

Le scanner: un outil d'enseignement de l'ostéologie équine du membre pelvien

Camille Gosselin

▶ To cite this version:

Camille Gosselin. Le scanner: un outil d'enseignement de l'ostéologie équine du membre pelvien. Médecine vétérinaire et santé animale. 2022. dumas-03981312

HAL Id: dumas-03981312 https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03981312

Submitted on 9 Feb 2023

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.





Année 2022

LE SCANNER : UN OUTIL D'ENSEIGNEMENT DE L'OSTÉOLOGIE ÉQUINE DU MEMBRE PELVIEN

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC) le 21 octobre 2022

par

Camille, Adrienne, Renée GOSSELIN

sous la direction de

Fabrice AUDIGIÉ

JURY

| Président du jury : | M. Henry CHATEAU | Professeur à l'EnvA |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Directeur de thèse : | M. Fabrice AUDIGIÉ | Professeur à l'EnvA |
| Examinatrice : | Mme Céline MESPOULHÈS-RIVIÈRE | Ingénieur de recherche à l'EnvA |



Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire

Version du 8 février 2022



Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR

| M Audigié Fabrice Professeur DEPEC M Bellier Sylvain Professeur DSBP M Blaga Radu Maître de conférences HDR DPASP M Blot Stephane Professeur DEPEC M Boulouis Henri-Jean Professeur émérite DSBP Mme Chahory Sabine Professeur DEPEC M Chateau Henry Professeur DSBP Mme Chetboul Valerie Professeur DEPEC Mm Crevier-Denoix Nathalie Professeur DSBP M Dequeurce Christophe Professeur DSBP |
|--|
| M Blaga Radu Maître de conférences HDR DPASP M Blot Stephane Professeur DEPEC M Boulouis Henri-Jean Professeur émérite DSBP Mme Chahory Sabine Professeur DEPEC M Chateau Henry Professeur DSBP Mme Chetboul Valerie Professeur DEPEC Mme Crevier-Denoix Nathalie Professeur DSBP |
| M Blot Stephane Professeur DEPEC M Boulouis Henri-Jean Professeur émérite DSBP Mme Chahory Sabine Professeur DEPEC M Chateau Henry Professeur DSBP Mme Chetboul Valerie Professeur DEPEC Mme Crevier-Denoix Nathalie Professeur DSBP |
| M Boulouis Henri-Jean Professeur émérite DSBP Mme Chahory Sabine Professeur DEPEC M Chateau Henry Professeur DSBP Mme Chetboul Valerie Professeur DEPEC Mme Crevier-Denoix Nathalie Professeur DSBP |
| Mme Chahory Sabine Professeur DEPEC M Chateau Henry Professeur DSBP Mme Chetboul Valerie Professeur DEPEC Mme Crevier-Denoix Nathalie Professeur DSBP |
| M Chateau Henry Professeur DSBP Mme Chetboul Valerie Professeur DEPEC Mme Crevier-Denoix Nathalie Professeur DSBP |
| MmeChetboulValerieProfesseurDEPECMmeCrevier-DenoixNathalieProfesseurDSBP |
| Mme Crevier-Denoix Nathalie Professeur DSBP |
| |
| M Degueurce Christophe Professeur DSBP |
| |
| M Denoix Jean-Marie Professeur DEPEC |
| M Desquilbet Loïc Professeur DSBP |
| Mme Dufour Barbara Professeur émérite DPASP |
| M Eloit Marc Professeur DSBP |
| M Fayolle Pascal Professeur émérite DEPEC |
| M Fédérighi Michel Professeur DPASP |
| M Fontbonne Alain Professeur DEPEC |
| Mme Gilbert Caroline Professeur DSBP |
| M Grandjean Dominique Professeur DEPEC |
| Mme Grimard-Ballif Bénédicte Professeur DPASP |
| Mme Haddad-Hoang Xuan Nadia Professeur DPASP |
| M Jouvion Gregory Professeur DSBP |
| M Kohlhauer Matthias Maître de conférences HDR DSBP |
| Mme Le Poder Sophie Professeur DSBP |
| M Manassero Mathieu Professeur DEPEC |
| Mme Maurey-Guénec Christelle Maître de conférences HDR DEPEC |
| M Millemann Yves Professeur DPASP |
| M Perrot Sébastien Maître de conférences HDR DSBP |
| Mme Pilot-Storck Fanny Professeur DSBP |
| M Ponter Andrew Professeur DPASP |
| Mme Rivière Julie Maître de conférences HDR DPASP |
| Mme Robert Céline Professeur DSBP |
| M Tiret Laurent Professeur DSBP |
| M Tissier Renaud Professeur DSBP |
| M Verwaerde Patrick Professeur DEPEC |
| Mme Viateau Véronique Professeur DEPEC |

Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV

| M | Arné | Pascal | Maître de conférences | DPASP |
|-----|--------------------|-------------|-------------------------------|-------|
| Mme | Barassin | Isabelle | Maître de conférences | DPASP |
| Mme | Benchekroun | Ghita | Maître de conférences | DEPEC |
| Mme | Bertoni | Lelia | Maître de conférences | DEPEC |
| M | Bolnot | Francois | Maître de conférences | DPASP |
| Mme | Canonne-Guibert | Morgane | Maître de conférences | DEPEC |
| Mme | Chevallier | Lucie | Maître de conférences | DSBP |
| Mme | Cochet-Faivre | Noëlle | Maître de conférences | DEPEC |
| Mme | Constant | Fabienne | Maître de conférences | DPASP |
| Mme | Cordonnier-Lefort | Nathalie | Maître de conférences | DSBP |
| Mme | Crepeaux | Guillemette | Maître de conférences | DSBP |
| Mme | De Paula Reis | Alline | Maître de conférences | DPASP |
| Mme | Decambron | Adeline | Maître de conférences | DEPEC |
| M | Delsart | Maxime | Maître de conferences associé | DPASP |
| M | Desbois | Christophe | Maître de conférences | DEPEC |
| M | Deshuillers | Pierre | Maître de conférences | DSBP |
| M | Gauthier | Michel | Maître de conferences associé | DPASP |
| Mme | Guétin-Poirier | Valentine | Maître de conférences | DPASP |
| Mme | Jacquet | Sandrine | Ingénieur de recherche (DMV) | DEPEC |
| Mme | Lagrée | Anne-Claire | Maître de conférences | DSBP |
| Mme | Le Roux | Delphine | Maître de conférences | DSBP |
| Mme | Legrand | Chantal | Maître de conferences associé | DSBP |
| Mme | Marignac | Genevieve | Maître de conférences | DSBP |
| M | Mauffré | Vincent | Maître de conférences | DPASP |
| Mme | Mtimet | Narjès | Maître de conférences | DPASP |
| Mme | Mespoulhès-Rivière | Céline | Ingénieur de recherche (DMV) | DEPEC |
| M | Mortier | Jérémy | Maître de conferences associé | DEPEC |
| M | Nudelmann | Nicolas | Maître de conférences | DEPEC |
| M | Pignon | Charly | Ingénieur de recherche (DMV) | DEPEC |
| M | Polack | Bruno | Maître de conférences | DSBP |
| Mme | Ravary-Plumioën | Bérangère | Maître de conférences | DPASP |
| M | Reyes-Gomez | Edouard | Maître de conférences | DSBP |
| Mme | Risco-Castillo | Véronica | Maître de conférences | DSBP |
| Mme | Rose | Hélène | Maître de conferences associé | DSBP |
| | | | | |

Remerciements

Au Président du Jury de cette thèse, M. Henry CHATEAU, Professeur à l'EnvA, Pour avoir participé à cette thèse et ses corrections,

Sincères remerciements.

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

Pour m'avoir proposé ce sujet, pour sa disponibilité, pour la réalisation des images scanner de cette thèse et ses corrections,

Sincères remerciements.

À Mme. Céline MESPOULHES, Ingénieur de recherche à l'EnvA,

Pour avoir accepté l'examen de ma thèse,

Sincères remerciements.

À mes parents,

Pour leur soutien tout au long de ce projet,

Merci.

TABLE DES MATIERES

| LISTE DES FIGURES | 3 |
|---|-----|
| LISTE DES ABREVIATIONS | |
| INTRODUCTION | |
| PREMIERE PARTIE : RAPPELS ET GENERALITES, BASES TECHNIQUES DE | |
| TOMODENSITOMETRIE | 11 |
| 1. Instrumentation | 11 |
| A. Tube à rayons X | |
| B. Collimateurs et filtration | |
| C. Systèmes de détection | |
| D. Anatomie du portique | |
| 2. Interprétation des images | |
| A. Coefficients d'atténuation | |
| B. Représentation des densités | |
| 3. Qualité et traitement de l'image | |
| A. Résolution, bruit et exposition du patient | |
| B. Filtres | |
| C. Reconstruction multi-plans D. Reconstruction en trois dimensions (3D) | |
| DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODE | |
| | |
| 1. Instrumentation | |
| 2. Protocole de réalisation des images | |
| 3. Traitement et choix des images | |
| 4. Création du support pédagogique | |
| TROISIEME PARTIE: RESULTATS | |
| 1. Ostéologie 3D | 25 |
| A. Vertèbre lombaire 6 (L6) | |
| B. Sacrum | |
| C. Os coxaux | |
| D. Fémur | |
| E. Patella | |
| F. Tibia | |
| G. JarretH. Os métatarsiens | |
| I. Phalanges | |
| 2. Movies | |
| Support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie | |
| | |
| QUATRIEME PARTIE: DISCUSSION | |
| Analyse critique du travail effectué | |
| 2. Application clinique du scanner à l'exploration du membre pelvien du cheval | |
| A. Utilisation de l'examen scanner dans le diagnostic d'une fracture de l'acétabulum | |
| B. Utilisation de la microtomographie aux rayons X pour explorer l'étiologie les lésions kystique | |
| juvéniles du condyle fémoral médial crânial | |
| CONCLUSION | |
| LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | |
| LE SCANNER : UN OUTIL DE L'ENSEIGNEMENT DE L'OSTÉOLOGIE ÉQUINE D | |
| MEMBRE PELVIEN | _ |
| THE SCANNER: A TOOL FOR TEACHING OSTÉOLOGY OF THE EQUINE PELVI | С |
| LIMR | 132 |

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 et al., 2019). | .14 |
| Figure 3: Scanner Canon Aquilion Large Bore et table cheval motorisée (CIRALE) | .19 |
| Figure 4 : Placement de l'os tibial de cheval sur la table pour l'acquisition d'images du tibia | |
| (CIRALE) | .20 |
| Figure 5 : Acquisition des images pour le fémur (CIRALE) | .21 |
| Figure 6: Capture d'écran de la plateforme Eve contenant le travail de cette thèse | |
| Figure 7: Vue latérale gauche de L6 (CIRALE) | .26 |
| | .27 |
| Figure 9: Vue caudale de L6 (CIRALE) | .27 |
| Figure 10: Vue dorsale de L6 (CIRALE) | .28 |
| Figure 11: Vue ventrale de L6 (CIRALE) | .28 |
| Figure 12: Vue latérale gauche du sacrum (CIRALE) | .30 |
| Figure 13: Vue crâniale du sacrum (CIRALE) | .30 |
| Figure 14: Vue caudale du sacrum (CIRALE) | .31 |
| Figure 15: Vue dorsale du sacrum (CIRALE) | |
| Figure 16: Vue ventrale du sacrum (CIRALE) | .32 |
| Figure 17: Vue latérale gauche des os coxaux (CIRALE) | .33 |
| Figure 18: Vue crâniale des os coxaux (CIRALE) | |
| Figure 19: Vue caudale des os coxaux (CIRALE) | .34 |
| Figure 20: Vue dorsale des os coxaux (CIRALE) | .34 |
| Figure 21: Vue ventrale des os coxaux (CIRALÉ) | |
| Figure 22: Vue latérale du fémur gauche (CIRALE) | |
| Figure 23: Vue médiale du fémur gauche (CIRALE) | |
| Figure 24: Vue crâniale du fémur gauche (CIRALE) | |
| Figure 25: Vue caudale du fémur gauche (CIRALE) | |
| Figure 26: Vue caudale distale du fémur gauche (CIRALE) | .39 |
| Figure 27: Vue latérale de la rotule gauche (CIRALE) | |
| Figure 28: Vue médiale de la rotule gauche | |
| Figure 29: Vue crâniale de la rotule gauche | .41 |
| Figure 30: Vue caudale de la rotule gauche (CIRALE) | .41 |
| | .43 |
| Figure 32: Vue médiale du tibia gauche (CIRALE) | .43 |
| Figure 33: Vue crâniale du tibia gauche (CIRALE) | .44 |
| Figure 34: Vue caudale du tibia gauche (CIRALE) | |
| Figure 35: Vue proximale du tibia gauche (CIRALE) | |
| Figure 36: Os du tarse du cheval, os disjoints, tarse gauche (Barone 1986) | |
| Figure 37: Vue dorsale du jarret droit (CIRALE) | .48 |
| Figure 38: Vue caudo-latérale du jarret droit (CIRALE) | |
| Figure 39: Vue médiale du jarret droit (CIRALE) | |
| Figure 40: Vue caudale du jarret droit (CIRALE) | .50 |
| Figure 41: Vue dorsale de l'os métatarsien III gauche (CIRALE) | |
| Figure 42: Vue latérale des os métatarsiens et des os sésamoïdes gauches (CIRALE) | |
| Figure 43: Vue plantaire des os métatarsiens et des os sésamoïdes proximaux gauches (CIRALE) | |
| Figure 44: Vue médiale des os métatarsiens et des os sésamoïdes proximaux gauches (CIRALE) | |
| Figure 45: Vue dorsale des phalanges gauches (CIRALE) | .54 |

| Figure 46: | Vue médiale des phalanges gauches (CIRALE) | .54 |
|------------|--|-----|
| | Vue plantaire des phalanges gauches (CIRALE) | |
| | question 1 quizz tronc commun L6 | |
| Figure 49: | question 2 quizz tronc commun L6 | .57 |
| | question 3 quizz tronc commun L6 | |
| Figure 51: | Question 1 quizz A6 et plus L6 | .59 |
| | Question 2 quizz A6 et plus L6 | |
| | Question 1 quizz tronc commun sacrum | |
| | Question 2 quizz tronc commun sacrum | |
| Figure 55: | Question 3 quizz tronc commun sacrum | .63 |
| Figure 56: | Question 1 du quizz A6 et plus sacrum | .64 |
| Figure 57: | Question 1 du quizz tronc commun os coxaux | .65 |
| | Question 2 du quizz tronc commun os coxaux | |
| Figure 59: | Question 3 du quizz tronc commun os coxaux | .67 |
| Figure 60: | Question 1 du quizz A6 et plus os coxaux | .68 |
| Figure 61: | Question 2 du quizz A6 et plus os coxaux | .69 |
| Figure 62: | Question 3 du quizz A6 et plus os coxaux | .70 |
| Figure 63: | Question 4 du quizz A6 et plus os coxaux | .71 |
| Figure 64: | Question 5 du quizz A6 et plus os coxaux | .72 |
| Figure 65: | Question 1 du quizz tronc commun fémur | .73 |
| Figure 66: | Question 4 du quizz tronc commun fémur | .74 |
| | Question 3 du quizz tronc commun fémur | |
| Figure 68: | Question 4 du quizz tronc commun fémur | .75 |
| Figure 69: | Question 1 du quizz A6 et plus fémur | .76 |
| Figure 70: | Question 2 du quizz A6 et plus fémur | .77 |
| Figure 71: | Question 3 du quizz A6 et plus fémur | .78 |
| Figure 72: | Question 4 du quizz A6 et plus fémur | .79 |
| Figure 73: | Question 1 du quizz tronc commun patella | .80 |
| Figure 74: | Question 3 du quizz tronc commun patella | .81 |
| | Question 1 du quizz A6 et plus patella | |
| | Question 2 quizz A6 et plus patella | |
| | Question 1 du quizz tronc commun tibia | .83 |
| Figure 78: | Question 2 du quizz tronc commun tibia | .84 |
| | Question 4 du quizz tronc commun tibia | |
| _ | Question 1 du quizz A6 et plus tibia | |
| | Question 2 du quizz A6 et plus tibia | |
| | Question 3 du quizz A6 et plus tibia | |
| | Question 1 quizz tronc commun jarret | |
| _ | Question 2 quizz tronc commun jarret | |
| | Question 3 quizz tronc commun jarret | |
| | Question 4 quizz tronc commun jarret | |
| _ | Question 5 quizz tronc commun jarret | |
| - | Question 6 quizz tronc commun jarret | |
| | Question 7 quizz tronc commun jarret | |
| | Question 1 du quizz A6 et plus jarret | |
| | Question 2 du quizz A6 et plus jarret | |
| | Question 3 du quizz A6 et plus jarret | |
| | Question 4 du quizz A6 et plus jarret | |
| _ | Question 5 du quizz A6 et plus jarret | |
| Figure 95: | Question 6 quizz A6 et plus jarret | 02 |

| Figure 96: Question 1 du quizz tronc commun métatarse | .103 |
|--|-------|
| Figure 97: Question 2 du quizz tronc commun métatarse | .105 |
| Figure 98: Question 1 du quizz A6 et plus métatarse | .106 |
| Figure 99: Question 1 du quizz tronc commun pied | .107 |
| Figure 100: Question 2 du quizz tronc commun pied | .108 |
| Figure 101: Question 3 du quizz tronc commun pied | .109 |
| Figure 102: Question 1 du quizz A6 et plus pied | .110 |
| Figure 103: Question 2 du quizz A6 et plus pied | .111 |
| Figure 104: Question vidéo interactive tronc commun L6 | .112 |
| Figure 105: Question vidéo interactive L6 A6 et plus | .112 |
| Figure 106: Question vidéo interactive tronc commun sacrum | |
| Figure 107: Question vidéo interactive sacrum A6 et plus | |
| Figure 108: Question vidéo interactive tronc commun os coxal | .115 |
| Figure 109: Question vidéo interactive os coxal A6 et plus | |
| Figure 110: Question vidéo interactive tronc commun fémur | .117 |
| Figure 111: Questions vidéo interactive fémur A6 et plus | .118 |
| Figure 112: Question vidéo interactive tronc commun rotule | .119 |
| Figure 113: Question vidéo interactive A6 et plus rotule | .119 |
| Figure 114: Questions vidéo interactive tronc commun tibia | .120 |
| Figure 115: Question vidéo interactive tibia A6 et plus | .121 |
| Figure 116: Questions vidéo interactive jarret A6 et plus | .122 |
| Figure 117: Question vidéo interactive métatarse A6 et plus | .123 |
| Figure 118: Question vidéo interactive tronc commun pied | .124 |
| Figure 119: Radiographie en décubitus dorsal, cas 1, Trump et al. 2011 | .126 |
| Figure 120: Radiographie en décubitus dorsal, cas 2, Trump et al. 2011 | .127 |
| Figure 121: Examen scanner d'une hanche d'un cheval en décubitus dorsal, Trump et al. 2011 | .127 |
| Figure 122: Examen scanner en décubitus dorsal, cas 1, Trump et al. 2011 | .128 |
| Figure 123: Examen scanner en décubitus dorsal, cas 2, Trump et al. 2011 | |
| Figure 124: Kyste osseux sous chondral du condyle fémoral médial d'un Pur-Sang de moins d'un | n an, |
| Oldstad et al., 2011 | .129 |
| Figure 125: Aspect macroscopique (A), scanner conventionnel (B), microtomographie aux rayor | ns X |
| (C), Lemirre et al. (2021) | .130 |
| Figure 126: Lésion kystique du condyle fémoral médial crânial chez un poulain de 2 mois, | |
| microtomographie aux rayons X, Lemirre et al. (2021) | .130 |
| Figure 127: Lésion kystique du condyle fémoral médial crânial chez un poulain de 6 à 8 mois, | |
| microtomographie aux rayons X, Lemirre et al. (2021) | .131 |
| | |

Liste des abréviations

2D : Deux Dimensions 3D : Trois Dimensions

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

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

MIP: Maximal Intensity Projection MPR: Multi Planar Reconstruction

UC : Unité de Compétence UH : Unité Hounsfield L6 : Lombaire 6

P1 : Phalange proximale P2 : Phalange moyenne P3 : Phalange distale

Introduction

Les affections du membre pelvien chez le cheval représentent une part considérable de la pathologie locomotrice équine, aussi bien chez les chevaux de sport, que de course ou encore de loisir. Par exemple, il est fréquemment diagnostiqué des lésions d'arthropathie notamment d'éparvin (arthropathie des étages distaux du tarse) ou des fractures (du bassin, de l'os tarsal III ou l'os central du tarse et du boulet). Toutes ces affections, et bien d'autres, peuvent être traumatiques ou de fatigue mais sont dans tous les cas fréquentes chez le cheval. Ces dernières concernent toutes, les os du membre pelvien.

