chondrales) ou les articulations. La tomодensitométrie est essentielle pour sélectionner l'option de traitement la plus appropriée (conservatrice ou chirurgicale) et pour une planification chirurgicale optimale. Les fractures comminutives les plus courantes sont des fractures impliquant la phalange proximale et moyenne et les os carpiens (Saunders et Bergman, 2011b).

2. Remaniements osseux : sclérose / ostéolyse

Les remaniements osseux (sclérose et/ou ostéolyse) de l'os carpal III sont fréquents chez les chevaux de course. L'os carpal III montre une réponse osseuse rapide à des quantités relativement faibles d'exercice à grande vitesse en augmentant la densité minérale osseuse et en modifiant l'architecture osseuse. Cette rigidité accrue nuit à la compliance osseuse et entraîne une vulnérabilité aux dommages mécaniques avec possibilité d'apparition d'ostéolyse dans des zones où les contraintes biomécaniques dépassent le seuil physiologique. Le stade terminal de la maladie de l'os carpal III est potentiellement une fracture comminutive ; le pronostic de retour à la fonction sportive est réservé. Cependant, il est difficile de préciser à quel moment une augmentation de la sclérose osseuse indique le passage d'une adaptation physiologique au début de la maladie ou à un risque accru de fracture de l'os carpal III. Il en est de même pour les lésions sous-chondrales de diminution de densité et les lésions cartilagineuses des fosses radiale et intermédiaire de l'os carpal III qui peuvent impliquer le même processus physiopathologique et peut-être précéder les fractures comminutives (Saunders et Bergman, 2011a).

3. Déchirure / Desmite / Avulsion des ligaments interosseux du carpe

Les ligaments interosseux du carpe servent à stabiliser le carpe et ont été impliqués comme source de boiterie, le plus souvent chez les chevaux de course. En effet, la déchirure des ligaments interosseux a été reconnue comme une cause d'épanchement synovial et parfois de boiterie chez les chevaux de course. Le ligament interosseux palmaire médial est plus souvent atteint que le ligament latéral. Chez les chevaux autres que les chevaux de course, ces lésions peuvent être identifiées sans anomalies ostéochondrales associées. Des blessures d'autres ligaments interosseux, comme entre l'os carpal II et III, peuvent également être observées (Saunders et Bergman, 2011a ; Gray *et al.*, 2013)

Dans l'étude de Gray *et al.* (2013), des ligaments interosseux palmaires médiaux et latéraux, des ligaments interosseux antébrachiocarpiens et transversaux et un ligament carpien palmaire étaient visibles dans les arthro-scanners de tous les membres. Les enthèses proximales et distales de tous les ligaments étaient facilement identifiables. Les résultats ont indiqué que l'arthro-scanner est possible pour visualiser les ligaments interosseux et peut être une technique d'imagerie d'appoint utile pour diagnostiquer la

boiterie due à une suspicion de lésion des ligaments interosseux du carpe chez les chevaux, ligaments pas ou peu accessibles échographiquement.

Les travaux antérieurs décrivant la lésion de ces ligaments par arthroscopie ont varié dans leurs conclusions sur l'incidence réelle. Cette variation est probablement due au fait que de nombreux chevaux ne subissent pas de chirurgie à moins qu'il n'y ait une fragmentation ostéocondrale ou d'autres changements radiographiques lors de l'examen initial, ainsi que l'incapacité de visualiser l'ensemble du ligament interosseux palmaire médial et du ligament interosseux palmaire latéral au moment de l'arthroscopie. Dans les trois membres examinés par arthroscopie dans l'étude de Gray *et al.* (2013), seule une petite partie du corps du ligament interosseux palmaire médial et du ligament interosseux palmaire latéral a été observée. L'origine et l'insertion de ni l'un ni l'autre n'était facilement visibles et cela est cohérent avec les données précédentes de la littérature. Il convient de noter qu'une seule approche dorsale a été utilisée dans les trois membres. Il est possible qu'une approche latérale palmaire ait fourni plus de visualisation du ligament interosseux palmaire latéral (Gray *et al.*, 2013).