L'examen tomodensitométrique (scanner) se révèle être une aide précieuse pour le diagnostic des affections osseuses du membre pelvien et ainsi pouvoir réaliser au mieux les traitements adéquats de ces lésions.

Avant de pouvoir diagnostiquer toutes ces entités, une connaissance exacte de l'anatomie est requise, notamment de l'ostéologie. Cette thèse a donc pour objectif la réalisation d'un support pédagogique pour l'enseignement de l'ostéologie du membre pelvien en école vétérinaire. Le but est de faire évoluer l'enseignement, avec comme objectif final de remplacer les cours d'ostéologie en présentiel par la réalisation de quizz sur la plateforme d'apprentissage de l'école (Eve). Pour cela, nous allons tout d'abord rappeler le fonctionnement du scanner, puis nous présenterons l'ostéologie du membre pelvien ainsi que les images effectuées au scanner. Nous aborderons ensuite comment nous avons créé le support pédagogique. Enfin, nous discuterons de l'intérêt du support créé et nous montrerons quelques exemples cliniques de l'utilisation de l'examen tomodensitométrique.

Première partie : rappels et généralités, Bases techniques de tomodensitométrie

1. 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).

A. 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; CEA).

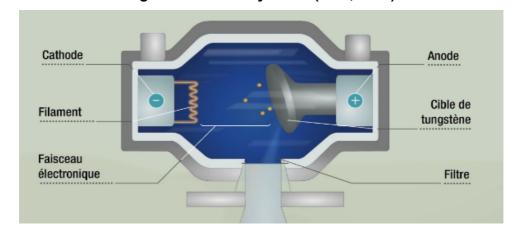


Figure 1: Tube à rayons X. (CEA, 2014)

B. 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).

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).

C. 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).

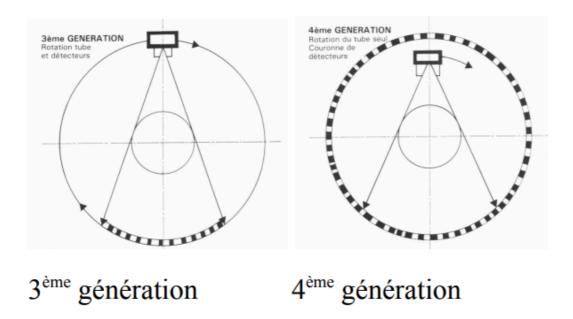
Il est composé de cristaux tels que l'iodure de césium ou le tungstate de cadmium, et de matériaux céramiques tels que l'oxysulfure de gadolinium. Soumis à une stimulation par les rayons X, ces cristaux émettent une lumière dont l'intensité est proportionnelle au faisceau reçu. Cette lumière est ensuite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

D. 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).

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; Saunders et Ohlerth; Contardi et al.).

Figure 2: Anatomie du portique des scanners de 3ème et 4ème 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).

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).

2. Interprétation des images

A. 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 traversée 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).

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).

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

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; Saunders et Schwarz).

B. 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; Saunders et Schwarz).

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; Saunders et Schwarz).

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; Saunders et Schwarz).

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).

3. Qualité et traitement de l'image

A. 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).

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).

B. 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).

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).

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

C. 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.)

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

D. 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.).

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.).

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 multiplanaire ou 3D standard (Kinns et al.).

Deuxième partie: matériel et méthode

1. 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 3.

Figure 3: Scanner Canon Aquilion Large Bore et table cheval motorisée (CIRALE).



2. Protocole de réalisation des images

Les images de la thèse ont été acquises sur des os isolés fournis par l'École nationale vétérinaire d'Alfort.

Les paramètres d'acquisition étaient les suivants :

- constantes d'exposition : tension = 80 kV ; intensité = 50 mA ; temps de rotation du tube = 0,75s ; mAs effective = 54 mAs ; petit foyer du tube radiogène ;
- champ de vue reconstruit : diamètre = variable en fonction de chaque os ; longueur d'acquisition = variable en fonction de chaque os ; collimation = 1 mm avec 16 détecteurs, vitesse de déplacement de la table (pitch) = lent ; durée d'acquisition variable en fonction de chaque os.

L'os isolé est placé sur la table du scanner. L'acquisition des images a été réalisée sur la 6^{ème} vertèbre lombaire (L6), le sacrum, les os coxaux, le fémur, la patella, le tibia, le tarse, les os métatarsiens et les phalanges. La figure 4 montre l'exemple du placement de l'os de tibia de cheval pour l'acquisition d'images.

Figure 4 : Placement de l'os tibial de cheval sur la table pour l'acquisition d'images du tibia (CIRALE).



3. Traitement et choix des images

Pour étudier l'anatomie du membre pelvien du cheval, nous avons utilisé les modes de reconstruction 3D, MPR (Multi Planar Reconstruction). 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 0,5 mm ;
- des coupes chevauchantes avec un chevauchement de 20 % entre deux coupes.

Les filtres osseux mettent en évidence les formations osseuses.

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 avec obtention de vues à 360 ° : 90 images ont été prises sur chaque os afin de permettre les 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.

Le but est d'avoir les vues caractéristiques des os du membre pelvien : crânial/dorsal, latéral, caudal/plantaire et médial (avec plus ou moins des vues de proximale et distale en fonction des os). Des movies ont aussi été réalisés pour tous les os avec 2 images à la seconde afin d'obtenir des movies de 30 à 45 secondes.

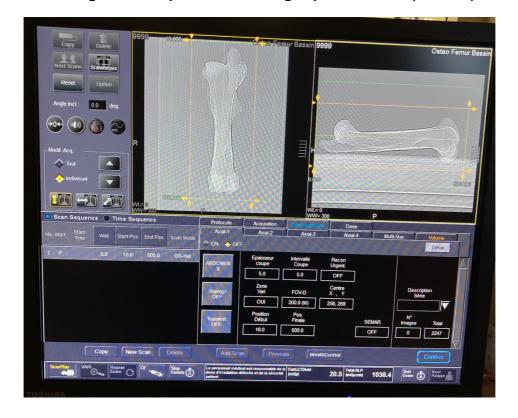


Figure 5 : Acquisition des images pour le fémur (CIRALE)

4. 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 sixième année d'école et pour la formation continue des vétérinaires.

Pour se faire, trois éléments sont mis en place :

- 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 deuxième année lors des enseignements d'anatomie du tronc commun et le second niveau pour les étudiants en sixième 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.
- La création de movies, afin de visualiser les os en 3D ; avec un format interactif pour poser des questions à partir de ces movies.

Ces trois 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 en suivant le chemin suivant :

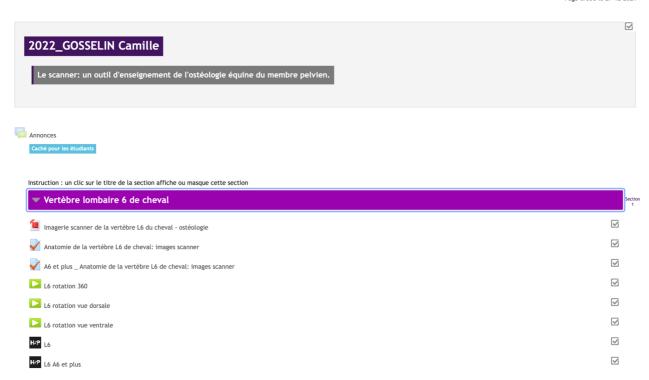
→ Formation initiale > Thèse d'exercice vétérinaire > Thèses multimédias > Le scanner : un outil d'enseignement de l'ostéologie équine du membre pelvien ;

La page se présente comme sur la figure 6. Quatre autres thèses effectuent un travail similaire sur le pied, le boulet, le carpe et le tarse du cheval.

Figure 6: Capture d'écran de la plateforme Eve contenant le travail de cette thèse.

Le scanner: un outil d'enseignement de l'ostéologie équine du membre pelvien

Directeur de thèse : Pr. Fabrice Audigié
Page créée le 27-12-2021



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 A6 et un interne en Clinique équine.

1. Ostéologie 3D

A. Vertèbre lombaire 6 (L6)

Les rappels ostéologiques seront rédigés selon les ouvrages de Robert Barone (Barone, 1986).

Les vertèbres lombaires se situent entre les vertèbres thoraciques et l'os sacrum. Elles possèdent un corps assez développé et des processus transverses très proéminents. Le cheval possède six vertèbres lombaires. L6 possède un corps plus large et plus aplati dorso-ventralement que les autres lombaires. La crête ventrale est presque inexistante sur L6. Le processus épineux de L6 est moins large et le sommet est plus mince. Les processus transverses de L6 sont dirigés en direction crâniale et possèdent des surfaces articulaires intertransversaires. Ces derniers sont courts et épais. Les processus mamillaires sont grêles sur L6. Le canal vertébral est très large sur L6. Cette dernière possède une articulation intertransversaire avec la vertèbre lombaire 5 (L5) et une articulation sacrotransversaire avec le sacrum.

Les éléments anatomiques décrits précédemment sont présentés sur les figures 7, 8, 9, 10 et 11.

Figure 7: Vue latérale gauche de L6 (CIRALE)

VUE LATERALE GAUCHE

- 1. Processus épineux
- 2. Processus mamillaire
- 3. Processus articulaire caudal
- 4. Processus transverse
- 5. Articulation intertransversaire lombo-sacrale (surface articulaire transversaire pour le sacrum)
- 6. Corps de la vertèbre

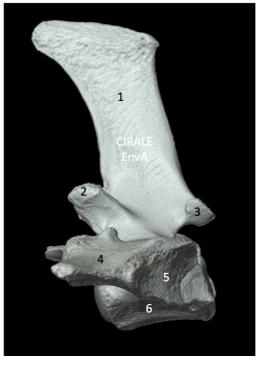


Figure 8: Vue crâniale de L6 (CIRALE)

- 1. Processus épineux
- 2. Processus mamillaire
- 3. Processus articulaire crânial
- 4. Foramen vertébral
- 5. Processus transverse
- 6. Synostose intertransversaire L5-L6 (surface articulaire transversaire pour le processus transverse L5)
- 7. Tête de la vertèbre
- 8. Incisure vertébrale crâniale
- 9. Foramen intervertébral lombaire ventral

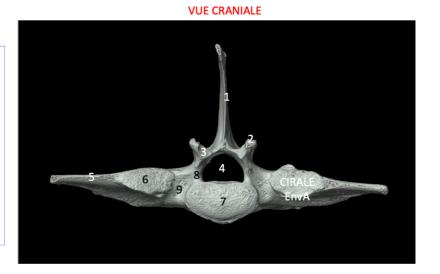


Figure 9: Vue caudale de L6 (CIRALE)

- 1. Processus épineux
- 2. Processus mamillaire
- 3. Processus articulaire caudal
- 4. Incisure vertébrale caudale
- 5. Processus transverse
- 6. Foramen vertébral
- 7. Fosse vertébrale
- 8. Articulation intertransversaire lombo-sacrale (surface articulaire transversaire pour le sacrum)

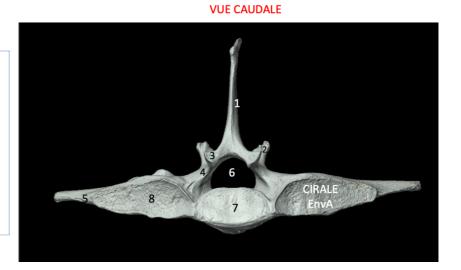


Figure 10: Vue dorsale de L6 (CIRALE)

1. Processus épineux

- 2. Processus mamillaire
- 3. Processus articulaire caudale
- 4. Processus transverse
- 5. Bord de la surface articulaire transversaire répondant au sacrum
- 6. Synostose intertransversaire L5-L6 (surface articulaire transversaire pour le processus transverse L5)
- 7. Fosse vertébrale
- 8. Foramen intervertébral lombaire ventral

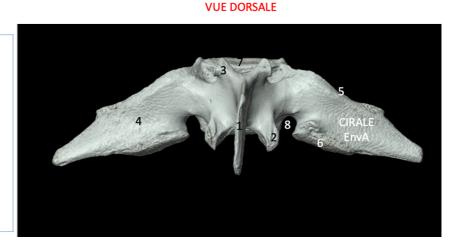
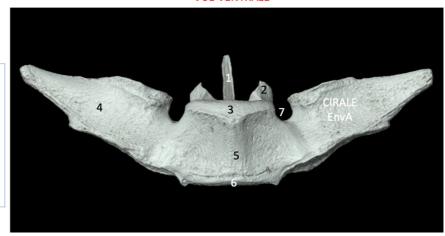


Figure 11: Vue ventrale de L6 (CIRALE)

VUE VENTRALE

- 1. Processus épineux
- 2. Processus mamillaire
- 3. Tête de la vertèbre
- 4. Processus transverse
- 5. Crête ventrale du corps
- 6. Fosse de la vertèbre
- 7. Foramen intervertébral lombaire ventral



B. Sacrum

L'os sacrum est aplati dorso-ventralement, il est plus large en partie crâniale et plus mince en partie caudale. Il possède une face pelvienne et une face dorsale. Le sacrum contient une base en partie crâniale qui s'articule avec L6 et un apex caudalement qui s'articule avec la première coccygienne. Le canal central est aplati dorso-ventralement. Le cheval possède cinq vertèbres sacrales avec des processus épineux fusionnés seulement à leurs bases mais qui restent complètement dissociés au sommet : la crête sacrale est alors discontinue. La deuxième vertèbre sacrale est la plus haute puis la taille diminue ensuite jusqu'à la cinquième vertèbre sacrale. Les ailes du sacrum sont étirées et pointues.

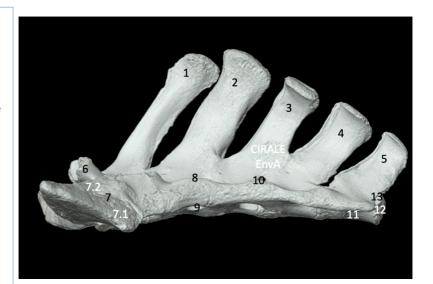
A la base, la tête vertébrale est elliptique et très allongée, les processus transverses y sont très développés. A l'apex, les processus transverses sont très réduits et les processus articulaires caudaux sont presque inexistants.

Les éléments anatomiques décrits précédemment sont présentés sur les figures 12, 13, 14, 15 et 16.

Figure 12: Vue latérale gauche du sacrum (CIRALE)

1. Premier processus épineux sacral

- 2. Deuxième processus épineux sacral
- 3. Troisième processus épineux sacral
- 4. Quatrième processus épineux sacral
- 5. Dernier processus épineux sacral
- 6. Processus articulaire crânial
- 7. Aile du sacrum (1er processus transverse sacral)
- 7.1. Surface auriculaire (contribuant à l'articulation sacro-iliaque)
- 7.2. Surface d'insertion du ligament interosseux sacro-iliaque
- 8. Crête sacrale latérale
- 9. Foramen intervertébral sacral ventral
- 10. Foramen intervertébral sacral dorsal
- 11. Corps de la dernière vertèbre sacrale
- 12. Apex de l'os sacrum
- 13. Incisure vertébrale caudale



VUE LATERALE GAUCHE

Figure 13: Vue crâniale du sacrum (CIRALE)

VUE CRANIALE

- 1. Premier processus épineux sacral
- 2. Processus articulaire crânial
- 3. Corps de la première vertèbre sacrale
- 4. Aile de l'os sacrum
- 5. Articulation intertransversaire lombo-sacrale (surface articulaire transversaire pour L6)
- 6. Foramen intervertébral lombo-sacral ventral
- 7. Foramen intervertébral lombo-sacral dorsal



Figure 14: Vue caudale du sacrum (CIRALE)

1. Crête sacrale médiane

- 2. Corps de la dernière vertèbre sacrale
- 3. Aile du sacrum
- 3.1. Surface auriculaire (contribuant à l'articulation sacro-iliaque)
- 3.2. Surface d'insertion du ligament interosseux sacro-iliaque

PS: ce cheval présente une variation anatomique individuelle avec une absence de fusion des parties gauche et droite des processus épineux sacraux en S3, S4 et S5

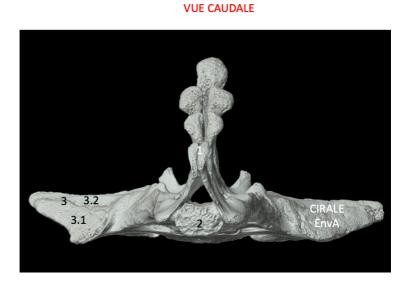


Figure 15: Vue dorsale du sacrum (CIRALE)

1. Canal sacral

- 2. Incisure vertébrale crâniale
- 3. Processus articulaire crânial
- 4. Aile du sacrum
- 4.1. Surface auriculaire (contribuant à l'articulation sacro-iliaque)
- 4.2. Surface d'insertion du ligament interosseux sacroiliague
- 5. Premier foramen (intervertébral) sacral dorsal
- 6. Crête sacrale médiane
- 7. Crête sacrale latérale
- 8. Bord latéral du sacrum
- 9. Dernier foramen intervertébral sacral dorsal
- 10. Processus transverse de la dernière vertèbre sacrale
- 11. Sommet du dernier processus épineux sacral

VUE DORSALE

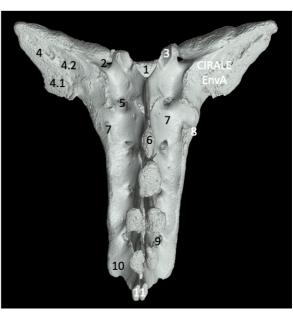
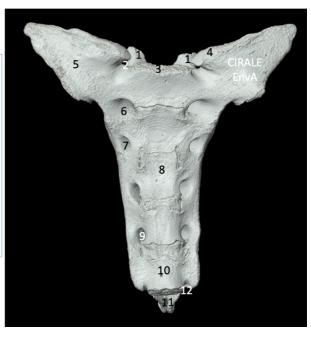


Figure 16: Vue ventrale du sacrum (CIRALE)

VUE VENTRALE

- 1. Processus articulaire crânial
- 2. Foramen intervertébral lombo-sacral ventral
- 3. Tête de la 1ère vertèbre sacrale
- 4. Surface articulaire transversaire pour la 6ème vertèbre lombaire
- 5. Aile du sacrum
- 6. 1er foramen (intervertébral) sacral ventral
- 7. 2ème foramen (intervertébral) sacral ventral
- 8. Ligne transverse
- 9. Dernier foramen sacral pelvien
- 10. Corps de la dernière vertèbre sacrale
- 11. Processus épineux de la dernière vertèbre sacrale
- 12. Incisure caudale



C. Os coxaux

L'os coxal contient l'ilium avec ses ailes, l'acétabulum qui forme l'articulation de la hanche avec le fémur, l'ischium et le pubis. Chez le cheval, l'ischium est relativement court. De ce fait, l'acétabulum est plus proche de la tubérosité ischiatique que de l'angle de la hanche. La fosse de l'acétabulum est triangulaire. L'aile de l'os ilium est large, plate et triangulaire. L'épine iliaque ventro-crâniale (tuber coxae, angle de la hanche) forme quatre tubérosités : deux dorsales et deux ventrales. Le tuber coxae est très épais et très saillant. L'épine iliaque dorso-crâniale (tuber sacrale, angle de la croupe) est très épaisse. La partie ischio-pubienne est courte avec un foramen obturé ovale chez la femelle et plutôt elliptique chez le mâle. Le pubis est épais chez le mâle et mince chez la femelle. Le pecten du pubis est plutôt court. L'os ischium a une forme de rectangle. La tubérosité ischiatique est prononcée. Cette dernière est bicuspide.

Les éléments anatomiques décrits ci-dessus sont présentés sur les figures 17, 18, 19, 20 et 21.

Figure 17: Vue latérale gauche des os coxaux (CIRALE)

- 1. Tuber sacrale (angle de la croupe ou épine iliaque dorso-crâniale) Crête iliaque 3. Tuber coxae (angle de la hanche ou épine iliaque ventro-crâniale) 4. Aile de l'ilium (face glutéale) 4.1. Ligne glutéale
- 5. Col de l'ilium
- 6. Grande échancrure sciatique
- 7. Tubercule du muscle petit psoas
- 8. Epine sciatique
- 9. Acétabulum
- 9.1. Bord de l'acétabulum
- 9.2. Fosse de l'acétabulum
- 9.3. Surface semi-lunaire
- 9.4. Incisure de l'acétabulum
- 10. Sillon du ligament accessoire
- 11. Eminence ilio-pubienne
- 12. Os pubis
- 12.1. Branche caudale du pubis
- 13. Epine pubienne
- 14. Os ischium (corps)
- 14.1. Branche médiale de l'ischium
- 15. Petite échancrure sciatique
- 16. Foramen obturé
- 17. Table ischiatique
- 18. Tubérosité ischiatique
- 18.1. Crête de la tubérosité ischiatique

VUE LATERALE GAUCHE

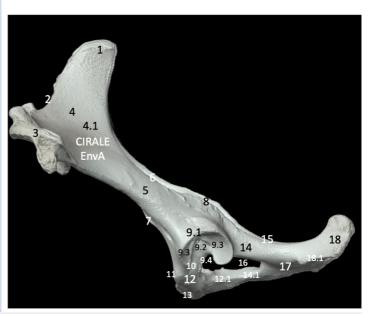


Figure 18: Vue crâniale des os coxaux (CIRALE)

- 1. Tuber sacrale (angle de la croupe ou épine iliaque dorso-crâniale)
- 2. Crête iliaque
- 3. Tuber coxae (angle de la hanche ou épine iliaque ventro-crâniale
- 3.1. Cuspide dorso-crâniale
- 3.2. Cuspide ventro-crâniale
- 3.3. Cuspide ventro-caudale
- 4. Aile de l'os ilium
- 5. Epine iliaque dorso-caudale
- 6. Tubérosité iliaque
- 7. Surface auriculaire
- 8. Grande échancrure sciatique
- 9. Epine sciatique
- 10. Col de l'ilium
- 11. Tubercule du muscle petit psoas
- 12. Fosse pour l'insertion du muscle droit de la cuisse
- 13. Os pubis
- 14. Eminence ilio-pubienne
- 15. Pecten du pubis
- 16. Epine pubienne
- 17. Symphyse pelvienne
- 18. Foramen obturé
- 19. Table ischiatique

VUE CRANIALE

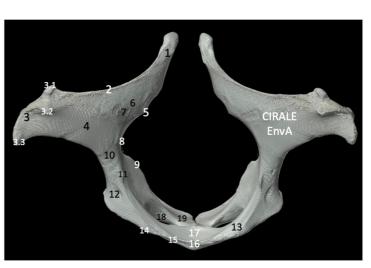
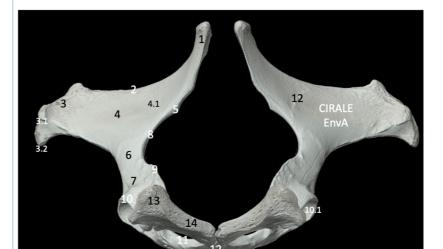


Figure 19: Vue caudale des os coxaux (CIRALE)

- 1. Tuber sacrale (angle de la croupe ou épine iliaque dorso-crâniale)
- 2. Crête iliaque
- 3. Tuber coxae (angle de la hanche ou épine iliaque ventro-crâniale)
- 3.2. Cuspide dorso-caudale
- 3.3. Cuspide ventro-caudale
 4. Aile de l'ilium (face glutéale)
- 4.1. Ligne glutéale
- 5. Epine iliaque dorso-caudale
- 6. Col de l'os ilium
- 7. Corps de l'os ilium
- 8. Grande échancrure sciatique
- 9. Epine sciatique
- 10. Acétabulum
- 10.1. Fosse de l'acétabulum
- 11. Foramen obturé
- 12. Symphyse pelvienne
- 13. Tubérosité ischiatique
- 14. Arcade ischiatique



VUE CAUDALE

Figure 20: Vue dorsale des os coxaux (CIRALE)

VUE DORSALE

- 1. Epine iliaque ventro-crâniale (angle de la hanche)
- 2. Epine iliaque dorso-crâniale (angle de la croupe)
- 3. Crête iliaque
- 4. Grande échancrure sciatique
- 5. Epine sciatique
- 6. Foramen obturé
- 7. Petite échancrure sciatique
- 8. Table de l'os ilium
- 9. Synphyse pelvienne
- 10. Tubérosité ischiatique
- 11. Bord de l'acétabulum
- 12. Branche crâniale de l'os pubis
- 13. Aile de l'os ilium

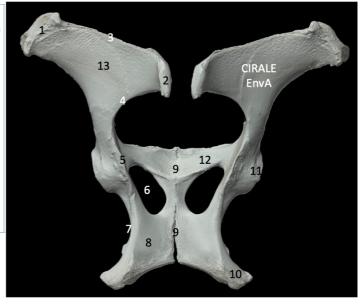
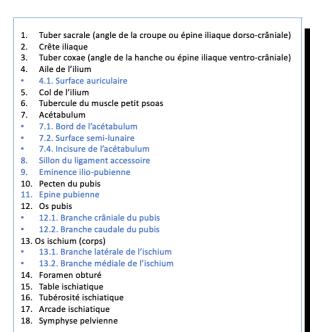
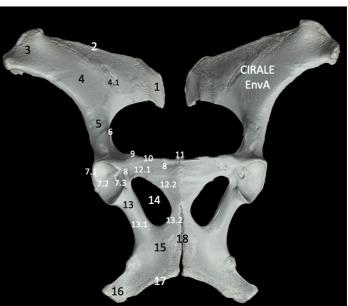


Figure 21: Vue ventrale des os coxaux (CIRALE)





VUE VENTRALE

D. Fémur

Le fémur est un os long, asymétrique et pair. Il s'articule en partie proximale à l'acétabulum de l'os coxal et en partie distale à la patella et au tibia. Le fémur possède un corps, un bord latéral, un bord médial, une extrémité proximale avec la tête du fémur, le grand trochanter, le petit trochanter et la fosse trochantérique ainsi qu'une extrémité distale avec des condyles (médial et latéral : plus gros) et la trochlée du fémur. Le cheval possède un fémur court et épais. La face caudale présente au tiers proximal et en latéral la tubérosité du muscle biceps. Le bord latéral contient le troisième trochanter : ce dernier étant très proéminent. Le bord médial débute au petit trochanter et présente ensuite l'insertion du muscle pectiné. Le grand trochanter est volumineux et très saillant : il contient un sommet, une convexité ainsi qu'une crête. La trochlée possède des lèvres inégales avec une lèvre médiale plus volumineuse et qui remonte plus haut pour se terminer par un tubercule. A l'extrémité caudale, la fossette du muscle poplité ainsi que la fosse de l'extenseur sont très bien définies.

Les éléments anatomiques décrits précédemment sont présentés sur les figures 22, 23, 24, 25 et 26.

Figure 22: Vue latérale du fémur gauche (CIRALE)

- 1. Sommet du grand trochanter
- 2. Incisure trochantérique
- 3. Convexité du grand trochanter
- 4. Crête du grand trochanter
- 5. Tête du fémur
- 6. Troisième trochanter
- 7. Bord crânial
- 8. Face latérale
- 9. Empreinte des vaisseaux fémoraux
- 10. Tubérosité supracondylaire latérale
- 11. Fosse supracondylaire
- 12. Condyle latéral
- 13. Tubercule de la trochlée
- 14. Lèvre latérale de la trochlée
- 15. Lèvre médiale de la trochlée
- 16. Fosse de l'extenseur
- 17. Fossette du muscle poplité
- 18. Fossette d'insertion ligamentaire

VUE LATERALE

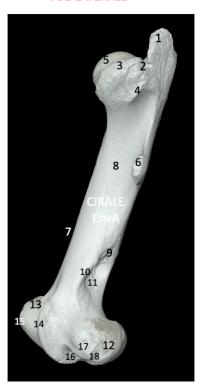


Figure 23: Vue médiale du fémur gauche (CIRALE)

- 1. Sommet du grand trochanter
- 2. Incisure trochantérique
- 3. Tête du fémur
- 4. Fovea capitis
- 5. Crête intertrochantérique
- 6. Fosse trochantérique
- 7. Petit trochanter
- 8. Face caudale
- 9. Foramen nourricier
- 10. Empreinte des vaisseaux fémoraux
- 11. Tubérosité supracondylaire médiale
- 12. Condyle médial
- 13. Epicondyle médial
- 14. Lèvre médiale de la trochlée
- 15. Tubercule de la trochlée

VUE MEDIALE



Figure 24: Vue crâniale du fémur gauche (CIRALE)

- 1. Sommet du grand trochanter
- 2. Convexité du grand trochanter
- 3. Crête du grand trochanter
- 4. Col du fémur
- 5. Tête du fémur
- 6. Ligne intertrochantérique
- 7. Petit trochanter
- 8. Troisième trochanter
- 9. Face médiale
- 10. Bord crânial
- 11. Epicondyle médial
- 12. Condyle médial
- 13. Tubercule de la trochlée
- 14. Lèvre médiale de la trochlée
- 15. Gorge de la trochlée
- 16. Lèvre latérale de la trochlée
- 17. Condyle latéral
- 18. Epicondyle latéral

VUE CRANIALE

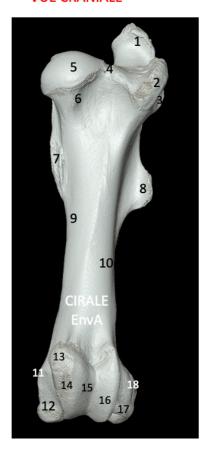


Figure 25: Vue caudale du fémur gauche (CIRALE)

- 1. Sommet du grand trochanter
- 2. Convexité du grand trochanter
- 3. Crête du grand trochanter
- 4. Col du fémur
- 5. Tête du fémur
- 6. Fovea capitis
- 7. Fosse trochantérique
- 8. Crête intertrochantérique
- 9. Tubérosité du muscle biceps
- 10. Troisième trochanter
- 11. Face médiale
- 12. Face caudale
- 13. Empreinte des vaisseaux fémoraux
- 14. Tubérosité supracondylaire médiale
- 15. Fosse supracondylaire
- 16. Tubérosité supracondylaire latérale
- 17. Epicondyle latéral
- 18. Condyle latéral
- 19. Fosse intercondylaire
- 20. Condyle médial
- 21. Epicondyle médial
- 22. Surface poplitée
- 23. Ligne intercondylaire

VUE CAUDALE

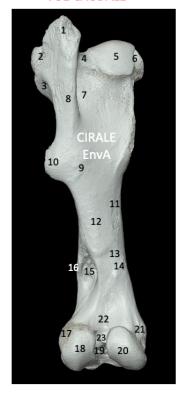
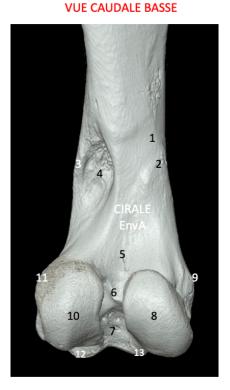


Figure 26: Vue caudale distale du fémur gauche (CIRALE)

Empreinte des vaisseaux fémoraux

- 2. Tubérosité supracondylaire médiale
- 3. Tubérosité supracondylaire latérale
- 4. Fosse supracondylaire
- 5. Surface poplitée
- 6. Ligne intercondylaire
- 7. Fosse intercondylaire
- 8. Condyle médial
- 9. Epicondyle médial
- 10. Condyle latéral
- 11. Epicondyle latéral
- 12. Lèvre latérale de la trochlée fémorale (partie distale)
- 13. Lèvre médiale de la trochlée fémorale (partie distale)



E. Patella

La patella est un os court. Elle s'articule au fémur au niveau de la trochlée fémorale. Elle contient une base et un apex qui se mettent en rapport avec les lèvres de la trochlée fémorale. Elle a une forme triangulaire avec un sommet distal.

Chez le cheval, la patella est large. L'angle médial est plus développé que l'angle latéral.

Les éléments anatomiques décrits précédemment sont présentés sur les figures 27, 28, 29 et 30.

Figure 27: Vue latérale de la rotule gauche (CIRALE)

- 1. Base
- 2. Face crâniale
- 3. Angle latéral
- 4. Apex
- 5. Surface articulaire latérale

VUE LATERALE

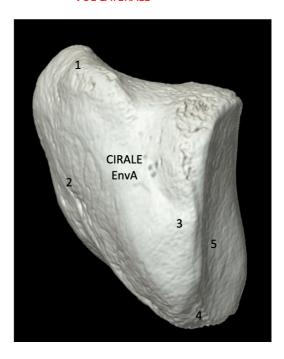


Figure 28: Vue médiale de la rotule gauche

- 1. Base
- 2. Face crâniale
- 3. Angle médial
- 4. Apex
- 5. Surface articulaire médiale

VUE MEDIALE

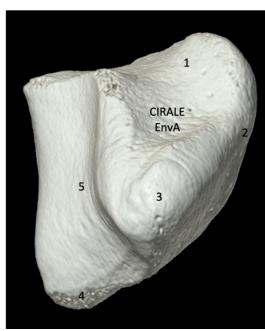


Figure 29: Vue crâniale de la rotule gauche

- 1. Base
- 2. Face crâniale
- 3. Angle latéral
- 4. Angle médial
- 5. Apex

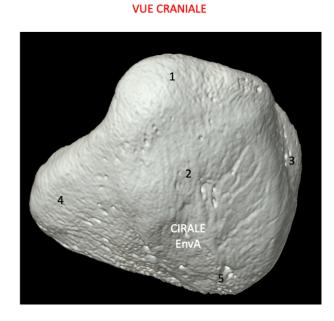
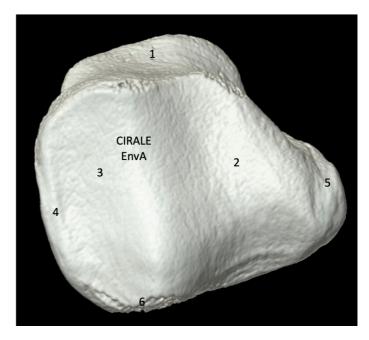


Figure 30: Vue caudale de la rotule gauche (CIRALE)

- 1. Base
- Surface articulaire (partie médiale)
 Surface articulaire (partie latérale)
- 4. Angle latéral
- 5. Angle médial
- 6. Apex

VUE CAUDALE



F. Tibia

Le tibia est un os long, pair, qui s'articule avec les condyles du fémur proximalement, avec la fibula latéralement et avec le talus distalement. Il est oblique en direction disto-caudale. Il possède un corps et deux extrémités. L'extrémité proximale contient la tubérosité du tibia, la tubérosité latérale, la tubérosité médiale et la surface articulaire proximale (plateau du tibia) avec les aires intercondylaires et l'éminence intercondylaire. L'extrémité distale contient une surface articulaire distale avec deux gorges séparées par un tenon : la cochlée tibiale. Cette dernière est très prononcée chez le cheval. Ses gorges sont obliques en direction crânio-latérale. Le tibia possède une malléole médiale plus volumineuse et une malléole latérale : presque aussi grande que la médiale chez le cheval.

Le sillon de l'extenseur est large et profond chez le cheval.

Chez les équidés, la plus grande partie de la fibula est grêle. L'extrémité proximale est libre. L'extrémité distale est complètement soudée au tibia et rejoint la malléole latérale.

Les éléments anatomiques décrits précédemment sont présentés sur les figures 31, 32, 33, 34 et 35.

Figure 31: Vue latérale du tibia gauche (CIRALE)

- 1. Eminence intercondylaire (tubercule intercondylaire latéral)
- 2. Tubérosité du tibia
- 3. Crête tibiale
- 4. Sillon de l'extenseur
- 5. Condyle latéral
- 6. Fosse du tibia
- 7. Face latérale
- 8. Bord latéral
- 9. Crête d'insertion du muscle fléchisseur latéral du doigt
- 10. Malléole latérale
- 11. Sillon malléolaire (fibulaire)
- 12. Cochlée tibiale

VUE LATERALE

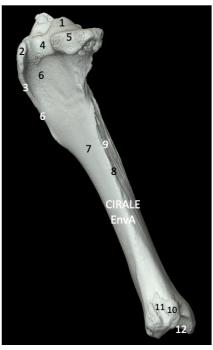


Figure 32: Vue médiale du tibia gauche (CIRALE)

1. Aire intercondylaire centrale

- 2. Eminence intercondylaire (tubercule intercondylaire médial)
- 3. Plateau tibial (surface articulaire médiale)
- 4. Tubérosité du tibia
- 5. Crête tibiale
- 6. Condyle latéral
- 7. Condyle médial
- 8. Incisure poplitée
- 9. Surface d'insertion du muscle poplité
- 10. Crêtes d'insertion du muscle fléchisseur latéral du doigt
- 11. Face caudale
- 12. Malléole médiale
- 13. Sillon malléolaire (tibial)
- 14. Cochlée tibiale

VUE MEDIALE

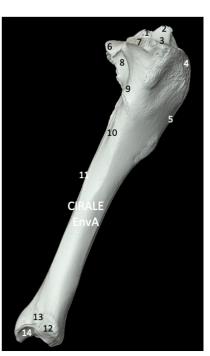


Figure 33: Vue crâniale du tibia gauche (CIRALE)

- 1. Eminence intercondylaire
- 2. Condyle médial
- 3. Tubérosité du tibia
- 3.1. Branche latérale
- 3.2. Sillon
- 3.3. Branche médiale
- 4. Crête tibiale
- 5. Condyle latéral
- 6. Face médiale
- 7. Bord crânial
- 8. Malléole médiale
- 9. Malléole latérale
- 10. Cochlée tibiale

VUE CRANIALE



Figure 34: Vue caudale du tibia gauche (CIRALE)

- 1. Plateau tibial (surface articulaire latérale)
- 2. Aire intercondylaire centrale
- 3. Eminence intercondylaire
- 4. Aire intercondylaire caudale
- 5. Plateau tibial (surface articulaire médiale)
- 6. Incisure poplitée
- 7. Surface d'insertion du muscle poplité
- 8. Ligne poplitée
- Crêtes d'insertion du muscle fléchisseur latéral du doigt
- 10. Malléole latérale
- 11. Malléole médiale
- 12. Cochlée tibiale

VUE CAUDALE

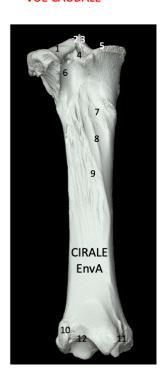
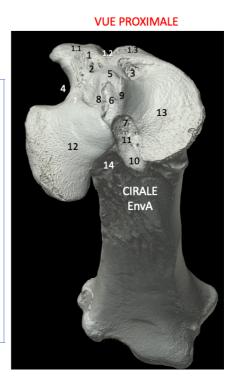


Figure 35: Vue proximale du tibia gauche (CIRALE)

- 1. Tubérosité du tibia
- 1.1. Branche latérale
- 1.2. Sillon
- 1.3. Branche médiale
- 2. Foramens vasculaires
- 3. Surface d'insertion du ménisque médial (lig. ménisco-tibial crânio-médial)
- 4. Sillon de l'extenseur
- 5. Aire intercondylaire crâniale
- 6. Aire intercondylaire centrale
- 7. Aire intercondylaire caudale
- 8. Eminence intercondylaire (tubercule intercondylaire latéral)
- 9. Eminence intercondylaire (tubercule intercondylaire médial)
- 10. Tubercule d'insertion du ligament croisé caudal
- 11. Surface d'insertion du ménisque médial (lig. ménisco-tibial caudo-médial)
- 12. Surface articulaire latérale (condyle latéral)
- 13. Surface articulaire latérale (condyle médial)
- 14. Incisure poplitée



G. Jarret

Le tarse ou jarret contient une partie proximale avec deux os : un médial plutôt articulé au tibia : le talus, et un os latéral : le calcanéus. Le tarse contient ensuite une partie distale : proximalement aux os métatarsiens, avec l'os central du tarse du côté médial et l'os tarsal IV latéralement. La rangée distale est constituée des os tarsaux : de I à IV du côté tibial au côté fibulaire. Les os tarsaux I, II, III s'articulent à l'os central proximalement. L'os tarsal IV s'étend quant à lui du calcaneéus jusqu'à la région distale du tarse.