Finalement, les résultats de cette étude ont indiqué que les ligaments interosseux du carpe du cheval, à savoir le ligament interosseux palmaire médial et le ligament interosseux palmaire latéral, peuvent être visualisés par arthro-scanner. De plus, la représentation de l'anatomie ligamentaire dans les images d'arthro-scanner correspondait bien à celle observée en imagerie par résonance magnétique (IRM) et en coupes anatomiques macroscopiques. Les résultats soutiennent la poursuite du développement de l'arthro-scanner en tant que méthode d'imagerie complémentaire non ou peu invasive pour diagnostiquer les lésions des ligaments interosseux chez les chevaux et fournir des informations préopératoires supplémentaires (Gray *et al.*, 2013).

4. Evaluation du cartilage

Plusieurs études épidémiologiques ont révélé que la boiterie due à une affection articulaire est le facteur le plus important responsable de l'incapacité de courir et de la perte de performance chez les chevaux de course. L'arthrose est une maladie dégénérative comprenant des épisodes inflammatoires dans laquelle il y a une dégradation et une perte de la matrice du cartilage articulaire. La dégénérescence du cartilage articulaire est considérée comme une caractéristique de l'arthrose, mais les modifications du cartilage articulaire restent difficiles à identifier à la radiographie car cette technique ne permet pas une visualisation directe du cartilage. Bien que les changements du cartilage articulaire soient considérés comme l'un des premiers événements de la cascade pathologique conduisant à l'arthrose, ces changements restent difficiles à détecter en utilisant des modalités d'imagerie diagnostique conventionnelles telles que la radiographie ordinaire (Suarez Sanchez-Andrade *et al.*, 2018).

Dans l'étude de Suarez Sanchez-Andrade *et al.* (2018) sur le carpe du cheval, l'ajout d'une arthrographie de contraste à la fois par résonance magnétique et par tomodensitométrie a amélioré le taux de détection des lésions cartilagineuses. L'arthro-scanner a montré la meilleure sensibilité (69,9 %) pour détecter les défauts du cartilage

articulaire dans les articulations antébrachio-carpienne et médiocarpienne, par rapport à l'arthrographie par résonance magnétique (53,5 %), l'IRM (33,3 %) et la tomodensitométrie sans contraste (18,1 %). Une étude de Hontoir *et al.* (2014), sur le boulet du cheval, montre des résultats similaires avec une sensibilité et une spécificité de l'arthro-scanner qui étaient de 0,82 et 0,96, respectivement, et étaient significativement plus élevées que celles de l'IRM (0,41 et 0,93, respectivement) pour détecter les défauts globaux du cartilage. L'arthro-scanner était considéré comme un outil précieux pour évaluer les défauts du cartilage dans l'articulation métacarpo-/métatarso-phalangienne en raison de son temps d'acquisition court, de sa spécificité et de sa sensibilité, et il était également plus précis que l'IRM.

Le principal avantage de la tomodensitométrie par rapport à l'IRM est une résolution spatiale supérieure. En effet, la résolution spatiale plus élevée de l'arthro-scanner associée au contraste élevé entre la faible densité de cartilage et l'iode intra articulaire très atténuant permet un meilleur niveau de confiance dans le diagnostic des lésions cartilagineuses par rapport à l'IRM et l'arthrographie IRM. Inversement et notamment sur les machines IRM haut champ, l'IRM permet une évaluation du signal du cartilage (ce dernier reflétant à la fois sa composition biochimique et son architecture) alors que le scanner ne permet qu'une évaluation fine de sa morphologie. La tomodensitométrie est enfin aujourd'hui la modalité de choix pour l'évaluation des modifications osseuses corticales minces ou des calcifications subtiles (Suarez Sanchez-Andrade *et al.*, 2018).

En revanche, la tomodensitométrie a une résolution de contraste des tissus mous inférieure à celle de l'IRM, ce qui permet une mauvaise différenciation entre le liquide synovial et le cartilage articulaire. Il a été démontré que l'injection intra-articulaire de produits de contraste en IRM et en tomodensitométrie aide à définir les structures capsulaires et ligamentaires ainsi que le cartilage articulaire. Ainsi, l'arthrographie par résonance magnétique et l'arthrographie par tomodensitométrie peuvent être utilisées dans l'évaluation des structures ligamentaires intra articulaires, des ménisques et des lésions ostéochondrales (Suarez Sanchez-Andrade *et al.*, 2018).