Chez le cheval, le talus est massif. Il s'articule au tibia avec une trochlée avec une gorge marquée et des lèvres latérale et médiale de même taille.

Le calcanéus est assez court et massif. Son tuber calcanei est élargi du côté plantaire et son processus coracoïde est développé et saillant.

L'os central du tarse est plat et allongé. Les os tarsaux I et II sont soudés.

Les éléments anatomiques décrits précédemment sont présentés sur les figures 36, 37, 38, 39 et 40 pour un jarret droit.

Figure 36: Os du tarse du cheval, os disjoints, tarse gauche (Barone 1986)

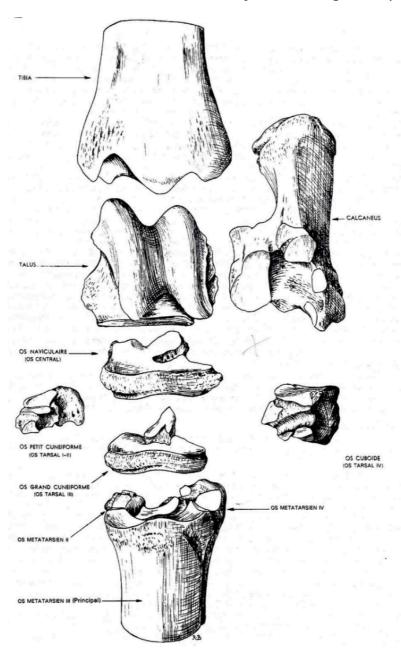


Figure 37: Vue dorsale du jarret droit (CIRALE)

- 1. Tibia
- 1.a. Malléole médiale
- 1.b. Malléole latérale
- 1.c. Sillon malléolaire (sillon pour le tendon extenseur latéral du doigt)
- 1.d. Relief intermédiaire de la cochlée tibiale
- 2. Calcanéus
- 2.a. Tuber calcanei
- 2.b. Tubérosité d'insertion (ligament collatéral latéral)
- 3 Talus
- 3.a. Lèvre latérale de la trochlée
- 3.b. Gorge latérale de la trochlée
- 3.c. Lèvre médiale de la trochlée
- · 3.d. Tubercule distal du talus
- 4. Os central du tarse
- 5. Os tarsal III
- 6. Os tarsal IV
- 7. Os métatarsien III
- 8. Os métatarsien I
- 9. Articulation tibio-tarsienne
- 10. Articulation intertarsienne proximale
- 11. Articulation intertarsienne distale
- 12. Articulation tarso-métatarsienne
- 13. Canal perforant du tarse

VUE DORSALE

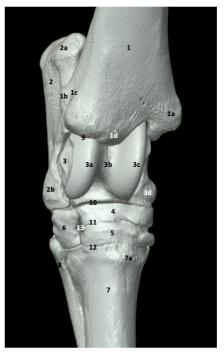


Figure 38: Vue caudo-latérale du jarret droit (CIRALE)

- 1. Tibia
- 1.a. Malléole latérale
- 1.b. Sillon malléolaire (sillon pour l'extenseur latéral du doigt)
- 2. Calcanéus
- 2.a. Tuber calcanei (lobe dorsal)
- 2.b. Tuber calcanei (lobe plantaire)
- 2.c. Processus coracoïde
- 2.d. Tubérosité d'insertion (ligament collatéral latéral)
- 2.e. Bord plantaire
- 3. Talus
- 3.a. Lèvre latérale
- 3.b. Surface d'insertion ligamentaire
- 4. Os tarsal IV
- 5. Os central du tarse
- 6. Os tarsal III
- 7. Os métatarsien III
- 8. Os métatarsien IV
- 9. Articulation tibio-tarsienne
- 10. Articulation intertarsienne proximale
- 11. Articulation intertarsienne distale
- 12. Articulation tarso-métatarsienne
- 13. Articulation talo-calcanéenne
- 14. Canal perforant du tarse

VUE CAUDO-LATÉRALE



Figure 39: Vue médiale du jarret droit (CIRALE)

- 1. Tibia
- 1.a. Malléole médiale
- 1.b. Cochlée tibiale
- 2. Calcanéus
- 2.a. Tuber calcanei
- 2.b. Sustentaculum tali
- 3. Talus
- 3.a. Lèvre médiale de la trochlée
- 3.b. Tubercule proximal du talus
- 3.c. Tubercule distal du talus
- 4. Os central du tarse
- 5. Os tarsal III
- 6. Os tarsal I + II
- 7. Os tarsal IV
- 8. Os métatarsien III
- 9. Os métatarsien II
- 10. Os métatarsien IV
- 11. Articulation tibio-tarsienne
- 12. Articulation talo-calcanéenne

VUE MÉDIALE



Figure 40: Vue caudale du jarret droit (CIRALE)

1. Tibia

- 1.a. Malléole latérale
- 1.b. Cochlée tibiale
- 2. Calcanéus
- 2.a. Tuber calcanei
- 2.b. Bord plantaire
- 2.c. Sustentaculum tali
- 3. Talus
- 3.a. Tubercule proximal du talus
- 3.b. Tubercule distal du talus
- 4. Os tarsal IV
- 5. Canal perforant du tarse
- 6. Os tarsal III
- 7. Os tarsal I + II
- 8. Os central du tarse
- 9. Os métatarsien II
- 10. Os métatarsien III
- 11. Os métatarsien IV

VUE CAUDALE



H. Os métatarsiens

Ils sont formés par les trois os métatarsiens : II, III et IV. Chez le cheval, l'os métatarsien III est le principal et les métatarsiens II et IV sont rudimentaires. L'os métatarsien rudimentaire latéral est beaucoup plus volumineux et plus long que l'os métatarsien rudimentaire médial. L'os métatarsien III est cylindroïde sur les deux tiers proximaux et un peu plus aplati dorso-plantairement à son extrémité distale.

Les éléments anatomiques décrits précédemment sont présentés sur les figures 41, 42, 43 et 44.

Figure 41: Vue dorsale de l'os métatarsien III gauche (CIRALE)

VUE DORSALE

CIRALE EnvA

- 1. Os métatarsien III
- 2. Partie latérale du condyle métatarsien
- 3. Relief sagittal du condyle métatarsien
- 4. Partie médiale du condyle métatarsien
- 5. Os sésamoïde proximal latéral

Figure 42: Vue latérale des os métatarsiens et des os sésamoïdes gauches (CIRALE)

- 1. Os métatarsien III
- 2. Os métatarsien IV
- 3. Relief sagittal du condyle métatarsien
- 4. Partie latérale du condyle métatarsien
- 5. Fosse d'insertion ligamentaire
- 6. Os sésamoïde proximal médial
- 6.1. Apex
- 6.2. Corps
- 6.3. Base
- 6.4. Bord palmaire

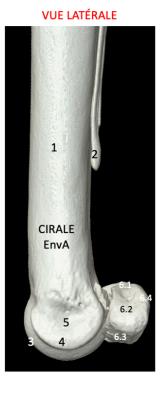
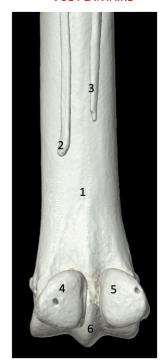


Figure 43: Vue plantaire des os métatarsiens et des os sésamoïdes proximaux gauches (CIRALE)

VUE PLANTAIRE

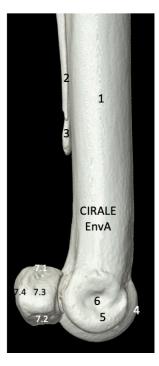


- 1. Os métatarsien III
- 2. Os métatarsien IV (bouton terminal)
- 3. Os métatarsien II
- 4. Os sésamoïde proximal latéral
- 5. Os sésamoïde proximal médial
- 6. Relief sagittal du condyle métatarsien

Figure 44: Vue médiale des os métatarsiens et des os sésamoïdes proximaux gauches (CIRALE)

- 1. Os métatarsien III
- 2. Os métatarsien II
- 3. Os métatarsien IV
- 4. Relief intermédiaire
- 5. Partie médiale du condyle métatarsien
- 6. Fosse d'insertion ligamentaire
- 7. Os sésamoïde proximal médial
- 7.1. Apex
- 7.2. Corps
- 7.3. Base
- 7.4. Bord palmaire

VUE MEDIALE



I. Phalanges

L'articulation métatarso-phalangienne correspond au boulet.

Les phalanges sont au nombre de trois. Chez les équidés, la phalange proximale (P1) et la phalange moyenne (P2) sont rétrécies en leurs milieux. P1 est plus développée en sa partie proximale et plus rétrécie en son milieu. Les phalanges proximale et moyenne correspondent à la région du paturon. La phalange distale (P3), située entièrement dans le sabot est excavée à sa face solaire. Son bord solaire est parabolique, et à la forme d'un V avec des branches arrondies.

Deux os sésamoïdes proximaux sont présents en partie proximale de P1. Un os sésamoïde distal (os naviculaire) est présent en face plantaire de P2 et P3.

Les éléments anatomiques décrits précédemment sont présentés sur les figures 45, 46 et 47.

Figure 45: Vue dorsale des phalanges gauches (CIRALE)

1. Phalange proximale

- 1.1. Bord dorsal
- 1.2. Gorge sagittale proximale
- 1.3. Eminence plantaire médiale
- 1.4. Cavité glénoïdale latérale
- 1.5. Partie latérale du condyle
- 1.6. Partie médiale du condyle

2. Phalange moyenne

- 2.1. Processus extensorius
- 2.2. Cavités glénoïdale latérale
- 2.3. Cavité glénoïdale médiale
- 2.4. Fosse d'insertion ligamentaire

3. Phalange distale

- 3.1. Processus extensorius
- 3.2. Corps (Face pariétale)
- 3.3. Partie proximale du processus palmaire
- 3.4. Partie distale du processus palmaire
- 3.5. Fosse d'insertion ligamentaire
- 3.6. Foramens vasculaires
- 3.7. Bord solaire
- 4. Articulation interphalangienne proximale (IPP)
- 5. Articulation interphalangienne distale (IPD)
- 6. Os sésamoïde distal (Face articulaire)

VUE DORSALE

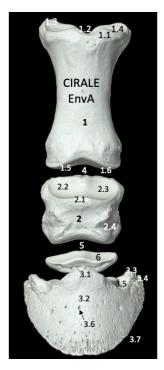


Figure 46: Vue médiale des phalanges gauches (CIRALE)

VUE MEDIALE

1. Phalange proximale 1.1. Bord dorsal 1.2. Eminence plantaire médiale 1.3. Partie médiale du condyle

- 2. Phalange moyenne
- 2.1. Processus extensorius
- 2.2. Tubérosité du fléchisseur
- 2.3. Partie médiale du condyle

3. Phalange distale

- 3.1. Processus extensorius
- 3.2. Corps (Face pariétale)
- 3.3. Partie proximale du processus palmaire
- 3.4. Partie distale du processus palmaire
- 3.5. Incisure vasculaire du processus palmaire
- 3.6. Fosse d'insertion ligamentaire
- 3.7. Bord solaire

4. Os sésamoïde distal

- 5. Articulation interphalangienne proximale (IPP)
- 6. Articulation interphalangienne distale (IPD)

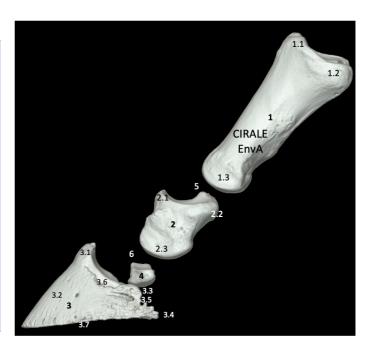


Figure 47: Vue plantaire des phalanges gauches (CIRALE)

1. Phalange proximale

- 1.1. Gorge sagittale
- 1.2. Eminence plantaire latérale
- 1.3. Partie latérale du condyle

2. Phalange moyenne

- 2.1. Tubérosité du fléchisseur
- 2.2. Partie latérale du condyle

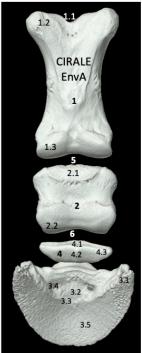
3. Phalange distale

- 3.1. Partie distale du processus palmaire
- 3.2. Surface d'insertion (Facies flexoria)
- 3.3. Ligne semi-lunaire
- 3.4. Foramen solaire
- 3.5. Face solaire

4. Os sésamoïde distal (facies flexoria)

- 4.1. Bord proximal
- 4.2. Facies flexoria (Relief sagittal)
- 4.3. Angle médial
- 5. Articulation interphalangienne proximale (IPP)
- 6. Articulation interphalangienne distale (IPD)

VUE PLANTAIRE



2. Movies

Des vidéos ont été construites à partir des clichés pris lors des acquisitions scanner. Il s'agit de réaliser en fonction des os des rotations à 360° et parfois des vues proximales et distales.

Il est alors plus facile de se représenter les os en 3D sur ces movies.

Pour y accéder, il faut suivre le chemin suivant sur Eve :

Formation initiale > Thèse d'exercice vétérinaire > Thèses multimédias > Le scanner : un outil d'enseignement de l'ostéologie du membre pelvien. On retrouve ensuite une catégorie pour chaque os, chaque catégorie contenant les movies des os correspondants.

3. Support pédagogique pour l'enseignement d'anatomie

Concernant le support pédagogique, les étudiants trouveront les diaporamas avec les images légendées présentées ci-dessus, des quizz en ligne, des vidéos ainsi que des vidéos interactives sur la plateforme Eve.

Les quizz sont regroupés en deux niveaux : des questions pour les étudiants de la première à la cinquième année puis des questions pour les étudiants de la sixième année spécialité équine et les internes.

La correction avec la réponse juste et parfois d'autres commentaires sont disponibles directement après chaque question.

Les questions sont sous formes multiples : réponse courte, question à choix multiple, curseurs ou légendes à positionner directement sur une image.

Les figures 48 à 103 ci-dessous sont des captures d'écran de la plateforme Eve avec les différentes questions. La réponse est présentée à la suite de chaque question.

Question 1 Pas encore répondu Noté sur 1,00 Page Marquer la question Modifier la question

VUE CRANIALE

CIRALE

Légender cette vertèbre L6 de cheval

C'Cholair...

Processus articulaire crânial

Canal vertébral

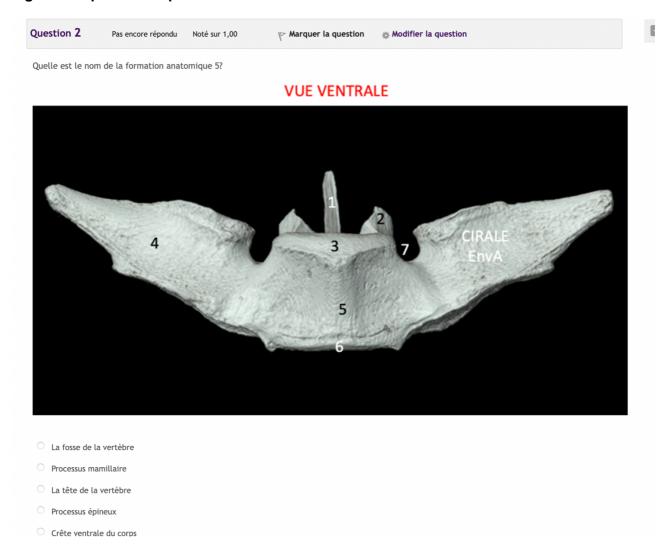
Synostose intertransversaire L5-L6

CURINIC...

Figure 48: question 1 quizz tronc commun L6

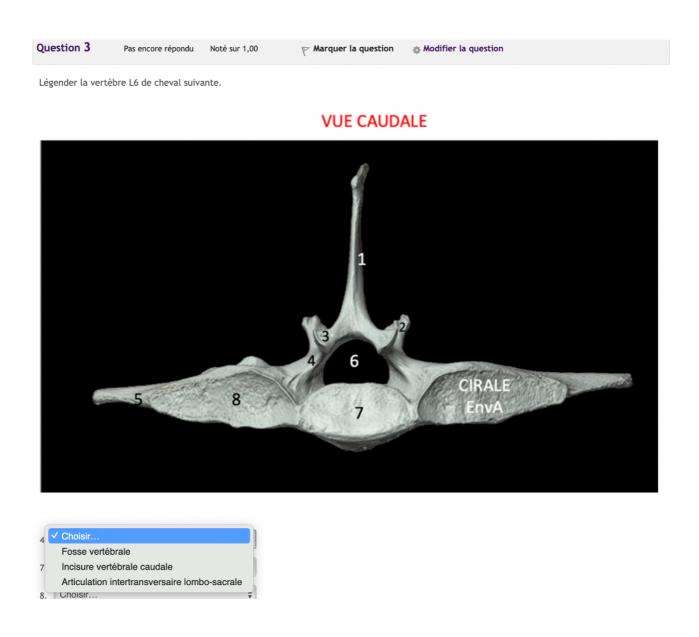
<u>Réponse</u> : 3 : Processus articulaire crânial, 4 : Canal vertébral, 6 : Synostose intertransversaire L5-L6.

Figure 49: question 2 quizz tronc commun L6



Réponse : Crête ventrale du corps.

Figure 50: question 3 quizz tronc commun L6

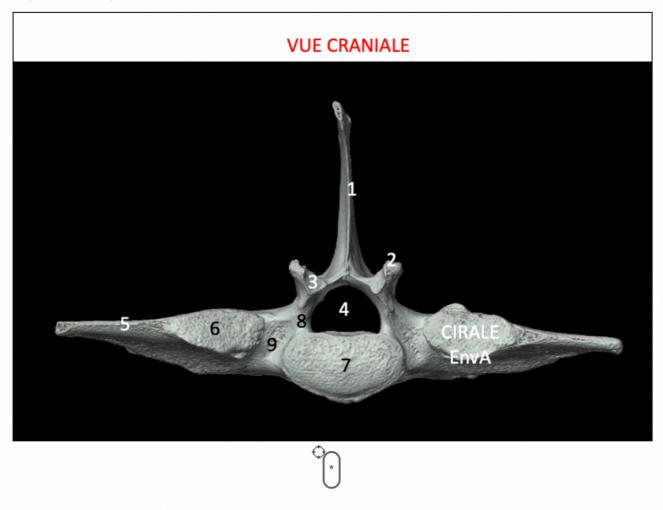


<u>Réponse</u>: 4 : Incisure vertébrale caudale, 7 : Fosse vertébrale, 8 : Articulation intertransversaire lombo-sacrale (surface articulaire transversaire pour le sacrum)

Figure 51: Question 1 quizz A6 et plus L6

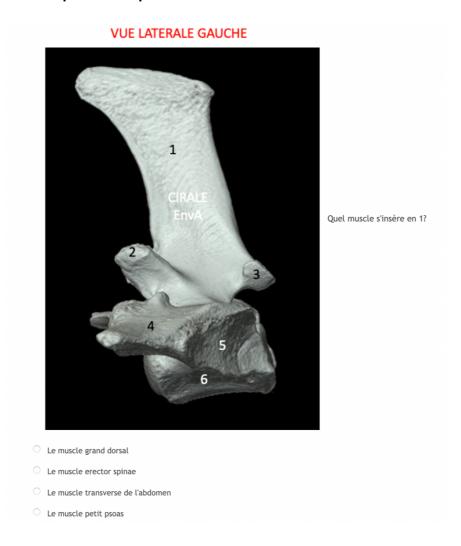


Déposer le marqueur au niveau du foramen intervertébral lombaire ventral.



Réponse : Il s'agit de déposer le marqueur au niveau du numéro 9.

Figure 52: Question 2 quizz A6 et plus L6



Réponse : Le muscle erector spinae.

Figure 53: Question 1 quizz tronc commun sacrum



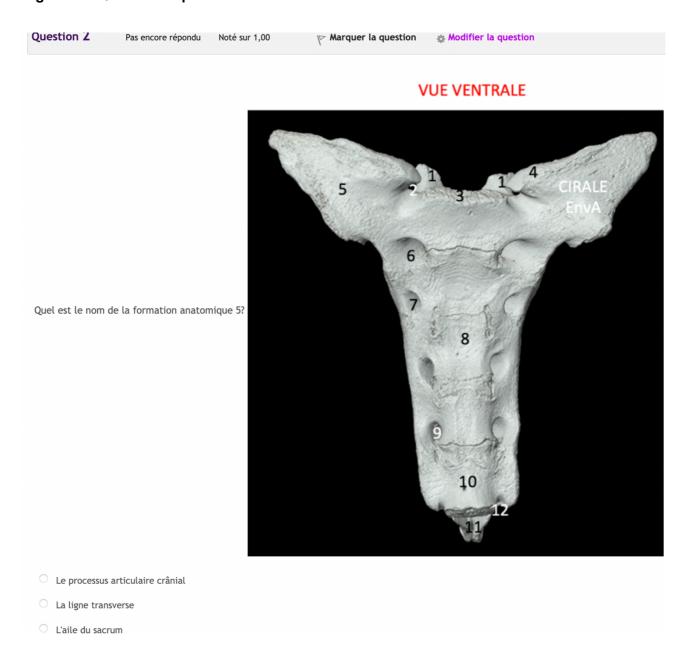
Légender le sacrum de cheval suivant.

VUE LATERALE GAUCHE



<u>Réponse</u> : 6 : Processus articulaire crânial, 7 : Aile du sacrum (1^{er} processus transverse sacral), 9 : Foramen intervertébral sacral ventral

Figure 54: Question 2 quizz tronc commun sacrum



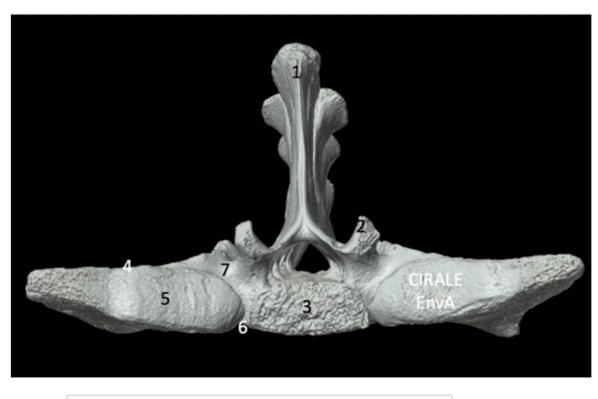
Réponse : L'aile du sacrum

Figure 55: Question 3 quizz tronc commun sacrum

Question 3 Pas encore répondu Noté sur 1,00 Pas encore repondu Not

Quelle est le nom de la structure anatomique 2?

VUE CRANIALE



Réponse :

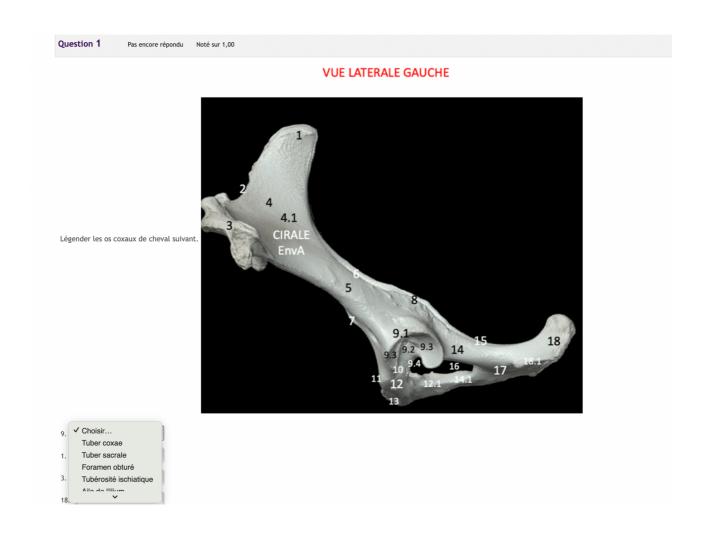
<u>Réponse</u>: Processus articulaire crânial

Figure 56: Question 1 du quizz A6 et plus sacrum



Réponse : Il faut faire glisser le marqueur au niveau du numéro 7.2.

Figure 57: Question 1 du quizz tronc commun os coxaux



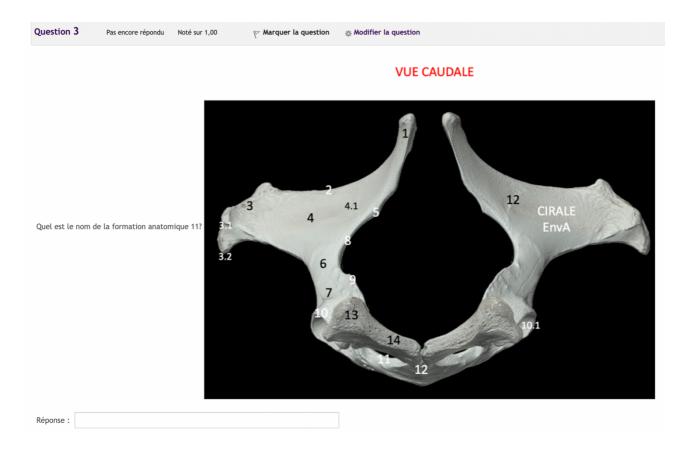
Réponse: 1 : Tuber sacrale (angle de la croupe ou épine iliaque dorso-crâniale), 3 : Tuber coxae (angle de la hanche ou épine iliaque ventro-crâniale), 4 : Aile de l'ilium (face glutéale), 9 : Acétabulum, 18 : Tubérosité ischiatique

Figure 58: Question 2 du quizz tronc commun os coxaux

| Question 2 | Pas encore répondu | Noté sur 1,00 | Marquer la question | ☆ Modifier la question |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------------|---|
| Le muscle oblique de l'abdomen. | e interne de l'abdome | n prend origine au | niveau de l'épine iliaque ventr | o-crâniale, en profondeur du muscle oblique externe |
| Veuillez choisir un | e réponse. | | | |
| O Vrai | | | | |
| Faux | | | | |

<u>Réponse</u>: vrai

Figure 59: Question 3 du quizz tronc commun os coxaux

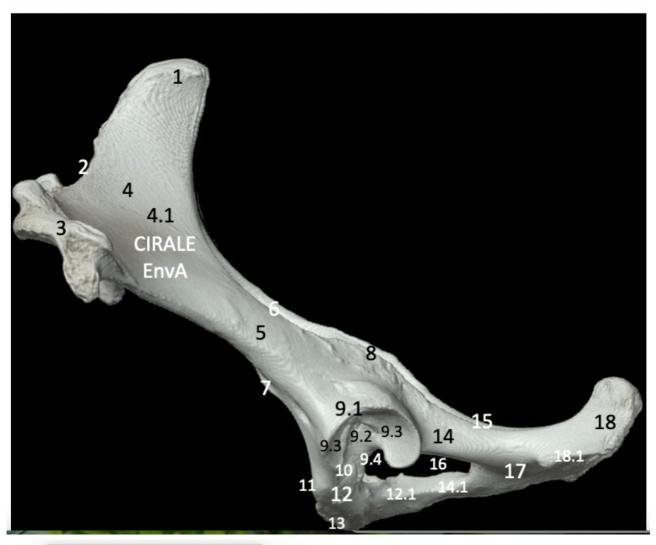


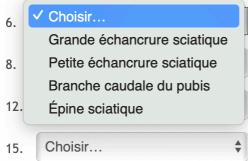
Réponse : Le foramen obturé

Figure 60: Question 1 du quizz A6 et plus os coxaux

Légender les coxaux de cheval suivants.

VUE LATERALE GAUCHE





<u>Réponse</u> : 6 : Grande échancrure sciatique, 8 : Épine sciatique, 12.1 : Branche caudale du pubis, 15 : Petite échancrure sciatique

Figure 61: Question 2 du quizz A6 et plus os coxaux

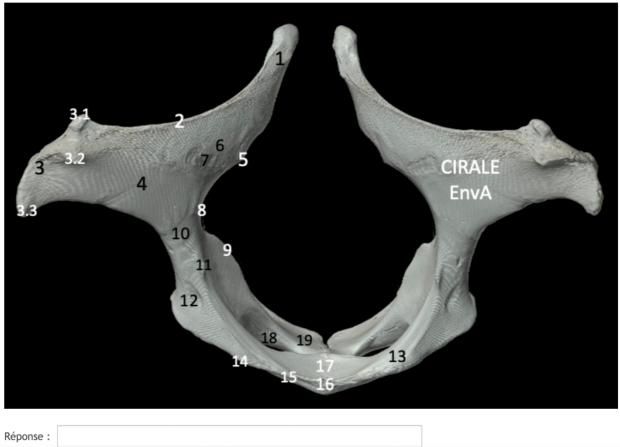


Réponse : Il faut placer le marqueur sur le numéro 3.2.

Figure 62: Question 3 du quizz A6 et plus os coxaux

Quel muscle s'insère au niveau de la fosse "12"?

VUE CRANIALE

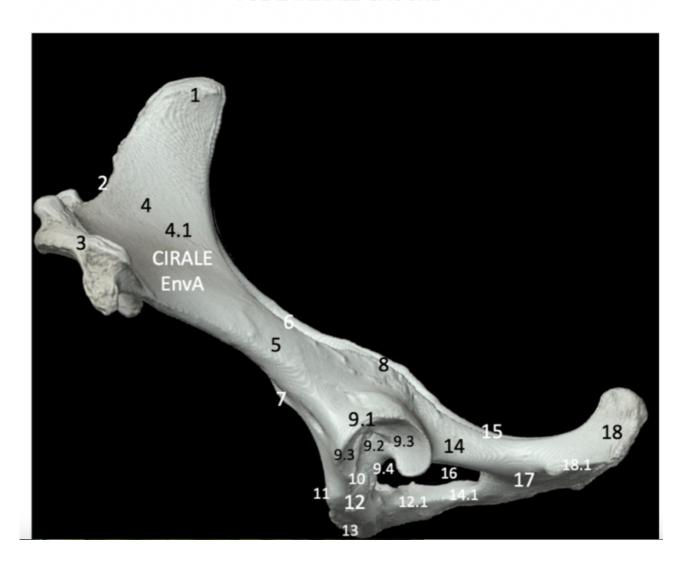


Réponse : Le muscle droit de la cuisse.

Figure 63: Question 4 du quizz A6 et plus os coxaux

Quel muscle s'insère sur la formation anatomique 7?

VUE LATERALE GAUCHE

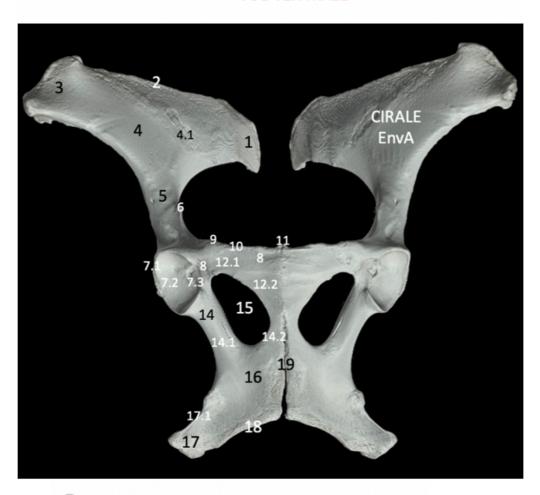


Réponse : le muscle petit psoas.

Figure 64: Question 5 du quizz A6 et plus os coxaux

Quel muscle s'insère au niveau de le formation anatomique 17?

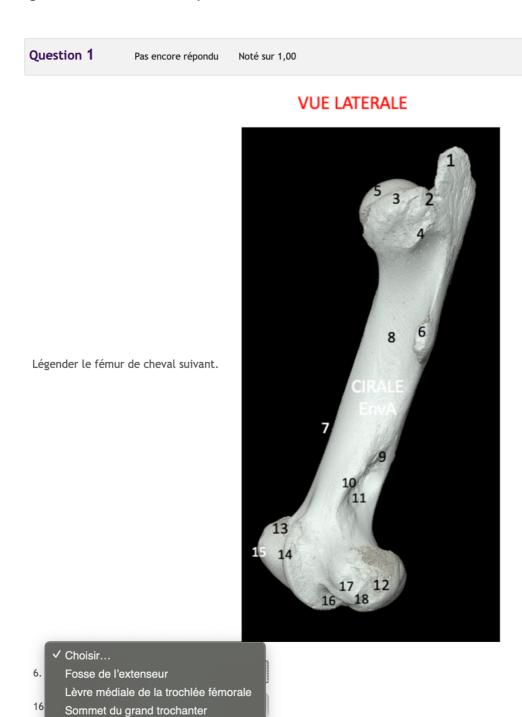
VUE VENTRALE



- Le muscle semi-membraneux
- Le muscle glutéo-biceps
- Le muscle carré des lombes
- Le muscle erector spinae
- Le muscle droit de la cuisse
- Le muscle tenseur du fascia lata

Réponse : le muscle semi-membraneux.

Figure 65: Question 1 du quizz tronc commun fémur



Troisième trochanter

Réponse : 1 : Sommet du grand trochanter, 6 : Troisième trochanter, 15 : Lèvre médiale de la trochlée fémorale, 16 : Fosse de l'extenseur

Figure 66: Question 4 du quizz tronc commun fémur

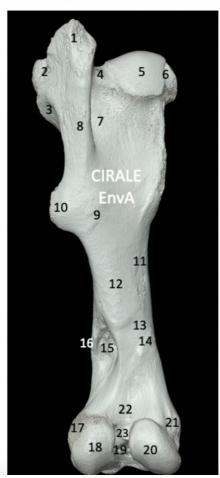
| Question 2 | Pas encore répondu | Noté sur 1,00 | Marquer la question | & Modifier la question | |
|--|--------------------|---------------|---------------------|------------------------|--|
| Le muscle fessier moyen se termine par un puissant tendon sur le sommet du grand trochanter. | | | | | |
| Veuillez choisir une Vrai | réponse. | | | | |
| ○ Faux | | | | | |
| | | | | | |

Réponse : vrai.

Figure 67: Question 3 du quizz tronc commun fémur

Comment s'appelle la formation anatomique 15?

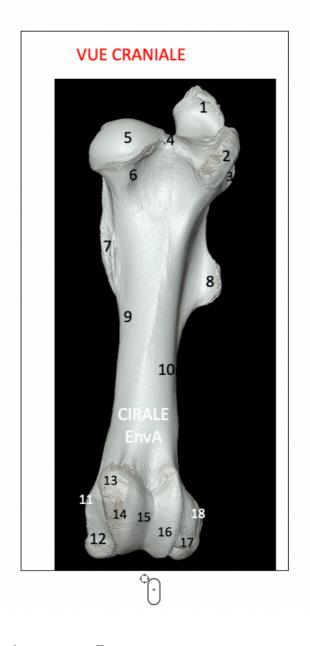
VUE CAUDALE



<u>Réponse</u>: Fosse supracondylaire

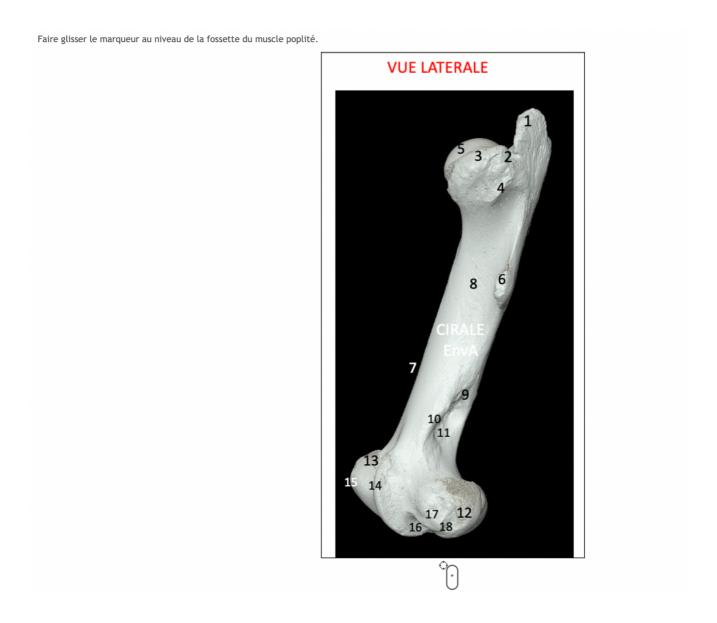
Figure 68: Question 4 du quizz tronc commun fémur

Déplacer le marqueur au niveau du petit trochanter.



Réponse : Il faut placer le marqueur au niveau du marqueur 7.

Figure 69: Question 1 du quizz A6 et plus fémur



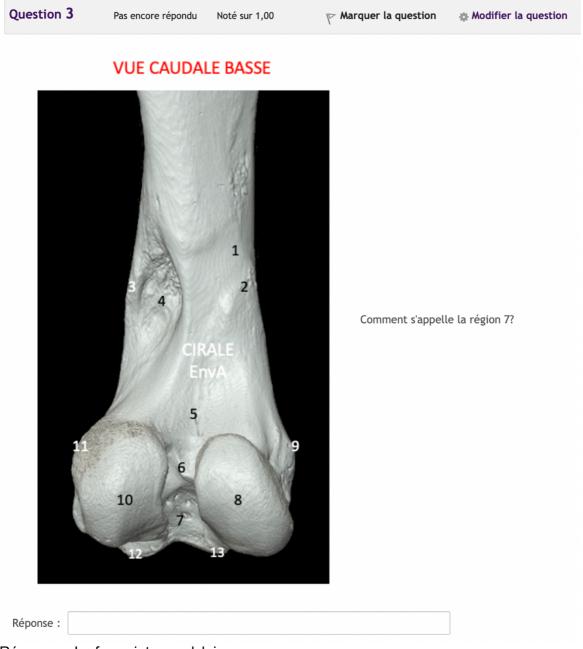
Réponse : Il faut placer le marqueur au niveau du numéro 17.