5. Lésions kystiques sous-chondrales

Les lésions kystiques sous-chondrales sont courantes chez les chevaux et provoquent souvent des boiteries. Elles se retrouvent le plus souvent dans le condyle fémoral médial (45,8 %), les phalanges (26,2 %) et le carpe (7,1 %). Les radiographies sont couramment utilisées pour le diagnostic de ces lésions et montrent généralement une zone radio-transparente sous-chondrale en forme de dôme ou ronde à ovale avec un bord sclérotique environnant variable. Malheureusement, les radiographies ne sont pas toujours diagnostiques chez les chevaux avec des lésions kystiques sous-chondrales en raison de la somme des opacités et des caractéristiques anatomiques complexes (Schön *et al.*, 2017).

Dans l'étude de Schön *et al.* (2017), le nombre total de lésions kystiques sous-chondrales comptées avec l'imagerie scanner était plus élevé qu'avec la radiographie à l'appui des résultats des anciens rapports de séries de cas dans la littérature vétérinaire. De plus, la tomodensitométrie était significativement meilleure pour identifier plus d'une lésion kystique et les lésions plus petites. La supériorité de la tomodensitométrie sur la

radiographie a également été trouvée pour la détection d'un os sous-chondral discontinu, de fissures, d'arthrose et de périostite. Bien que l'arthrose ne soit pas toujours liée aux lésions kystiques sous-chondrales, c'est une complication de ces lésions qui influence également le pronostic.

Pour une approche chirurgicale du traitement, l'emplacement exact d'une lésion kystique sous-chondrales dans un os, sa relation avec le cartilage articulaire et la présence d'une fissure sont très importants (Schön *et al.*, 2017).

Les résultats de cette étude indiquent donc que la radiographie diffère considérablement de la tomodensitométrie en ce qui concerne la morphologie et les résultats associés aux lésions kystiques sous-chondrales. La tomodensitométrie apparaît comme une méthode beaucoup plus précise pour la détection et l'évaluation de la morphologie des lésions kystiques sous-chondrales. Surtout s'il n'y en a pas de visible ou s'il n'est pas possible de localiser exactement la lésion par radiographie seule, la tomodensitométrie fournit des informations supplémentaires importantes pour la planification de la thérapie et du pronostic ultérieurs (Schön *et al.*, 2017).

B. Comparaison risque/bénéfice

L'utilisation de la tomodensitométrie comme examen complémentaire comporte bien des intérêts comme discuté précédemment mais il est essentiel de faire la balance entre les risques et les bénéfices, soit les avantages et les inconvénients, de cet examen selon les situations.

1. Avantages

Le temps d'acquisition est une préoccupation importante. En effet, un artefact de mouvement est plus susceptible de se produire lorsque le temps de balayage augmente et que la résolution est limitée par le temps de balayage. Cette notion s'applique néanmoins peu à l'extrémité distale des membres qu'il est possible de maintenir immobile pendant l'acquisition. Dans l'étude de Hontoir *et al.*, le meilleur compromis entre résolution et temps de balayage a été obtenu avec l'arthro-scanner, avec moins d'une minute pour l'articulation métacarpo-/métatarso-phalangienne, en conservant une résolution spatiale élevée. Le temps de balayage est une considération clinique importante car l'imagerie scanner des membres du cheval nécessite une anesthésie générale de celui-ci mais ce temps est aujourd'hui très court sur les machines récentes et le temps principal de l'examen est lié à la durée de mise en place du cheval dans le scanner (Hontoir *et al.*, 2014).

L'outil MPR permet d'effectuer des coupes dans tous les plans et avec des angles illimités à partir d'une unique acquisition d'image (Valdés-Martínez, 2012), apportant un gain de temps majeur par rapport à un examen IRM où l'acquisition est réalisée dans différents plans anatomiques.