Figure 70: Question 2 du quizz A6 et plus fémur



Réponse : La lèvre latérale de la trochlée fémorale

Figure 71: Question 3 du quizz A6 et plus fémur

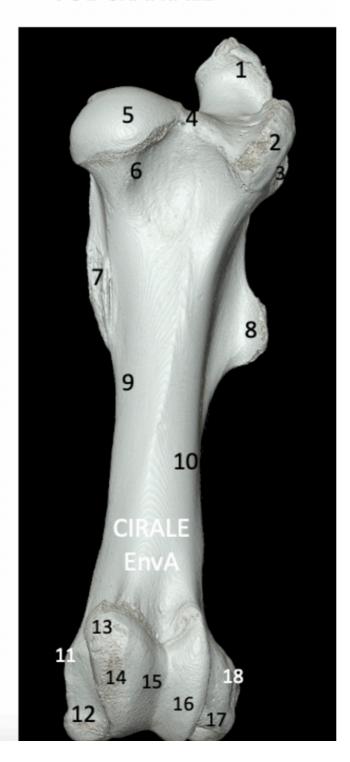


Réponse : La fosse intercondylaire

Figure 72: Question 4 du quizz A6 et plus fémur

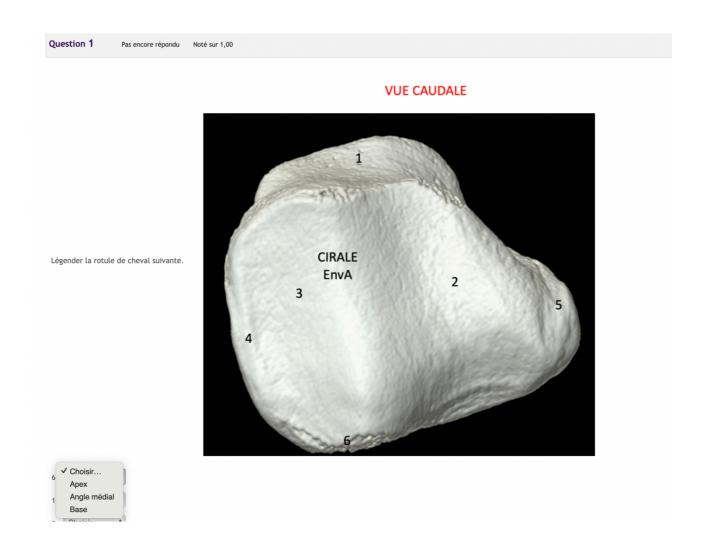
Quel muscle s'insère sur la formation anatomique 8?

VUE CRANIALE



<u>Réponse</u>: Le muscle fessier superficiel

Figure 73: Question 1 du quizz tronc commun patella



Réponse: 1 : Base, 5 : Angle médial, 6 : Apex

Figure 74: Question 3 du quizz tronc commun patella

| Question 2 | Pas encore répondu | Noté sur 1,00 | Marquer la question | & Modifier la question |
|-------------------|------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| Quel muscle s'att | ache sur la partie pro | ximale de la rotule? | | |
| Réponse : | | | | |
| | | | | |

<u>Réponse</u> : Le muscle quadriceps fémoral

Figure 75: Question 1 du quizz A6 et plus patella

| Question 1 | Pas encore répondu | Noté sur 1,00 |
|----------------------|-------------------------|---|
| La fracture la plu | s fréquente de la rotul | e se situe au niveau de son angle médial. |
| Veuillez choisir une | réponse. | |
| O Vrai | | |
| ○ Faux | | |

Réponse : Vrai

Figure 76: Question 2 quizz A6 et plus patella



Réponse : Le ligament patellaire médial (par l'intermédiaire du fibrocartilage parapatellaire)

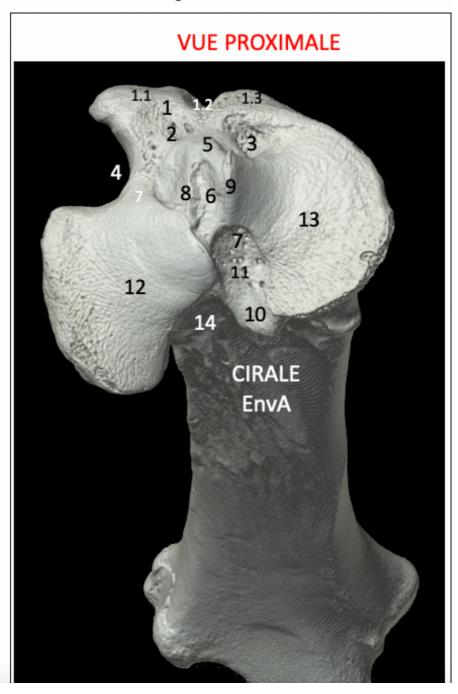
Figure 77: Question 1 du quizz tronc commun tibia



<u>Réponse</u> : 1 : Éminence intercondylaire (tubercule intercondylaire latéral), 2 : Tubérosité du tibia, 4 : Sillon de l'extenseur, 5 : Condyle latéral, 10 : Malléole latérale

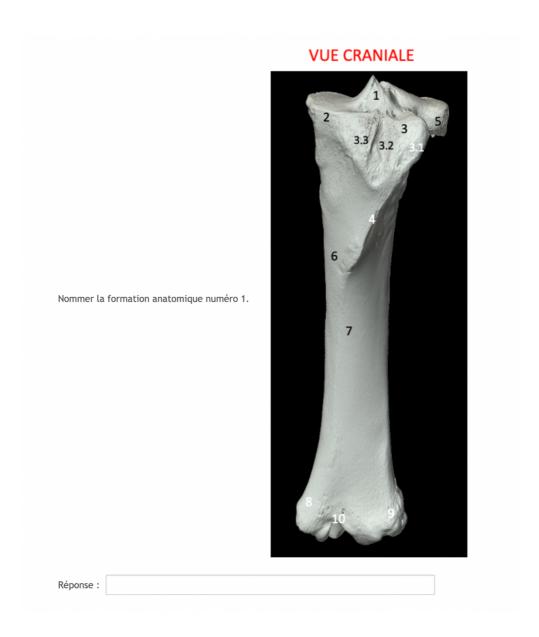
Figure 78: Question 2 du quizz tronc commun tibia

Déplacer le marqueur au niveau du tubercule d'insertion du ligament croisé caudal.



Réponse : Il faut déplacer le marqueur au niveau du numéro 10.

Figure 79: Question 4 du quizz tronc commun tibia

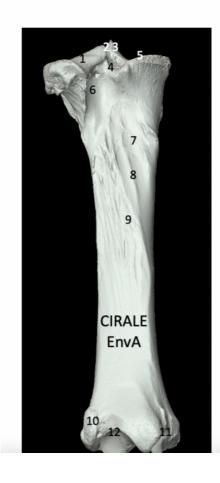


<u>Réponse</u>: L'éminence intercondylaire

Figure 80: Question 1 du quizz A6 et plus tibia

Les crêtes d'insertion représentées par le numéro 9 représentent les crêtes pour l'insertion du muscle fléchisseur latéral du doigt.

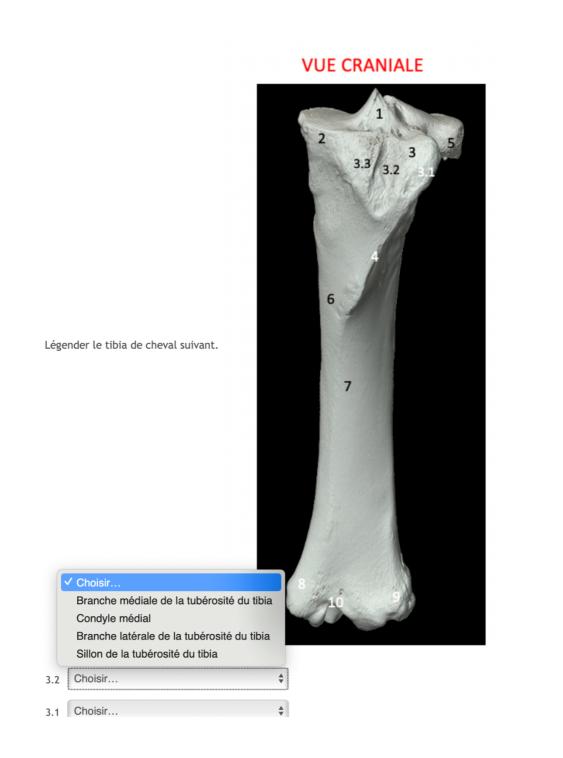




Réponse : Vrai.

Feedback : Oui, ces crêtes sont normales et visibles en radiographie. Elles ne doivent pas être confondues avec des lésions.

Figure 81: Question 2 du quizz A6 et plus tibia



<u>Réponse</u> : 2 : Condyle médial, 3.1 : Branche latérale de la tubérosité du tibia, 3.2 : Sillon de la tubérosité du tibia, 3.3 : Branche médiale de la tubérosité du tibia

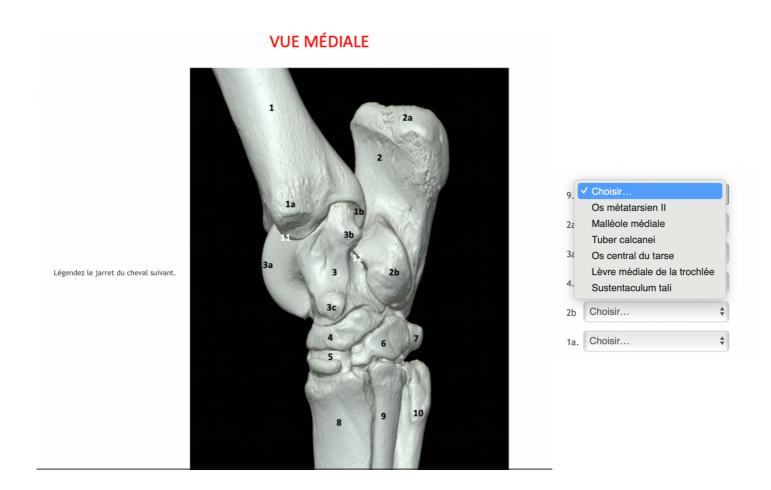
Figure 82: Question 3 du quizz A6 et plus tibia

Placer le marqueur au niveau de la malléole tibiale la plus touchée par les lésions d'ostéochondrose.



Réponse : il faut placer le marqueur au niveau du numéro 8 : la malléole médiale.

Figure 83: Question 1 quizz tronc commun jarret



Réponse : 1a : Malléole médiale, 2a : Tuber calcanei, 2b : Sustentaculum tali, 3a : Lèvre médiale de la trochlée, 4 : Os central du tarse, 9 : Os métatarsien II

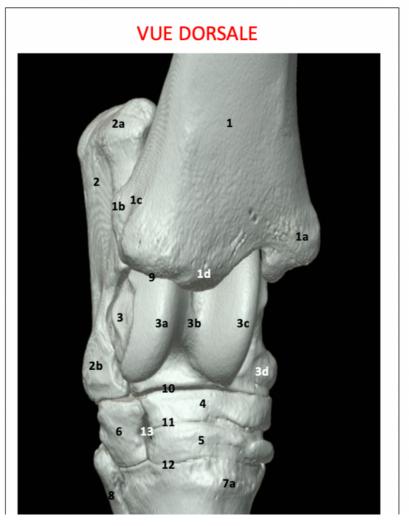
Figure 84: Question 2 quizz tronc commun jarret

| Le relief intermédiaire de la cochlée tibiale est le principal site d'ostéochondrose au niveau du tibia? | |
|--|--|
| Veuillez choisir une réponse. | |
| O Vrai | |
| ○ Faux | |
| | |

<u>Réponse :</u> Vrai

Figure 85: Question 3 quizz tronc commun jarret

Déplacer le marqueur au niveau du relief intermédiaire de la cochlée tibiale.



Réponse : il faut placer le marqueur au niveau du numéro 1d

Figure 86: Question 4 quizz tronc commun jarret

Positionner le marqueur au niveau de la zone d'insertion distale du tendon du muscle gastrocnémien.

Réponse : Il faut placer le marqueur au niveau du numéro « 2b ».

Figure 87: Question 5 quizz tronc commun jarret

Nommer la formation anatomique 1a.

VUE MÉDIALE



Réponse : Malléole médiale du tibia

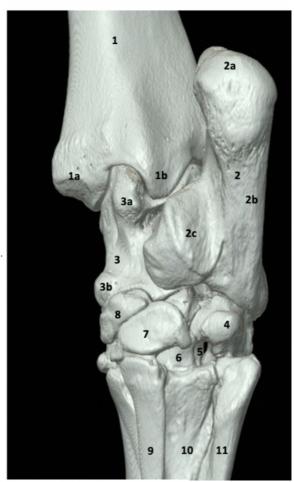
Figure 88: Question 6 quizz tronc commun jarret



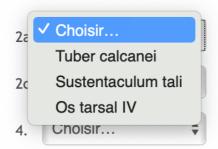
Réponse : Faux. Le calcanéus est en position latérale sur le jarret.

Figure 89: Question 7 quizz tronc commun jarret

VUE CAUDALE

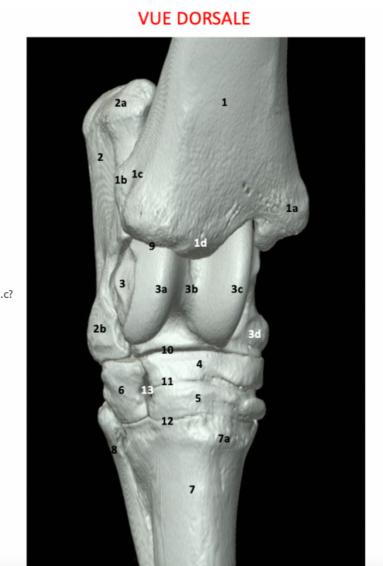


Légender le jarret de cheval suivant.



Réponse : 2a : Tuber calcanei, 2c : Sustentaculum tali, 4 : Os tarsal IV

Figure 90: Question 1 du quizz A6 et plus jarret



Quel tendon passe au niveau du sillon malléolaire 1.c?

Réponse : Le tendon extenseur latéral du doigt.

Figure 91: Question 2 du quizz A6 et plus jarret

2a 1 2 1b 1c 1a 3 3a 3b 3c 2b 3d 6 13 11 5 12 7a

Donner le nom des articulations 10, 11 et 12. (Donner la réponse sans article, en séparant les réponses par une virgule).

<u>Réponse</u>: articulation intertarsienne proximale, articulation intertarsienne distale, articulation tarsométatarsienne.

Figure 92: Question 3 du quizz A6 et plus jarret

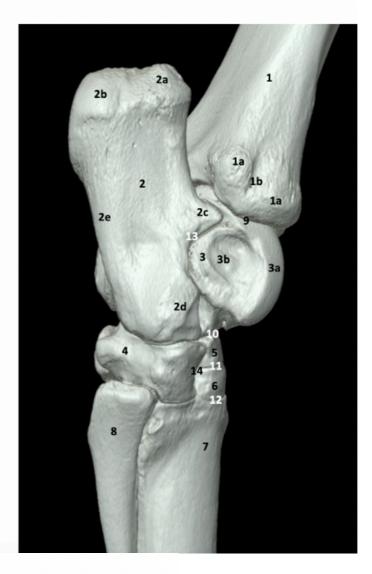
L'élément anatomique 13 représente le canal perforant du tarse.

VUE DORSALE 2a 1 2 1b 1c 3 3b 3a 3c 2b 4 11 6 12 7

<u>Réponse :</u> Vrai

Figure 93: Question 4 du quizz A6 et plus jarret

VUE CAUDO-LATÉRALE



Comment se nomme l'élément anatomique 2.c?

- La tubérosité d'insertion du ligament collatéral médial
- Le processus coracoïde
- Le lobe plantaire du tuber calcanei
- Le sustentaculum tali

Réponse : Le processus coracoïde.

Figure 94: Question 5 du quizz A6 et plus jarret

Question 1 Pas encore répondu Noté sur 1,00

Faire glisser les étiquettes (tubercule proximal du talus, tubercule distal du talus) sur les éléments anatomiques correspondants.



Tubercule distal du talus

<u>Réponse :</u>

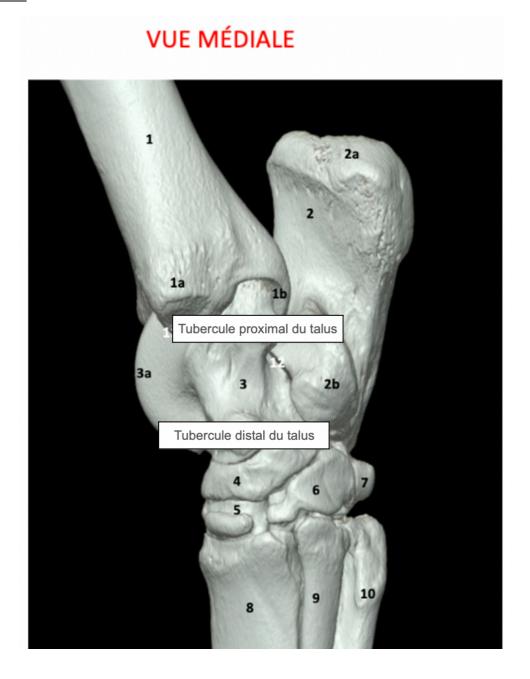


Figure 95: Question 6 quizz A6 et plus jarret

VUE MÉDIALE

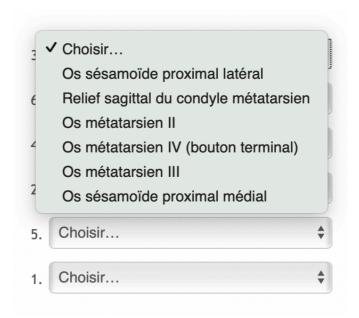


La calotte calcanéenne du fléchisseur superficiel du doigt se situe au niveau du cercle bleu.

<u>Réponse :</u> Vrai

Figure 96: Question 1 du quizz tronc commun métatarse



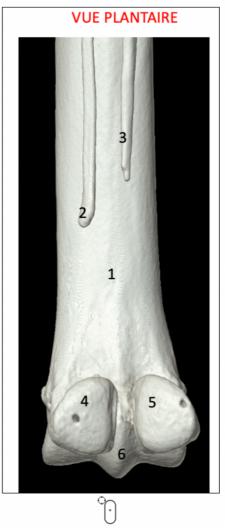


<u>Réponse :</u>

- 1. Os métatarsien III
- 1. Os métatarsien IV (bouton terminal)
- 2. Os métatarsien II
- 3. Os sésamoïde proximal latéral
- 4. Os sésamoïde proximal médial
- 5. Relief sagittal du condyle métatarsien

Figure 97: Question 2 du quizz tronc commun métatarse

Déplacer le marqueur sur l'os sésamoïde proximal latéral de ce membre postérieur gauche.



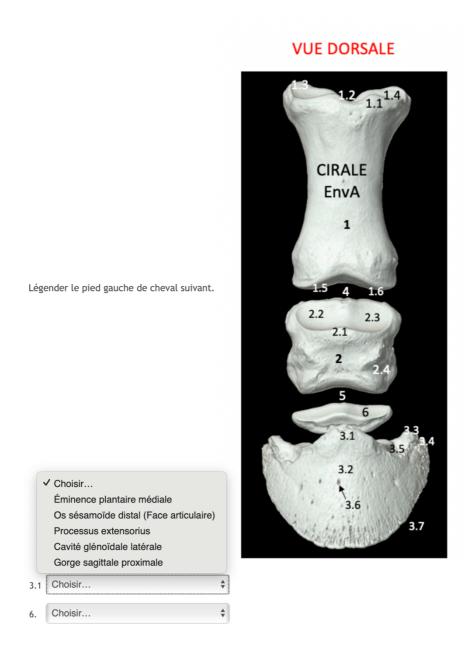
Réponse : Il faut faire glisser le marqueur au niveau du numéro 4.

Figure 98: Question 1 du quizz A6 et plus métatarse



<u>Réponse</u>: 3 : Relief sagittal du condyle métatarsien, 6.1 : Apex de l'os sésamoïde proximal médial, 6.2 : Corps de l'os sésamoïde proximal médial, 6.3 : Base de de l'os sésamoïde proximal médial, 6.4 : Bord palmaire de de l'os sésamoïde proximal médial

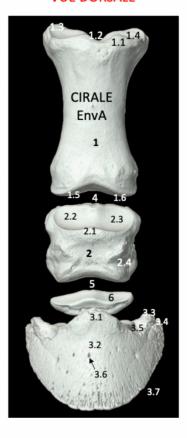
Figure 99: Question 1 du quizz tronc commun pied



<u>Réponse</u>: 1.2 : Gorge sagittale proximale, 1.3 : Éminence plantaire médiale, 2.2 : Cavité glénoïdale latérale, 3.1 : Processus extensorius, 6 : Os sésamoïde distal (Face articulaire)

Figure 100: Question 2 du quizz tronc commun pied

VUE DORSALE



Le tendon extenseur dorsal du doigt vient s'insérer sur le processus extensorius de la phalange distale (élément anatomique 3.1.).

Veuillez choisir une réponse.

O Vrai

O Faux

Réponse : Vrai

Figure 101: Question 3 du quizz tronc commun pied

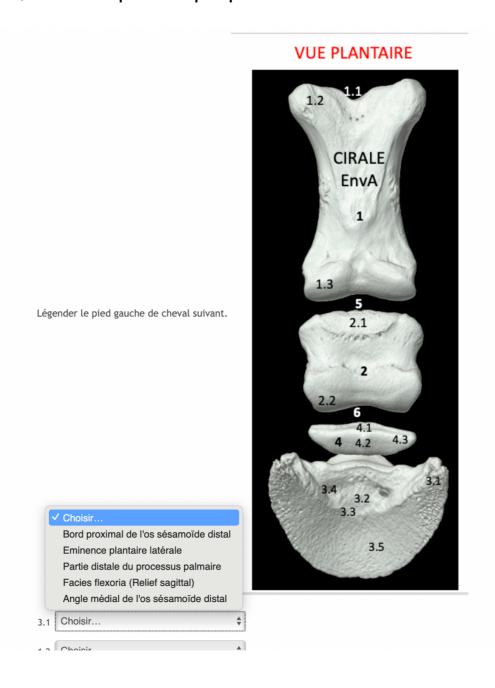
1.2 CIRALE EnvA 1 1.3 5 2.1 2 2.2 6 4.1 4.2 4.3 3.4 3.2 3.3 3.5 3.5

Nommer la surface de glissement qui se trouve à la face plantaire de l'os sésamoïde distal.(4)

Réponse : Facies flexoria.

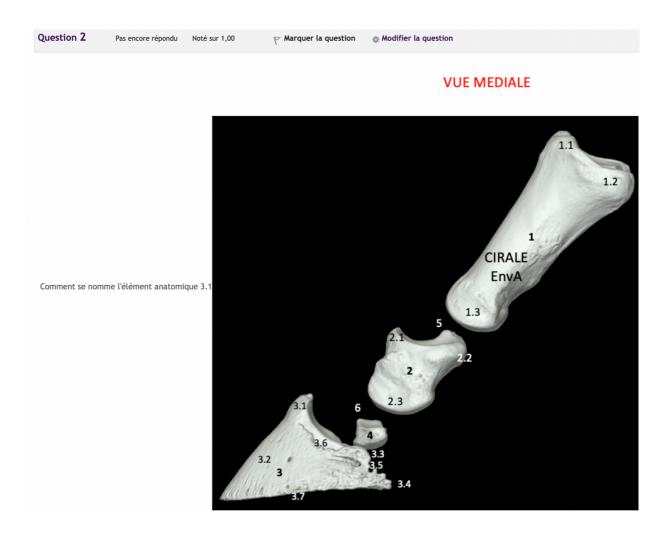
Réponse :

Figure 102: Question 1 du quizz A6 et plus pied



<u>Réponse</u>: 1.2 : Éminence plantaire latérale, 3.1 : Partie distale du processus palmaire, 4.1 : Bord proximal de l'os sésamoïde distal, 4.2 : Facies flexoria (Relief sagittal), 4.3 : Angle médial de l'os sésamoïde distal

Figure 103: Question 2 du quizz A6 et plus pied



Réponse : Processus extensorius de la phalange distale.

Des vidéos interactives sont ensuite réalisées avec une ou deux questions par vidéo.

Les figures 104 à 118 ci-dessous sont des captures d'écran de la plateforme Eve avec les différentes questions sur les vidéos interactives.

Figure 104: Question vidéo interactive tronc commun L6



Figure 105: Question vidéo interactive L6 A6 et plus

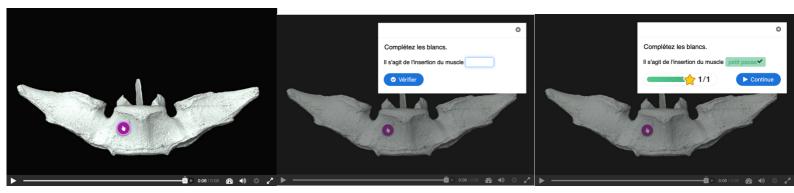


Figure 106: Question vidéo interactive tronc commun sacrum

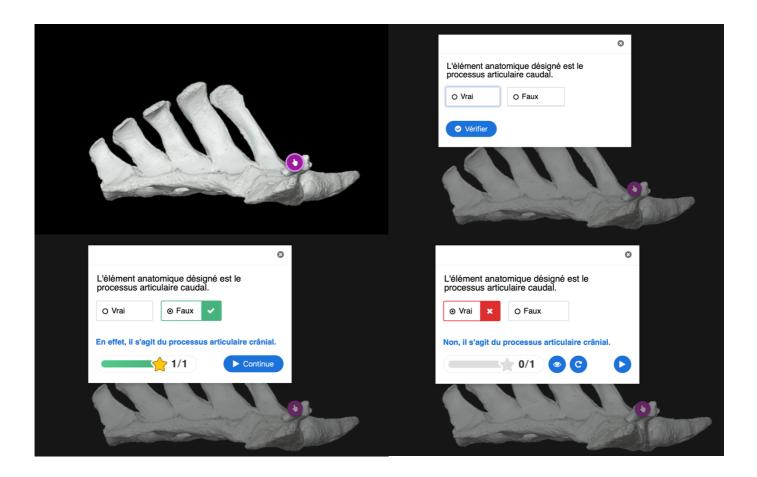


Figure 107: Question vidéo interactive sacrum A6 et plus

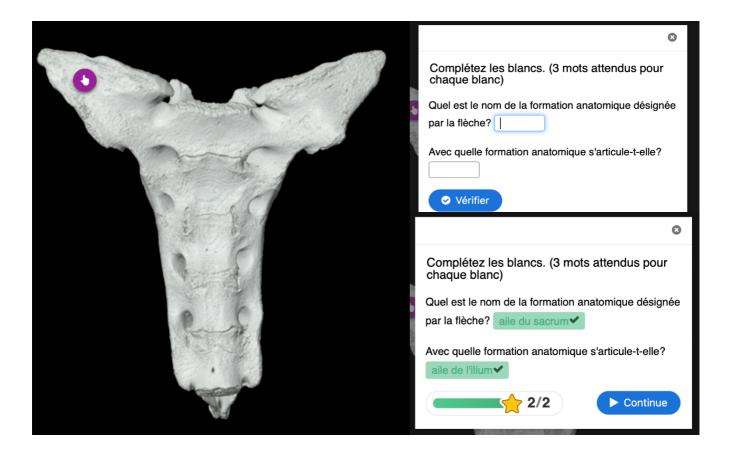


Figure 108: Question vidéo interactive tronc commun os coxal

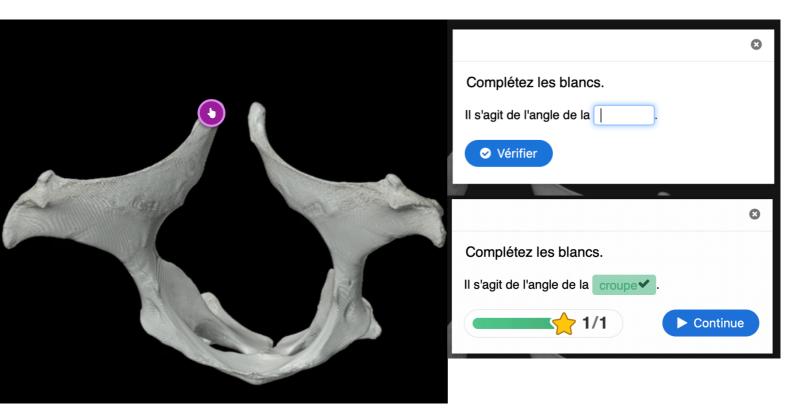


Figure 109: Question vidéo interactive os coxal A6 et plus Complétez les blancs. Lors de fracture de ce relief, le tuber parle de hanche . Il s'agit le plus souvent de fracture de type Vérifier Complétez les blancs. Lors de fracture de ce relief, le tuber coxae ✓, on parle de hanche coulée ✓. Il s'agit le plus souvent de fracture de type traumatique ✓. ▶ Continue

Figure 110: Question vidéo interactive tronc commun fémur

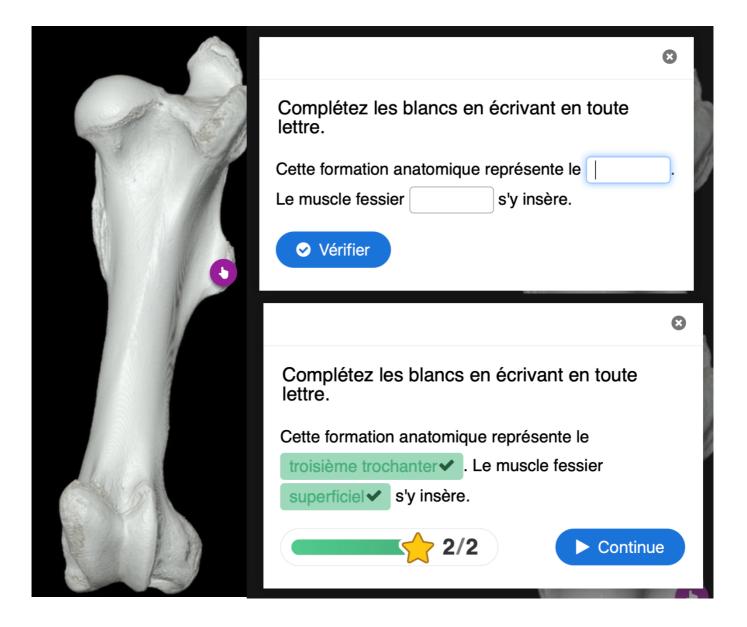


Figure 111: Questions vidéo interactive fémur A6 et plus

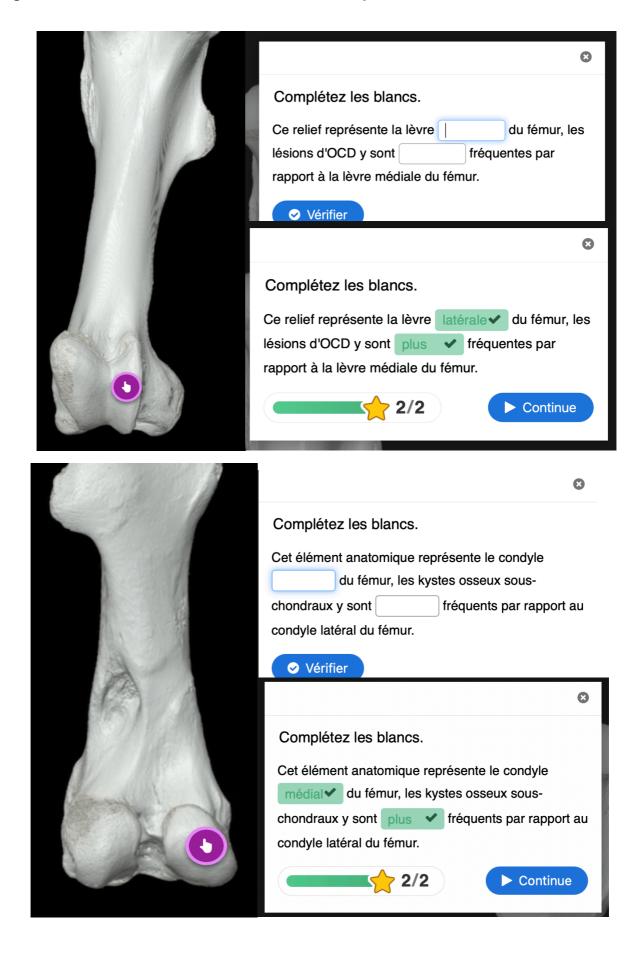


Figure 112: Question vidéo interactive tronc commun rotule

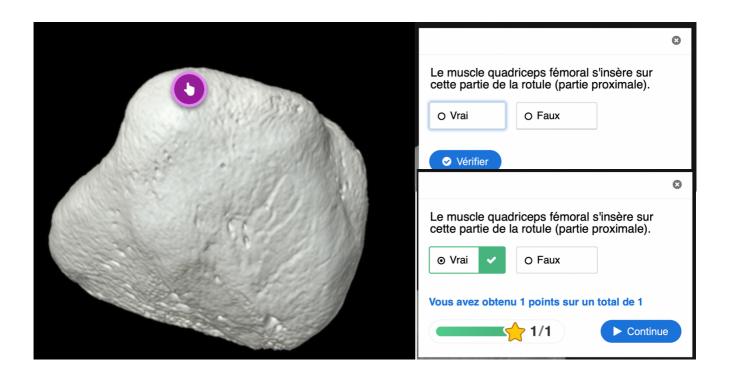
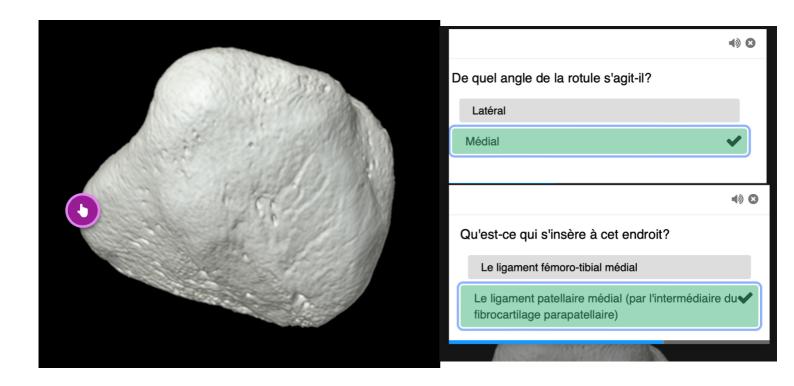


Figure 113: Question vidéo interactive A6 et plus rotule



Il s'agit de l'insertion du ligament croisé l'insertion du ligament croisé crânial?

O Vrai

O Faux

Effectivement, il s'agit de l'insertion du ligament croisé caudal.

➤ Vérifier

1/1

➤ Continue

Figure 114: Questions vidéo interactive tronc commun tibia

Figure 115: Question vidéo interactive tibia A6 et plus



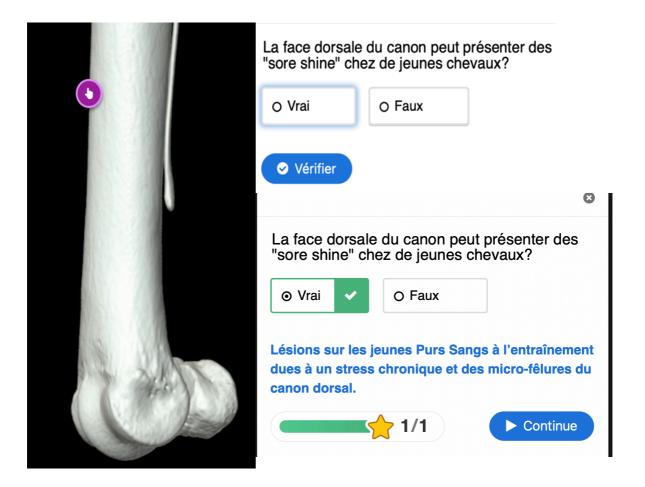
Complétez les blancs. L'éparvin touche principalement deux articulations du jarret: l'articulation et l'articulation Vérifier Complétez les blancs. L'éparvin touche principalement deux articulations du jarret: l'articulation intertarsienne distale ✓ et l'articulation tarso-métatarsienne ✔ ▶ Continue Choisissez l'affirmation exacte. ✓ Progression : 0/1 Les lésions d'éparvin sont souvent bilatérales et sont dorsales/dorso-médiales. Elles sont Les lésions d'éparvin sont souvent bilatérales et ✔ fréquentes chez le cheval de sport. La gestion sont dorsales/dorso-médiales. Elles sont thérapeutique passe par des biphosphonates par fréquentes chez le cheval de sport. La gestion voie générale, des injections intra-articulaires et thérapeutique passe par des biphosphonates par une gestion de l'activité (limiter le travail en cercle, voie générale, des injections intra-articulaires et proscrire les sols durs et limiter le poids). Une une gestion de l'activité (limiter le travail en cercle, ferrure avec un fer asymétrique (branche interne proscrire les sols durs et limiter le poids). Une biseauté/étroite et branche externe large) est ferrure avec un fer asymétrique (branche interne aussi utilisée. biseauté/étroite et branche externe large) est Les lésions d'éparvin sont souvent bilatérales et aussi utilisée. sont dorsales/dorso-latérales. Elles sont Votre résultat : ✓ Progression : 1/1 fréquentes chez le cheval de course. La gestion thérapeutique passe par des biphosphonates par voie générale, des injections intra-articulaires et ▶ Continue une gestion de l'activité (limiter le travail en cercle,

proscrire les sols mous et limiter le poids). Une ferrure avec un fer asymétrique (branche externe biseauté/étroite et branche interne large) est aussi

utilisée.

Figure 116: Questions vidéo interactive jarret A6 et plus

Figure 117: Question vidéo interactive métatarse A6 et plus



Complétez les blancs. La formation anatomique suivante est la facies . Si elle est ulcérée, elle peut provoquer un syndrome chez le cheval. Vérifier Complétez les blancs. La formation anatomique suivante est la facies flexoria ✓. Si elle est ulcérée, elle peut provoquer un syndrome podotrochléaire ✓ chez le cheval. Continue

Figure 118: Question vidéo interactive tronc commun pied

Quatrième partie: discussion

1. Analyse critique du travail effectué

Les images scanner ont été réalisées sur des os isolés et non sur un cheval vivant, ce qui peut légèrement modifier l'image obtenue par rapport à la réalité notamment en lien avec des irrégularités et usures de ces pièces isolées. De plus, certains os présentaient des anomalies ostéo-articulaires ou des variantes anatomiques comme le sacrum qui possède des processus articulaires à droite et à gauche non soudés par exemple.