La tomodensitométrie simple permet une excellente qualité d'image pour l'évaluation de toutes les formations squelettiques. L'arthro-scanner permet lui le diagnostic de

nombreuses lésions comme celles du cartilage articulaire, la communication articulaire potentielle d'une lésion osseuse sous-chondrale, des lésions méniscales, ligamentaires et tendineuses ou encore des déchirures de la capsule articulaire (Valdés-Martínez, 2012).

2. Inconvénients

Le principal inconvénient est que la réalisation du scanner nécessite une anesthésie générale. Hormis pour la tête qui peut se réaliser sur cheval debout. Son coût est également plus élevé que l'échographie et la radiographie réunies en général (Valdés-Martínez, 2012).

En ce qui concerne plus particulièrement l'arthro-scanner, il existe d'une part toujours un risque d'infection articulaire iatrogène comme pour tout type d'arthrocentèse. D'autre part, l'arthro-scanner ne permet pas de détecter toutes les lésions de l'articulation et notamment les lésions inflammatoires de l'os. Il existe un risque potentiel de manquer une lésion en l'absence d'architecture anormale et/ou si la lésion n'est pas en communication avec l'espace articulaire, car jamais en contact avec le produit de contraste. L'arthro-scanner ne permet pas non plus d'identifier une augmentation du contenu liquidien de l'os qui n'a pas d'anomalies structurelles associées, comme cela se produirait avec une contusion, c'est-à-dire une lésion de type œdème osseux que seul l'IRM permet aujourd'hui de diagnostiquer. De même, les anomalies intra-substance du cartilage articulaire, telles que la dégénérescence diffuse ou la formation de cicatrices, ne peuvent pas être identifiées avec l'arthro-scanner (Valdés-Martínez, 2012).

Un rôle limitant dans la détection des lésions, inhérente à l'anatomie du carpe, est la conformation arrondie des articulations antébrachio-carpienne et médiocarpienne. Les limitations de la résolution spatiale des modalités d'imagerie utilisées, conduisant à des artefacts de volume partiel sont aggravées par les formations anatomiques courbes. Les articulations du carpe du cheval représentent une région anatomique plus complexe que les articulations distales des membres comme les articulations interphalangiennes ou métacarpo/métatarsophalangienne ; y compris un cartilage plus mince, une surface articulaire plus arrondie et plusieurs petits os formant les articulations, qui affectent tous la résolution spatiale de l'IRM et de l'imagerie scanner (Suarez Sanchez-Andrade *et al.*, 2018).

Conclusion

Les affections du carpe sont fréquemment observées chez les chevaux athlètes en raison des contraintes biomécaniques élevées s'exerçant sur celui-ci pendant l'entraînement, la course et les compétitions. Afin de pouvoir diagnostiquer des lésions du carpe du cheval, il faut d'abord maîtriser son anatomie. Cette thèse a permis la création d'un support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie en école vétérinaire, dans notre cas : l'anatomie du carpe du cheval.

Afin de documenter assez largement l'anatomie du carpe du cheval, nous avons utilisé l'examen tomodensitométrique, communément appelé scanner, qui est basé sur les mêmes principes physiques que la radiologie conventionnelle. Le scanner permet cependant de créer des coupes du corps et offre une capacité de distinction des tissus beaucoup plus importante.

Pour étudier l'anatomie du carpe du cheval, nous avons utilisé différents outils disponibles sur le scanner à partir d'une seule acquisition d'images : les modes de reconstruction 3D, MPR et filtres tissus mous et osseux. Nous avons également réalisé un arthro-scanner, c'est-à-dire une acquisition d'images avec injection de produit de contraste intra-articulaire. Nous avons ainsi pu obtenir un éventail d'images permettant une visualisation la plus complète possible de l'anatomie de la région étudiée. Une fois les images sélectionnées, nous avons créé le support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie, qui est une base d'images légendées, ainsi que deux quizz, un pour l'enseignement de tronc commun et un pour les étudiants ayant choisi la dominante équine en cinquième année et les internes en Clinique équine.

Ce travail à visée pédagogique a également été réalisé cette année, dans le cadre d'une autre thèse, sur le pied du cheval. Ce travail pourra être réalisé sur chaque articulation du cheval pouvant être examinée au scanner afin de permettre un meilleur apprentissage de l'anatomie du cheval.