Concernant l'interface utilisée sur Eve, j'ai rencontré quelques difficultés au départ à comprendre tous les outils disponibles, mais une fois que toutes les options ont été appréhendées, il a été assez simple d'utiliser la plateforme.

L'ostéologie équine est un prérequis essentiel afin de pouvoir interpréter les examens complémentaires effectués sur les chevaux (radiographie, échographie, scanner et IRM). La représentation 3D des os du membre, obtenue grâce au scanner est très intéressante d'un point de vue pédagogique, l'étudiant peut alors analyser l'os comme il le souhaite et en avoir une représentation précise.

Les quizz permettent de tester les connaissances acquises et poussent les étudiants à réellement apprendre l'ostéologie du membre pelvien.

À terme, les images obtenues permettront sûrement de remplacer les TD en présentiel avec les pièces osseuses et permettront aux étudiants de pouvoir étudier l'ostéologie du membre pelvien autant de temps qu'ils le souhaitent.

2. Application clinique du scanner à l'exploration du membre pelvien du cheval

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à des lésions osseuses du membre pelvien dans lesquelles l'examen scanner a su se montrer utile dans leur exploration.

En effet, les affections osseuses du membre pelvien sont très fréquentes chez le cheval athlète, il est donc important de bien savoir les diagnostiquer afin de les traiter au mieux.

L'examen scanner permet de mettre en évidence précisément les fractures osseuses, les zones de sclérose osseuse et d'ostéolyse.

A. Utilisation de l'examen scanner dans le diagnostic d'une fracture de l'acétabulum

Nous allons illustrer l'intérêt du scanner dans le diagnostic d'une fracture de l'acétabulum à travers deux cas dans l'étude de *Trump et al*, *2011* : le cas 1 d'une pouliche Pur-Sang d'un an et le cas 2 d'une pouliche Pur-Sang de 6 mois.

En effet, les fractures de la hanche qui impliquent l'acétabulum sont assez fréquentes chez les chevaux qui glissent et tombent sur le côté. Cela cause souvent une boiterie du membre postérieur, pas toujours directement visible après le trauma. Ces chevaux se fracturent le col ou la tête du

fémur, l'acétabulum et la fracture peut s'étendre au pubis, à l'ilium ou encore à l'ischium. Une asymétrie de la région de la croupe peut être visible, ainsi que des crépitations à la manipulation de la hanche ou un gonflement, mais ces signes ne sont pas toujours présents. Le diagnostic n'est alors pas toujours aisé et requiert des examens complémentaires. Pour le diagnostic final, plusieurs examens sont utilisables : les anesthésies de l'articulation coxo-fémorale en combinaison avec des radiographies (sur cheval couché ou debout), des échographies ou un examen scintigraphique. L'examen scanner peut alors une meilleure résolution pour le diagnostic ainsi que le pronostic.

Dans l'étude de *Trump et a (2011) I*, les deux pouliches ont été référées pour l'investigation d'une boiterie sévère du postérieur gauche. Les deux pouliches sont en pâtures et ont sûrement chuté dans ces dernières. La boiterie du cas 1 évolue depuis 2 semaines.

L'examen physique statique est normal, elles ne présentent pas de gonflement ou d'asymétrie au niveau de la croupe. La phase antérieure de la foulée du postérieur gauche est réduite, et elles présentent une boiterie de grade 3 à 4/5 du postérieur gauche au trot. Un inconfort est présent lors de la palpation du tuber coxae. L'abduction du postérieur gauche provoque une légère douleur pour le cas 2 mais pas pour le cas 1. Les deux pouliches sont trop petites pour réaliser un examen transrectal en sécurité.

Des anesthésies diagnostiques sont tout d'abord réalisées. L'injection de 15 ml de mépivacaïne est réalisée dans l'articulation coxo-fémorale des deux pouliches. Pour le cas 1, cela permet de passer à une boiterie de grade 2/5 et pour le cas 2, on a une résolution presque totale de la boiterie.

L'examen échographique de la hanche n'a pas révélé d'anomalie.

Un examen radiographique sur cheval debout est ensuite effectué. Pour le cas 1, il n'y avait pas de mise en évidence d'une fracture impliquant d'acétabulum. Pour le cas 2, une fracture a été montrée, avec un déplacement du corps de l'ilium à gauche avec une communication articulaire possible mais non démontrée.

Un examen radiographique sur cheval couché est ensuite réalisé. Dans le cas 1, la flèche noire sur la figure 119 suivante montre une ligne radio transparente au niveau de l'acétabulum qui se prolonge dans le bord crânial du pubis (flèche blanche).



Figure 119: Radiographie en décubitus dorsal, cas 1, Trump et al. 2011

Dans le cas 2, une ligne radio transparente est mise en évidence sur la figure 120 au niveau du corps de l'ilium gauche avec un petit déplacement. Une implication de l'acétabulum et donc une fracture articulaire est suspectée.



Figure 120: Radiographie en décubitus dorsal, cas 2, Trump et al. 2011

L'examen radiographique n'a donc pas permis dans ces deux cas de donner avec certitude un diagnostic définitif, notamment de préciser clairement l'orientation des fractures et leur caractère comminutif ou non.

L'anesthésie utilisée pour les radiographies a ensuite été maintenue afin de réaliser un examen scanner. Les postérieurs sont étendus caudalement comme montré sur la figure 121 ci-dessous.



Figure 121: Examen scanner d'une hanche d'un cheval en décubitus dorsal, Trump et al. 2011

Pour le cas 1, une fracture évidente de l'acétabulum gauche est visible avec un fragment libre de la partie dorsale de l'acétabulum qui est identifié. Il y a de plus un cal en formation autour du site de fracture. La congruence de l'acétabulum est compromise ce qui conduit à un espace plus important au niveau de l'articulation coxo-fémorale. Plusieurs autres petits fragments sont identifiés (figure 122).

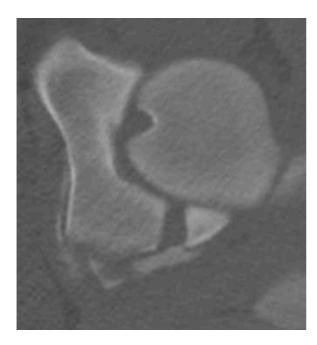


Figure 122: Examen scanner en décubitus dorsal, cas 1, Trump et al. 2011

(Image montrant une fracture évidente de l'acétabulum gauche avec un fragment libre provenant du rebord acétabulaire dorsal).

Quant au cas 2, une ligne de fissure est identifiée sur le corps de l'ilium à gauche, avec une extension à l'acétabulum confirmant le caractère articulaire de cette fracture et le faible déplacement des formations anatomiques osseuses (figure 123).



Figure 123: Examen scanner en décubitus dorsal, cas 2, Trump et al. 2011

Les deux pouliches ont été renvoyées chez elles et traitées de manière conservative avec un confinement strict au box pendant 2 mois. Pour le cas 1, deux mois après la fracture, la phase antérieure de la foulée au trot était encore un peu réduite, sans asymétrie musculaire au niveau de la croupe. Pour le cas 2, une asymétrie musculaire était présente mais s'est résolue par la suite. Six mois plus tard, les deux pouliches étaient de retour en pâture sans signes de boiterie. Un test de flexion du postérieur lésé était négatif pour le cas 1.

L'examen scanner se révèle donc être un outil précieux pour le diagnostic des fractures de la hanche qui impliquent l'acétabulum. En effet, l'examen radiographique n'est pas assez sensible pour identifier les fractures avec déplacements légers et pour voir si la fracture est articulaire ou non. Dans le cas 2, la quantité de tissu mou était plus petite ce qui a permis tout de même d'améliorer la qualité de la radiographie. Concernant l'examen radiographique debout, la qualité des images est diminuée à cause des petits mouvements du cheval ainsi que du temps d'exposition qui est long. La quantité élevée de tissu mous au niveau de la hanche dégrade également l'image avec une dispersion du faisceau plus élevée. Avec l'examen radiographique, plusieurs choses n'ont pas pu être évaluées avec certitude : la partie exacte fracturée de la hanche, le degré de déplacement, la présence ou non de fragments ainsi que la communication articulaire ou non. L'examen scanner par sa capacité diagnostique élevée et son aspect 3D permet d'établir un diagnostic de certitude offrant ainsi la possibilité d'émettre un pronostic plus précis et pertinent.

Cependant la limite de cette technique est la réalisation d'une anesthésie générale chez des chevaux présentant une fracture du bassin avec un risque non négligeable d'aggravation des lésions au réveil. De plus, le coût est élevé mais cela peut valoir la peine en fonction des cas au vu de la qualité du résultat. La taille du cheval peut également être un facteur limitant notamment sur des scanners de dimension conventionnelle.

B. Utilisation de la microtomographie aux rayons X pour explorer l'étiologie les lésions kystiques juvéniles du condyle fémoral médial crânial

L'étude de *Lemirre et al. (2021)* s'intéresse à l'étiologie des lésions kystiques du condyle fémoral crânial chez le jeune Pur-Sang. L'objectif de l'étude est de mieux comprendre l'étiopathogénie de ces lésions kystiques pour mieux les prendre en charge. Il est démontré *in fine* que ces lésions sont axiales chez les Purs-Sangs âgés de moins de 6 mois au cours de l'ossification endochondrale et centrales ensuite. Une étiologie traumatique est ensuite mise en évidence dans cette étude avec une absence de nécrose cartilagineuse et la présence de fibrine chez des individus présentant des lésions kystiques.

Cette étude est fortement liée à celle de *Denoix et al. (2013)*; cependant, elle reste intéressante puisqu'elle utilise la microtomographie aux rayons X pour explorer des lésions kystiques comme celle illustrée dans la figure 124 ci-dessous.

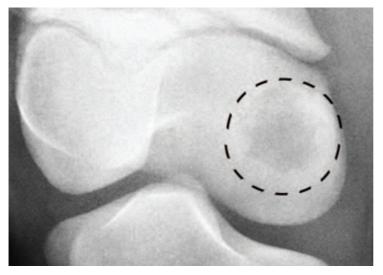


Figure 124: Kyste osseux sous chondral du condyle fémoral médial d'un Pur-Sang de moins d'un an, Oldstad et al., 2011

En effet, l'acquisition des images par microtomographie aux rayons X a permis de détecter des lésions kystiques du condyle fémoral médial crânial non identifiées à l'examen scanner conventionnel, de visualiser plus précisément les pertes de substance et les lésions d'indentations profondes : compatible avec une cicatrisation.

La précision obtenue avec la microtomographie aux rayons X est illustrée dans la figure 125 cidessous.

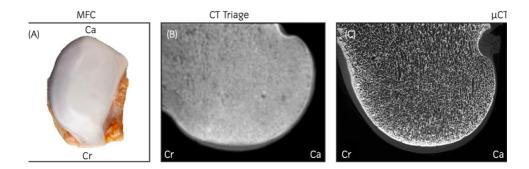
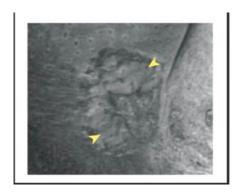


Figure 125: Aspect macroscopique (A), scanner conventionnel (B), microtomographie aux rayons X (C), Lemirre et al. (2021)

La figure 125 confirme que la microtomographie aux rayons X permet une évaluation très précise de la structure osseuse, elle permet une analyse 3D de la trabéculation osseuse avec une résolution de l'ordre de 1 micromètre.

La figure 126 illustre la précision obtenue grâce à la microtomographie aux rayons X. La perte de substance ostéochondrale est visible et des indentations compatibles avec un processus d'ossification microfocale au cours de la cicatrisation.

Figure 126: Lésion kystique du condyle fémoral médial crânial chez un poulain de 2 mois, microtomographie aux rayons X, Lemirre et al. (2021)



La figure 127 obtenue chez un poulain de 6 à 8 mois révèle une absence de canaux vasculaires (aspect non poreux), deux lésions et une zone cicatricielle (flèches jaunes).

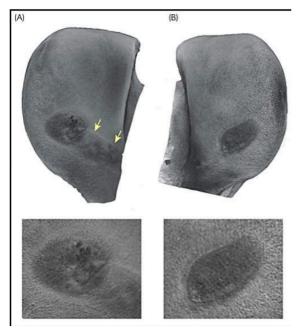


Figure 127: Lésion kystique du condyle fémoral médial crânial chez un poulain de 6 à 8 mois, microtomographie aux rayons X, Lemirre et al. (2021)

Les flèches jaunes représentent une zone cicatricielle.

En conclusion, cette étude est intéressante pour montrer que d'autres techniques d'imagerie peuvent se développer à partir de l'examen scanner afin d'avoir une précision très élevée de lésions osseuses. Néanmoins cette technique de microtomographie ne peut se réaliser que sur des fragments osseux isolés de taille faible.

Conclusion

Les affections du membre pelvien chez le cheval représentent une partie considérable des affections locomotrices équines, aussi bien chez les chevaux de sport, que de course ou encore de loisir. L'utilisation de l'examen tomodensitométrique (scanner) permet d'établir un diagnostic très précis des lésions osseuses du membre pelvien et ainsi de pouvoir réaliser au mieux les traitements adéquats de ces affections.

L'examen tomodensitométrique est basé sur les mêmes principes physiques que la radiologie mais ce dernier permet d'avoir des coupes et offre une capacité 3D essentielle.

Avant de pouvoir diagnostiquer toutes ces entités pathologiques, une connaissance exacte de l'anatomie est requise, notamment de l'ostéologie. La réalisation d'un support pédagogique pour l'enseignement de l'ostéologie du membre pelvien en école vétérinaire a ainsi été effectué. Le but est d'optimiser l'enseignement, avec comme objectif de remplacer les cours d'ostéologie en présentiel. Des quizz pour l'enseignement commun et pour les étudiants ayant choisi la A6 équine ont également été déposés sur la plateforme d'apprentissage de l'école (Eve).

Ce travail à visée pédagogique pourrait être réalisé sur tout le squelette du cheval afin d'avoir un apprentissage complet de l'ostéologie équine.

Liste des références bibliographiques

BARONE R. (1986) Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 1, Ostéologie, 4^e ed. Paris, 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

DENOIX, J.-M., JEFFCOTT, L.B., MCILWRAITH, C.W., *et al.* (2013) A review of terminology for equine juvenile osteochondral conditions (JOCC) based on anatomical and functional considerations. *The Veterinary Journal* vol. 197, n° 1, p. 29-35. [https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.03.038]

KINNS J., MALINOWSKI R., MCEVOY F., et al. (2011) Special software applications. *In Veterinary Computed Tomography*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, p. 67-74 LEMIRRE, T., SANTSCHI, E.M., GIRARD, C.A., *et al.* (2022) Microstructural features of subchondral radiolucent lesions in the medial femoral condyle of juvenile Thoroughbreds: A microcomputed tomography and histological analysis. *Equine Veterinary Journal* vol. 54, n° 3, p. 601-613. [https://doi.org/10.1111/evj.13486]

OLSTAD, K., YTREHUS, B., EKMAN, S., *et al.* (2011) Early Lesions of Articular Osteochondrosis in the Distal Femur of Foals. *Veterinary Pathology* vol. 48, n° 6, p. 1165-1175. [https://doi.org/10.1177/0300985811398250]

SAUNDERS J., OHLERTH S. (2011) CT physics and instrumentation – mechanical design. *In Veterinary Computed Tomography*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, p. 1-6 SAUNDERS J., SCHWARZ T. (2011) Principles of CT image interpretation. *In Veterinary Computed Tomography*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, p. 29-34 TRUMP, M., KIRCHER, P.R., FÜRST, A. (2011) The use of computed tomography in the diagnosis of pelvic fractures involving the acetabulum in two fillies. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* vol. 24, n° 01, p. 68-71. [https://doi.org/10.3415/VCOT-10-04-0067]

LE SCANNER : UN OUTIL DE L'ENSEIGNEMENT DE L'OSTÉOLOGIE ÉQUINE DU MEMBRE PELVIEN

AUTEUR: Camille GOSSELIN

RÉSUMÉ:

L'objectif final de cette thèse est la création d'un support pédagogique pour l'enseignement d'ostéologie vétérinaire équine, et plus particulièrement du membre pelvien du cheval. En effet, afin de pouvoir interpréter correctement les images obtenues lors des examens d'imagerie et diagnostiquer les lésions osseuses du membre pelvien, il faut d'abord maîtriser l'ostéologie. De plus, les affections osseuses du membre pelvien sont fréquemment observées chez les chevaux du fait des contraintes exercées lors des courses ou des compétitions ; il y a donc un intérêt profond à les étudier.

Afin d'étudier précisément l'ostéologie du membre pelvien, nous avons utilisé l'examen tomodensitométrique (scanner), basé sur mêmes principes que la radiologie conventionnelle mais qui offre un aspect sectionnel et 3D. Afin de réaliser les images d'ostéologie du membre pelvien de cette thèse, nous avons utilisé après l'acquisition des images le mode reconstruction en trois dimensions du scanner, la reconstruction multi-plans ainsi que le filtre osseux.

Les images ont ensuite été récupérées afin de créer le support pédagogique pour l'enseignement d'ostéologie équine sur la plateforme pédagogique Eve. Il s'agit d'une base d'images légendées, ainsi que deux quizz, l'un pour l'enseignement de tronc commun et l'autre pour les étudiants ayant choisi la dominante équine en sixième année et les internes. Enfin, des movies ont été créés à partir des images, avec des vidéos interactives pour les étudiants. Les images réalisées dans le cadre de cette thèse sont incluses dans le support écrit.

MOTS CLÉS:

ANATOMIE, OSTÉOLOGIE, IMAGERIE, SCANNER, TOMODENSITOMÉTRIE, CHEVAL

JURY:

Président : Pr Henry CHATEAU

Directeur de thèse : Pr Fabrice AUDIGIÉ

Examinatrice: Dr Céline MESPOULHÈS-RIVIÈRE



THE SCANNER: A TOOL FOR TEACHING OSTÉOLOGY OF THE EQUINE PELVIC LIMB

AUTHOR: Camille GOSSELIN

SUMMARY:

The final objective of this thesis is the creation of a pedagogical support for the teaching of equine veterinary osteology, and more particularly of the pelvic limb of the horse. Indeed, to be able to correctly interpret the images obtained during diagnostic imaging and detect the bone lesions of the pelvic limb, it is first necessary to master the osteology. In addition, bone disorders of the pelvic limb are frequently observed in horses due to strains gone through races or competitions; there is therefore a deep interest in studying them.

In order to accurately study the osteology of the pelvic limb, we have used computed tomography (scanner) examination, based on the same principles as conventional radiology but offering 3D and cross-sectional imaging capacities. With these images and for purposes of making osteological images of the pelvic limb, we used the three-dimensional reconstruction mode of the scanner, the multi-planar reconstruction mode as well as the bone filter.

Images were then retrieved for creating the pedagogical support for the teaching of equine osteology on the teaching plateform Eve. It is a tool containing a data base of captioned images, as well as two quizzes, one for common core teaching and one for students who have chosen the dominant equine in the sixth year and the interns. Finally, movies were created from the images, with interactive videos for the students. All the images are included in the written support.

KEYWORDS:

ANATOMY, OSTEOLOGY, DIAGNOSTIC IMAGING, SCANNER, COMPUTED TOMOGRAPHY, HORSE

JURY:

Chairperson: Pr Henry CHATEAU
Thesis Director: Pr Fabrice AUDIGIÉ

Reviewer: Dr Céline MESPOULHÈS-RIVIÈRE