Liste des références bibliographiques

- BARONE R. (1986) Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 1, Ostéologie, 4^e ed. Paris, France, Vigot
- BARONE R. (1989) Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 2, Arthrologie et myologie, 3^e ed. Paris, France, Vigot
- BARONE R. (1996) Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 5, Angiologie. Paris, France, Vigot
- BARONE R., SIMOENS P. (2010) Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 7, Neurologie II: système nerveux périphérique, glandes endocrines, esthésiologie. Paris, France, Vigot
- CEA (2014) Le fonctionnement d'un scanner X. *In Site du commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives*. [http://www.cea.fr/multimedia/pages/videos/culture-scientifique/sante-sciences-du-vivant/fonctionnement-scanner-x.aspx?g_d9247c6c_33b2_47f0_8fb6_a52f1f0ef977=2] (consulté le 07/07/2020).
- CONTARDI L., MANCINI L., NESIMI L. (2019) Avec l'arrivée du scanner spectral, quels sont les changements dans la pratique quotidienne des TRM ? Travail de Bachelor. Haute Ecole de Santé Genève
- GRAY S.N., PUCHALSKI S.M., GALUPPO L.D. (2013) Computed tomographic arthrography of the intercarpal ligaments of the equine carpus. *Vet. Radiol. Ultrasound* 54(3), 245-252
- HONTOIR F., NISOLLE J.-F., MEURISSE H., *et al.* (2014) A comparison of 3-T magnetic resonance imaging and computed tomography arthrography to identify structural cartilage defects of the fetlock joint in the horse. *Vet. J. Lond. Engl.* 199(1), 115-122
- KINNS J., MALINOWSKI R., MCEVOY F., SCHWARZ T., ZWINGENBERGER A. (2011) Chapter 6 : Special software applications. *In Veterinary Computed Tomography*, Eds Saunders J., Schwarz T. Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, pp 67-74
- POLLARD R., PUCHALSKI S. (2011) Chapter 5 : CT contrast media and applications. *In Veterinary Computed Tomography*, Eds Saunders J., Schwarz T. Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, pp 57-66
- RUEL Y. (2000) Tomodensitométrie - Imagerie par résonance magnétique. Polycopié. EnvA, Unité Fonctionnelle de Radiologie
- SAUNDERS J., BERGMAN H.-J. (2011a) Chapter 46 : Equine upper limbs (carpus, tarsus, stifle). *In Veterinary Computed Tomography*, Eds Saunders J., Schwarz T. Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, pp 483-501
- SAUNDERS J., BERGMAN H.-J. (2011b) Chapter 43 : Equine fractures. *In Veterinary Computed Tomography*, Eds Saunders J., Schwarz T. Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, pp 457-462
- SAUNDERS J., OHLERTH S. (2011) Chapter 1 : CT physics and instrumentation – mechanical design. *In Veterinary Computed Tomography*, Eds Saunders J., Schwarz T. Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, pp 1-6
- SAUNDERS J., SCHWARZ T. (2011) Chapter 3 : Principles of CT image interpretation. *In Veterinary Computed Tomography*, Eds Saunders J., Schwarz T. Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, pp 29-34
- SCHÖN S., FÜRST A., OHLERTH S., *et al.* (2017) Computed tomographic versus radiographic assessment of the visibility and features of subchondral cystic lesions in

- equine limbs. *Pferdeheilkunde* 33(3), 256-262
- SUAREZ SANCHEZ-ANDRADE J., RICHTER H., KUHN K., *et al.* (2018) Comparison between magnetic resonance imaging, computed tomography, and arthrography to identify artificially induced cartilage defects of the equine carpal joints. *Vet. Radiol. Ultrasound* 59(3), 312-325
- VALDÉS-MARTÍNEZ A. (2012) Computed Tomographic Arthrography of the Equine Stifle Joint. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 28(3), 583-598
- WASELAU M., BERTONE A.L., GREEN E.M. (2006) Computed tomographic documentation of a comminuted fourth carpal bone fracture associated with carpal instability treated by partial carpal arthrodesis in an Arabian filly. *Vet. Surg.* 35(7), 618-625

IMAGERIE SCANNER DU CARPE DU CHEVAL : APPLICATION À L'ENSEIGNEMENT D'ANATOMIE.

AUTEUR : Anaïs LAGACHE

RÉSUMÉ :

L'objectif de cette thèse est la création d'un support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie vétérinaire, en particulier l'anatomie du carpe du cheval. En effet, afin d'interpréter les images radiographiques et échographiques réalisées couramment en pratique équine et pouvoir diagnostiquer des lésions du carpe, il faut d'abord maîtriser l'anatomie de cette région. De plus, les affections du carpe sont fréquemment observées chez les chevaux athlètes en raison des contraintes biomécaniques élevées s'exerçant sur celui-ci pendant l'entraînement, la course et les compétitions.

Afin de documenter assez largement l'anatomie du carpe du cheval, nous avons utilisé l'examen tomodensitométrique, communément appelé scanner, qui est basé sur les mêmes principes physiques que la radiologie conventionnelle. Ce dernier permet de créer des coupes du corps et offre une capacité de distinction des tissus beaucoup plus importante.

Pour étudier l'anatomie du carpe du cheval, nous avons employé différents outils disponibles sur le scanner à partir d'une seule acquisition d'images : les modes de reconstruction en trois dimensions, MPR (multi planar reconstruction) et filtres tissus mous et osseux. Nous avons également réalisé un arthro-scanner, c'est-à-dire une acquisition d'images avec injection intra-articulaire de produit de contraste. Nous avons ainsi pu obtenir un éventail d'images permettant une visualisation la plus complète possible de l'anatomie du carpe du cheval. Une fois les images sélectionnées, nous avons créé le support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie, qui est une base d'images légendées, ainsi que deux quizz, un pour l'enseignement de tronc commun et un pour les étudiants ayant choisi la dominante équine en cinquième année et les internes. Toutes les images réalisées pour cette thèse sont incluses dans le support écrit.

MOTS CLÉS :

ANATOMIE, CARPE, CHEVAL, IMAGERIE, SCANNER, TOMODENSITOMÉTRIE

JURY :

Président : Pr Frédéric RELAIX

1^{er} Assesseur : Pr Fabrice AUDIGIÉ

2nd Assesseur : Pr Henry CHATEAU

COMPUTED TOMOGRAPHY OF THE EQUINE CARPUS: APPLICATION TO ANATOMY TEACHING.

AUTHOR: Anaïs LAGACHE

SUMMARY:

The objective of this thesis is to create an educational support for the teaching of veterinary anatomy, in particular, the anatomy of the horse's carpus. In order to interpret the radiographic and ultrasonographic images (commonly performed in equine practice) and to be able to diagnose carpal lesions, it is first necessary to have a deep knowledge of the anatomy of this region. In addition, carpal injuries are frequently observed in athletic horses due to the high biomechanical stresses on the carpus during training, racing and competitions.

In order to document the anatomy of the horse's carpus fairly extensively, we have used computed tomography, commonly known as a CT scan. This technique is based on the same physical principles as conventional radiology. CT makes it possible to create body sections and offers a much greater capacity for tissue distinction.

To study the anatomy of the horse's carpus, we have used different tools available on the scanner from a single image acquisition: three-dimensional reconstruction modes, MPR (multi planar reconstruction) and soft tissue and bone filters. We also performed an arthro-scan, i.e. an image acquisition with intra-articular injection of contrast agent. We were able to obtain a range of images allowing a complete visualisation of the horse's carpus anatomy. Once the images were selected, we have created the pedagogical support for the teaching anatomy (which is a database of captioned images) as well as two quizz, one for common core teaching and one for students who have chosen the dominant equine in the fifth year and equine interns. All the images produced for this thesis are included in the written support.

KEYWORDS:

ANATOMY, CARPUS, HORSE, DIAGNOSTIC IMAGING, COMPUTED TOMOGRAPHY

JURY:

Chairperson: Pr Frédéric RELAX

1st Assessor: Pr Fabrice AUDIGIÉ

2nd Assessor: Pr Henry CHATEAU